NGU
Norges geologiske undersøkelse
Geological Survey of Norway

GEOLOGI FOR SAMFUNNET
GEOLOGY FOR SOCIETY

NGU Rapport 2014.025

Miljøgeokjemiske data og dateringsresultater fra Norskehavet og Tidligere Omstridt Område (TOO) - MAREANO

NGU
Norges geologiske undersøkelse
Geological Survey of Norway

Norges geologiske undersøkelse
7491 TRONDHEIM
Tlf. 73 90 40 00
Telefaks 73 92 16 20

RAPPORT

Rapport nr.: 2014.025	ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen

Tittel:
Miljøgeokjemiske data og dateringsresultater fra Norskehavet og Tidligere Omstridt område (TOO) – MAREANO

Forfatter: Henning K.B. Jensen, Liv Plassen, Tor Erik Finne og Terje Thorsnes	Oppdragsgiver: MAREANO
Fylke:	Kommune:
Kartblad (M=1:250.000)	Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)
Forekomstens navn og koordinater:	Sidetall: 82 Pris: 300,- Kartbilag: 0

Feltarbeid utført: Juni, August og September – Oktober 2013	Rapportdato: 27.10.2014	Prosjektnr.: 311730	Ansvarlig: Reidulv Bøe

Sammendrag:

På MAREANO-toktene med forskningsfartøyene G.O. Sars og Johan Hjort i 2013 ble det tatt sedimentkjerner for miljøundersøkelser på prøvetakingsstasjoner i Norskehavet (19 stasjoner) og i det Tidligere Omstridt Område (TOO) i Barentshavet (10 stasjoner).

Tungmetall-, arsen (As)-, barium (Ba)- og tributyltinn (TBT)-nivåene i overflatesedimentene (0-1 cm) er generelt lave, tilsvarende Miljødirektoratets tilstandsklasse I (bakgrunn) for fjord- og kystsedimenter. Barium finnes i lave konsentrasjoner i overflatesedimentene i TOO, mens det er større variasjon i Ba-verdiene i de undersøkte sedimentene i Norskehavet.

Av sedimentkjernene fra de 29 stasjonene ble 15 valgt ut for kjemisk analyse, og 8 av disse er datert med ^{210}Pb og analysert for innhold av ^{137}Cs.

^{210}Pb dateringsanalysene supplert med ^{137}Cs analyser viser at det for flere sedimentkjerner i Norskehavet er mulig å angi alder på sedimentene med rimelig sikkerhet. Dateringsresultatene vurderes å være av god kvalitet. Lineære sedimentasjonsrater for de 5 analyserte sedimentkjerner fra Norskehavet varierer fra 0,5 til ca. 2 millimeter/år, mens dateringsanalysene fra TOO gir noe mer usikre beregninger av sedimentasjonsrater.

Generelt er metallkonsentrasjonene i sedimentkjernene lave. Kvikksølv (Hg) og bly (Pb) viser en økning mot toppen av kjernene med unntak av en kjerne fra den sørlige delen av TOO der det ikke er avsatt sedimenter de siste 150 år. Økningen i innhold av kvikksølv og bly i de fleste kjernene i TOO og i alle kjernene fra Norskehavet antas å vise tilførsel av menneskeskapt forurensning. ^{210}Pb dateringer av flere kjerner indikerer at økningen i tilførsel av Hg og Pb begynte på slutten av 1800-tallet, sannsynligvis i forbindelse med den industrielle utvikling. Enkelte sedimentkjerner indikerer en betydelig senere økning i innhold av Hg og Pb i sedimentene. Dateringene av disse sedimentkjernene er imidlertid mindre sikre. Dermed blir tidsfestningen av økningen i innhold av Hg og Pb mindre sikker.

Emneord: Maringeologi	Sediment	Forurensning
Tungmetaller	Prøvetaking	MAREANO
Miljø	Geokjemi	Datering

INNHOLD

1. INNLEDNING 5
2. TOKT OG PRØVETAKING 5
3. DATA OG METODIKK 9
4. KVALITETSKONTROLL 10
5. RESULTATER 10
5.1 Sedimentklassifikasjon og beregning av vektprosent karbonat 10
5.2 Overflateprøver (0-1 cm) 12
5.2.1 Kornstørrelsesfordeling, organisk karbon, karbonat og svovel 12
5.2.2 Innhold av tungmetaller, arsen, barium og tributyltinn (TBT) 18
5.3 Analyser av sedimentkjerner 26
5.3.1 Kornstørrelsesfordeling 26
5.3.2 Total organisk karbon, karbonat og svovel 31
5.3.3 Visuell bedømmelse og XRI-analyser 36
5.4 Blyisotop 210 (^{210}Pb) datering, ^{137}Cs målinger og sedimentakkumulasjonsrater 39
5.5 Tungmetaller, arsen og barium i 8 ^{210}Pb-daterte sedimentkjerner og 7 udaterte sedimentkjerner 49
6. OPPSUMMERING 79
7. REFERANSER 80

VEDLEGG (CD, eller tilgjengelig digitalt ved nedlasting fra www.mareano.no/resultater)

Vedlegg 1. Prøveliste og analyseresultater. Kornstørrelsesfordeling (Coulter analyse), Leco (total S, total C og organisk C), HNO_3-ekstrahert og analysert med AAS (Hg, As, Cd, Pb, Se, Sn) og ICP-AES (30 elementer). Naturlige standarder Hynne og Nordkyn er inkludert i prøvelistene.

Vedlegg 2. TBT-analyser (tributyltinn) av overflatesedimenter fra 9 utvalgte stasjoner.

Vedlegg 3. Kart over stasjonsoversikt, Total Organisk Karbon (TOC), karbonat, korsntørrelsesfraksjon <63 µm, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, TBT og ^{137}Cs i prøver ved 0-1 cm kjernedybde.

Vedlegg 4. XRI-bilder av sedimentkjerner.

Vedlegg 5. ^{210}Pb og ^{137}Cs analyserapporter. Leverandør av rapporter: Gamma Dating Center, Københavns Universitet, Danmark.

1. INNLEDNING

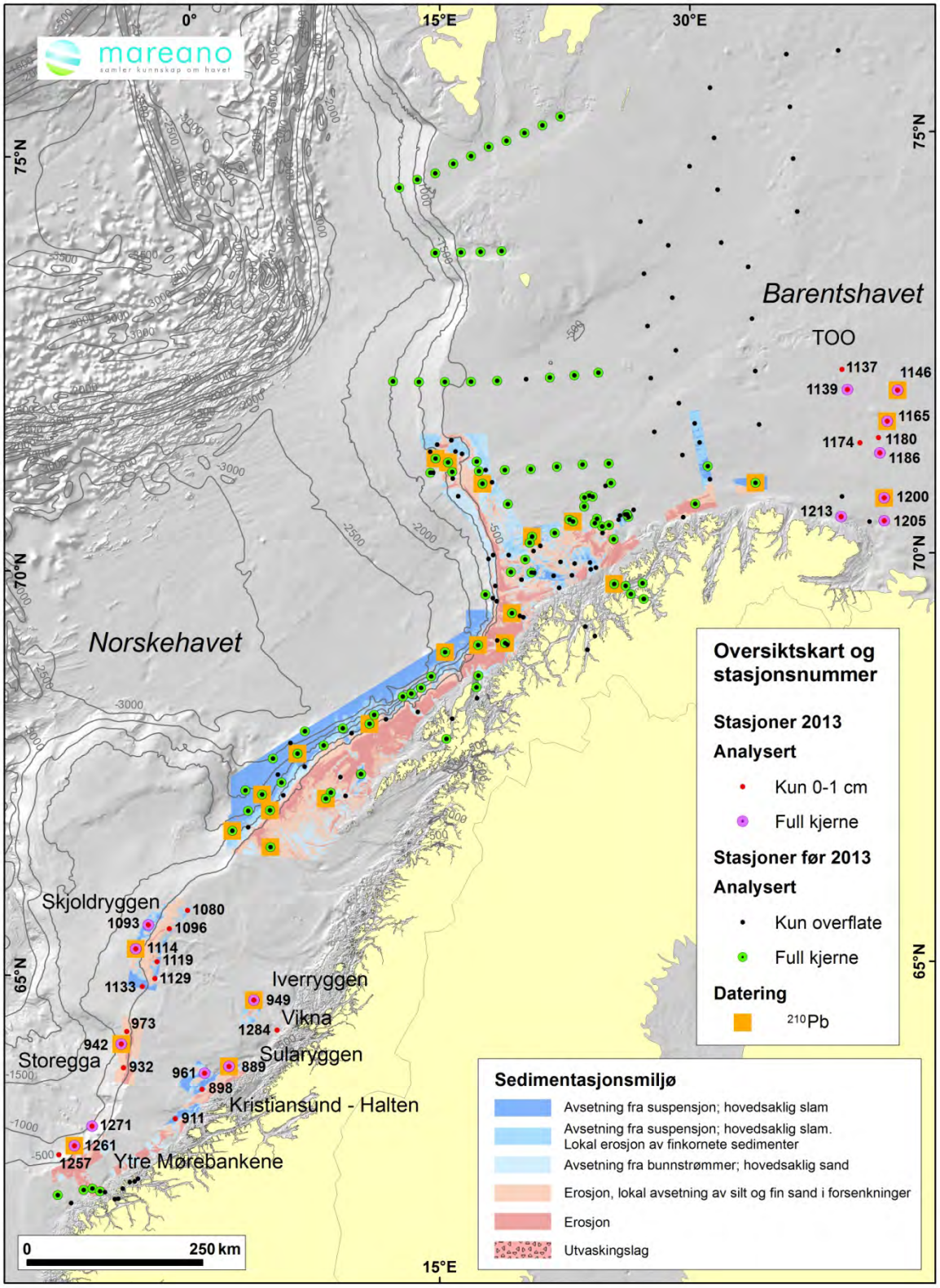
Sedimentkjerner fra Norskehavet og Tidligere Omstridt Område (TOO) er analysert for innhold av tungmetaller, As, Ba, TBT, kornstørrelsesfordeling, total organisk karbon, og er i tillegg datert (^{210}Pb og ^{137}Cs). Figur 1 viser stasjonene fra de 2 områdene.

2. TOKT OG PRØVETAKING

Prøvetaking ble i 2013 gjennomført på 19 stasjoner i Norskehavet og 10 stasjoner i Tidligere Omstridte Område (TOO). Tabell 1 gir en oversikt over havdyp, geografiske posisjoner og lengde på sedimentkjernene. Prøvetakingsutstyret består av en multicorer som har 6 PVC-rør med 106 millimeter indre diameter og 60 cm lengde (Figur 3). Alternative redskaper for sedimentprøvetaking har vært boxcorer (6 stasjoner) vist på Figur 4 og van Veen grabb (1 stasjon). Disse er brukt på stasjoner hvor det ikke har vært mulig å bruke multicoreren på grunn av fare for skade på utstyret på grunn av bunnforholdene.

Tabell 1. Prøvetakingsstasjoner med analyserte sedimentprøver.

Stasjon	Område	Geografiske koordinater (WGS 84)		Havdyp [m]	Prøvetaker	Kjernelengde [cm]
		Nord	Øst			
Tokt 2013-205						
R0932BX030	Storegga	64 06.51	005 43.69	630.6	Boxcorer	22,0
R0942BX026	Storegga	64 24.30	005 34.17	826.4	Boxcorer	34,0
R0973BX025	Storegga	64 34.35	005 40.41	660.2	Boxcorer	30,0
R1080BX010	Skjoldryggen	66 12.55	007 00.20	365.5	Boxcorer	28,5
R1093MC001	Skjoldryggen	65 57.30	005 50.70	607.9	Multicorer	48,0
R1096MC002	Skjoldryggen	65 56.83	006 30.90	361.4	Multicorer	31,0
R1114MC003	Skjoldryggen	65 37.81	005 34.01	620.0	Multicorer	34,0
R1119MC004	Skjoldryggen	65 30.54	005 34.01	428.1	Multicorer	35,0
R1129MC005	Skjoldryggen	65 17.43	006 16.90	355.3	Multicorer	22,5
R1133MC006	Skjoldryggen	65 10.17	005 56.07	539.0	Multicorer	41,0
Tokt 2013-110						
R1137MC009	TOO	72 34.79	032 22.20	270.0	Multicorer	32,0
R1139MC010	TOO	72 18.87	032 20.70	314.2	Multicorer	33,0
R1146MC011	TOO	72 06.78	034 19.68	288.6	Multicorer	41,0
R1165MC012	TOO	71 46.83	033 31.86	330.3	Multicorer	43,0
R1174MC013	TOO	71 37.11	032 13.19	296.4	Multicorer	32,0
R1180MC014	TOO	71 36.86	032 59.89	304.6	Multicorer	32,0
R1186MC015	TOO	71 25.43	032 52.03	282.7	Multicorer	32,0
R1200MC016	TOO	70 51.54	032 31.33	250.3	Multicorer	30,0
R1205MC017	TOO	70 34.89	032 16.64	297.3	Multicorer	26,0
R1213MC018	TOO	70 46.76	030 43.41	378.3	Multicorer	36,0
Tokt 2013-112						
R0889MC025	Kristiansund-Halten	64 17.50	008 47.73	457.0	Multicorer	34,0
R0898MC023	Kristiansund-Halten	63 57.85	008 04.67	330.5	Multicorer	20,0
R0911MC022	Kristiansund -Halten	63 33.17	007 24.50	328.7	Multicorer	29,0
R0949MC028	Iverryggen	65 09.70	009 20.99	316.0	Multicorer	38,0
R0961MC024	Sularyggen	64 10.19	008 05.84	345.4	Multicorer	40,0
R1257GR681	Ytre Mørebankene	62 53.19	004 17.90	671.6	van Veen grabb	10,0
R1261MC020	Ytre Mørebankene	63 01.88	004 41.10	767.5	Multicorer	49,0
R1271MC021	Ytre Mørebankene	63 18.72	005 05.72	1059.1	Multicorer	38,0
R1284MC027	Vikna	64 48.26	010 07.15	370.8	Multicorer	42,0



Figur 1. Stasjonene fra 2013 er vist med stasjonsnummer. De øvrige MAREANO stasjonene fra 2006-2012 samt stasjoner i Barentshavet fra 2003 og 2004 er også vist. Områdene kartlagt i 2013 omfatter Ytre Mørebankene, Kristiansund-Halten, Sularyggen, Vikna, Iverryggen, Storegga og Skjoldryggen i Norskehavet, samt tidligere omstridt område (TOO) i Barentshavet.

Figur 2. Sedimentkjerne tatt med multicorer på stasjon R1146 i TOO. Denne sedimentkjernen er 41 cm lang, og det ble tatt prøver til kjemiske analyser og datering gjennom hele kjernen.

Figur 3. Toppen av sedimentkjerne "A" fra stasjon R1146MC011, før sedimentkjernen deles opp i 1 cm skiver.

Figur 4. Stepan Boitsov (HI) setter ned 3 rør i boxcorer for uttak av sedimentkjerner. Biologene tar også ut prøver fra boxcorer (sedimentrørene med gule lokk). Dette gir best mulig utnyttelse av sedimentprøvene.

3. DATA OG METODIKK

Det ble gjennomført skiving av kjernene ombord for hver centimeter. Prøvetakingsrøret har en indre diameter på 106 mm. Sedimentkjernene presses ut av røret v.h.a. et stempel. Figur 4 viser toppen av en sedimentkjerne som blir presset ut, klar for prøvetaking (0-1 cm). Prøvene ble pakket i polyetylenposer med ziplås før innfrysing til ÷18 ºC.

Figur 5. Toppen av en multicorerkjerne fra stasjon R1096MC002 nord på Skjoldryggen i Norskehavet. Sedimentene i toppsjiktet består her av siltholdig sand. En centimeter tykke sedimentskiver tas ut til analyse av organisk karbon, sedimentkornstørrelse og metaller.

Frysetørking og uttak til følgende analyser ble gjennomført ved NGU Lab:

- Bestemmelse av organisk karbon (TS, TC og TOC) ved hjelp av Leco.
- Innvekt 1,0 g til HNO_3-ekstraksjon etter NS 4770 for påfølgende analyse med ICP-AES og AAS.

Det er brukt varierende prøvemengde for våtsikting med sikteåpning 16, 8, 4, 2 og 1 mm, samt 500, 250, 125 og 63 µm (avhengig av antatt kornstørrelsesfordeling). Fraksjonen mindre enn 2 mm er så analysert for kornstørrelse med Coulter laserdiffraksjon, slik at kornfordelingskurve kan beregnes

for kornstørrelse ned til 0,4 µm. Siktefraksjonene er bevart. Vedlegg 1 gjengir analyserapporten fra NGU Lab i sin helhet. Analyserapporten inneholder ytterligere opplysninger om analysemetoder og -kvalitet. Prøver til dateringsanalyser ble tatt ut fra de samme sedimentkjernene som prøver til uorganisk kjemisk analyse nevnt ovenfor i dette avsnittet.

4. KVALITETSKONTROLL

For kvalitetskontroll av de uorganiske kjemiske analysene er det satt inn sedimentprøver fra Trondheimsfjorden (Hynne) og en standard prøve fra Nordkyn i Finnmark i prøvesettet. Det er gjennomført i alt 15 parallelle analyser av hver av de to innsatte sedimentprøvene. Analyseresultatene er presentert sammen med de øvrige resultatene i Vedlegg 1.

5. RESULTATER

Geokjemiske data fra samtlige analyser finnes i Vedlegg 1 og 2. I de fleste sammenhenger benyttes konsentrasjonsenheten mg/kg sediment. For å kunne operere med datasett (statistikk og kart) for alle observasjoner er alle analyseresultater rapportert som "< deteksjonsgrense" satt til verdien 0,5 × deteksjonsgrensen for det gjeldende stoff.

5.1 Sedimentklassifikasjon og beregning av vektprosent karbonat

NGU har etablert en sedimentklassifikasjon (Bøe m. fl., 2010) (revidert/oppdatert i 2014. Deler av sedimentklassifikasjonen relevant for MAREANO er presentert i Tabell 2.

Tabell 2. Sedimentklassifikasjon og kornstørrelser. Klassifikasjonen er i henhold til NGUs sedimentklassifikasjon.

Kornstørrelse	Definisjon/beskrivelse
Leir	Leir:silt > 2:1 og leir+silt > 90 %, sand < 10 %, grus < 2%
Organisk slam	Leir:silt fra 1:2 til 2:1 og leir+silt > 90 %, sand < 10 %, grus < 2 %. Høyt innhold av organisk material
Slam	Leir:silt fra 1:2 til 2:1 og leir +silt > 90 %, sand < 10%, grus < 2%.
Sandholdig leir	Leir+silt > 2:1 og leir+silt > 50 %, sand < 50 %, grus < 2 %.
Sandholdig slam	Leir:silt = fra 1:2 til 2:1 og leir+silt > 50%, sand < 50%, grus < 2%.
Silt	Leir:silt < 1:2 og leir+silt > 90 %, sand < 10%, grus < 2 %.
Sandholdig silt	Silt:leir >2:1 og leir+silt > 50 %, sand < 50 %, grus < 2 %.
Leirholdig sand	Sand > 50 %, leir:silt > 2:1 og leir+silt < 50 %, grus < 2 %.
Slamholdig sand	Sand > 50 %, leir:silt = fra 1:2 til 2:1og leir+silt < 50 %, grus < 2 %.
Siltholdig sand	Sand > 50 %, silt:leir > 2:1 og leir+silt < 50 %, grus < 2 %.
Fin sand	Sand > 90 %, inkluderer fin og veldig fin sand (Wentworth, 1922).
Sand	Sand > 90 %, leir+silt < 10 %, grus < 2 %.
Grov sand	Sand > 90 %, inkluderer medium, grov og veldig grov sand (Wentworth, 1922).
Grusholdig slam	Sand:silt+leir < 1:9, grus 2 – 30 %.
Grusholdig sandholdig slam	Sand:silt+leir fra 1:9 til 1:1, grus 2 – 30 %.

Grusholdig slamholdig sand	Sand:silt+leir fra 1:1 til 9:1, grus 2 – 30 %.
Grusholdig sand	Sand:silt+leir > 9:1, grus 2 – 30 %.
Slamholdig grus	Grus 30 – 80 %, sand:silt+leir < 1:1.
Slamholdig sandholdig grus	Grus 30 – 80 %, sand:silt+leir fra 1:1 til 9:1.
Sandholdig grus	Grus 30 – 80 %, sand:silt+leir>9:1.
Grus	Grus > 80 %.
Grus, stein og blokk	Dominans av grus, stein og blokk.
Stein og blokk	Dominans av stein og blokk.
Sand og blokk	Dominans av sand og blokk.
Diamikton	Sediment med blandede kornstørrelser og dårlig sortering.

Innholdet av karbonat i sedimentene beregnes fra analyser med LECO, og gjøres ut fra antakelsen om at karbon (C) som ikke er av organisk opprinnelse er bundet i karbonat ($CaCO_3$). Karbonatverdier i vektprosent beregnes fra følgende formel:

$$(TC - TOC) \times (CaCO_3/C) = (TC - TOC) \times 8{,}33$$

TC er innholdet av totalt karbon, mens TOC er innhold av total organisk karbon.

Karbonat i sedimentene antas å ha opprinnelse i biologisk materiale – i hovedsak skjell fra mikroorganismer og større bunnlevende dyr, for eksempel foraminiferer, kråkeboller og koraller.

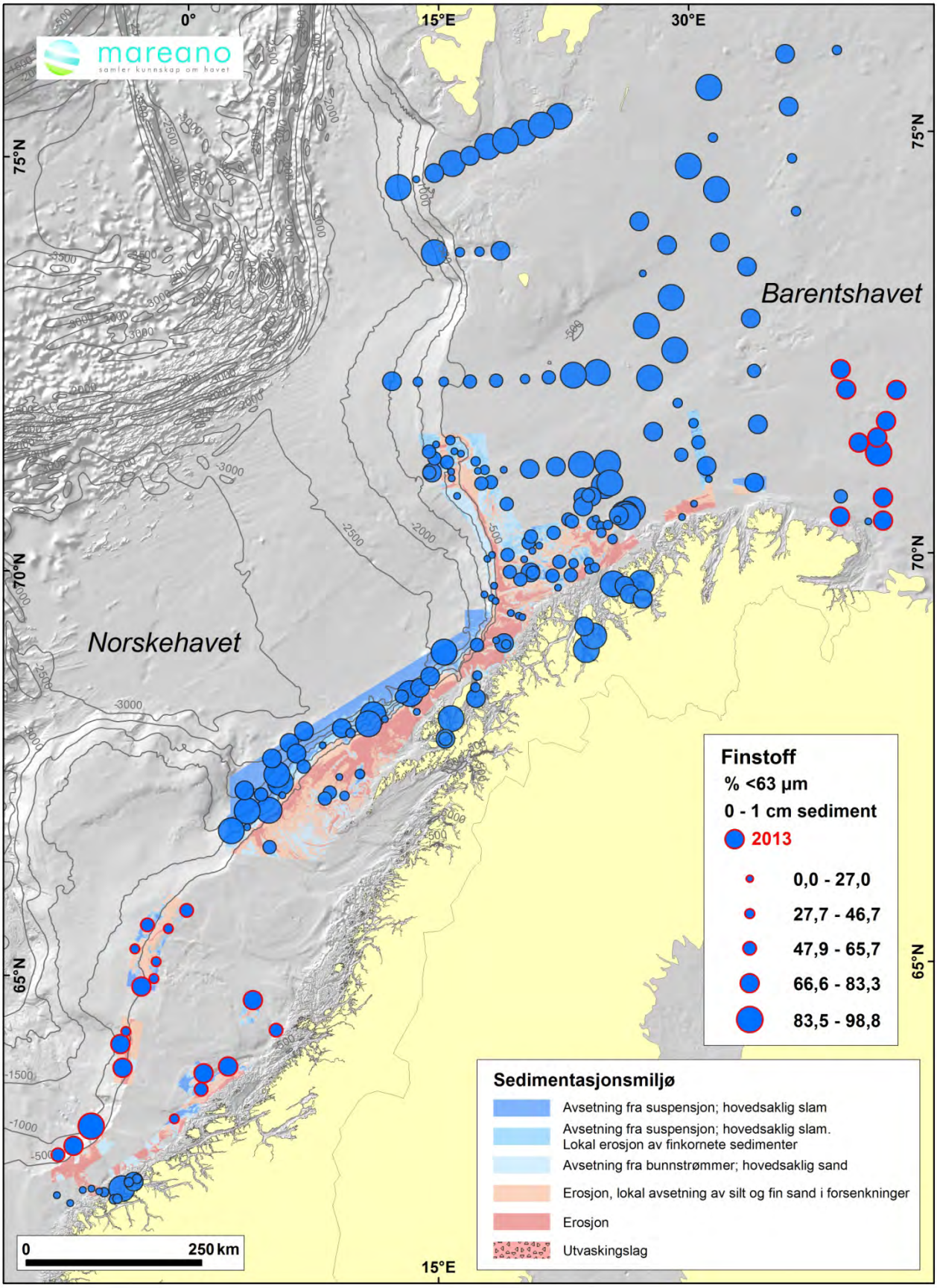
5.2 Overflateprøver (0-1 cm)

De geokjemiske resultatene for overflateprøvene (0-1 cm) presenteres for å få oversikt over dagens miljøtilstand. Parametrene som presenteres her er sedimentenes andel finstoff, innhold av TOC, innhold av karbonat og innholdet av tungmetallene kadmium (Cd), kobber (Cu), krom (Cr), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni), bly (Pb) og sink (Zn), samt elementene arsen (As) og barium (Ba). Kart for de nevnte parametrene finnes i Vedlegg 3. I tillegg er utvalgte prøver fra 11 stasjoner analysert for innhold av tributyltinn (TBT) ved Eurofins Norsk Miljøanalyse AS (Vedlegg 2). I tillegg presenteres radioaktiv ^{137}Cs, som blir analysert i forbindelse med dateringsanalysene utført på sedimentkjerner fra utvalgte stasjoner.

5.2.1 Kornstørrelsesfordeling, organisk karbon, karbonat og svovel

I utgangspunktet er prøvetaking for miljøanalyser gjennomført i områder med finkornige sedimenter. De fleste prøvetakingsstasjonene er valgt ut før tokt på bakgrunn av blant annet multistråledata (dybde og bunnreflektivitet). Metodikken for geologisk havbunnskartlegging er gitt i Bøe m. fl. (2010). Prøvetaking planlegges der en forventer at det avsettes slamholdige sedimenter, typisk i dype områder eller områder skjermet mot sterke havstrømmer. Andel finstoff (<63µm) i overflateprøvene er vist i Figur 6. Tabell 2 viser sedimentklassifikasjonen som er brukt for beskrivelse av overflateprøvene.

TOO er i stor grad dekket av pockmarks, hvilket betyr at det har vært utlekking av væsker og/eller gasser fra havbunnen. Pockmark er kun dannet der havbunnen består av sedimenter med høyt slaminnhold. Diameteren kan variere fra noen få meter til flere titalls meter, mens dybden er opptil noen få meter. Prøvetaking i slike områder er beskrevet fra Ingøydjupet (Jensen m. fl., 2007). Prøvene fra TOO består i stor grad av sandholdig silt med relativ liten variasjon i kornstørrelsesfordeling (Tabell 3). Fem av syv stasjoner på Skjoldryggen består av siltholdig sand, mens de to nordligste stasjonene består av sandholdig silt.

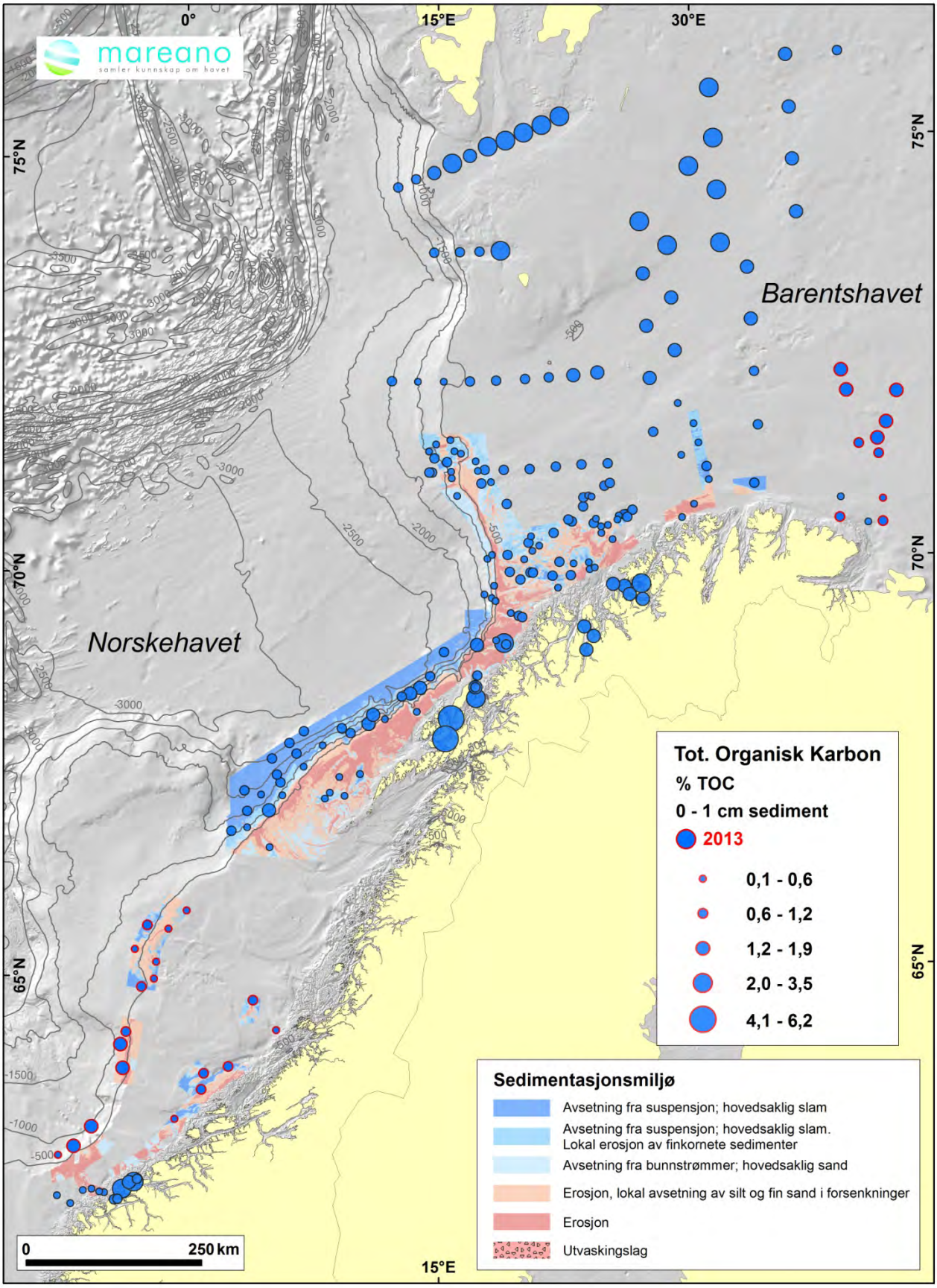


Figur 6. Andel finstoff (<63µm) i overflateprøvene. Prøvene fra 2013 er markert med rød ring.

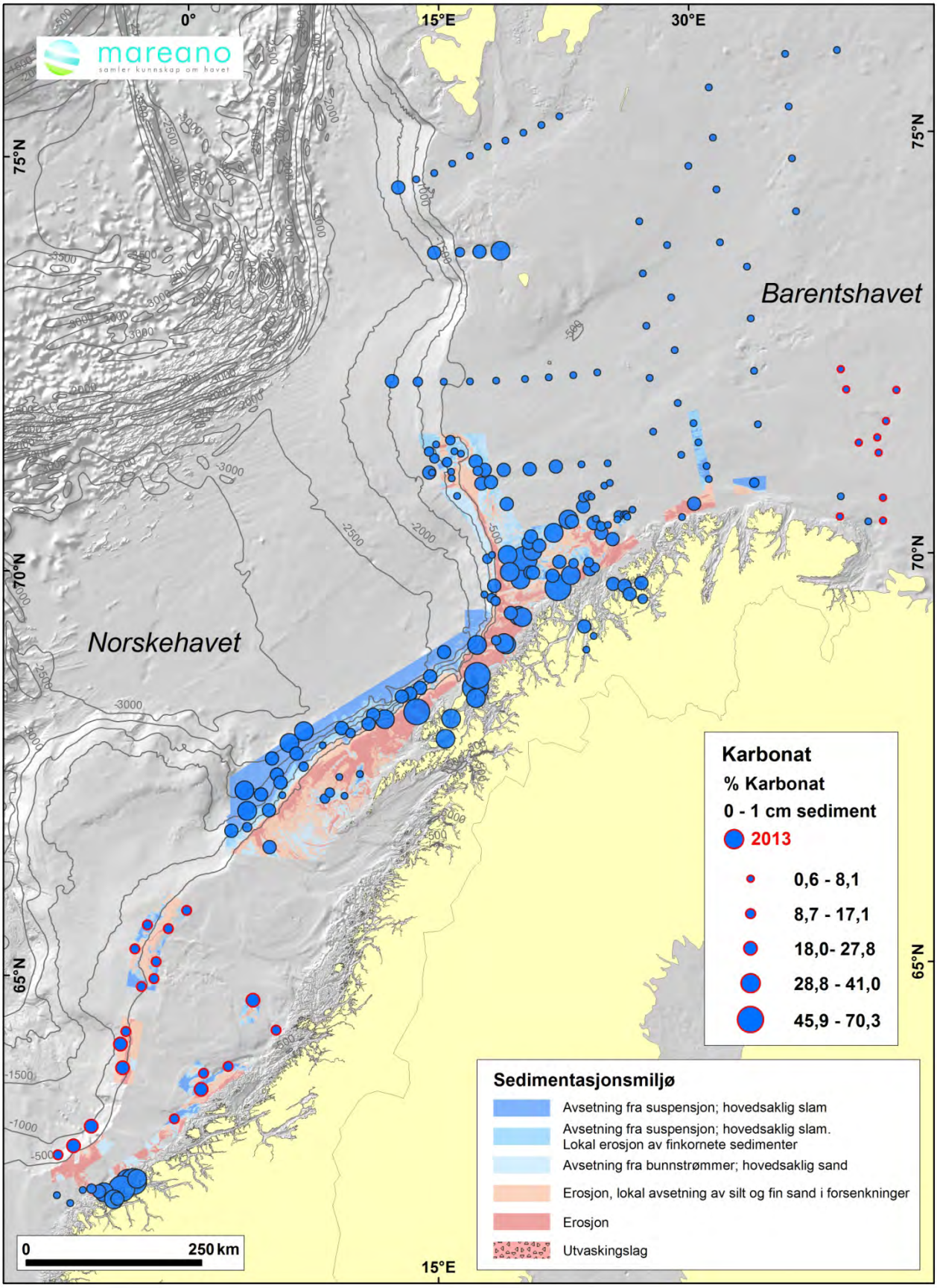
Tabell 3. Kornstørrelsesfordeling og sedimentklassifikasjon for overflateprøvene (0-1 cm dybde).

Stasjon	Område	Leir < 2 µm [%]	Silt 2- 63 µm [%]	Finnstoff <63µm [%]	Sand 63-2000 µm [%]	Grus >2000 µm [%]	NGU sediment Klassifikasjon
R1137MC009	TOO	9.3	72.9	82.2	17.8	0,0	Sandholdig silt
R1139MC010	TOO	7.4	65.7	73.1	26.9	0,0	Sandholdig silt
R1146MC011	TOO	7.0	64.3	71.2	28.8	0,0	Sandholdig silt
R1165MC012	TOO	7.0	72.9	79.8	20.2	0,0	Sandholdig silt
R1174BX038	TOO	6.9	71.4	78.3	21.7	0,0	Sandholdig silt
R1180MC014	TOO	7.1	76.1	83.2	16.8	0,0	Sandholdig silt
R1186MC015	TOO	6.9	76.7	83.5	16.5	0,0	Sandholdig silt
R1200MC016	TOO	7.4	73.7	81.1	18.9	0,0	Sandholdig silt
R1205MC017	TOO	6.6	65.6	72.2	27.8	0,0	Sandholdig silt
R1213MC018	TOO	6.7	67.7	74.4	25.6	0,0	Sandholdig silt
R0889MC025	Norskehavet	6.5	66.0	72.5	27.5	0.0	Sandholdig silt
R0898MC023	Norskehavet	5.1	57.7	62.8	37.2	0.0	Sandholdig silt
R0911MC022	Kristiansund – Halten	3.9	36.9	40.8	59.2	0.0	Siltholdig sand
R0932BX030	Storegga	11.1	63.5	74.6	25.4	0.0	Sandholdig silt
R0942BX026	Storegga	10.9	69.1	80.0	20.0	0.0	Sandholdig silt
R0949MC028	Iverryggen	7.2	71.6	78.8	21.2	0.0	Sandholdig silt
R0961MC024	Sularyggen	7.2	73.6	80.8	19.2	0.0	Sandholdig silt
R0973BX025	Sularyggen/ Storegga	6.3	39.4	45.7	54.3	0.0	Siltholdig sand
R1080BX010	Skjoldryggen	4.5	46.6	51.1	48.9	0,0	Sandholdig silt
R1093BX014	Skjoldryggen	6.9	48.6	55.5	44.5	0,0	Sandholdig silt
R1096MC002	Skjoldryggen	2.8	26.2	29.0	71.0	0,0	Siltholdig sand
R1114MC003	Skjoldryggen	4.9	39.2	44.1	55.9	0,0	Siltholdig sand
R1119MC004	Skjoldryggen	2.6	37.1	39.7	60.3	0,0	Siltholdig sand
R1129MC005	Skjoldryggen	3.5	37.2	40.7	59.3	0,0	Siltholdig sand
R1133MC006	Skjoldryggen	8.1	58.3	66.4	33.6	0,0	Siltholdig sand
R1257GR681	Ytre Møreb.	6.1	47.0	53.1	46.9	0.0	Sandholdig silt
R1261MC020	Ytre Møreh.	10.2	69.5	79.7	20.3	0.0	Sandholdig silt
R1271MC021	Ytre Møreb.	10.6	77.3	87.9	12.1	0.0	Sandholdig silt
R1284MC027	Vikna	4.8	44.8	49.5	50.5	0.0	Siltholdig sand

TOC i overflateprøvene er presentert i Figur 7. TOC varierer fra 0,56 til 1,79 vekt % i TOO, med de laveste TOC-verdiene på stasjonene nærmest land mot sør og de høyeste TOC verdiene i prøvene lengst mot nord (Figur 7). De 19 prøvene fra Norskehavet (kontinentalsokkel og kontinentalskråning) har TOC-nivåer fra 0,30 til 1,32 vekt %, med de høyeste TOC-verdiene på skråningen (R126MC0201, 768 m havdyp). Det er lave TOC-nivåer i prøvene på kontinentalsokkelen, alle mindre enn 1,0 vekt %. Nivåene er litt høyere på kontinentalskråningen (Figur 7) og for prøvene på størst dyp, noe som er i godt samsvar med tidligere analyserte prøver fra Nordland VI (Jensen m. fl., 2013). De 7 prøvene fra Skjoldryggen har generelt lave TOC-verdier fra 0,30 til 0,66 vekt %.

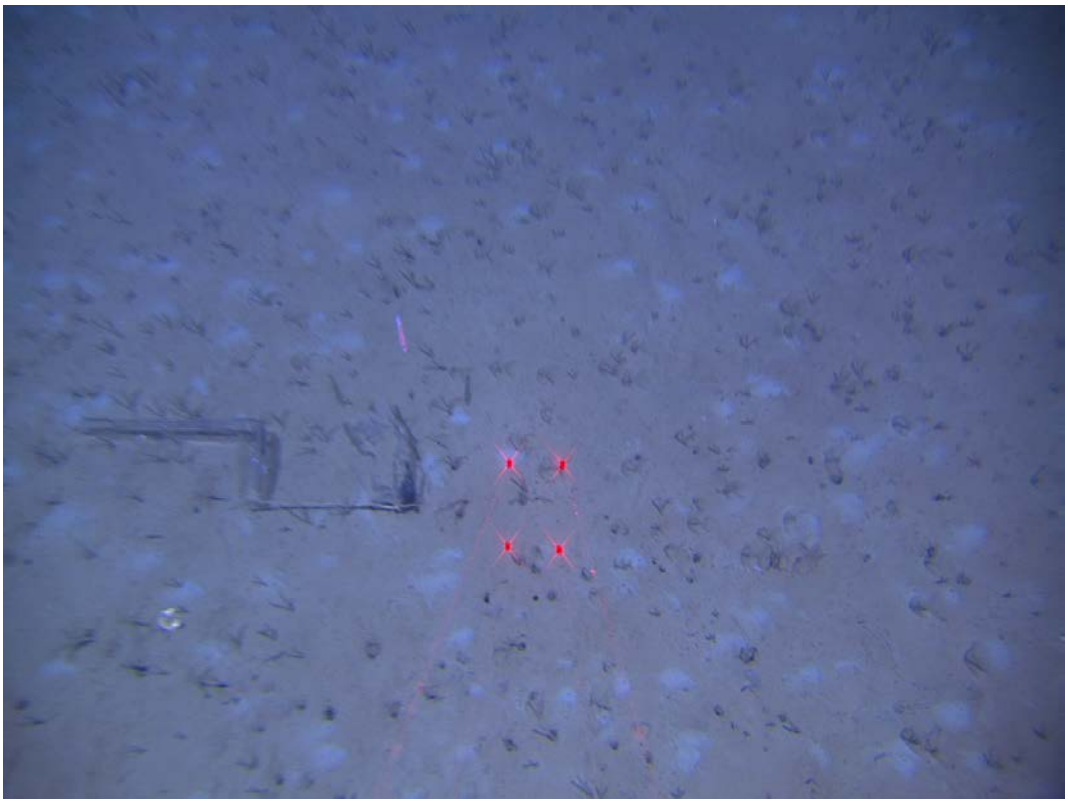


Figur 7. TOC i overflateprøver. Prøvene fra 2013 er markert med rød ring.



Figur 8. Innhold av karbonat i overflateprøvene (vekt %). Prøvene fra 2013 er markert med rød ring.

Innholdet av karbonat (antatt å være av biologisk opprinnelse) varierer betydelig (Figur 8). I TOO er det lave karbonatverdier, fra 2,9 vektprosent til 6,0 vektprosent. Den lave andelen karbonat kan forklares med at kalkskallene løses opp når organismene dør. Alternativt kan det skyldes at det finnes færre kalkdannende organismer i disse havområdene sammenlignet med havområdene lengre mot vest og sør (Figur 8) (Steinsund og Hald, 1993). De 19 prøvene fra Norskehavet har karbonatverdier fra 10,8 til 23,7 vektprosent, med høyeste konsentrasjoner på R1261MC020 og R1271MC021 (begge stasjoner på skråningen), mens det er lavere konsentrasjoner på stasjonene på sokkelen ved Skjoldryggen. Høy TOC og høyt karbonatinnhold tyder på en relativ høy biologisk produktivitet og bedre bevaring av organisk karbon på lokalitetene R1261MC020 og R1271MC021. Innholdet av total svovel i sedimentene er relativt stabilt i prøvene fra TOO, varierende fra 0,10 til 0,19 vekt %. S-innholdet i sedimentprøvene fra de 19 Norskehavsstasjonene varierer betydelig mer, fra 0,06 til 0,26 vekt %, med de høyeste verdiene på de to stasjonene på skråningen (R1261MC020 og R1271MC021). De relativt høye S-verdiene kan tyde på sulfatreduserende forhold dypere i sedimentene. Figur 9 viser videoopptak av overflatesedimenter på stasjon R1271MC021.



Figur 9. Videobilde av sedimentoverflaten på stasjon R1271MC021 (kontinentalskråningen utenfor Ytre Mørebankene, 1059 m havdyp). Avstanden mellom de røde laserprikkene er 10 cm. Sedimentene består av sandholdig silt. Mørke centimeter-store prikker er graveganger i sedimentene. Punktene med lysere sedimenter på overflaten er også et resultat av bioturbasjon. Søppel på havbunnen ses til venstre for laserprikkene. Sedimenter fra denne stasjonen er tatt ut til kjemiske analyser. Bilde er tatt med videoriggen "Chimera".

5.2.2 Innhold av tungmetaller, arsen, barium og tributyltinn (TBT)

Det er analysert for tungmetallene bly (Pb), kadmium (Cd), kobber (Cu), krom (Cr), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni), sink (Zn), samt arsen (As) i overflateprøvene fra samtlige 29 prøvetakingsstasjoner, og tributyltinn (TBT) på 9 av de 29 prøvetakingsstasjonene. Tungmetall- og arsenkonsentrasjonene i sedimentprøvene er sammenlignet med Miljødirektoratets klassifikasjonssystem for forurensingsnivåer i sedimenter i kyst- og fjordområder (Molvær m. fl., 1997; SFT, 2007). Klassifikasjonssystemet er delt inn i følgende klasser:

Klasse I: bakgrunn; klasse II: god; klasse III: moderat; klasse IV: dårlig; klasse V: svært dårlig

Barium (Ba) er også inkludert selv om Ba ikke er et toksisk element. Olsgård og Gray (1995) og Rye (1996) har rapportert om utslipp av barytt fra norsk offshorevirksomhet i Nordsjøen. Ba i sedimenter i Skagerrak er rapportert, og de forhøyede verdiene øverst i havbunnen er tolket som tilførsel av barium fra boreslam brukt i Nordsjøen og transportert med havstrømmer til Skagerrak (Sæther m. fl., 1996; Thorsnes og Klungsøyr, 1997; Lepland m. fl., 2000). Dehairs m.fl.(1980) og Nuernberg m. fl. (1997) beskriver andre prosesser for forekomst av Ba i sedimenter; det dannes små baryttkrystaller i mikronisjer i organisk materiale som brytes ned i vannsøylen, spesielt i områder med høy biologisk produktivitet. Kart som viser konsentrasjoner av tungmetallene, arsen og barium i overflatesedimentene finnes i Vedlegg 3. Radioaktivt ^{137}Cs er rapportert for overflateprøvene. ^{137}Cs blir analysert sammen med den radioaktive isotopen ^{210}Pb, som brukes for datering av sedimentkjerner (avsnitt 5.4.)

Arsen (As)

As-konsentrasjonene varierer fra 2,7 til 19,1 mg/kg tørrvekt sediment (TS) for de 10 prøvene fra TOO, med høyst konsentrasjon i prøve R1137MC009 og lavere konsentrasjoner lengre mot sør. De 19 prøvene fra Norskehavet varierer fra 2,3 til 13,3 mg/kg, med høyest konsentrasjon i R0932BX030 og R0942BX026. Alle prøvene er i tilstandsklasse I (bakgrunn) i Miljødirektoratets klassifikasjon av kyst- og fjordsedimenter.

Bly (Pb)

Pb-konsentrasjonen i overflatesedimentene varierer fra 7,9 til 18,4 mg/kg (Figur 10) for de 10 stasjonene fra TOO, med størst konsentrasjon i R1137MC009 lengst mot nord. De 19 stasjonene fra Norskehavet har Pb-konsentrasjoner fra 6,6 til 28,8 mg/kg. R1261MC020 har den høyeste konsentrasjonen; denne stasjonen ligger på skråningen utenfor Ytre Mørebankene (767 m havdyp). Samtlige 29 sedimentprøver har Pb-konsentrasjoner i tilstandsklasse I for kyst- og fjordsedimenter (I: <30 mg/kg). (Figur 10).

Kadmium (Cd)

Cd-konsentrasjonene varerier fra 0,04-0,09 mg/kg sediment i TOO. Den høyeste konsentrasjon i TOO er på stasjon R1137MC009. Det er generelt høyere Cd-konsentrasjoner på stasjonene lengst nord i TOO. De 19 stasjonene i Norskehavet har Cd-konsentrasjoner fra 0,04 til 0,12 mg/kg sediment, med høyest konsentrasjon på stasjon R0932BX030. Samtlige 29 stasjoner har konsentrasjoner i tilstandsklasse I - bakgrunn (< 0,25mg/kg sediment).

Kobber (Cu)

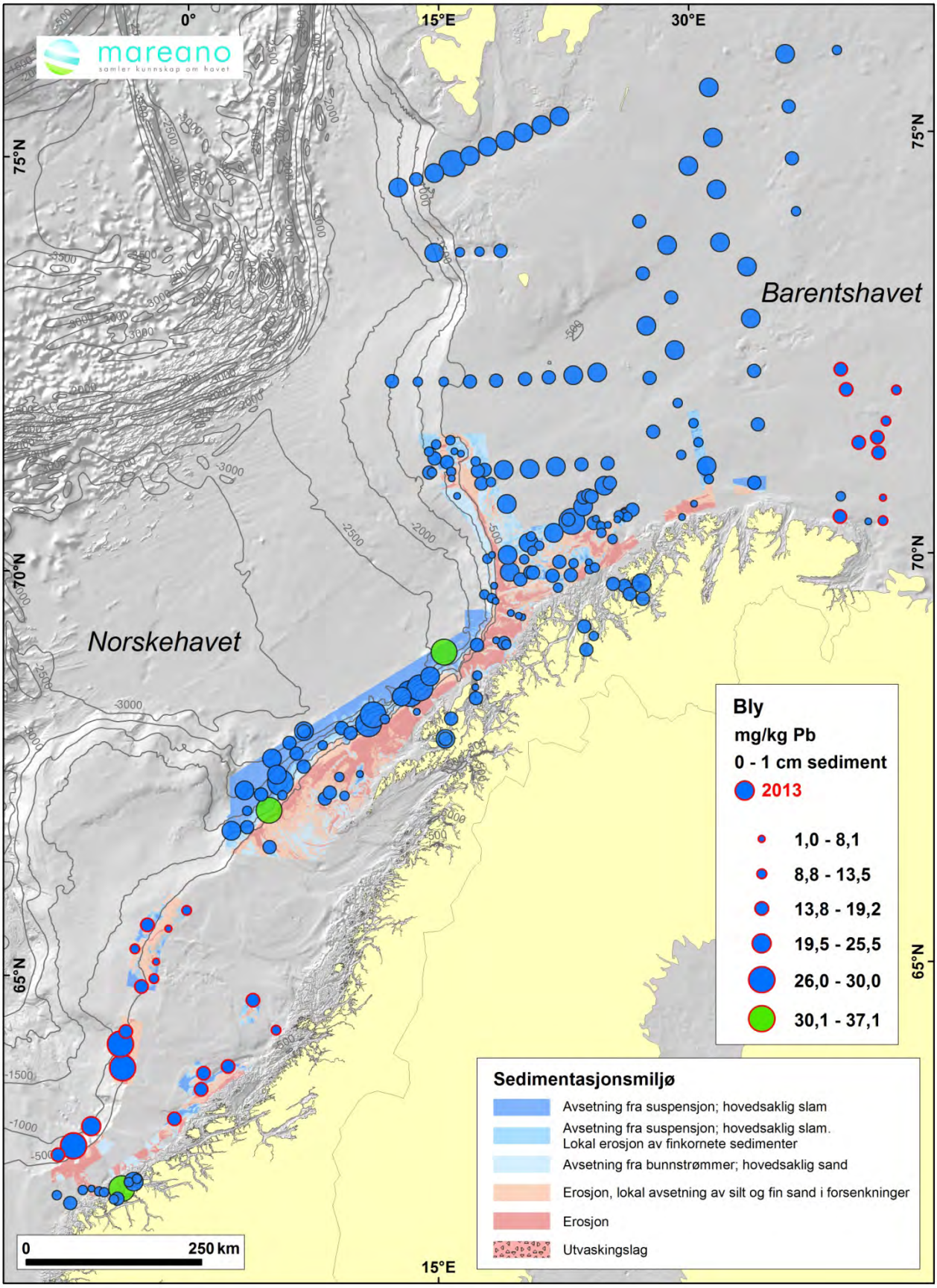
Stasjonene i TOO har Cu-konsentrasjoner fra 11,9 til 27,4 mg/kg sediment. Stasjon R1137MC009, har høyest konsentrasjon, mens de øvrige 9 stasjonene har stabilt lave konsentrasjoner fra 11,9 til 14,1 mg/kg sediment. Prøvene fra Norskehavet har Cu-konsentrasjoner fra 3,2 til 18,8 mg/kg sediment, med den høyeste konsentrasjonen på stasjon R1271MC021 på skråningen. Samtlige overflateprøver fra TOO og Norskehavet har konsentrasjoner i tilstandsklasse I - bakgrunn (< 35 mg/kg sediment).

Krom (Cr)

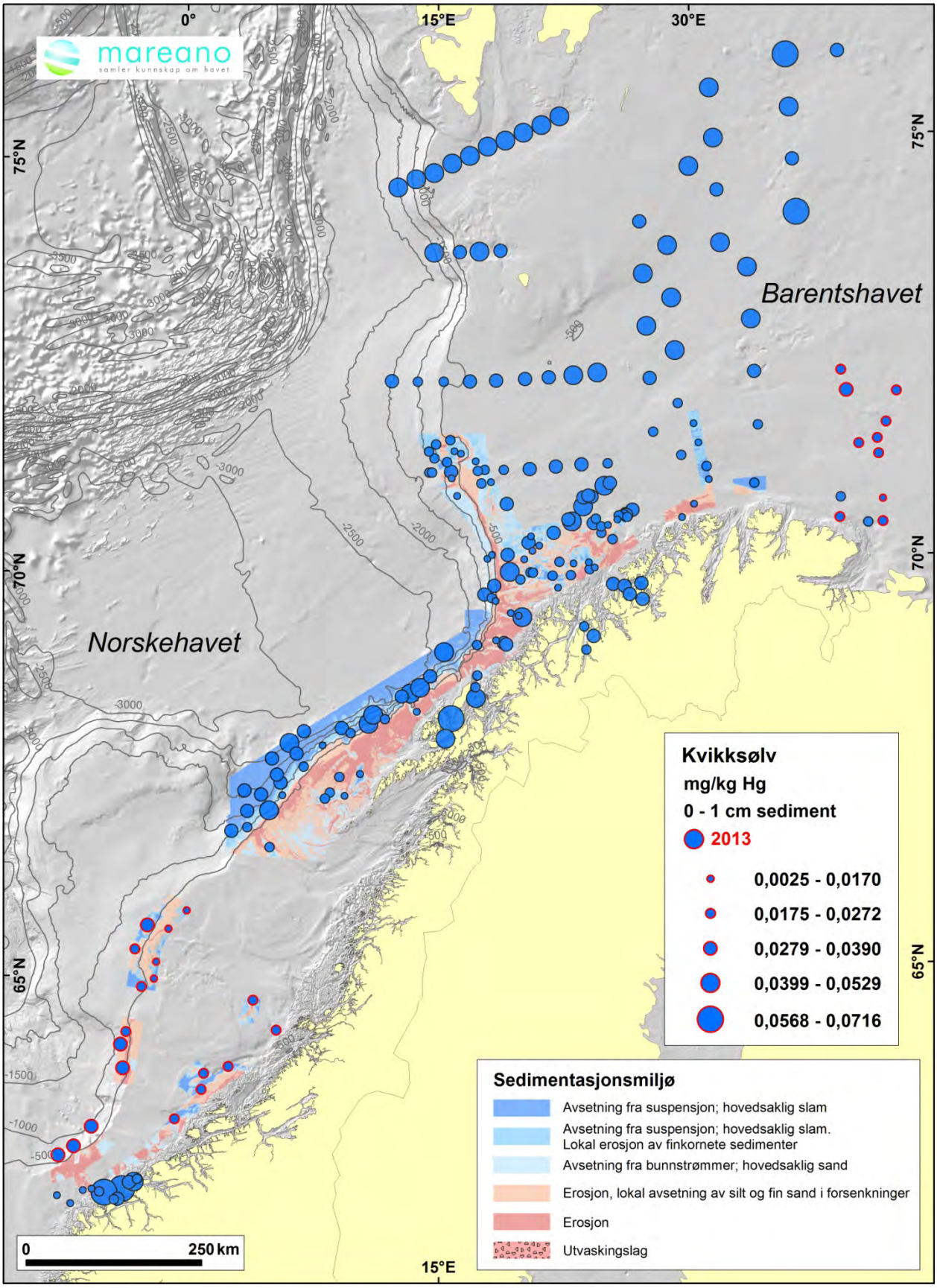
TOO har kromnivåer fra 33,8 til 41,4 mg/kg sediment. Den høyeste konsentrasjon er på stasjon R1200MC016. De 19 prøvene fra Norskehavet har Cr-nivåer fra 10,6 til 27,7 mg/kg sediment. Høyest konsentrasjon er på stasjon R0949MC028. Nivåene er således noe høyere i TOO sammenlignet med Norskehavet. Dette har sannsynligvis å gjøre med forskjellige kilder for Cr i de marine sedimentene. Samtlige overflateprøver fra TOO og Norskehavet har konsentrasjoner i tilstandsklasse I – bakgrunn for kyst og fjordsedimenter (< 70 mg/kg sediment).

Kvikksølv (Hg)

Hg i overflateprøvene er vist i Figur 11. De 10 sedimentprøvene fra TOO har Hg- konsentrasjoner fra 0,013 til 0,028 mg/kg, og høyest konsentrasjon i R1139 MC009. Det er generelt høyere Hg-konsentrasjoner på stasjonene lengst mot nord. R1200MC016 sør i TOO har lavest Hg-konsentrasjon med 0,013 mg/kg sediment. Dette skyldes at det ikke har vært sedimentasjon i moderne tid (se avsnitt 5.4). De 19 prøvene fra Norskehavet varierer fra 0,011 til 0,037 mg/kg. Stasjon R0942BX026 fra Storegga har høyest konsentrasjon. Stasjonene R1261MC020 og R1271MC021, begge på kontinentalskråningen utenfor Ytre Mørebankene, har også høye konsentrasjoner sammenlignet med gjennomsnittskonsentrasjonen på 0,23 mg/kg sediment. Hg-nivåene på Skjoldryggen er alle generelt lave. Samtlige 29 sedimentprøver er i tilstandsklasse I for fjord og kystsedimenter (<0,15 mg/kg sediment).



Figur 10. Pb-konsentrasjon i overflateprøver (0-1 cm). Grønnfargede sirkler angir tilstandsklasse II (30-83 mg/kg). Prøvene fra 2013 er markert med rød ring.



Figur 11. Hg i overflateprøvene (0-1 cm). Prøvene fra 2013 er markert med rød ring.

Nikkel (Ni)

Figur 12 viser Ni-konsentrasjon i overflateprøvene. De 10 prøvene fra TOO har ganske like Ni-verdier varierende fra 24,0 til 28,7 mg/kg sediment. Det er større variasjon for de 19 prøvene fra Norskehavet, varierende fra 8,2 til 27,2 mg/kg sediment, og med de laveste konsentrasjonene på Skjoldryggen. Alle prøvene fra 2013 har Ni-konsentrasjoner i tilstandsklasse I (< 30 mg/kg sediment).

Sink (Zn)

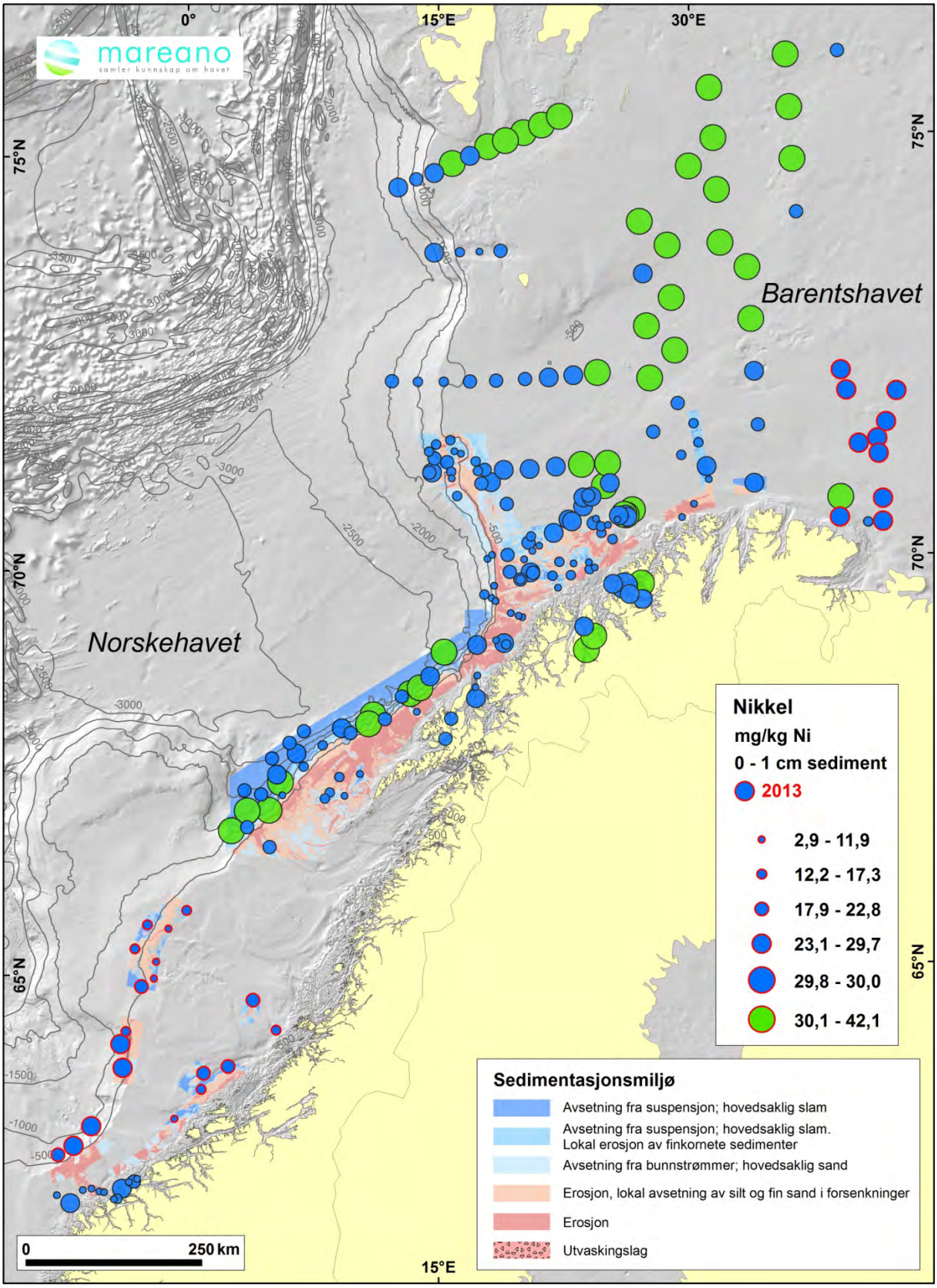
Sinkkonsentrasjonene varierer fra 57,2 mg/kg til 77,8 mg/kg på de 10 TOO-stasjonene, med høyst konsentrasjon på R1137MC009. De 19 prøvene fra Norskehavet har Zn-konsentrasjoner fra 19,6 til 62,1 mg/kg, og høyest konsentrasjon i R0942BX026. Samtlige 29 prøver har Zn konsentrasjoner i bakgrunnsnivå, klasse I (< 150 mg/kg sediment).

Barium (Ba)

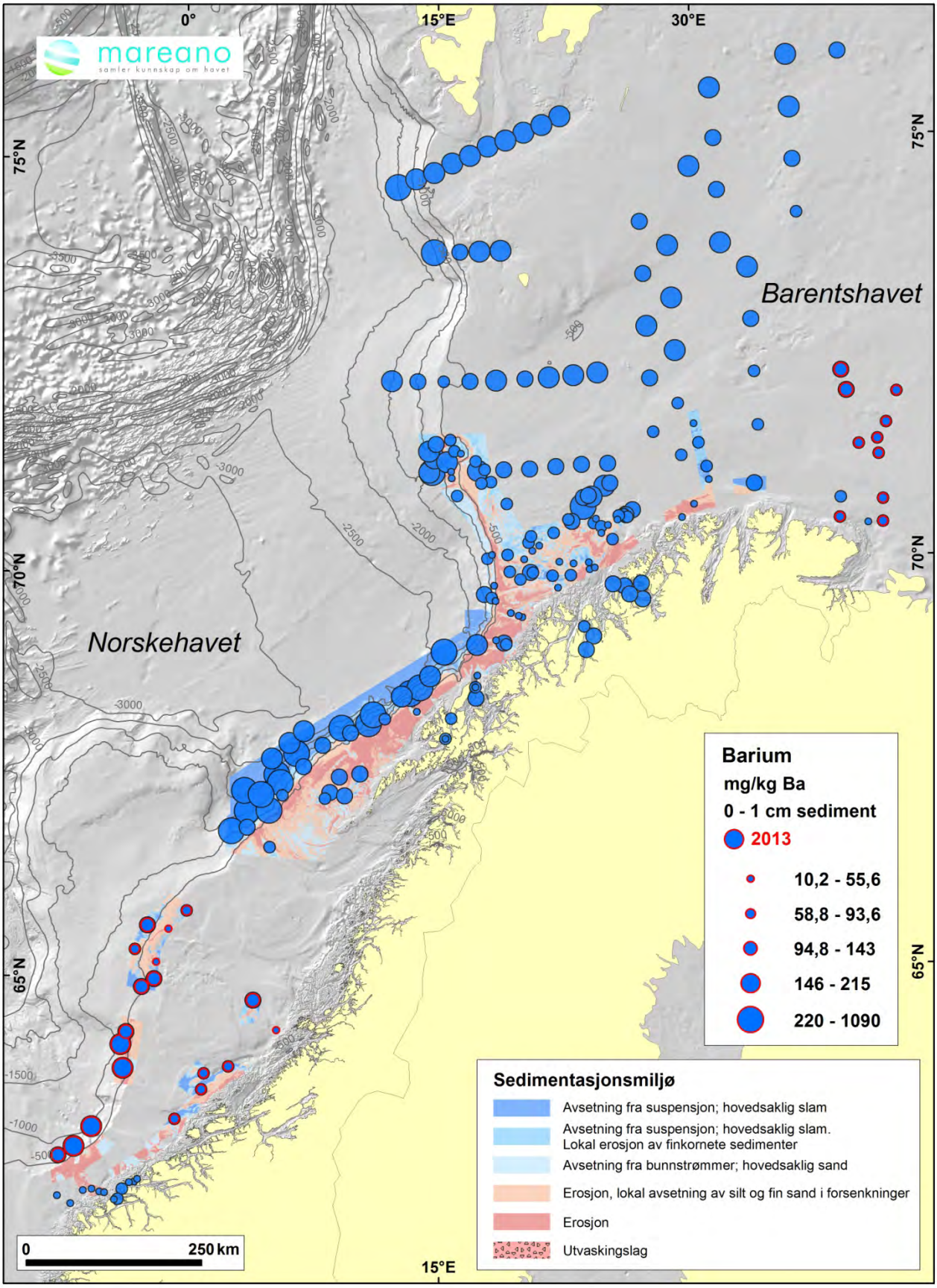
Ba analyseres for å vurdere om eventuelle utslipp fra olje- og gassboring kan spores til overflatesedimentene. De 10 prøvene fra TOO har Ba fra 73,6 til 104,0 mg/kg og med den høyeste konsentrasjonen i R1137MC009 lengst mot nord. De 19 prøvene fra Norskehavet har Ba-konsentrasjoner fra 41,5 til 215 mg/kg, og dermed betydelig større variasjon enn i TOO. De høyeste konsentrasjoner er på stasjonene R0932BX030, R0942BX026, R1261MC020 og R1271MC021, som alle har betydelig høyere konsentrasjoner enn de øvrige 15 stasjonene. Prøvene har omtrent samme konsentrasjon som tidligere analyserte prøver fra kontinentalsokkelen og kontinentalskråningen (Figur 13) rapportert i Jensen m. fl. (2007, 2008, 2009, 2010a, 2010b og 2011).

Tributyltinn (TBT)

TBT er et stoff som brukes for å hindre algevekst på skipsskrog, og er en meget toksisk, organisk tinnforbindelse (Braastad, 2000). Det er utført analyser på overflateprøver fra 9 stasjoner, hvorav 3 av stasjonene er fra TOO (R1146MC011, R1165MC012 og R1200MC016) og 6 prøver fra prøvetakingsstasjoner i Norskehavet (R889MC025, R898MC023, R942BX026, R949MC028, R961MC024, 1114MC003, R1261MC020). Resultatene viser at for samtlige stasjoner er analyseresultatene under deteksjonsgrensen på 1 µg/g sediment tørrvekt. Analyserapporten fra Eurofins Norge AS er presentert i Vedlegg 2.



Figur 12. Nikkel i overflateprøver. Blå punkt angir tilstandsklasse I for kyst- og fjordsedimenter. Grønne punkt angir tilstandsklasse II (30-46 mg/kg). Prøvene fra 2013 er markert med rød ring.



Figur 13. Barium i overflatesedimenter. Prøvene fra 2013 er markert med rød ring.

Cesium-137 (Cs^{137})

^{137}Cs er et menneskeskapt radioaktivt element. De viktigste kildene er utslippet fra Tsjernobyl (1986) og de atmosfæriske atomprøvesprengningene på 1950- og 1960-tallet. Resultatene fra ^{137}Cs er presentert på kart i Vedlegg 3. Det er generelt lave konsentrasjoner av ^{137}Cs i overflatesedimentene på de 8 analyserte stasjonene (R1114MC003, R889MC025, R942BX026, R949MC028 og R1261MC020 i Norskehavet, samt R1146MC011, R1165MC012 og R1200MC016 i TOO). Nivåene av ^{137}Cs er generelt høyere i prøvene på stasjonene i Norskehavet. ^{137}Cs er dessuten høyere i prøvene fra stasjonene lengst fra land både i Norskehavet og i TOO. Resultatene fra analysene av overflatesedimentene er oppsummert i Tabell 4, hvor tilstandsklassene for metallene og TBT er vist, samt antall prøver innenfor hver av tilstandsklassene for metallene og TBT.

Tabell 4. Forurensingsnivåer for metaller og arsen (29 stasjoner) og TBT (9 prøver) i henhold til Miljødirektoratets tilstandsklasser for marine overflatesedimenter. Uthevet skrift viser antall prøver i dybdeintervallet 0-1 cm i hver av klassene I-V.

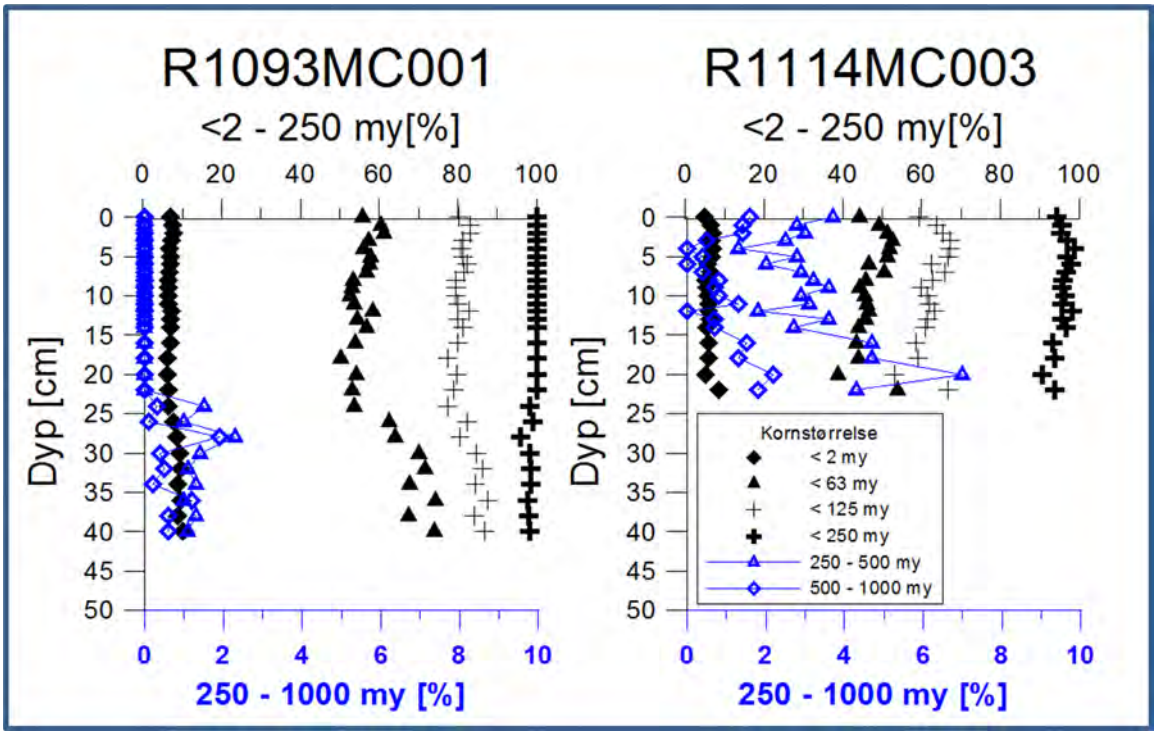
Parametere	Forurensingsnivåer				
	I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Arsen (mg/kg) As	<20 **28**	20 – 52 **1**	52 – 76 **0**	76 – 580 **0**	>580 **0**
Bly (mg/kg) Pb	<30 **29**	30 – 83 **0**	83 – 100 **0**	100 – 720 **0**	>720 **0**
Kadmium (mg/kg) Cd	<0,25 **29**	0,25 – 2,6 **0**	2,6 – 15 **0**	15 – 140 **0**	>140 **0**
Kobber (mg/kg) Cu	<35 **29**	35 – 51 **0**	51 – 55 **0**	55 – 220 **0**	>220 **0**
Krom (mg/kg) Cr	<70 **29**	70 – 560 **0**	560 – 5900 **0**	5900 – 59000 **0**	>59000 **0**
Kvikksølv (mg/kg) Hg	<0,15 **29**	0,15 – 0,63 **0**	0,63 – 0,86 **0**	0,86 – 1,6 **0**	>1,6 **0**
Nikkel (mg/kg) Ni	<30 **29**	30 – 46 **0**	46 – 120 **0**	120 – 840 **0**	>840 **0**
Sink (mg/kg) Zn	<150 **29**	150 – 360 **0**	360 – 590 **0**	590 – 4500 **0**	>4500 **0**
TBT (µg/kg)	<1 **9**	1 – 5 **0**	5 – 20 **0**	20 – 100 **0**	>100 **0**

5.3 Analyser av sedimentkjerner

5.3.1 Kornstørrelsesfordeling

Ni sedimentkjerner fra Norskehavet (Skjoldryggen, Storegga, Kristiansund-Halten, Sularyggen, Iverryggen og kontinentalskråningen utenfor Ytre Mørebankene), og syv sedimentkjerner fra TOO, Barentshavet er analysert for kornstørrelsesfordeling.

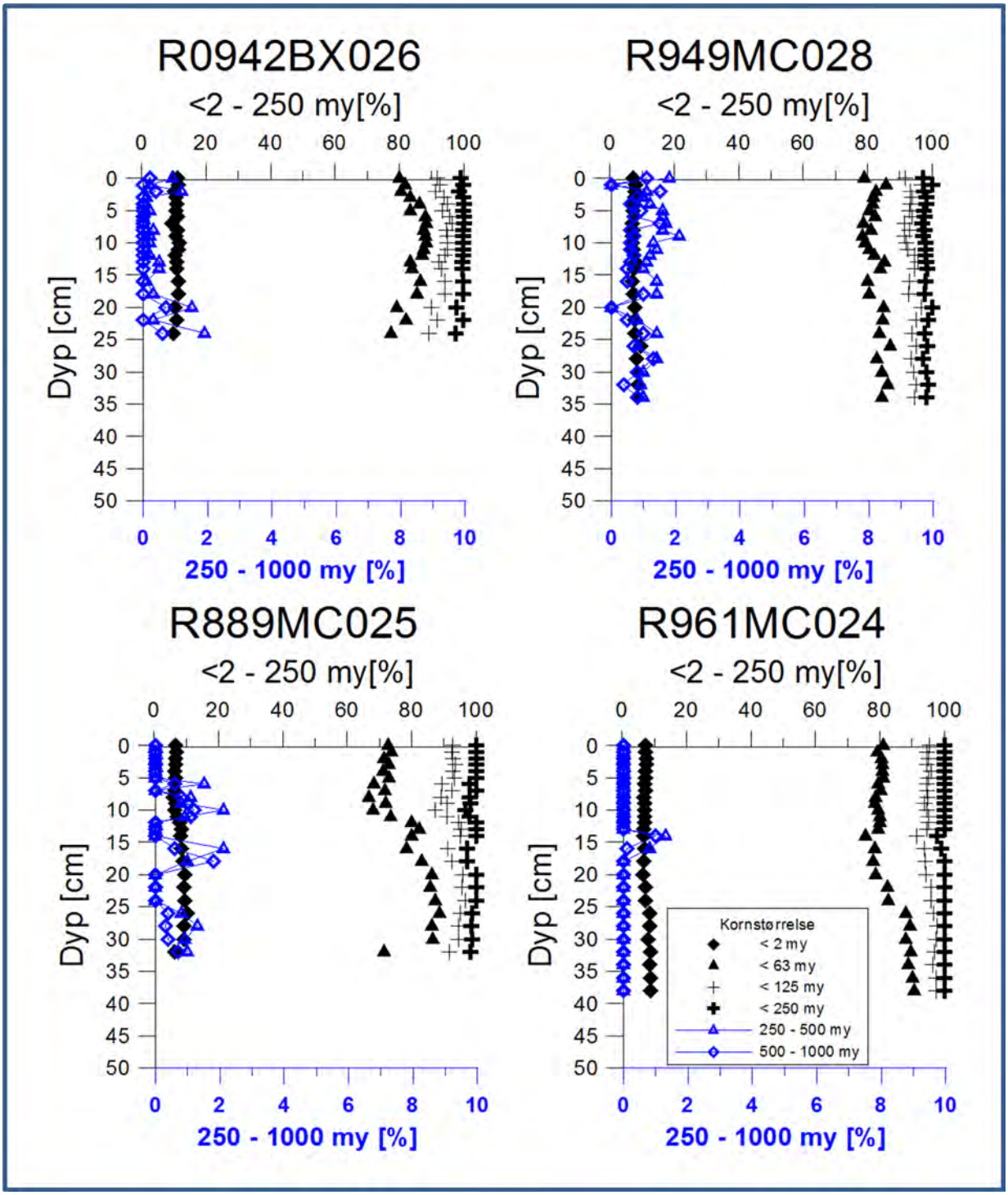
Sedimentkjernene R1093MC001 og R1114MC003 fra Skjoldryggen har noe forskjellig kornstørrelsesfordeling. R1093MC001 har større andel av finkornige sedimenter sammenlignet med R1114MC003, som har en betydelig større andel av finsand (Figur 14). R1093MC001 viser en markant reduksjon i innhold av partikler finere enn 63 µm fra ca. 25 cm og til toppen. Andel finsand (< 125µm) øker tilsvarende. R1114MC003 har betydelig større andel av finsand og sand enn R1093MC001.



Figur 14. Kumulative kornfordelingskurver for R1093MC001 og R1114MC003, Skjoldryggen. Dybdeskalaen til venstre er i centimeter.

Sedimentkjerner fra 4 områder i Norskehavet, R942BX026 (Storegga), R949MC028 (Iverryggen), R889MC025 (Kristiansund-Halten) og R961MC024 (Sularyggen) er presentert i Figur 15. Sedimentkjernene fra Storegga og Iverryggen har høye og konstante andeler av silt, i størrelsesorden 70-80 %, med en mindre andel av leire og finsand i sedimentkjernene. De relativt stabile sedimentsammensetningene på stasjonene R942BX026 og R949MC029 tyder på stabile avsetningsforhold over tid. De to sedimentkjernene, R889MC025 fra Kristiansund-Halten og R961MC024 fra Sularyggen, har gradvis avtagende andeler av silt fra nederst til øverst i sedimentkjernene, og med tilsvarende økning av finsand (<125 µm). Denne mindre endringen i sedimentene kan tyde på mindre endringer i strømforholdene på disse to stasjonene, fra svake til litt

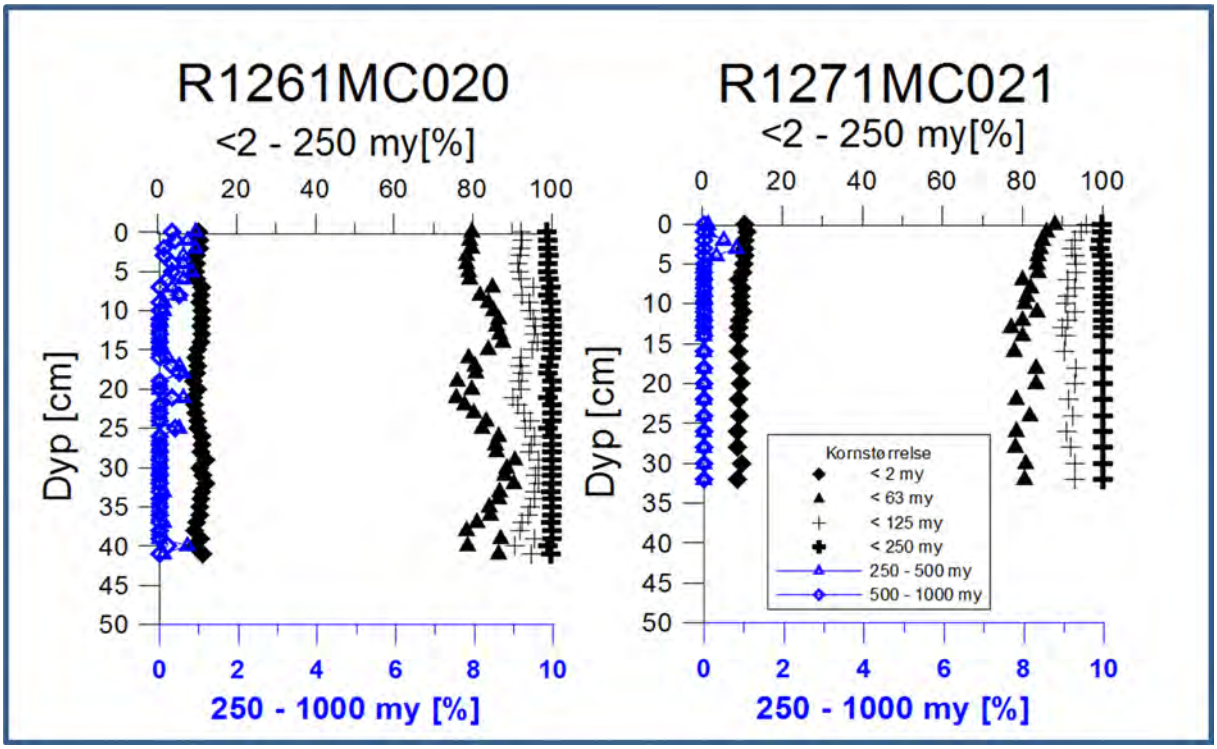
sterkere havstrømmer i nyere tid. Sedimentene i samtlige 4 sedimentkjerner består av sandholdig og leirholdig silt.



Figur 15. Kornfordelingskurver for R942BX026 (Storegga), R949MC028 (Iverryggen), R889MC025 (Kristiansund-Halten) og R961MC024 (Sularyggen).

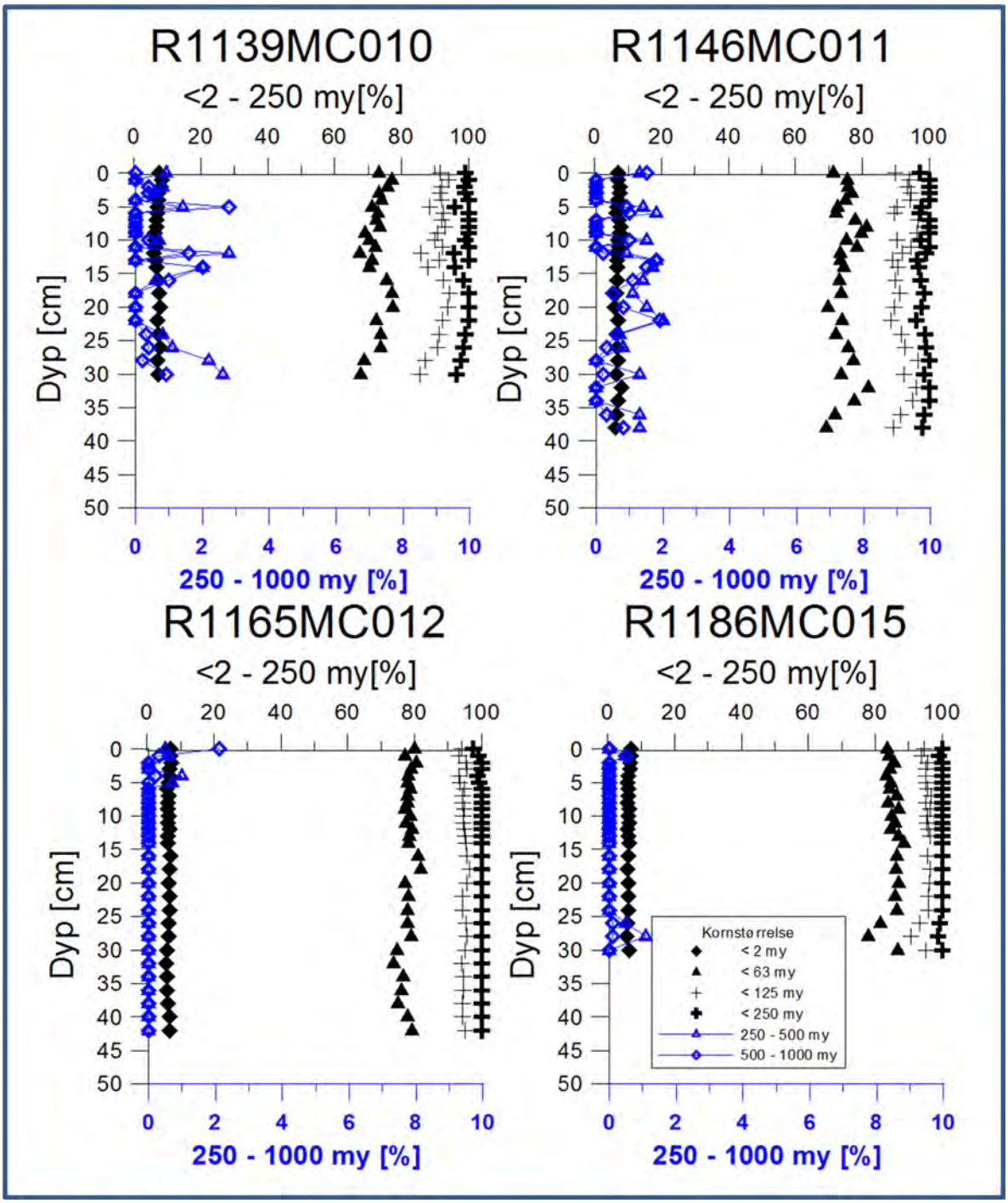
Sedimentkjernene R1261MC020 og R1271MC021 fra skråningen utenfor Ytre Mørebankene består begge av sandholdig og leirholdig silt (Figur 16). R1261MC020 har vekslende innhold av silt, varierende fra ca. 60 til ca. 80 %, med relativ konstante andeler av leire og finsand (< 250 µm).

Variasjonene i andel silt og finsand i R1261MC020 kan være forårsaket av mindre endringer i strømforholdene på denne stasjonen. Intervallene med mindre silt og mer finsand kan være forårsaket av litt sterkere havstrøm enn i intervallene med større andel silt og mindre andel finsand. I R1271MC021 øker andelen av silt og leire fra bunn til topp av sedimentkjernen, med samtidig reduksjon av finsand. Det tyder på en mindre reduksjon i strømenergien på denne stasjonen på kontinentalskråningen.



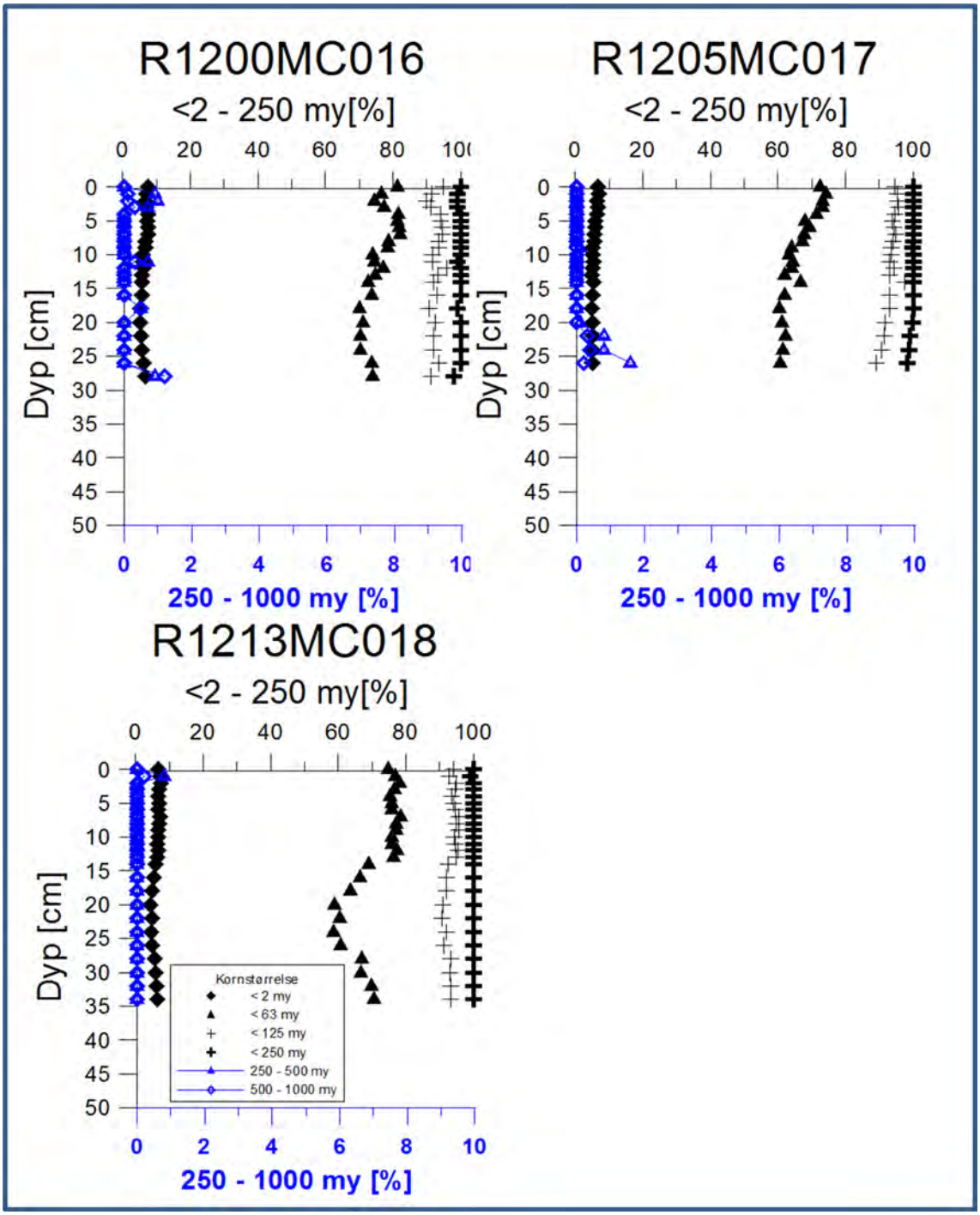
Figur 16. Kornfordelingskurver for R1261MC020 og R1271MC021 fra kontinentalskråningen utenfor Ytre Mørebankene, Norskehavet.

Kornstørrelsesfordeling for 7 analyserte sedimentkjerner fra TOO er presentert i Figur 17 og 18. De 4 nordligste stasjonene presentert i Figur 17 viser at finstoff (<63 µm) utgjør 65 % til mer enn 80 % av sedimentene, og med generell økning av andel finstoff på stasjonene R1139MC010 og R1146MC011, mens det er mer konstante andeler finstoff i sedimentkjernene fra R1165MC012 og R1186MC015.



Figur 17. Kornfordelingskurver for R1139MC010, R1146MC011, R1165MC012 og R1186MC015, TOO i Barentshavet.

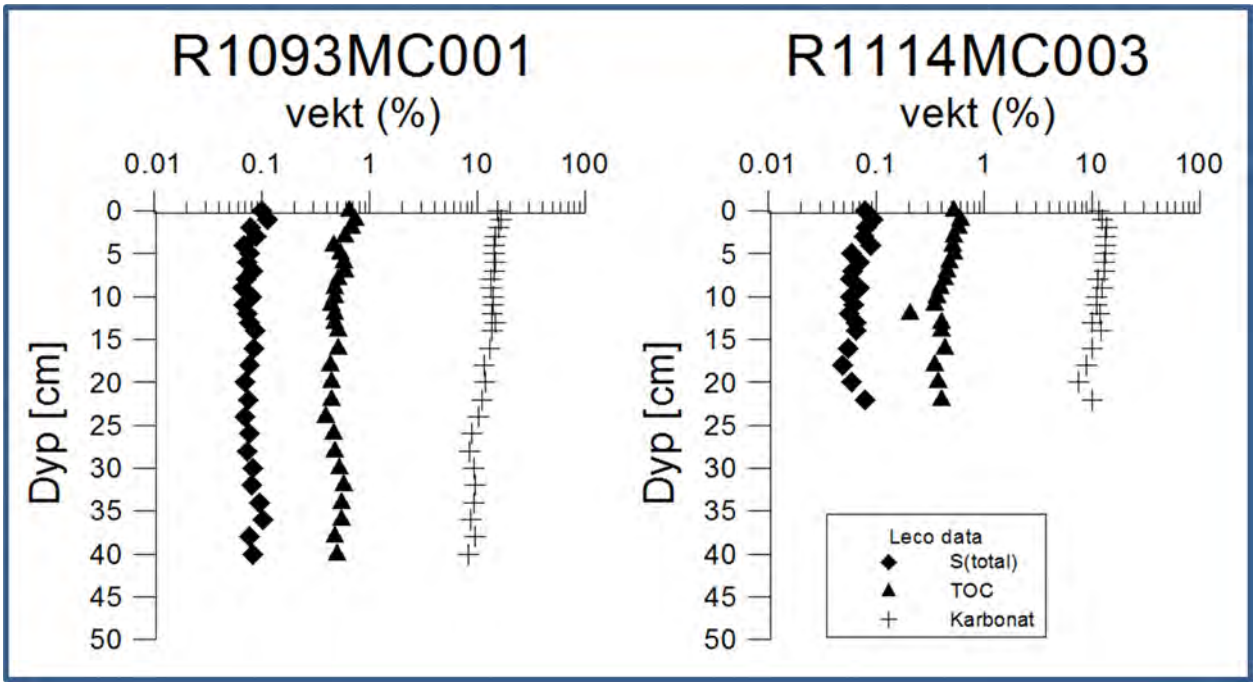
Stasjonene R1200MC016, R1205MC017 og R1213MC018 fra den sørlige delen av TOO har generelt økende andeler av finstoff fra bunn til topp i alle tre sedimentkjerner (Figur 18). Andel finstoff øker med ca 10 % fra bunn til topp i sedimentkjernene. Dette kan tyde på endringer i strømenergi til litt svakere strømenergi i de nyeste sedimentene, sammenlignet med dypere i sedimentkjernene på de 3 stasjonene. Økning i andel finstoff i de øverste delene av sedimentene er mer markert i de 3 sedimentkjernene lengst mot sør (Figur 17), sammenlignet med de 4 sedimentkjernene lengre mot nord i TOO (Figur 18).



Figur 18. Kornfordelingskurver for R1200MC016, R1205MC017 og R1213MC018, TOO i Barentshavet.

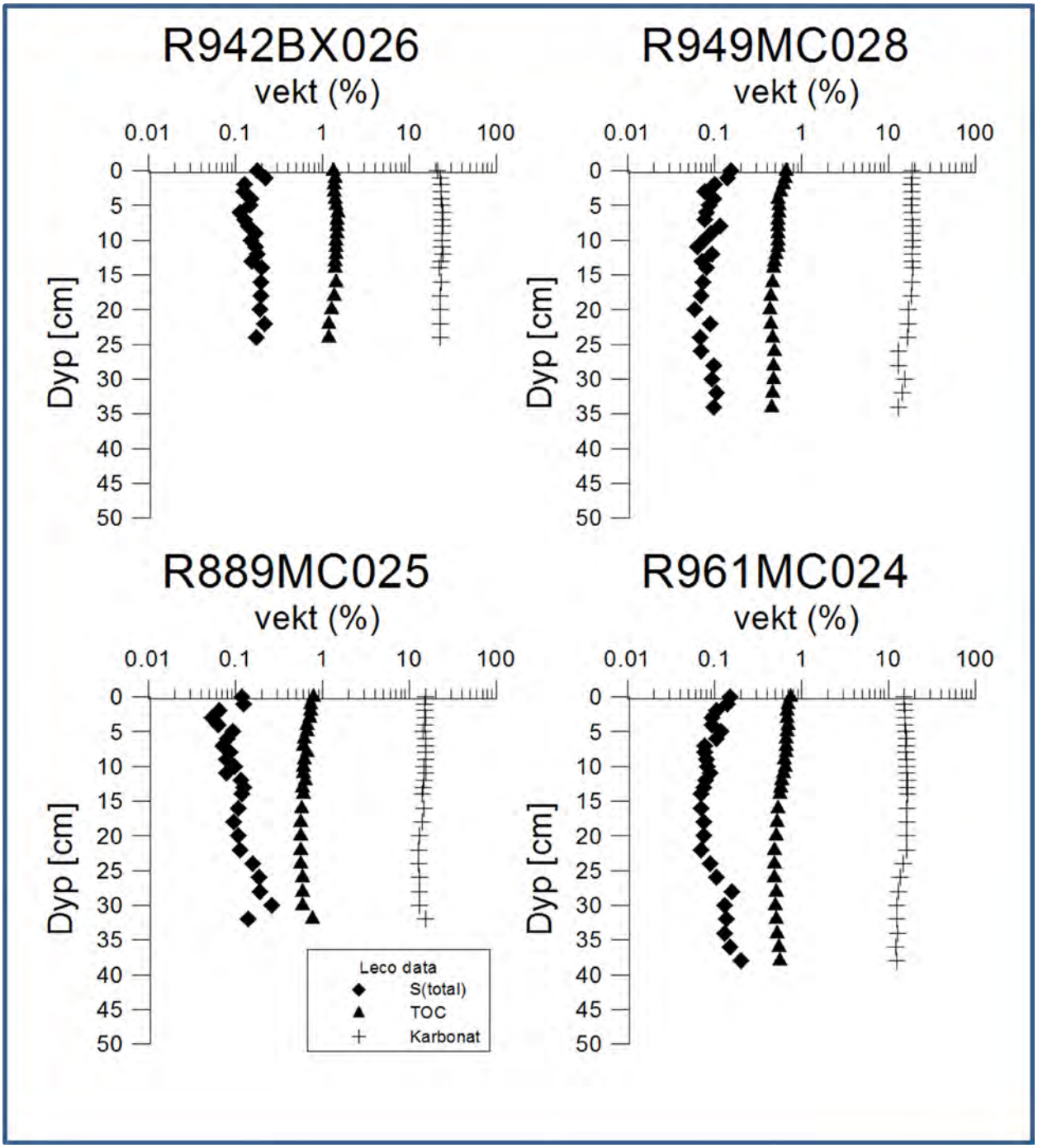
5.3.2 Total organisk karbon, karbonat og svovel

Innholdet av total organisk karbon (TOC), karbonat ($CaCO_3$) og total svovel (TS) i R1093MC001 og R1114MC003 fra Skjoldryggen øker svakt oppover i begge sedimentkjernene (Figur 19), noe som kan tyde på økt biologisk produksjon mot nyere tid. Økningen starter på et lavere nivå i kjernen på R1114MC003. Dette kan ha sammenheng med de noe grovere sedimentene i R1114MC003 sammenlignet med R1093MC001 (avsnitt 5.3.1).



Figur 19. Variasjoner i TOC, karbonat ($CaCO_3$) og svovel (TS) i sedimentkjerner fra stasjonene R1093MC001 og R1114MC003 fra Skjoldryggen. Dybdeskala til venstre er i centimeter. Vektprosentskala for de 2 sedimentkjernene er logaritmisk.

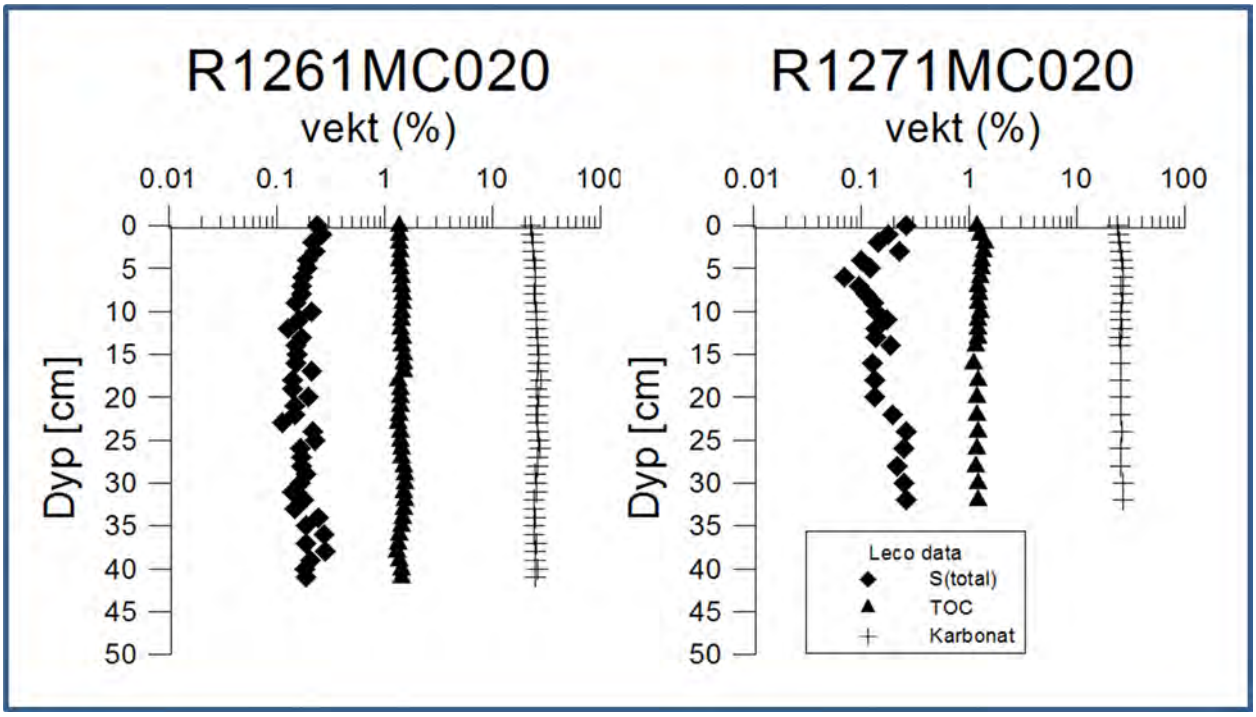
TOC, karbonat og TS i sedimentkjernene fra Storegga (R942BX026), Iverryggen (R949MC028), Kristiansund-Halten (R889MC025) og Sularyggen (R961MC024) er presentert i Figur 20. TOC og karbonat øker gradvis i 3 av sedimentkjernene, R949MC028, R889MC025 og R961MC024, alle fra kontinentalsokkelen, mens det for R942BX026 fra kontinentalskråningen på Storegga er relativ stabile TOC- og karbonatkonsentrasjoner. Både TOC og karbonatkonsentrasjoner er høyere på sistnevnte stasjon sammenlignet med de tre stasjonene på kontinentalsokkelen.



Figur 20. Variasjoner i total organisk karbon (TOC), karbonat ($CaCO_3$) og total svovel (TS) i sedimentkjerner fra R942BX026, R949MC028, R889MC025 og R961MC024 fra Norskehavet. Dybdeskala til venstre er i centimeter. Vektprosentskala for de 4 sedimentkjernene er logaritmisk.

De to stasjonene fra kontinentalskråningen på Ytre Mørebankene, R1261MC020 og R1271MC021, har stabilt høye TOC og karbonatkonsentrasjoner gjennom sedimentkjernene (Figur 21). R1261MC020 har TOC på 1,4-1,5 vekt % og karbonatandel varierende fra 23-28 vekt %. TS i R1261MC020 varierer fra 0,14 til 0,23 %. R1271MC021 har vekslende TS konsentrasjon gjennom sedimentkjernen, varierende fra 0,09 til 0,26 vekt %. TS i de to sedimentkjernene er betydelig høyere enn TS for de 6 øvrige sedimentkjernene fra Norskehavet presentert her. Trolig skyldes høyere TS konsentrasjoner i R1261MC020 og R1271MC021 avsetningsforhold hvor det etableres anoksiske forhold i sedimentene i høyere grad enn de øvrige 6 stasjonene. Høyere TOC i

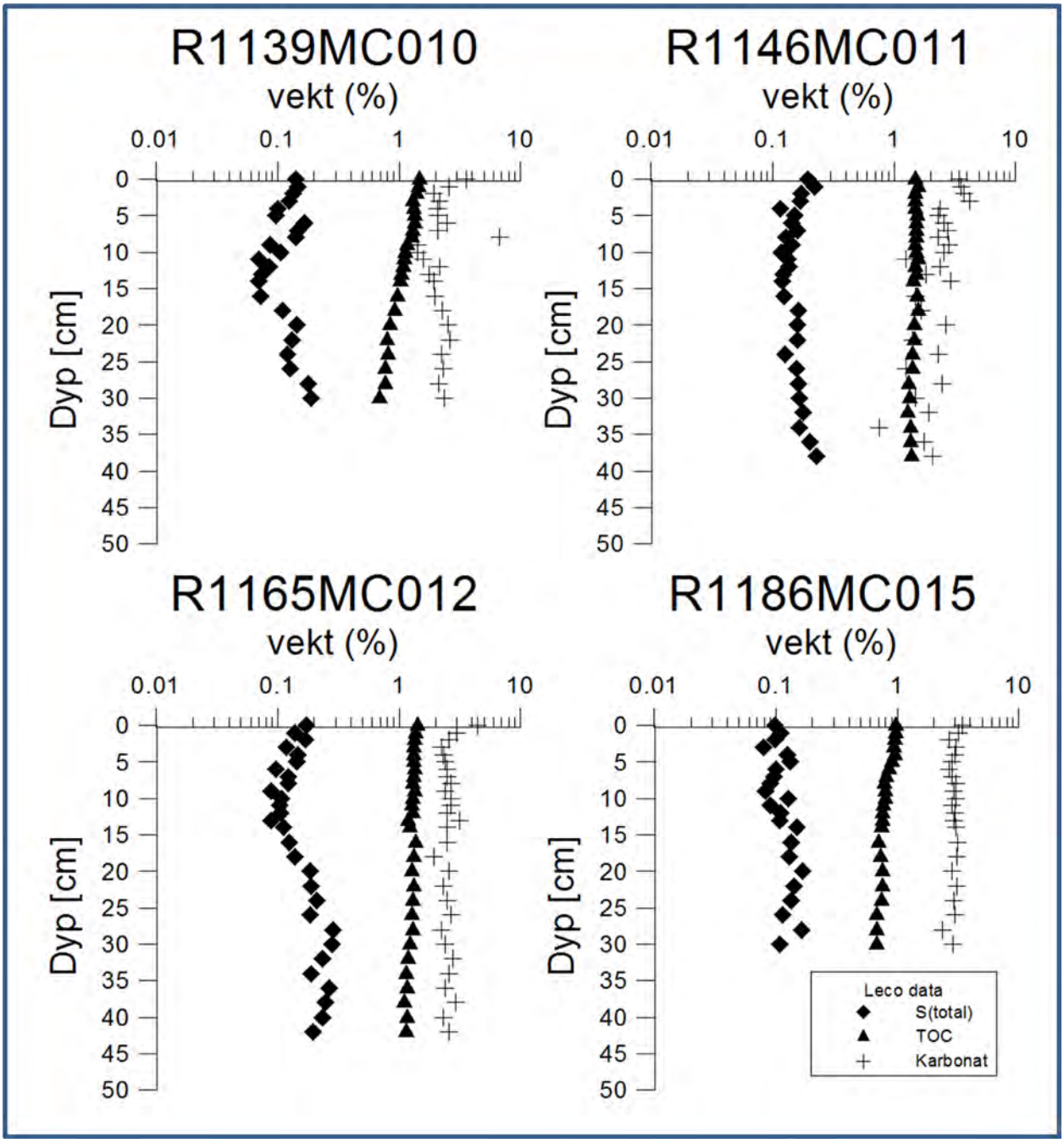
R1261MC020 og R1271MC021 kan muligvis også forklares ut fra bedre bevaring under mer reduserende forhold sammenlignet med de 6 øvrige sedimentkjernene fra Norskehavet.



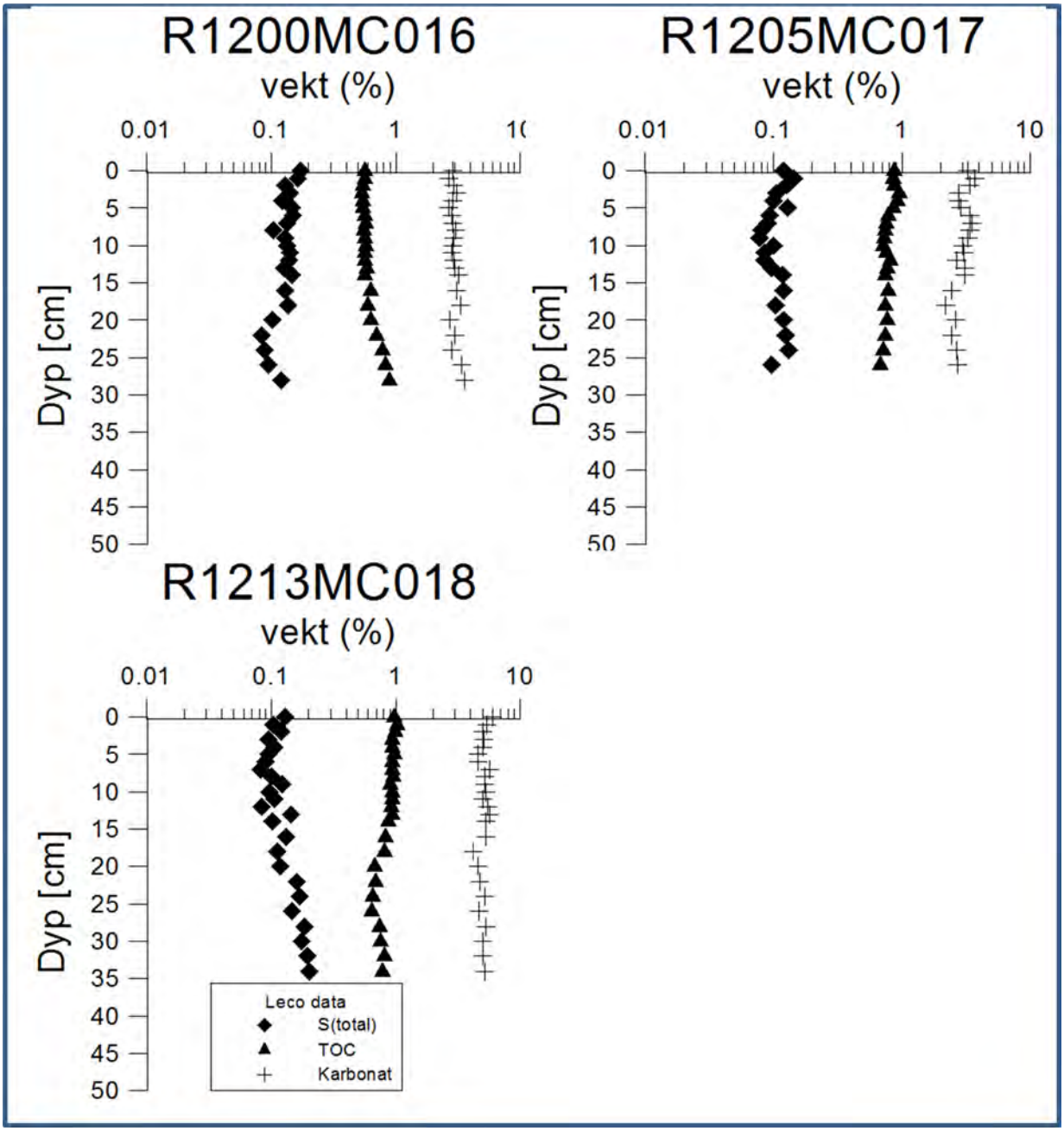
Figur 21. Variasjoner i total organisk karbon (TOC), karbonat ($CaCO_3$) og svovel (TS) i R1261MC020 og R1271MC021 fra Ytre Mørebankene, Norskehavet. Dybdeskala til venstre er i centimeter. Vektprosentskalaene for de 2 sedimentkjernene er logaritmisk.

TOC, karbonat og TS i de 7 analyserte sedimentkjernene fra TOO er presentert i Figur 22 og Figur 23. TOC øker oppover i 6 av de 7 sedimentkjernene, med unntak av R1200MC016. TOC-konsentrasjonene er generelt høyere i sedimentkjernene fra de nordligste stasjonene (R1139MC010, R1146MC011 og R1165MC012) mens det er litt lavere TOC i R1186MC015, R1205MC017 og R1213MC018 lengre mot sør. R1200MC016 har betydelig mindre TOC enn alle øvrige sedimentkjernene i TOO.

Andel karbonat er lav i samtlige 7 sedimentkjerner, varierende fra ca. 2 til ca. 6 vekt %. Karbonatandelen er konstant gjennom sedimentene i de fleste sedimentkjernene, og markant lavere enn andel karbonat i sedimentkjernene fra Norskehavet presentert tidligere i dette avsnittet. Årsaken kan skyldes at karbonat i høyere grad løses opp i det marine miljøet i Barentshavet sammenlignet med Norskehavet, grunnet høyere CO_2 partielt trykk i det kaldere sjøvannet i Barentshavet sammenlignet med vannmassene i Norskehavet (Steinsund og Hald, 1993). Knies m. fl. (2006) viser at det i den østlige delen av Barentshavet er markant lavere karbonatandel i sedimentene enn lengre vest i Barentshavet.



Figur 22. Variasjoner i total organisk karbon (TOC), karbonat ($CaCO_3$) og svovel (TS) i kjerner fra R1139MC010, R1146MC012, R1165MC012 og R1186MC015 fra TOO. Dybdeskala til venstre er i centimeter. Vektprosentskalaene for de 4 sedimentkjernene er logaritmiske.

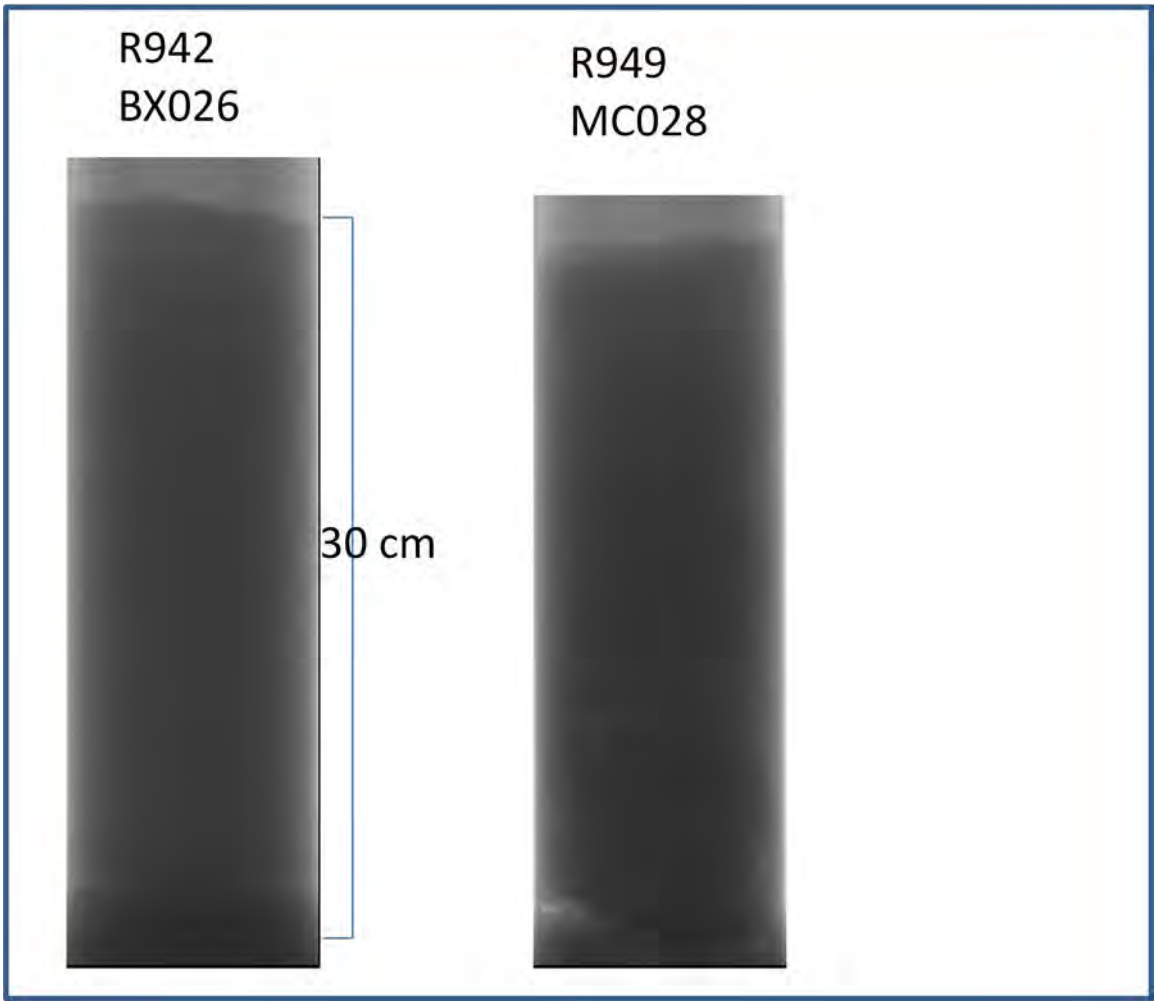


Figur 23. Variasjoner i total organisk karbon (TOC), karbonat ($CaCO_3$) og svovel (TS) i kjerner fra R1200MC016, R1205MC017 og R1213MC018 fra TOO, Barentshavet. Dybdeskala til venstre er i centimeter. Vektprosentskalaene for de 3 sedimentkjernene er logaritmiske.

5.3.3 Visuell bedømmelse og XRI-analyser

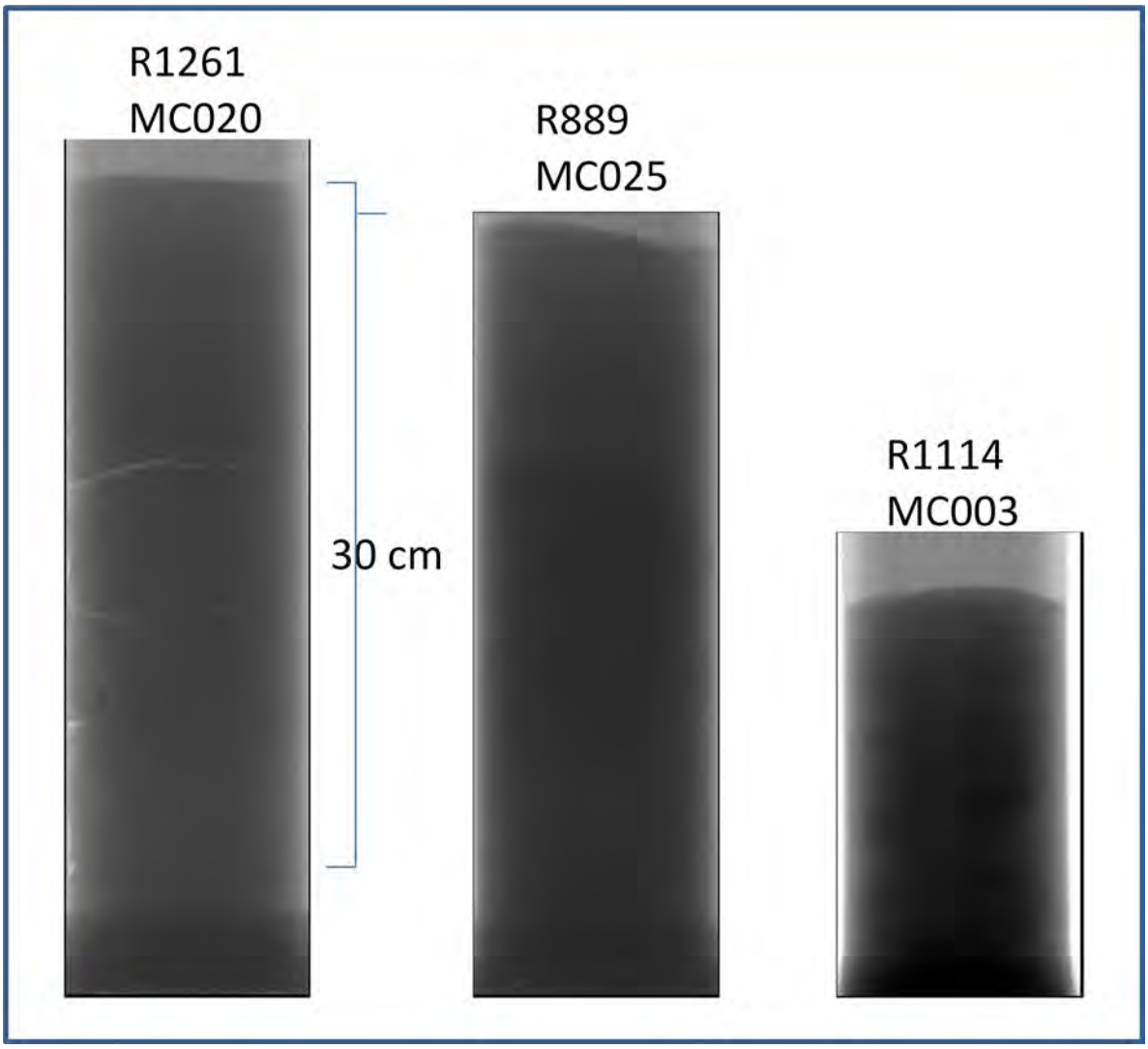
Sedimentkjernene er beskrevet om bord samtidig som de er delt opp i 1 cm tykke skiver. På de fleste stasjonene er det også tatt hele sedimentkjerner. Disse blir analysert med røntgen (XRI) for å studere sedimentære strukturer og sedimentsammensetning. En kan dermed gjøre en kvalitativ vurdering for valg av stasjoner for dateringsanalyse og geokjemisk analyse av hele sedimentkjerner. Det ble gjennomført XRI-undersøkelser på sedimentkjerner fra 25 stasjoner. XRI bildene er presentert i Vedlegg 4. Eksempler fra de forskjellige områdene blir presentert her, med vekt på sedimentkjerner fra de 8 stasjonene hvor det er gjennomført dateringsanalyser. Dette gjelder stasjonene R0889MC025, R0942BX026, R0949MC026, R1114MC003 og R1261MC020 fra Norskehavet, samt R1146MC011, R1165MC012 og R1200MC016 fra TOO.

Med XRI (røntgeninspeksjon) er det mulig å se gjennom sedimentkjernene og på den måten få et inntrykk av om det finnes sedimentære strukturer, bioturbasjon, skallfragmenter eller større sedimentære partikler som for eksempel grus. Figur 24 viser sedimentkjerner fra R942BX026 og R949MC028 fra henholdsvis Sularyggen og Iverrryggen. De to sedimentkjernene har homogene sedimenter uten synlige strukturer. Det er kontraster nederst i R949MC028 som muligvis kan tilskrives graveganger.



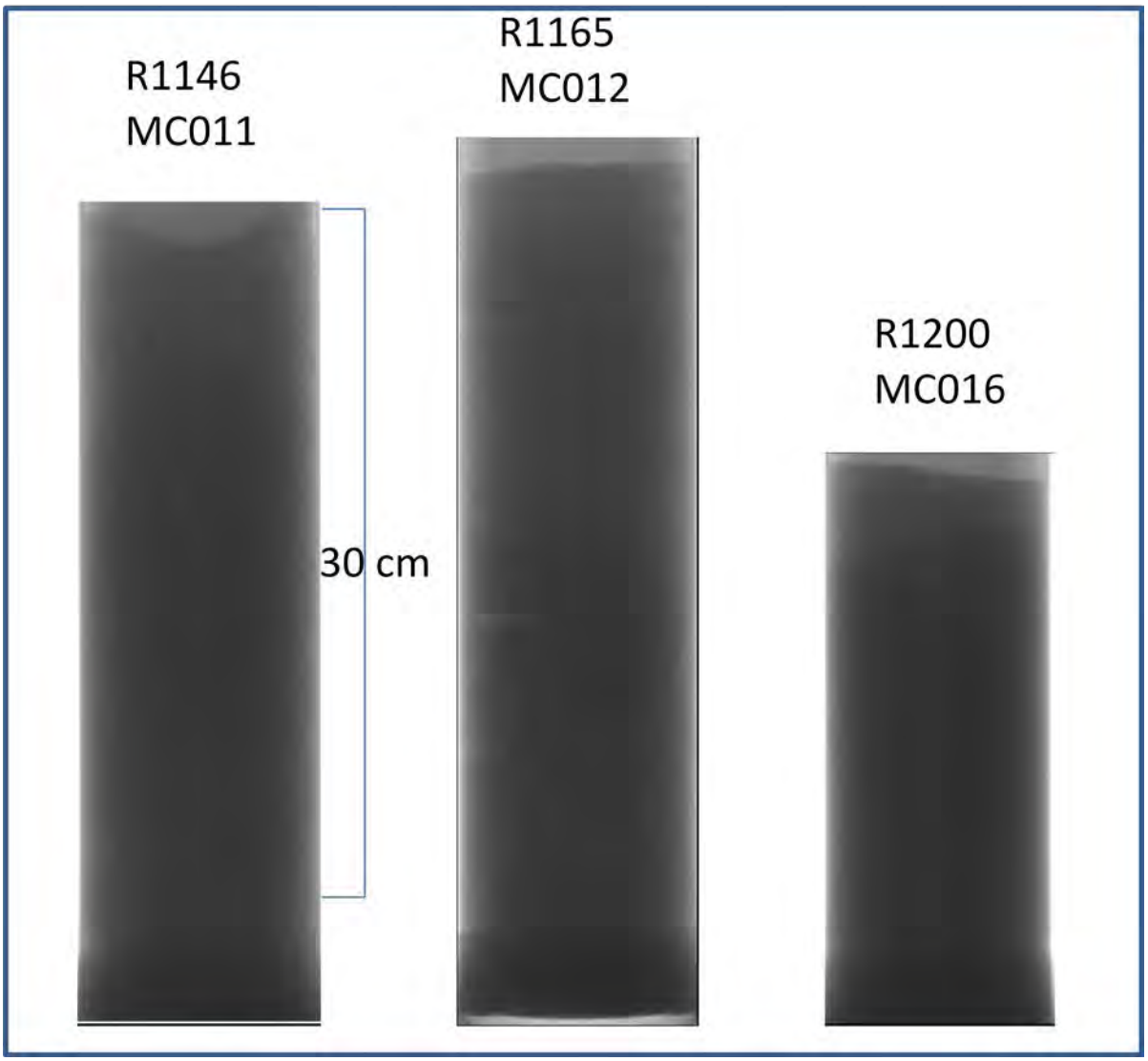
Figur 24. XRI bilder av sedimentkjerner fra R942BX026 (Sularyggen) og R949MC028(Iverryggen). Skala ved R942BX026 viser lengde på sedimentkjernene.

XRI-bildene av sedimentkjerner fra R1261MC020, R889MC025 og 1114MC003 er vist i Figur 25. Det er stor forskjell i lengdene på sedimentkjernene p.g.a. forskjell i sedimentsammensetning. R1261MC020 og R889MC025 er mer finkornede enn R1114MC003, noe som gjør det enklere for rørene å trenge ned i sedimentene (avsnitt 5.3.1). Sedimentene i R1261MC020 er beskrevet som finkornige og homogene. Sedimentbeskrivelsen av kjernen viser homogene finkornige sedimenter, med økende av kompaksjon nedover i kjernen og løse, vannholdige sedimenter i de øverste centimeterne. Dette stemmer godt med beskrivelsen utført ombord. XRI-bilder av kjernen (Fig. 25) viser at sedimentene er homogene. R1261MC020 har noen tydelige horisontale sprekker, som kan ha oppstått da prøvene ble tatt opp fra havbunnen. Det kan se ut til at det finnes noen hele skjell i den nedre delen av sedimentkjernen, eller det kan være graveganger. Det sistnevnte alternativet er trolig mest sannsynlig, da det ikke er registrert skjell fra beskrivelsen av sedimentene om bord. R889MC025 og R114MC003 er mer homogene. R889MC025 har i de øverste ca. 10 cm lysere (d.v.s. mindre kompakte) sedimenter enn dypere i kjernen. Dette kan ha sammenheng med en overgang til mer kompakte sedimenter, muligvis av betydelig høyere alder en de øverste sedimentene.



Figur 25. XRI-bilder av R1261MC020 (kontinentalskråningen utenfor Ytre Mørebankene), R889MC025(Kristiansund – Halten) og R1114MC003 (Skjoldryggen). Skala ved R1261MC020 viser lengde på sedimentkjernene.

Eksempler på sedimentkjerner fra TOO er vist i Figur 26. R1146MC011 lengst til venstre har en ujevn overflate og ellers homogene sedimenter uten særlige variasjoner i kjernen. R1165MC012 har noen lyse og vannrette strukturer, som muligvis kan tilskrives graveganger. R1200MC016 har et tynnere sjikt med lysere sedimenter i de øverste 5 cm. Lysere sjikt øverst betyr at sedimentene er mindre kompakte og mer vannmettet, slik de øverste centimeterne vanligvis er. Utover det ser sedimentene i R1200MC016 homogene ut.



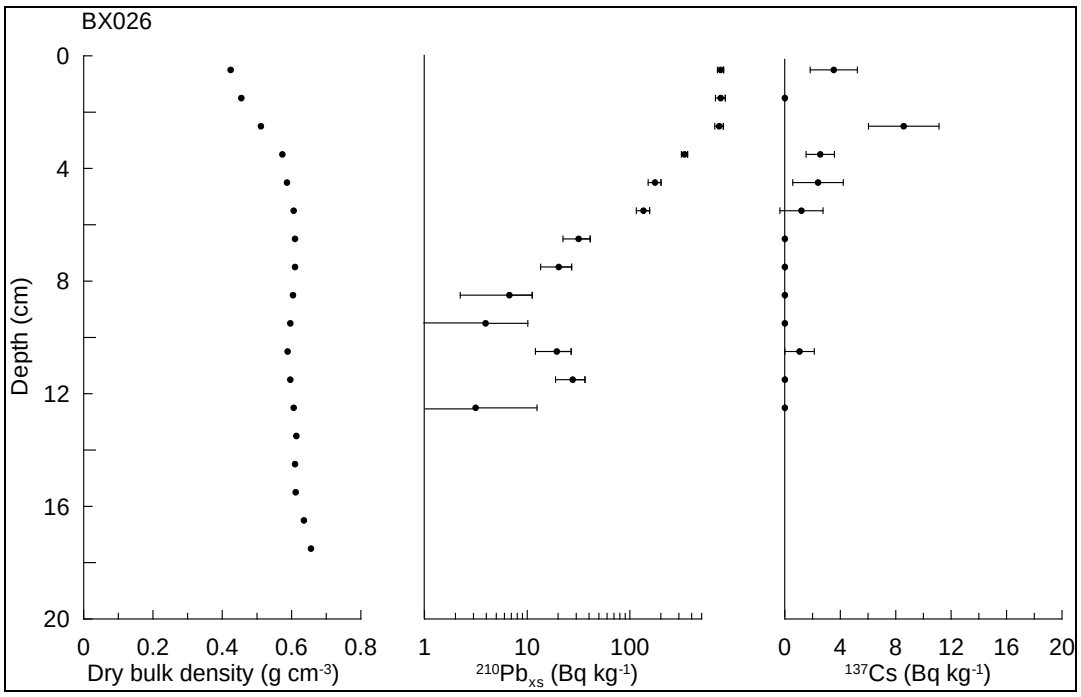
Figur 26. XRI-bilder av sedimentkjerner fra stasjon R1146MC011, R1165MC012 og R1200MC016 i TOO. Skala ved R1146MC011 viser lengde på sedimentkjernene.

5.4 Blyisotop 210 (^{210}Pb) datering, ^{137}Cs målinger og sedimentakkumulasjonsrater

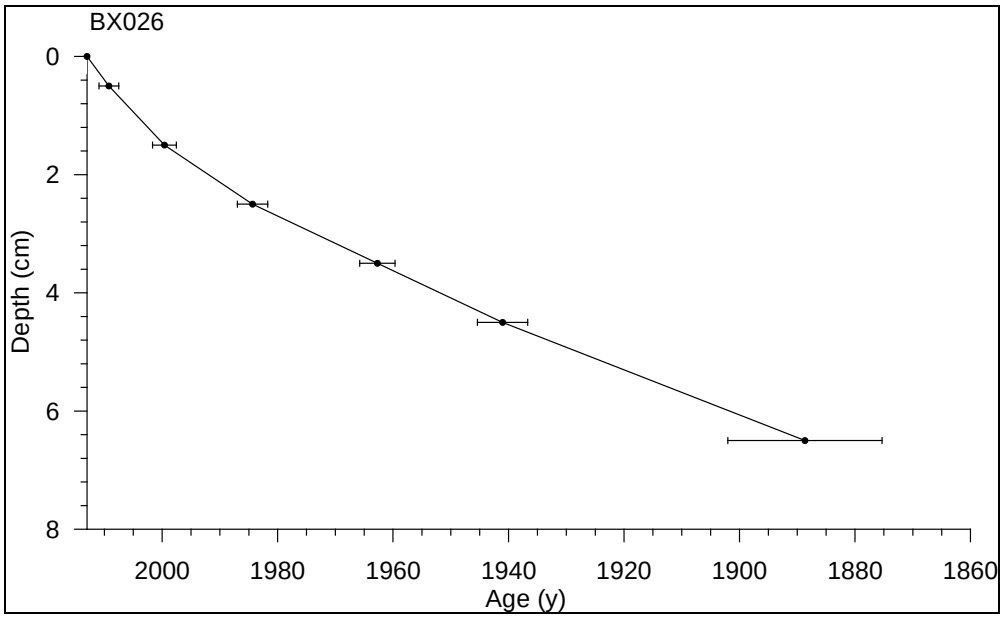
^{210}Pb og ^{137}Cs målingene er utført av Gamma Dating Center (GDC), Københavns Universitet. Dateringsanalysene bidrar til å kunne si når evt. tilførsel av miljøgifter fant sted. Bestemmelse av sedimentalder er viktig for å vurdere om det skjer en tilførsel av sedimenter, og hvorvidt denne tilførselen er stabil eller preget av perioder med manglende avsetning eller erosjon. Daterte sedimentkjerner gir også informasjon om mengden tilførsel av forurensende stoffer i moderne tid. Alderen på de øverste sedimentlagene og sedimentakkumulasjonsrater kan bestemmes ved måling av ^{210}Pb aktiviteten i sedimentene. Isotopen ^{210}Pb har en halveringstid på 22,3 år. Bakgrunnsverdien for ^{210}Pb bestemmes ut fra mengden av bakgrunnsstråling ^{210}Pb (= ”supported” ^{210}Pb), som er uavhengig av sedimentasjon. Bestemmelsen av ^{210}Pb-bakgrunnsstråling skjer fra de dypere sjiktene i sedimentet, hvor konsentrasjonen er konstant fordi all ^{210}Pb (="unsupported" ^{210}Pb) fra atmosfærisk nedfall er nedbrutt. Datering og bestemmelse av sedimentalder ble gjennomført på 3 kjerner fra TOO og 5 kjerner fra Norskehavet. ^{210}Pb og ^{137}Cs analyserapportene er presentert i Vedlegg 5, hvor data og GDC sin tolkning av data for hver av de 8 analyserte sedimentkjernene finnes.

R0942BX026, Storegga

R0942BX026 fra kontinentalskråningen på Storegga i Norskehavet har en eksponentiell avtakende 210Pb aktivitet nedover i sedimentkjernen, fra 3 cm til 9-10 cm. Det øverste 3 cm har ganske like ^{210}Pb nivåer. Dette skyldes sannsynligvis effektiv blanding av sedimentene forårsaket av bioturbasjon i de øverste 3 cm. Modellen over dyp mot alder presentert i Figur 28 er basert på at det ikke er noen blanding av sedimenter. Det er sannsynlig at det er en viss blanding av sedimentene grunnet bioturbasjon. Allikevel vurderes modellen i Figur 28 til å være en troverdig modell for sedimentasjonen på denne stasjonen, og gir en beregnet sedimentasjonsrate på 0,6 mm/år.



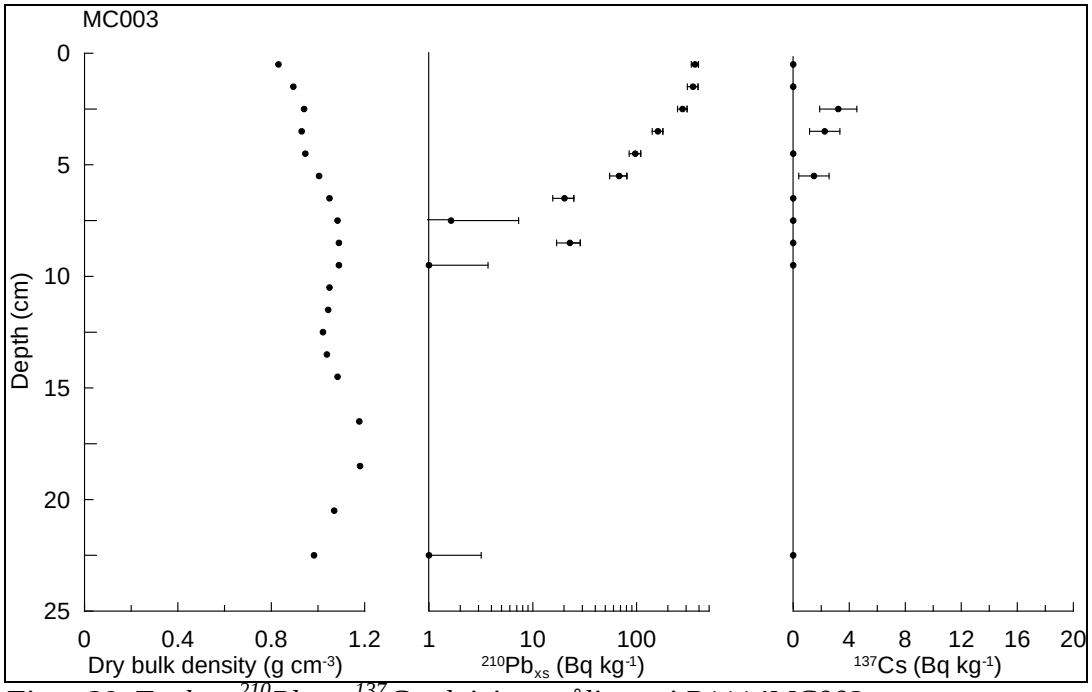
Figur 27. Tetthet, ^{210}Pb og ^{137}Cs aktivitetsmålinger i R942BX026.



Figur 28. Alder vs. dyp i sedimentene i R942BX026.

R1114MC003, Skjoldryggen

R1114MC003 er lokalisert på Skjoldryggen i Norskehavet. ^{210}Pb dataene i Figur 29 viser at ^{210}Pb unsupported reduseres eksponentielt fra overflaten til 8 cm under overflaten. ^{210}Pb gir grunnlag for å tegne en kurve over dyp versus alder (Figur 30). Det er mulig å angi alder på sedimentene i de øverste 8 cm med rimelig sikkerhet. Økning i ^{210}Pb i nivået i prøven 8-9 cm kan skyldes bioturabasjon, som har dratt ned yngre sedimenter til dypere nivå. Det innebærer en viss blanding. ^{137}Cs er tilstede i meget lav konsentrasjon i 3 av prøvene. ^{137}Cs toppen i prøven ved 2-3 cm (Figur 29) kan svare til Tjernobylnedfallet i 1986. Beregnet sedimentasjonsrate er 0,5 mm/år.

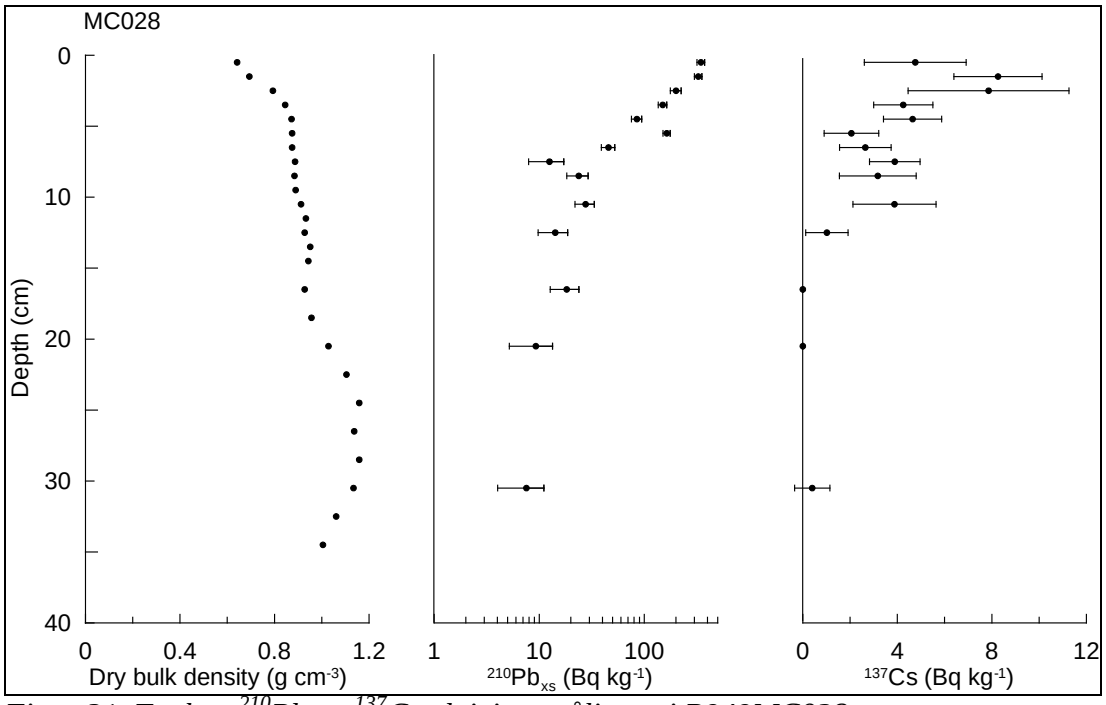


Figur 29. Tetthet, ^{210}Pb og ^{137}Cs aktivitetsmålinger i R1114MC003.

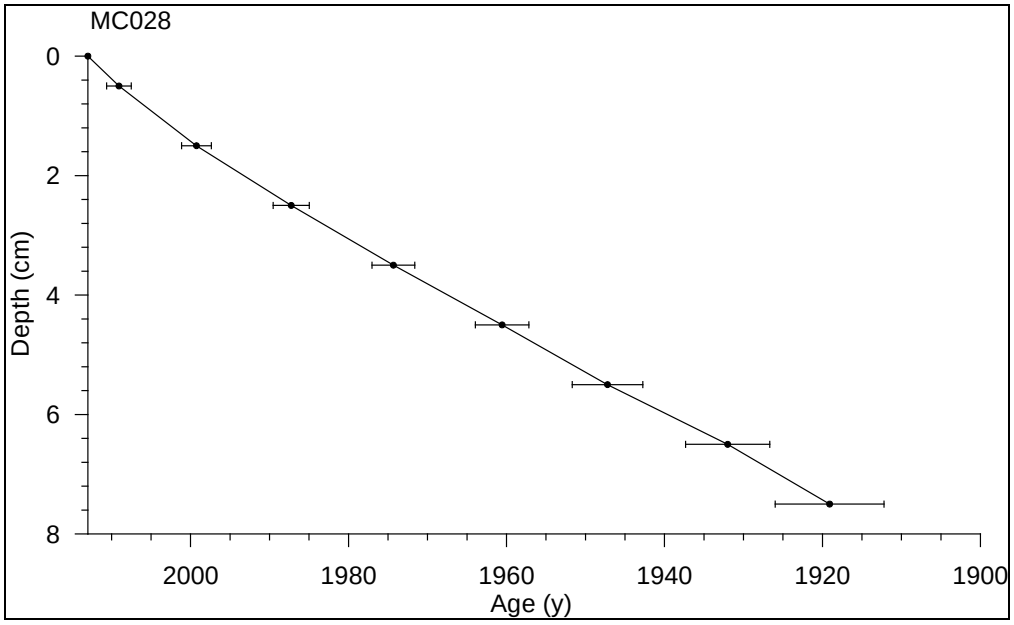
Figur 30. Alder vs. dyp i sedimentene i R1114MC003.

R949MC028, Iverryggen

R949MC028 fra Iverryggen har eksponentielt avtakende ^{210}Pb i de øverste 8 cm, for deretter å holde seg konstant i intervallet 8-10 cm (Figur 31). Aldersmodellen i Figur 32 er basert på de øverste 8 prøvene. Modellen vurderes å være pålitelig i de øverste 8 cm av sedimentkjernen. ^{137}Cs er til stede i lave konsentrasjoner, og det er sannsynlig at Tsjernobylutslippet fra 1986 kan ses i prøven ved 2-3 cm. ^{137}Cs i dypere sjikt, som ved 4-5 cm, kan muligvis relateres til Sellafieldutslipp i 1976, ifølge ^{210}Pb alder versus dyp i Figur 31 (Sværen, 2013). Det er trolig noe blanding med sedimentene over og under. Beregnet sedimentasjonsrate er 0,9 mm/år.



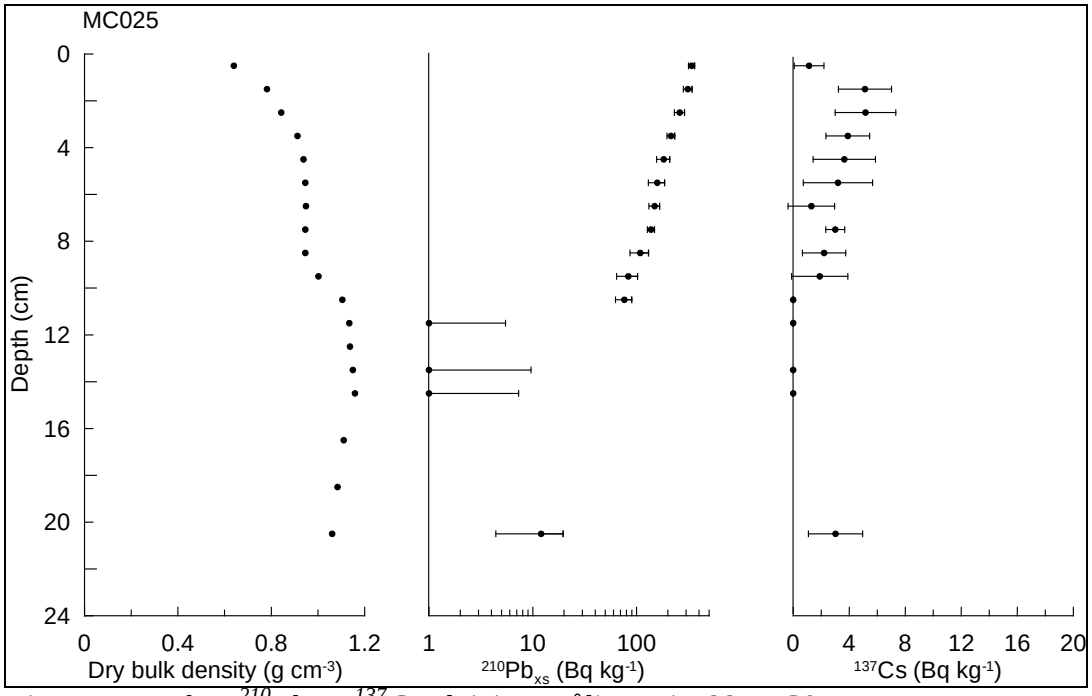
Figur 31. Tetthet, ^{210}Pb og ^{137}Cs aktivitetsmålinger i R949MC028.



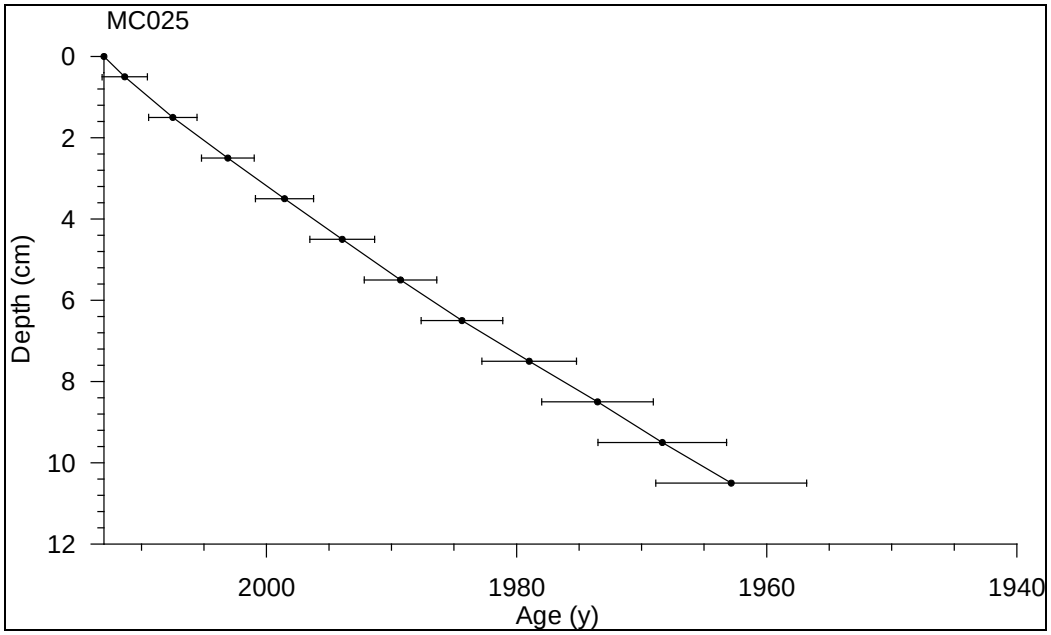
Figur 32. Alder vs. dyp i sedimentene i R949MC028.

R889MC025, Kristiansund – Halten

R889MC025 har høy ^{210}Pb aktivitet i de øverste prøvene, hvilket viser at det har vært høy sedimentasjon på denne stasjonen. Figur 33 viser at ^{210}Pb er eksponentielt avtakende i de øverste 11 cm, hvilket gjør det mulig å lage en modell for alder mot dyp i sedimentene. Manglende ^{210}Pb-data under 11 cm gjør det ikke mulig å forlenge modellen under 11 cm. Alder vs. dyp i Figur 34 gir troverdige aldersdateringer for sedimentene ned til 11 cm. ^{137}Cs aktivitetsnivået er lavt i R889MC025, og det gjør det vanskelig å bruke resultatene som en del av dateringen. Fravær av ^{210}Pb målinger under 11 cm kan tyde på et langt opphold i sedimentasjon under 11 cm. Beregnet sedimentasjonsrate er 2,1 mm/år i de øverste 11 cm, hvilket er en høy sedimentasjonsrate.



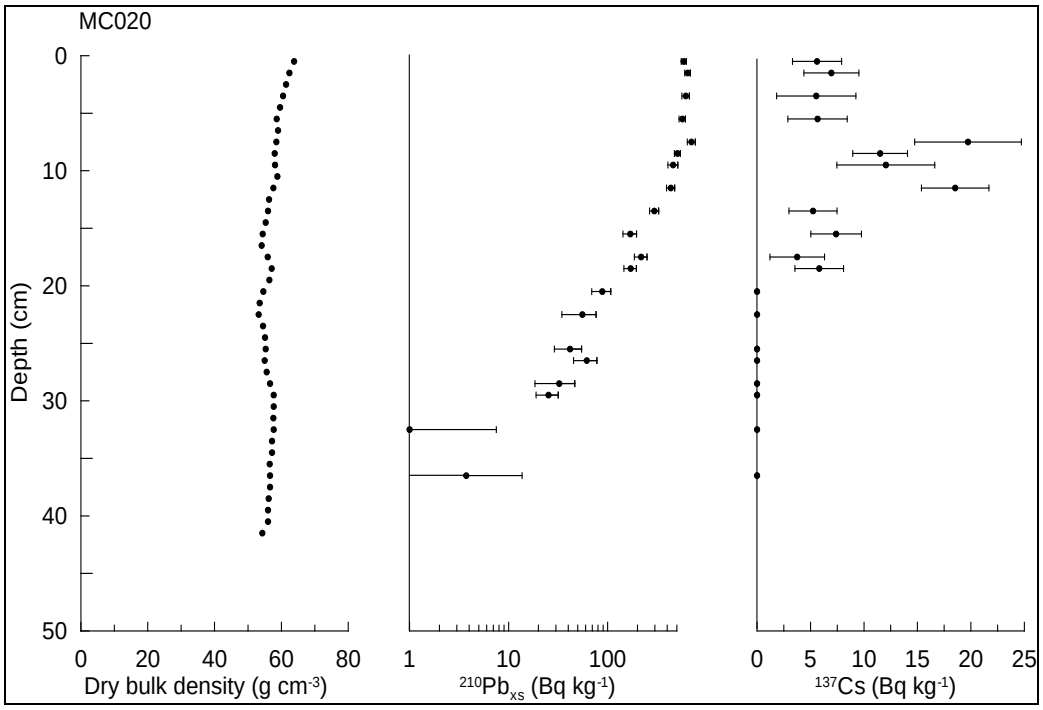
Figur 33. Tetthet, ^{210}Pb og ^{137}Cs aktivitetsmålinger i R889MC025.



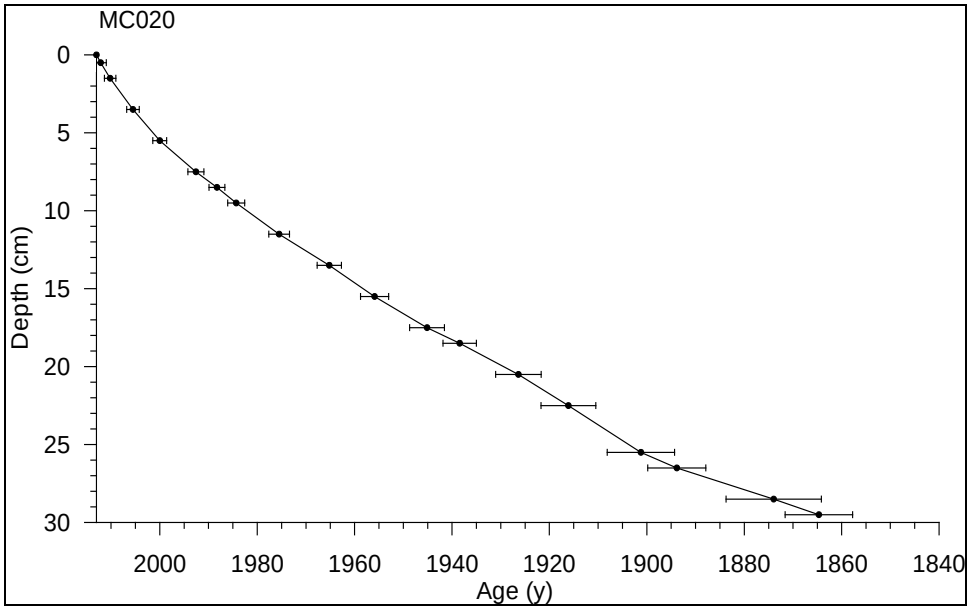
Figur 34. Alder vs. dyp i sedimentene i R889MC025.

R1261MC020, kontinentalskråningen utenfor Ytre Mørebankene

R1261MC020 fra skråningen utenfor Ytre Mørebankene har veldig høy ^{210}Pb aktivitet (Figur 35). Den høye beregnede fluks av "unsupported" ^{210}Pb tyder på en høy sedimentasjonsrate. Alder versus dyp i Figur 36 er pålitelig ned til 30 cm. Basert på alder og dyp i sedimentene er sedimentasjonsraten ca. 2 millimeter pr. år. ^{137}Cs er til stede med lav aktivitet i sedimentene med et maksimum på 20 Bq/kg sediment i prøven fra 5-6 cm dybde. Ut fra ^{137}Cs fordelingen er Tsjernobylutslippet (1986) vurdert å være ved 8-9 cm. Beregnet sedimentasjonsrate på basis av de pålitelige dateringsanalyser ned til 30 cm gir en høy sedimentasjonsrate på 2,0 mm/år.



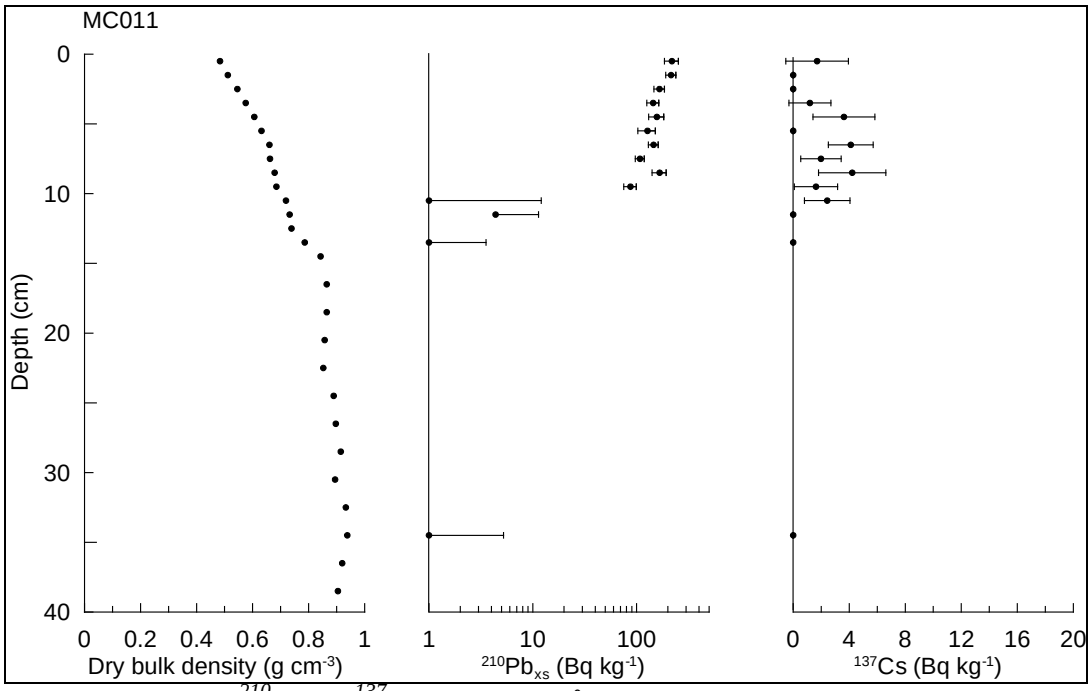
Figur 35. tetthet, ^{210}Pb og ^{137}Cs aktivitetsmålinger i R1261MC020.



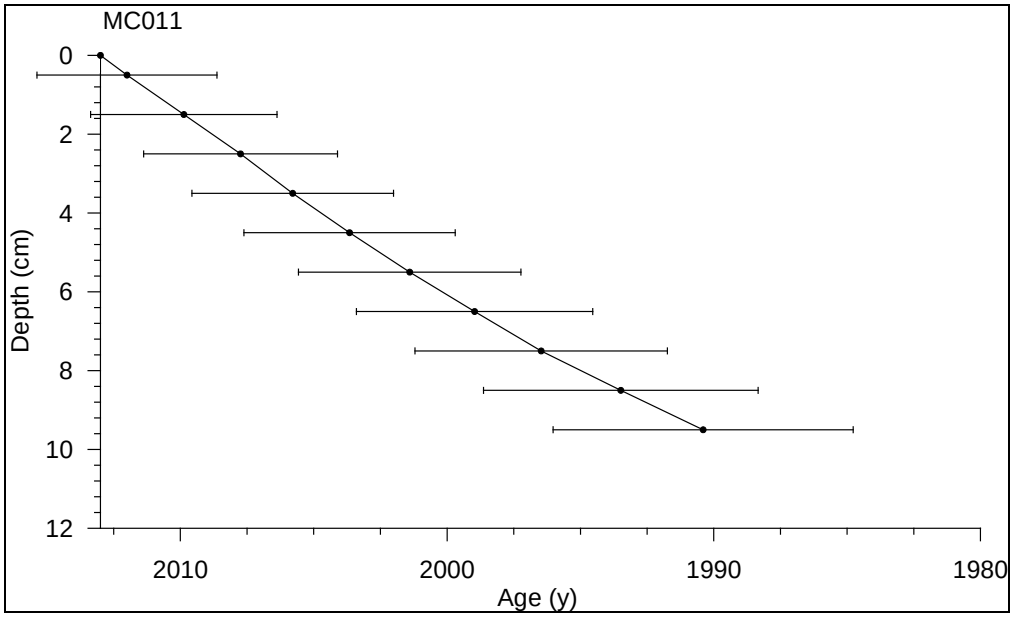
Figur 36. Alder vs. dyp i sedimentene i R1261MC020.

R1146MC011, TOO i Barentshavet

^{210}Pb analysene fra R1146MC011 viser at det er høy ^{210}Pb unsupported aktivitet i de øverste 10 cm av sedimentkjernen, før den faller drastisk i prøven ved10-11 cm og dypere (Figur 37). Den beregnede fluks av "unsupported" ^{210}Pb er 540 bq/m2/år, hvilket er meget høy tilførsel, i størrelsesorden det dobbelte av den atmosfæriske tilførselen. Det medfører at sedimentasjonsraten i R1146MC011 er meget høy i de øverste 10 cm (5,0 mm/år). De meget lave ^{210}Pb verdiene dypere i sedimentene antyder at det har vært meget lav eller ingen sedimentasjon i kanskje mer enn 100 år. Figur 38 viser det beregnede sedimentdyp og alder i R1146MC011, som må anses som akseptabel i de øverste 10 cm. ^{137}Cs i Figur 37 viser verdier som gjør det vanskelig å bruke ^{137}Cs for dateringsformål. Muligvis svarer maksimum ved 8-9 cm til Tsjernobyl 1986.



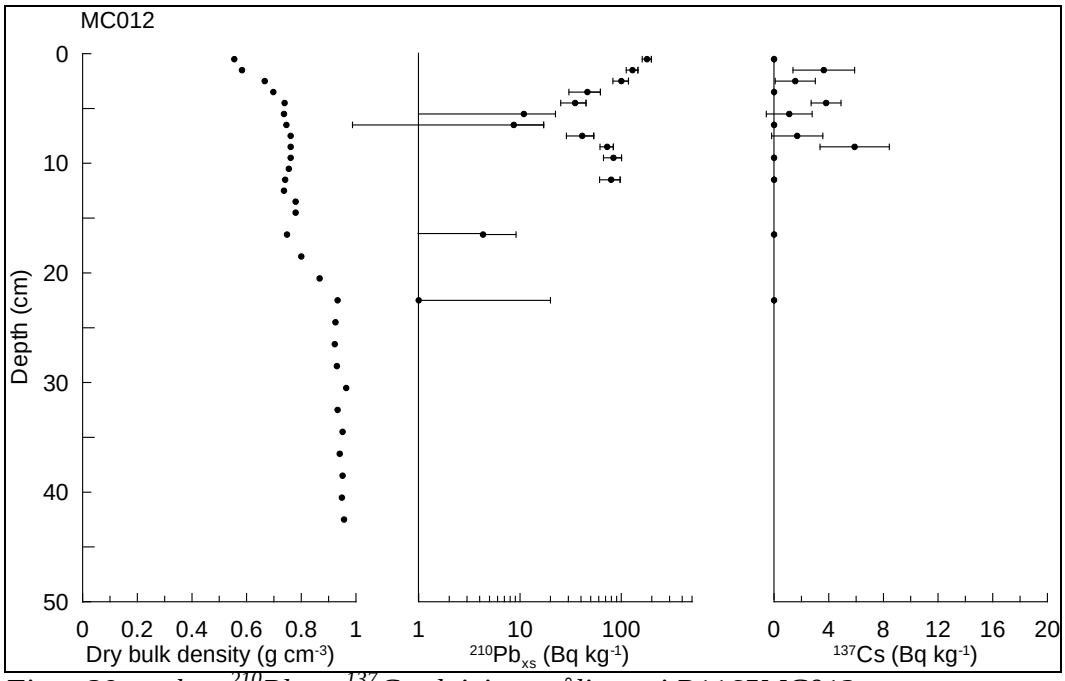
Figur 37. Tetthet, ^{210}Pb og ^{137}Cs aktivitetsmålinger i R1146MC011.



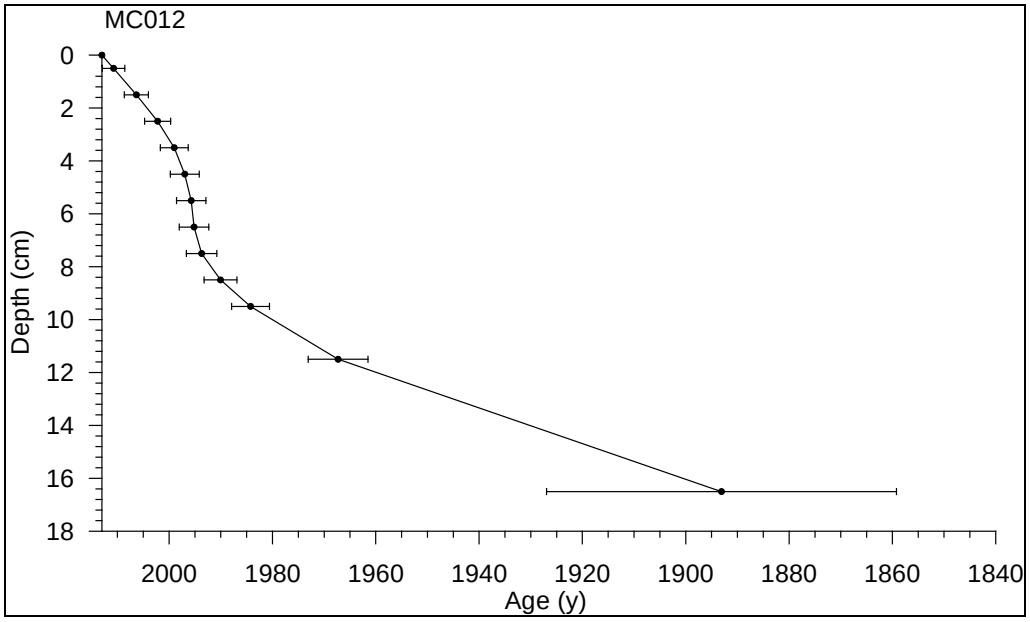
Figur 38. Alder vs. dyp i sedimentene i R1146MC011.

R1165MC012, TOO i Barentshavet

R1165MC012 fra TOO i Barentshavet har en uvanlig "unsupported" ^{210}Pb fordeling i sedimentkjernen (diagrammet i midten, Figur 39). Det som likner en vanlig ^{210}Pb reduksjon med dyp og alder ned til 5-6 cm blir forstyrret av et økt aktivitetsnivå fra 7-8 cm dyp, og holder seg på et relativ høyt nivå ned til 11-12 cm, for så å falle markant. Det er tydeligvis en form for forstyrrelse av en vanlig sedimentasjon, enten forårsaket av naturlige eller menneskelig aktivitet, for eksempel tråling, som skjærer ned i sedimentene og roter i havbunnen. Den beregnede alder mot dyp i Figur 40 viser at det er stor usikkerhet knyttet til alder vs. dyp under 8-9 cm. Den beregnede sedimentasjonsraten på 3,0 mm/år anses å være urealistisk høy. De lave ^{137}Cs verdiene er vanskelige å bruke til dateringsformål.



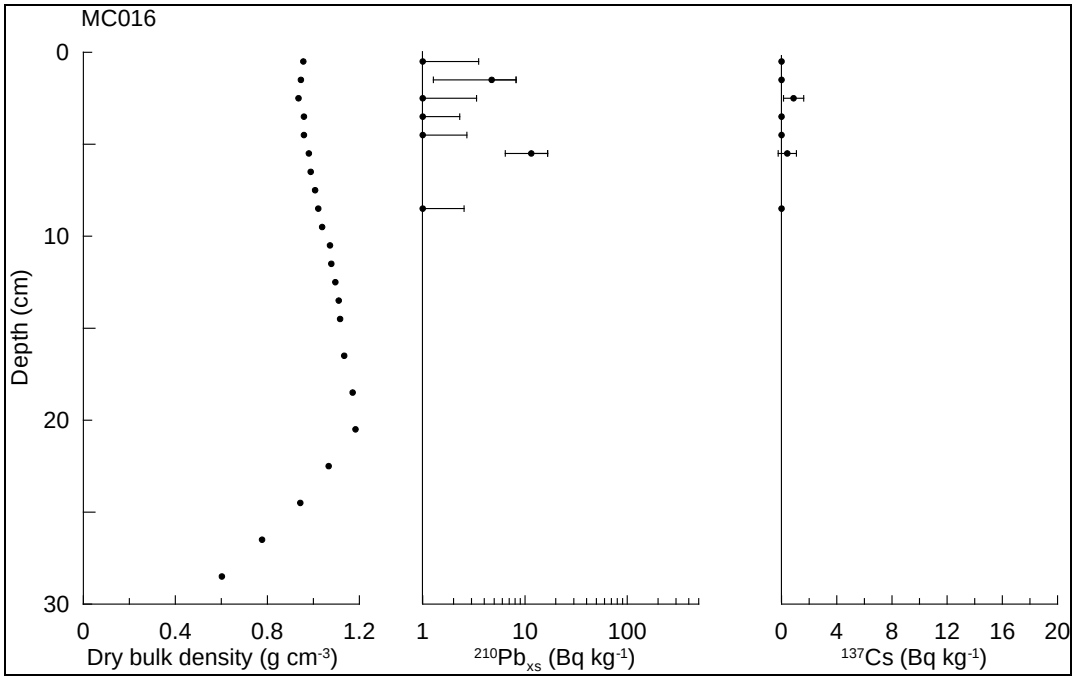
Figur 39. tetthet, ^{210}Pb og ^{137}Cs aktivitetsmålinger i R1165MC012.



Figur 40. Alder vs. dyp i sedimentene i R1165MC012.

Stasjon R1200MC016, TOO

Det er ikke registrert "unsupported" ^{210}Pb i denne sedimentkjernen, noe som betyr at det ikke er aktiv sedimentasjon på denne stasjonen. ^{137}Cs er ikke registrert i prøvene utover en meget lav verdi på 1Bq/kg sediment i prøven ved 2-3 cm (Figur 41). Dette bekrefter at det ikke er, eller har vært, sedimentasjon på denne stasjonen på flere årtier – flere hundre år. Beregnet sedimentasjonsrate for R1200MC016 er 0 mm/år i moderne tid, d.v.s. siste 150 år.



Figur 41. Tetthet, ^{210}Pb og ^{137}Cs aktivitetsmålinger i R1200MC016.

Resultatet av dateringene av de 8 sedimentkjernene er oppsummert i Tabell 5. Påliteligheten er vurdert på basis av resultatene i avsnitt 5.4. Påliteligheten er basert på dateringsresultatene, og er ikke en vurdering av kvaliteten på analysene, som vurderes å være av høy kvalitet for samtlige 8 stasjoner. Generelt så er det mulig å etablere kurve over alder mot dyp i de fleste ^{210}Pb-daterte kjernene, med ett enkelt unntak, R1200MC016. Usikkerhet oppstår der det enten har vært blanding av sedimenter eller hvor andre prosesser har ført til forstyrrelse av sedimentasjonen. Spesielt er det vanskelige å gi sikker sedimentasjonsrate for kjernene fra TOO. Basert på kunnskap om holosen sedimenttykkelse, vurderesR1146MC011 og R1165MC012 til å ha altfor høye sedimentasjonsrater. 210Pb-data for de to nevnte stasjonene i Barentshavet indikerer forstyrrelse i sedimentasjonen. Forstyrrelsen kan være menneskelig aktivitet, og da er tråling en mulig forklaring. Andre forhold som påvirker dateringsanalysene er variabel sedimentasjon (ikke kontinuerlig sedimentasjon). R1261MC020 fremheves som en sedimentkjerne med en god ^{210}Pb dataserie ned gjennom sedimentkjernen. 210Pb dataene viser en høy sedimentasjonsrate over lengre tid.

Tabell. 5: Daterte sedimentkjerner fra MAREANO-toktene i 2013 (se Vedlegg 5 for utfyllende informasjon).

Stasjon	Område	LSR mm/år	Dateringens kvalitet
R1114MC001	Skjoldryggen, Norskehavet	0,5	Akseptabel
R949MC028	Iverryggen, Norskehavet	0,9	God
R942BX026	Storegga	0,6	Akseptabel
R889MC025	Kristiansund - Halten	2,1	God
R1261MC020	Ytre Mørebankene, Norskehavet	2,0	God
R1146MC011	TOO, Barentshavet	5,0	forstyrret
R1165MC012	TOO, Barentshavet	3,0	forstyrret
R1200MC017	TOO, Barentshavet	0,0	God

5.5 Tungmetaller, arsen og barium i 8 ^{210}Pb-daterte sedimentkjerner og 7 udaterte sedimentkjerner

For å vurdere dagens forurensingstilstand sammenlignet med tidligere, er de ^{210}Pb-daterte sedimentkjernene analysert for innhold av tungmetaller, arsen og barium. I tillegg er også sedimentkjerner fra 7 stasjoner uten datering valgt ut til analyse. Variasjoner i tungmetall, arsen og barium gjør det mulig å vurdere hvorvidt det har skjedd en endring i tilførsel og binding av disse stoffene i de øverste sedimentene i nyere tid. Endringer kan skyldes naturlige forhold eller komme som resultat av menneskelig påvirkning. Analyseresultatene finnes i Vedlegg 1.

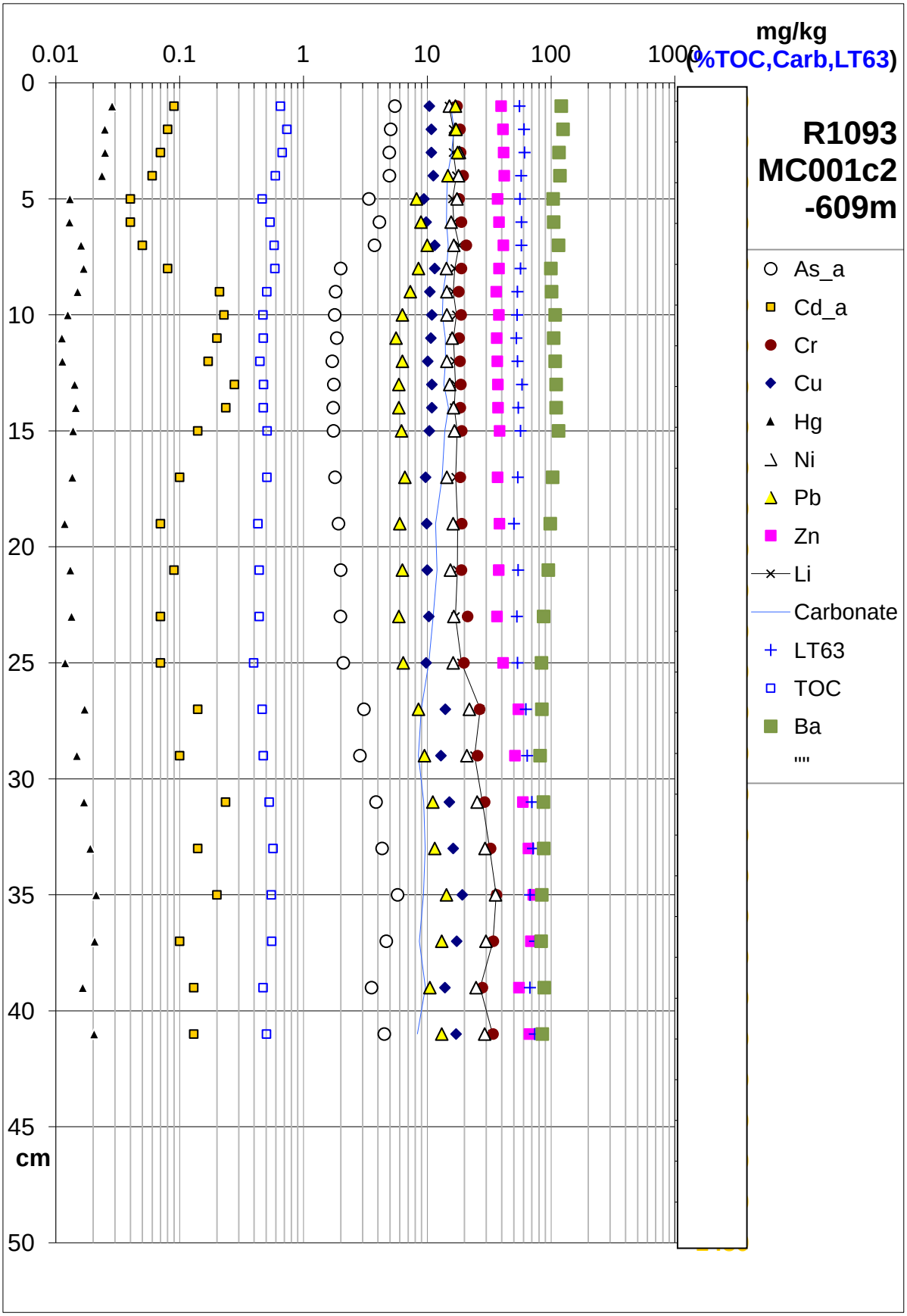
Norskehavet

R1093MC001, Skjoldryggen

Sedimentkjernen er 41cm lang. Andel finstoff (<63 µm) varierer mellom 50 % og 74 %, og har forholdsvis stabil andel mot toppen. Stabile nivåer av finstoff indikerer at avsetningsforholdene har vært relativt stabile (Figur 42). TOC øker gradvis fra mindre enn 0,5 % i den nedre delen av kjernen til ca. 0,7 % i de øverste 3 prøvene i sedimentkjernen. TOC fluktuerer i de øverste 10 cm. De relativt lave nivåene av Cr, Cu, Ni, og Zn reduseres litt opp gjennom sedimentkjernen. Ba øker fra ca. 80 mg/kg sediment nederst til 110-120 mg/kg sediment øverst i sedimentkjernen. Cd viser større variasjon, med generelt avtagende konsentrasjoner mot toppen av sedimentkjernen. Årsaken til at Cd-konsentrasjonen varierer betydelig kan skyldes at den påvirkes av redoksforholdene i sedimentene, med utfelling i overgangssonen fra oksiske til anoksiske forhold (diagenese). As varierer en del gjennom sedimentkjernen, med tendens til økning øverst i sedimentkjernen. Redoksforholdene har sannsynligvis også innvirkning på As-nivåene, men i motsatt retning sammenliknet med Cd. Hg og Pb øker mot toppen av sedimentkjernen, og mest tydelig fra ca. 5 cm. Både Hg og Pb følger variasjonene til TOC i sedimentene. Hg har en 100 % økning fra nederste (mindre enn 0,015 ppm) til øverste del av sedimentkjernen (0,029 mg/kg sediment). Pb har en økning på ca. 250 % fra et minimum på 5,6 mg/kg nederst til 17,6 mg/kg i den øvre delen av sedimentkjernen. Økningen for Hg og Pb tilskrives antropogen tilførsel, enten gjennom atmosfæren eller via havstrømmer. Alle metallene har konsentrasjoner i klasse I, tilsvarende bakgrunnsnivå. Tabell 6 gir minimum, gjennomsnitt, median og maksimumskonsentrasjoner for de analyserte tungmetallene, As og Ba.

Tabell 6. Sedimentkjerne R1093MC001 (0-41 cm). Minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium (mg/kg) er vist.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 28	Min.	1,7	81,6	0,040	17,4	9,4	0,0112	14,3	5,6	36,1
	Gns.	3,2	100,3	0,138	22,3	12,0	0,0166	19,1	9,6	39,2
	Med.	3,0	102,0	0,100	19,0	10,9	0,0149	16,4	8,5	38,0
	Max.	5,8	125,0	0,277	36,3	19,2	0,0285	35,6	17,6	54,5



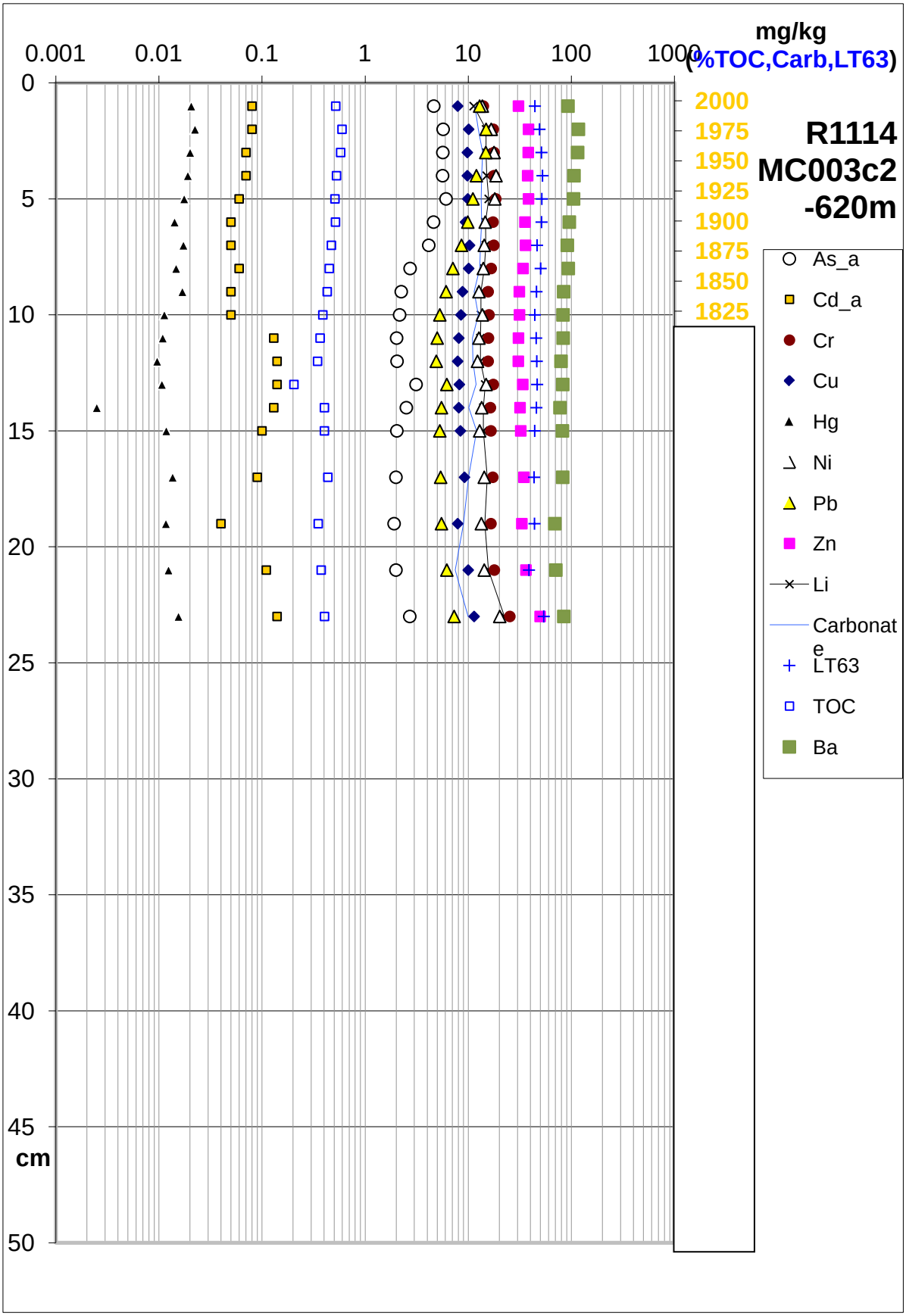
Figur 42. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1093MC001 (0-41 cm). X-skalaen er logaritmisk.

R1114MC003, Skjoldryggen

Stasjon R1114 ligger på Skjoldryggen og er ^{210}Pb-datert (avsnitt 5.4). Sedimentkjernen er relativ kort. Andel finstoff utgjør 39-54 %, og med svak avtagende andel mot toppen av kjernen (Figur 43). Dette kan tyde på en økning i havstrømmene, som reduserer avsetning av mudder i sedimentene i nyere tid. TOC øker fra bunn til topp fra 0,4-0,6 vekt %. Figur 43 viser at Cr, Cu, Ni, Zn og Ba alle har relativ stabile nivåer gjennom hele sedimentkjernen. De 5 elementene, som i høy grad følger andel finstoff i sedimentene, vurderes å være på naturlig bakgrunnsnivå i hele kjernen. Både As og Cd fluktuerer på lave nivåer. As øker i de øverste 10 cm, mens Cd har et tilsvarende lavt nivå. Hg øker fra et bakgrunnsnivå på litt mer enn 0,01 mg/kg sediment til ca. 0,02 mg/kg sediment i de øverste 4 cm av sedimentkjernen. Pb øker fra ca. 5 mg/kg sediment i den nedre delen av sedimentkjernen til 12-15 mg/kg sediment i de øverste 4 cm av sedimentkjernen. Det er dermed en tredobling av Pb. Økningen skjer fra ca. 10 cm. Årstallene på høyre siden av dypdeaksen indikerer at Pb og Hg øker fra ca. 10 cm, og ekstrapolert fra ^{210}Pb-dateringen så har økningen begynt i løpet av 1800-tallet. Tabell 7 gir minimum, gjennomsnitt, median og maksimumskonsentrasjoner for de analyserte tungmetallene, As og Ba.

Tabell 7. Sedimentkjerne R1114MC003 (0-23 cm). Minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 19	Min.	1,9	69,2	0,040	14,0	7,9	0,0025	12,3	4,9	30,6
	Gns.	3,4	89,2	0,086	17,3	9,1	0,0144	14,9	8,1	35,0
	Med.	2,7	84,2	0,080	17,3	9,2	0,0142	14,3	6,2	34,0
	Max.	6,1	117,0	0,140	25,0	11,4	0,0224	20,2	14,9	49,8



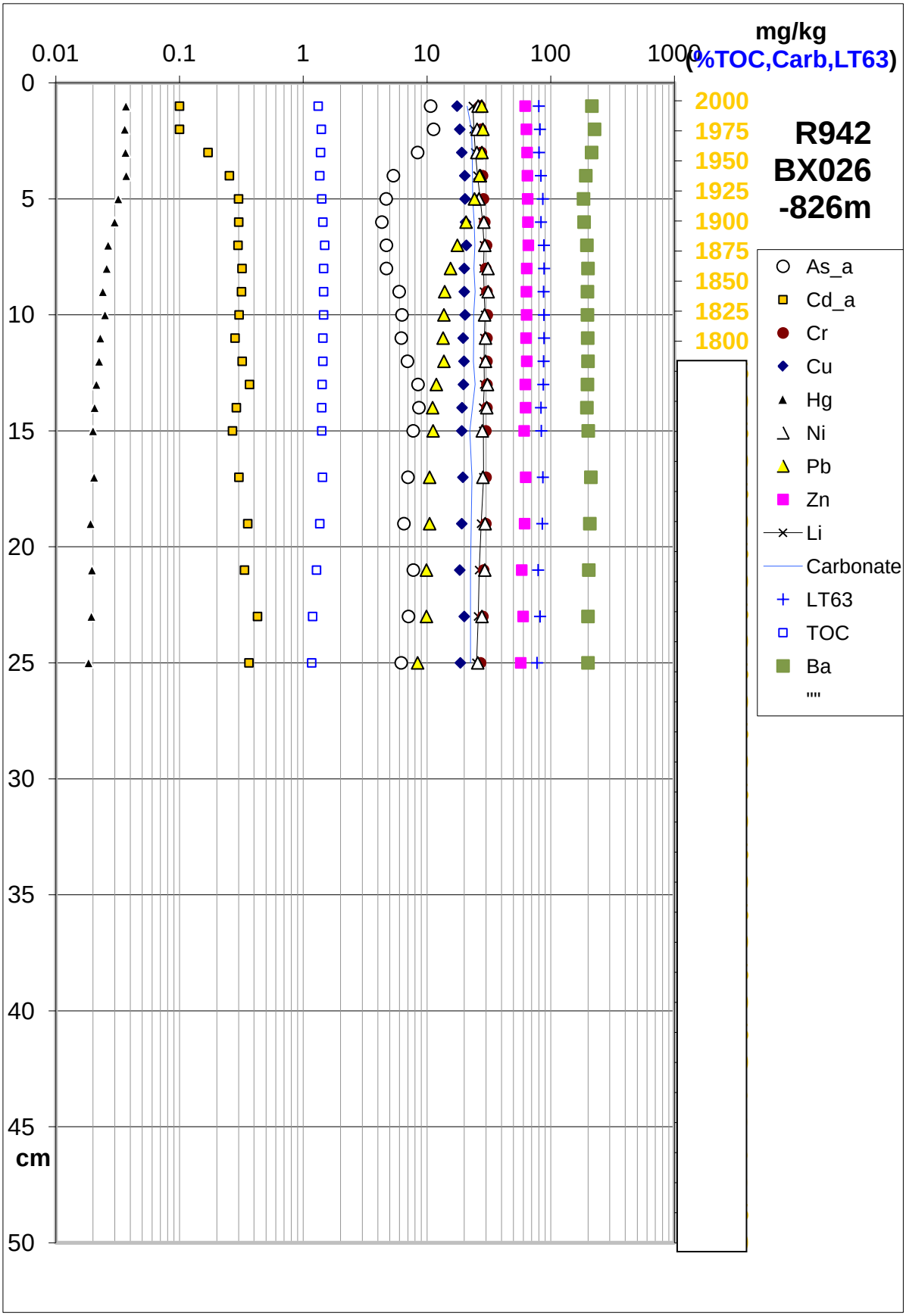
Figur 43. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1114MC003 (0-23 cm). Skalaen for konsentrasjoner er logaritmisk.

R0942BX026, Storegga

Den 25 cm lange sedimentkjernen tatt med boxcorer har konstant høy andel finstoff (<63 µm) på ca. 80 % (Figur 44), og svakt økende andel TOC, fra ca. 1,2 vekt % i de nederste 5 cm til ca. 1,4 vekt % i de øverste 20 cm av kjernen. Cr, Cu, Ni, Zn og Ba har relativt konstante nivåer gjennom kjernen. De konstante og relativt lave nivåene tyder på at de 5 elementene er på naturlig bakgrunnsnivå gjennom hele sedimentkjernen. Kilden til disse elementene tilskrives tilførsel fra sedimenter alene. Cd er på stabilt nivå på 0,3-0,4 mg/kg sediment i intervallet 4-25 cm, og reduseres markant i de øverste 4 cm, til 0,1 mg/kg sediment i de øverste 2 cm. As varierer fra et nivå på 6-8 mg/kg sediment i de nederste 12-25 cm til et laveste nivå på 4-5 mg/kg sediment i intervallet 5-8 cm, for så å øke igjen til mer enn 10 mg/kg sediment i de øverste 2 cm. Både As og Cd er sannsynligvis påvirket av redoksforhold i sedimentene, slik at endringene ikke skyldes endringer i tilførsel til sedimentene. Hg øker gradvis fra et bakgrunnsnivå på ca. 0,02 mg/kg sediment i intervallet 12-25 cm til 0,038 mg/kg sediment i de øverste 4 cm. Pb øker fra et bakgrunnsnivå på ca. 10 mg/kg sediment i intervallet 12-25 cm til 24-28 mg/kg sediment i de øverste 5 cm av kjernen. Økningen i Hg og Pb skjer gradvis fra ca. 12 cm. Ekstrapolasjon av årstall vs. dyp til høyre i Figur 44 indikerer for Pb sitt vedkommende at gradvis økning kan ha begynt tidlig på 1800 tallet, og en mer markant økning skjer i intervallet 4-6 cm. Dette tilsvarer begynnelsen av 1900 tallet. Hg øker markant i intervallet 3-5 cm, slik at denne andre mer markante økning i Hg kan ha skjedd tidlig på 1900-tallet. Tabell 8 gir minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for de analyserte elementene.

Tabell 8. Sedimentkjerne R0942BX026 (0-25 cm). Minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium (mg/kg).

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 20	Min.	4,3	184,0	0,100	26,8	17,5	0,0184	25,3	8,4	57,2
	Gns.	6,9	201,2	0,289	29,3	19,5	0,0257	28,4	16,3	62,8
	Med.	6,7	200,0	0,302	29,9	19,7	0,0235	29,0	13,7	63,4
	Max.	11,3	226,0	0,427	30,7	20,8	0,0371	31,2	28,3	65,9



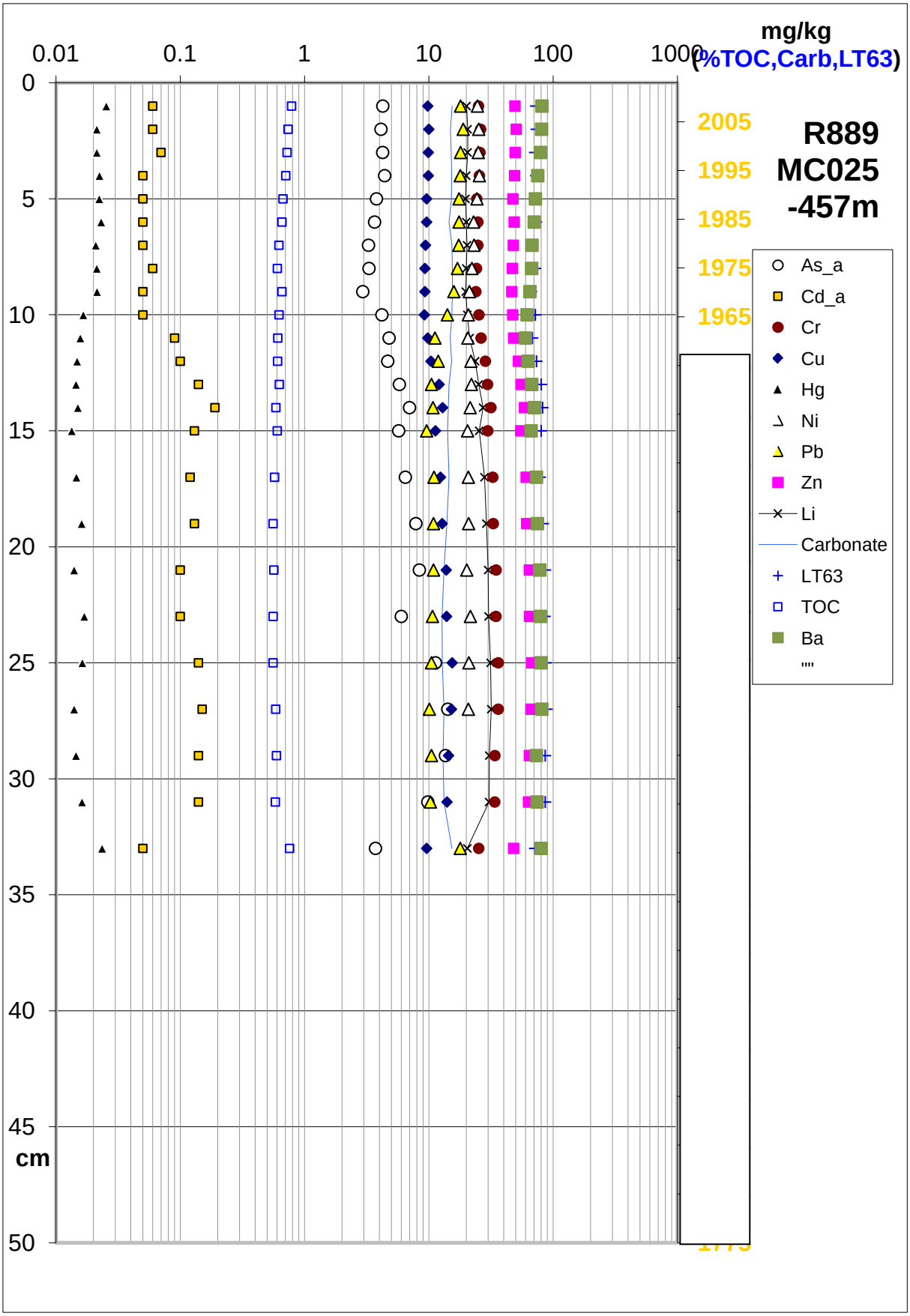
Figur 44. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne fra R0942BX026 (0-25 cm). X-skalaen er logaritmisk.

R889MC025, Kristiansund-Halten

Andelen finstoff utgjør mer enn 80 % i intervallet 33-12 cm (fra bunnen), for deretter å reduseres til drøye 70 % i de øverste 12 cm av kjernen (Figur 45). TOC øker svakt fra litt over 0,5 % nederst, til i overkant av 0,7 % øverst i kjernen. Cr, Cu, Ni og Zn reduseres svakt fra bunn til topp , mens Ba har en ganske stabil konsentrasjon. De 5 elementene vurderes å ha konsentrasjoner tilsvarende naturlig bakgrunnsnivå. Cd har lav konsentrasjon gjennom kjernen og markant reduksjon fra 15 cm til toppen. As har generelt lav konsentrasjon gjennom kjernen. Hg øker fra et bakgrunnsnivå på ca. 0,015 mg/kg sediment i intervallet 31-10 cm, for deretter å øke til 0,021-0,025 mg/kg sediment i de øverste 9 cm. Pb forekommer på et konstant naturlig bakgrunnsnivå på 10-12 mg/kg sediment i intervallet 31-10 cm. Deretter øker Pb til 16-19 mg/kg sediment i de øverste 9 cm. De beregnede årstallene basert på ^{210}Pb datering av R889MC025 (avsnitt 5.4) på høyresiden i Figur 45 antyder at det har vært høy sedimentasjon siden tidlig på 1960-tallet, ca. 11 cm. Tabell 9 gir minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for de analyserte elementene.

Tabell 9. Sedimentkjerne R889MC025 (0-33 cm). Minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 24	Min.	2,9	60,0	0,050	23,9	9,4	0,0134	17,2	9,6	46,5
	Gjsn.	6,1	72,6	0,095	29,0	11,2	0,0181	23,2	13,7	54,7
	Med.	4,7	73,4	0,095	27,4	10,2	0,0165	20,9	11,6	51,6
	Max.	14,2	81,2	0,190	36,2	15,4	0,0254	31,7	18,9	67,3



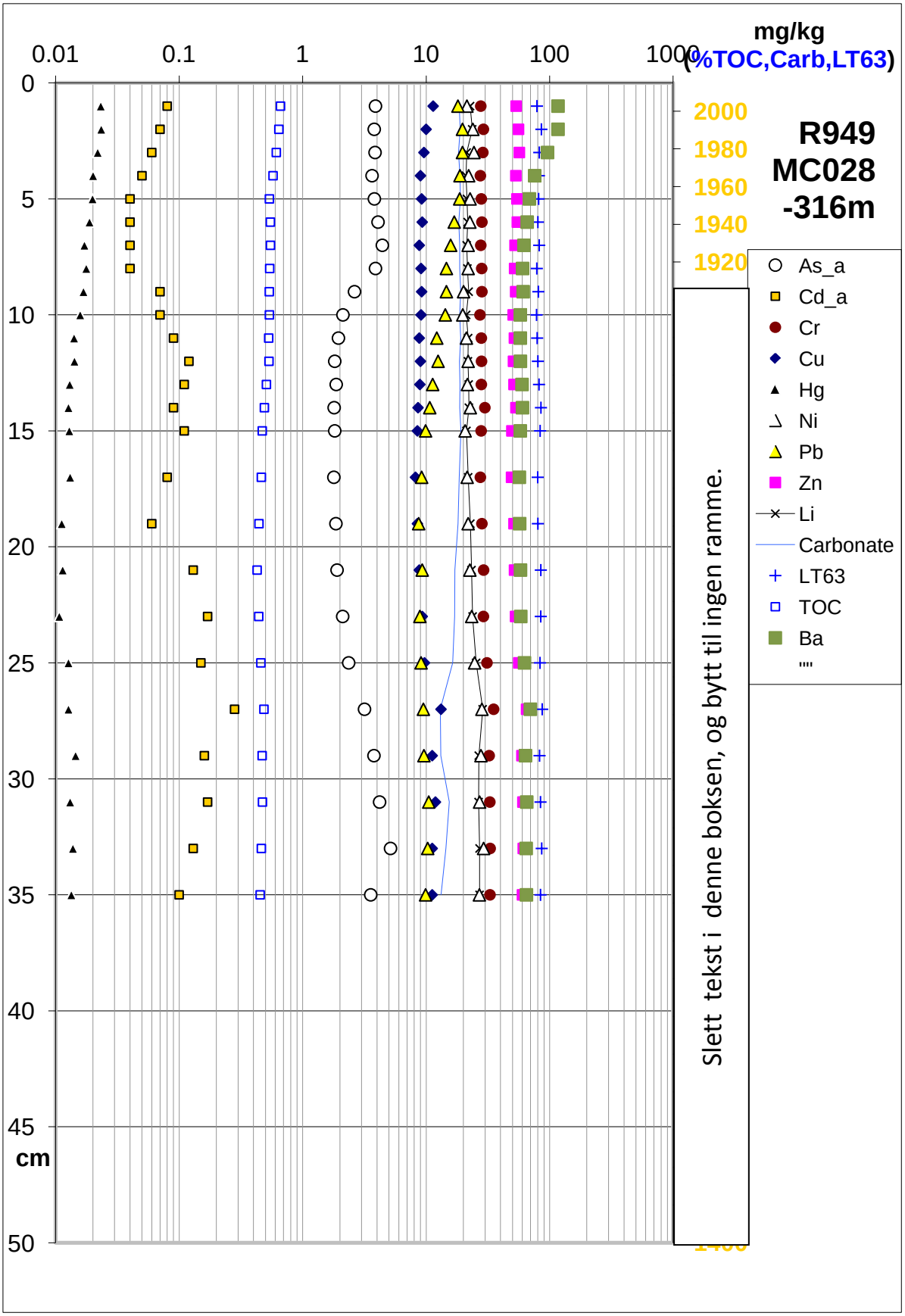
Figur 45. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R889MC0125 (0-33 cm).

R949MC028, Iverryggen

Andelen finstoff er stabilt høyt (80-85 %) gjennom hele den 35 cm lange sedimentkjernen. Total organisk karbon, TOC, øker fra 0,45 % i bunnen til 0,65 % øverst. Cr, Cu, Ni og Zn er relativt stabile gjennom hele kjernen, med tendens til svak økning øverst (Figur 46). Ba har et stabilt nivå på ca. 60-75 mg/kg sediment fra 35 cm til 4 cm. Ba øker til 117 mg/kg sediment øverst. Cd har lavt fluktuerende nivå gjennom kjernen, varierende fra mindre enn 0,04 til 0,28 mg/kg sediment, og øker fra mindre enn 0,05mg/kg sediment ved 4-5 cm til mindre enn 0,1 mg/kg sediment øverst i sedimentkjernen. As varierer fra ca. 2 mg/kg sediment til ca. 5 mg/kg sediment, og har en relativ stabil konsentrasjon på 4-5 mg/kg sediment i de øverste 8 cm. Hg varierer fra 0,011-0,014 mg/kg sediment i intervallet 35-10 cm, og øker til 0,020-0,023 mg/kg sediment i de øverste 10 cm. Pb varierer fra 9-12 mg/kg sediment i intervallet 35-10 cm, tilsvarende naturlig bakgrunnsnivå. I de øverste 10 cm øker Pb til 14-20 mg/kg sediment. Økningen av Pb og Hg fra ca. 10 cm i R949MC028 kan ha begynt rundt 1900 (Figur 46), hvis man ekstrapolerer årstallene fra ^{210}Pb dateringsanalysene (avsnitt 5.4). Økningen av Ba i sedimentene fra ca. 3 cm har begynt ca. 1970 basert på denne dateringen. Tabell 10 gir minimum, gjennomsnitt, median- og maksimumsverdier for de analyserte elementene.

Tabell 10. Sedimentkjerne R949MC028 (0-35 cm) Minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 25	Min.	1,8	56,9	0,040	27,3	8,2	0,0107	19,8	8,7	49,2
	Gjsn.	3,0	67,9	0,100	29,4	9,7	0,0155	23,3	12,9	54,6
	Med.	3,2	62,0	0,090	28,3	9,2	0,0141	22,6	11,3	53,3
	Max.	5,2	117,0	0,281	35,2	13,2	0,0234	29,2	19,7	65,1



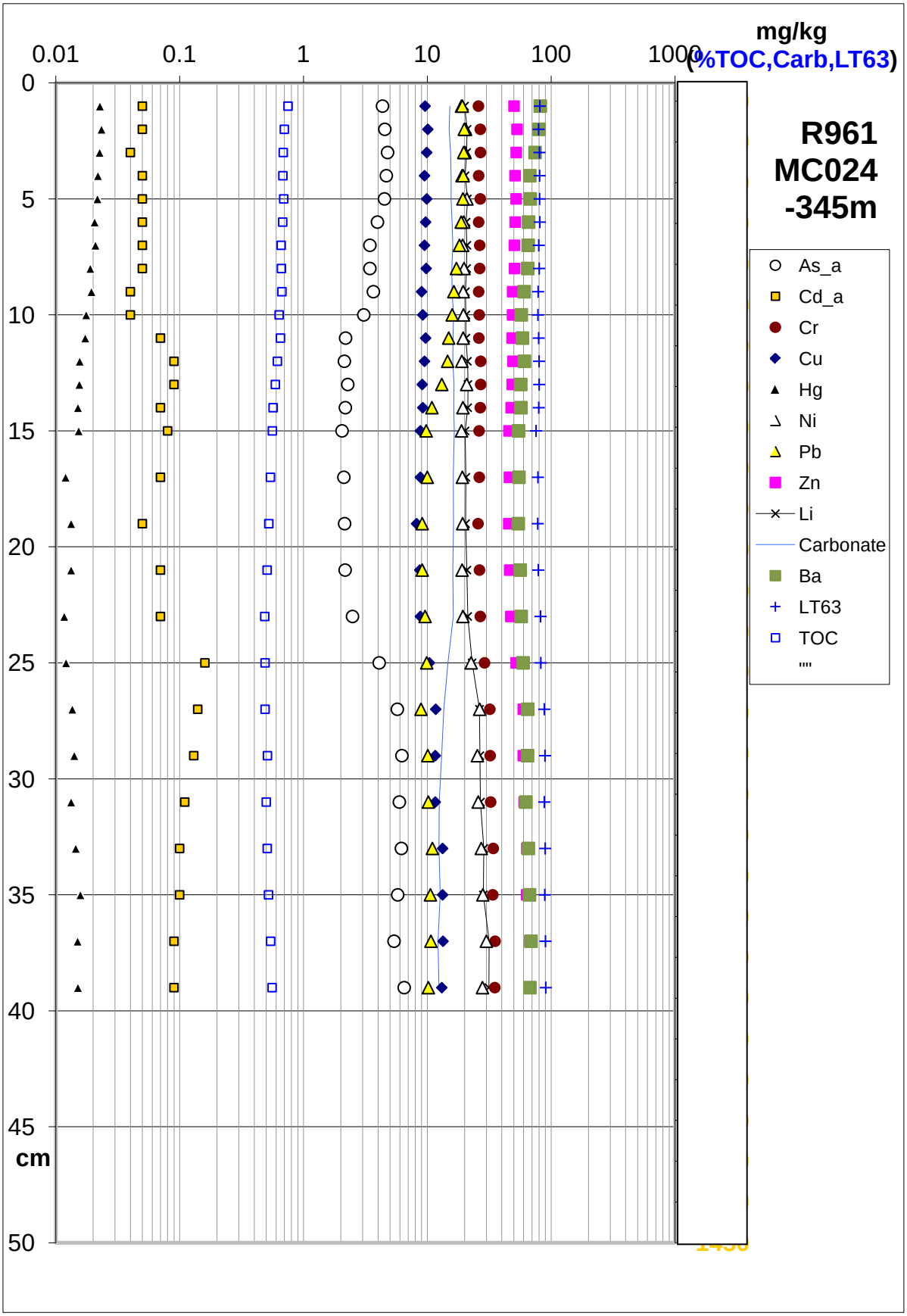
Figur 46. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i den ^{210}Pb- daterte sedimentkjernen R949MC028 (0- 35 cm). X-aksen er logaritmisk.

R961MC024, Sularyggen

Andelen av finstoff i sedimentkjernen fra R961MC024 utgjør 80-90 %, med størst andel i den nederste delen, 39-26 cm. Deretter reduseres andel finstoff til ca. 80 % av sedimentene fra 24 cm til toppen av kjernen (Figur 47). TOC øker gradvis fra ca. 0,5 nederst til 0,75 % øverst i kjernen. Cr, Cu, Ni og Zn er relativ stabile gjennom hele kjernen. De 4 elementene er til stede på naturlig bakgrunnsnivå. Ba er tilstede i relativ stabile konsentrasjoner, med en svak økning fra ca. 65 mg/kg sediment til 74-81 mg/kg sediment i de øverste 3 cm. Cd og As har fluktuerende lave konsentrasjoner. Hg har et naturlig bakgrunnsnivå på 0,012-0,016 mg/kg sediment i intervallet 39 – 10 cm, og øker til 0,019 – 0,023mg/kg sediment i de øverste 9 cm. Pb varierer fra 9-11 mg/kg sediment i intervallet 35-13 cm, tilsvarende naturlig bakgrunnsnivå. Deretter øker Pb gradvis til et stabilt høyere nivå på 16-20 mg/kg sediment i de øverste 10 cm av sedimentkjernen. Tabell 11 viser minimum, gjennomsnitt, median- og maksimumsverdier for de analyserte elementene.

Tabell 11. Sedimentkjerne R961MC024 (0-39 cm). Minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 27	Min.	2,1	54,3	0,040	25,7	8,2	0,0117	18,9	8,9	45,5
	Gns.	3,9	63,6	0,076	28,4	10,2	0,0168	21,7	13,6	52,9
	Med.	4,0	64,5	0,070	26,8	9,7	0,0155	19,7	11,0	50,7
	Max.	6,5	81,8	0,160	35,3	13,4	0,0234	30,0	19,9	65,5



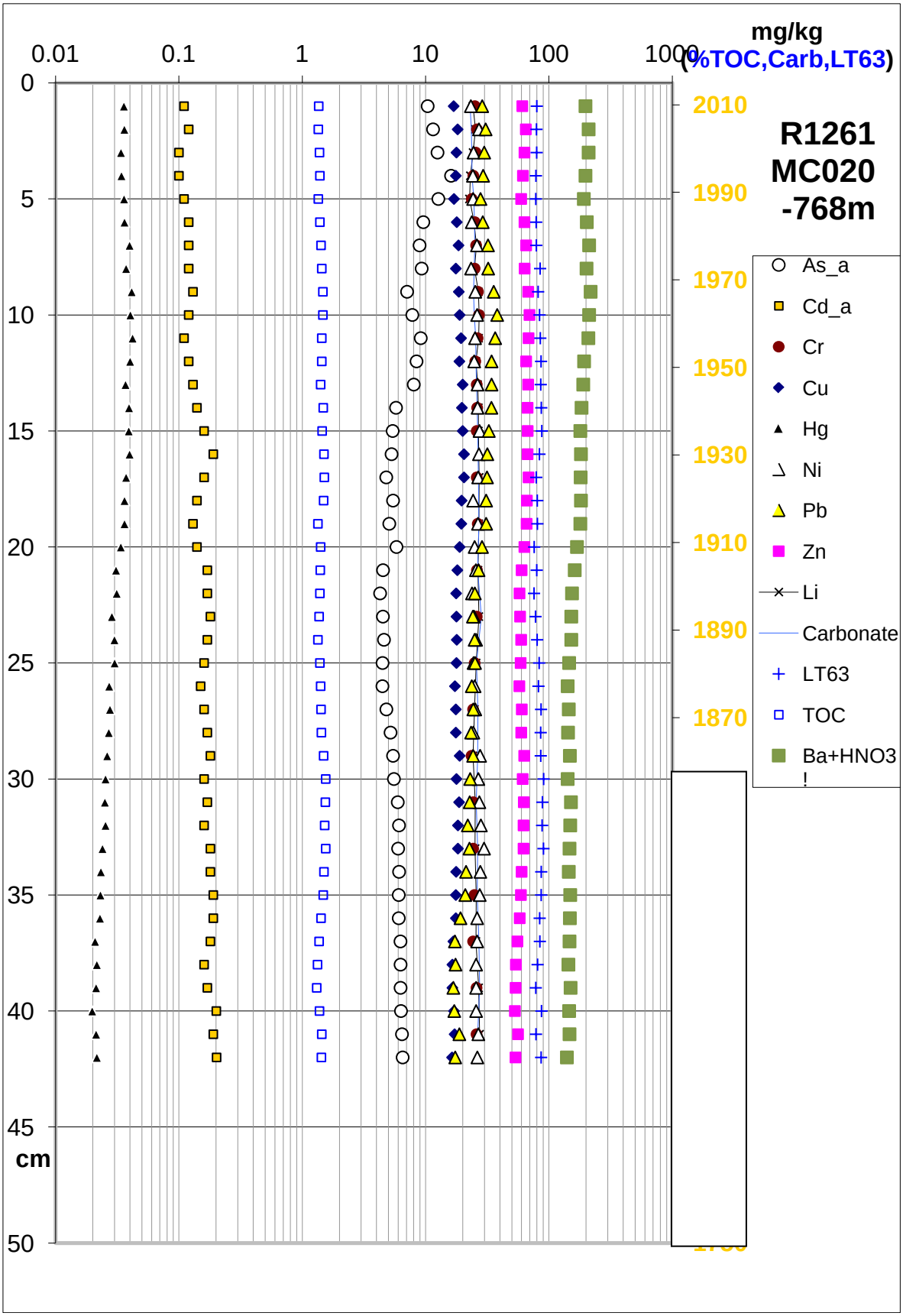
Figur 47. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R961MC024 (0- 39 cm). X-aksen er logaritmisk.

R1261MC020, kontinentalskråningen utenfor Ytre Mørebankene

Samtlige 1-cm prøver fra denne sedimentkjernen på 42 cm er analysert. Andel finstoff varierer fra i underkant av 80 % til ca. 90 %, og med litt mindre andel i den øverste delen av kjernen. TOC er stabilt på ca. 1,4-1,5 % gjennom hele kjernen (Figur 48). Cr, Cu, Ni og Zn er på stabile bakgrunnsnivåer gjennom hele kjernen, mens Ba øker gradvis fra 150 mg/kg sediment nederst, til 210 mg/kg sediment øverst. Cd konsentrasjonen reduseres gradvis fra ca. 0,2 mg/kg sediment nederst, til ca. 0,1 mg/kg sediment øverst. As øker gradvis opp gjennom kjernen, fra 5-6 mg/kg sediment til 12-16 mg/kg sediment i de øverste 5 cm, og med fluktuerende konsentrasjon i intervallet 5-20 cm. Hg øker gradvis fra et bakgrunnsnivå på litt mer enn 0,02 mg/kg sediment nederst til 0,035-0,043 mg/kg sediment i de øverste 20 cm. Pb øker gradvis fra et naturlig bakgrunnsnivå på 17-18 mg/kg sediment i intervallet 36-42 cm, til 28-38 mg/kg sediment i de øverste 20 cm, med en svak avtakende trend til 29-32 mg/kg sediment i de øverste 8 cm. ^{210}Pb dateringsanalysene (avsnitt 5.4) indikerer at økningene i Hg og Pb begynner midt på 1800-tallet, sannsynligvis sammenfaldende med økt industriell utvikling. Økningen i både Pb og Hg skyldes da menneskelig aktivitet. Den svake reduksjonen i Pb begynner i løpet av 1970-tallet. Pb-reduksjonen kan ha sammenheng med at blyholdig bensin ble forbudt i flere vestlige land på 1970-tallet. Dateringsanalysene fra R1261MC020 vurderes å være av høy pålitelighet (avsnitt 5.4). R1261MC020 utgjør derfor et viktig "arkiv" for avsetning av miljøgifter som Hg og Pb de siste ca. 150 år, som er den tidsmessige "rekkevidde" av ^{210}Pb dateringsmetoden. Tabell 12 viser minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for de analyserte elementene.

Tabell 12. Sedimentkjerne R1261MC020 (0-42 cm). Minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 42	Min.	4,3	140,0	0,100	23,6	16,4	0,0198	23,3	16,8	53,0
	Gns.	6,9	170,3	0,153	26,0	18,2	0,0311	25,8	26,6	61,8
	Med.	6,1	158,0	0,160	26,0	17,9	0,0311	25,7	26,1	62,0
	Max.	16,1	218,0	0,202	28,6	20,5	0,0421	29,8	38,1	69,6



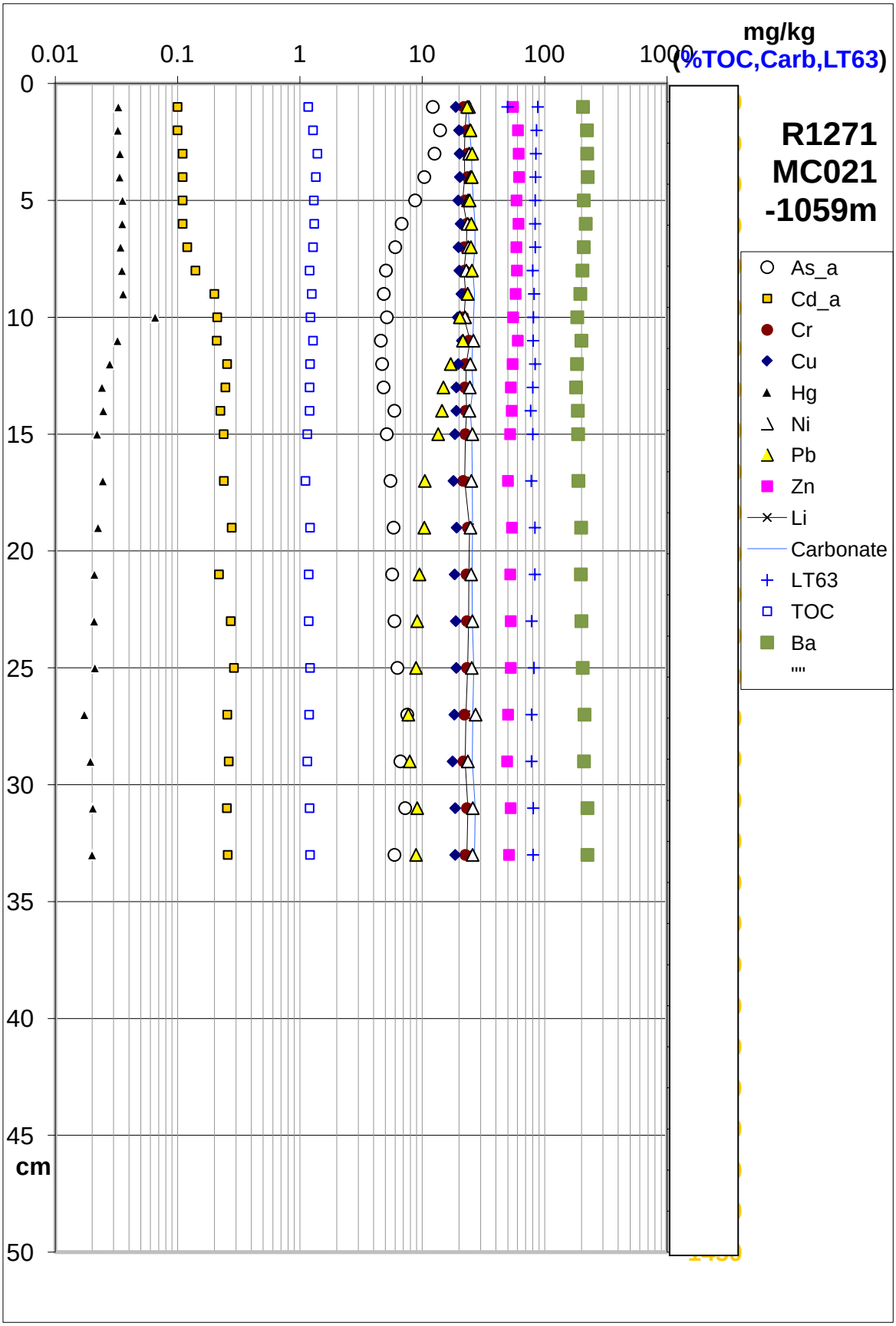
Figur 48. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1261MC020 (0- 42 cm).

R1271MC021, kontinentalskråningen utenfor Ytre Mørebankene

R1271MC021 er lokalisert på kontinentalskråningen utenfor Ytre Mørebankene. Den 33 cm lange sedimentkjernen har en finstoffandel varierende fra i underkant av 80 til 88 %. TOC er relativ konstant gjennom hele kjernen, varierende fra i underkant av 1,2 % til i underkant av 1,4 % (Figur 49). Metallene Cr, Cu, Ni og Zn har stabile konsentrasjoner gjennom hele kjernen, tilsvarende naturlig bakgrunnsnivåer. Ba har jevn konsentrasjon gjennom hele sedimentkjernen, varierende fra 180 til 225 mg/kg sediment. Cd har et stabilt nivå på ca. 0,3 mg/kg sediment i intervallet 12-33 cm, og reduseres til en lavere konsentrasjon på 0,10-0,14 mg/kg sediment i de øverste 8 cm. As varierer fra mindre enn 5 mg/kg sediment, og øker markant i de øverste 5 cm til maksimalt 14 mg/kg sediment i prøven ved 1-2 cm. Denne type trend for As finnes i flere av de analyserte sedimentkjernene, og skyldes sannsynligvis mobilisering av As i sedimentene. Hg er til stede i naturlig bakgrunnsnivå på 0,010-0,013 mg/kg sediment fra 33-12 cm, for heretter å øke til et konstant høyere nivå på 0,032 -0,038 mg/kg sediment fra 11 cm til overflaten. En enkelt prøve ved 9-10 cm har en markant høyere konsentrasjon på 0,066 mg/kg sediment. En enkelt prøve med markant høyere konsentrasjon er ikke sett tidligere i MAREANO-kjerner. Pb har et naturlig bakgrunnsnivå på 8-10 mg/kg sediment ved 33-11 cm, for deretter å øke til høyere konsentrasjon mot toppen, til 24-26 mg/kg sediment. Tabell 13 viser minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for de analyserte elementene.

Tabell 13. Sedimentkjerne R1271MC021 (0-33 cm). Minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 24	Min.	4,6	181,0	0,100	21,6	17,7	0,0173	22,4	7,7	49,4
	Gns.	7,0	204,0	0,200	22,7	19,3	0,0288	24,7	16,9	55,5
	Med.	5,9	204,5	0,221	22,5	19,1	0,0263	24,7	16,0	54,5
	Max.	14,0	225,0	0,289	24,1	21,1	0,0656	27,3	25,6	61,9



Figur 49. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1271MC021 (0- 33 cm).

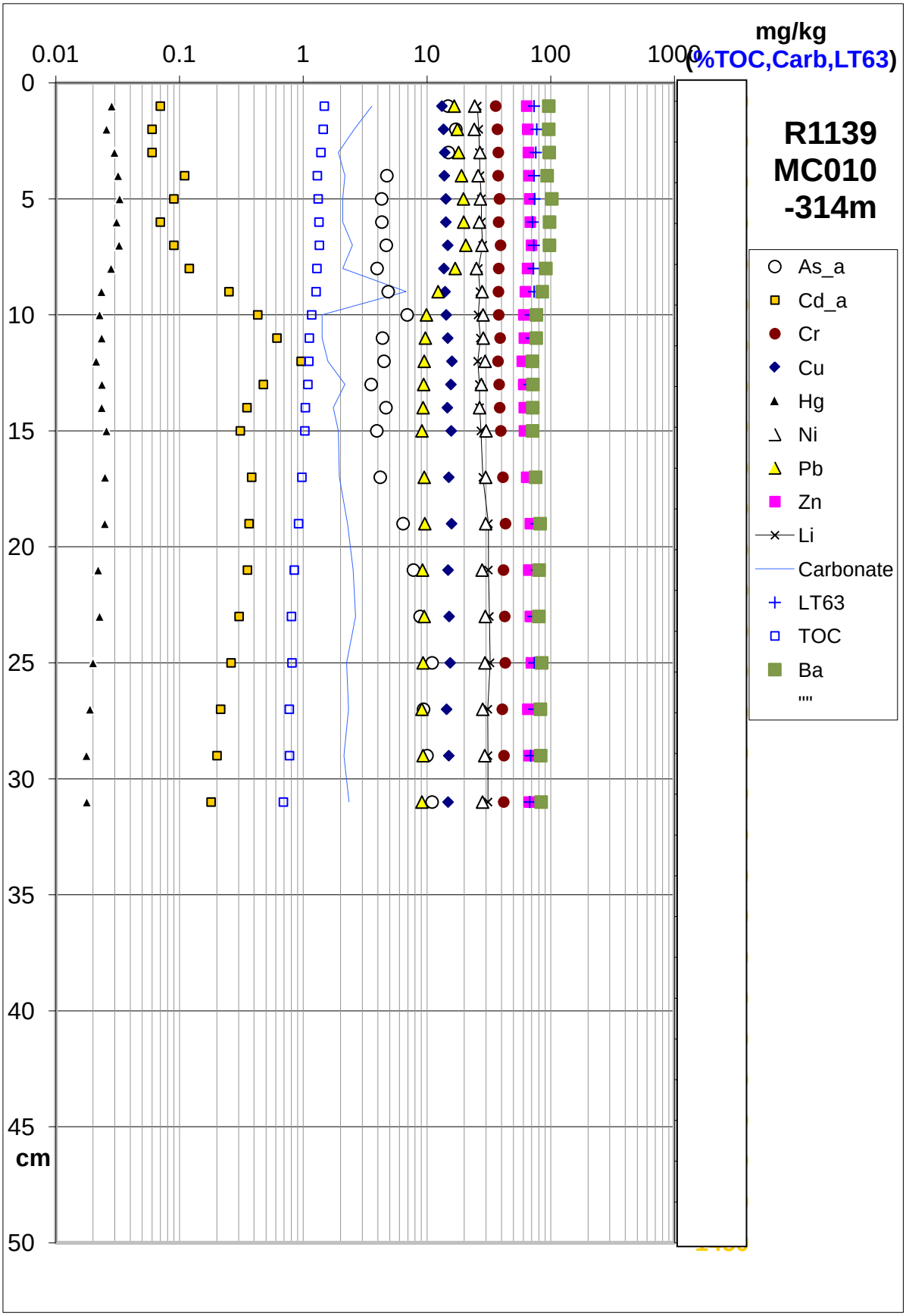
Barentshavet

R1139MC010, TOO

Sedimentprøver ned til 31 cm er analysert. Andelen av finstoff er ganske konstant i hele sedimentkjernen, varierende fra 67 til 77 % andel av sedimentene, og sedimentene kan klassifiseres som sandholdig silt (Figur 50). TOC øker fra 0,7 % nederst til 1,4 % øverst. Minimum, gjennomsnitt, median og maksimum for metallene, As og Ba er presentert i tabell 14. Cr, Cu, Ni og Zn har ganske konstante konsentrasjoner gjennom hele sedimentkjernen, hvilket tyder på stabil tilførsel av disse spormetallene av mineralogisk opprinnelse. Ba øker svakt opp gjennom kjernen, fra ca. 70-80 mg/kg sediment i den nedre delen, til i underkant av 100 mg/kg sediment øverst. De 5 nevnte elementene er til stede i naturlig bakgrunnsnivå i hele intervallet. Cd øker markant fra under deteksjonsgrensen (0,02 mg/kg) nederst i sedimentkjernen, til 1 mg/kg ved 11-12 cm, for deretter å reduseres markant mot toppen, til mindre enn 0,1 mg/kg. As går fra ca. 10 mg/kg nederst, til 4-6 mg/kg ved 3 cm. I de øverste 3 cm er det høye As-nivåer på ca. 15-17 ppm. Hg-konsentrasjonen varierer fra 0,01til 0,02 mg/kg sediment fra bunnen til 8 cm, og øker fra 8 cm til ca. 0,030-0,033 mg/kg. Hg nivåene i kjernen tilsvarer det naturlige bakgrunnsnivået. Pb øker fra et bakgrunnsnivå på ca. 9 mg/kg sediment fra bunnen til 9 cm, for heretter å øke markant til 17-20 mg/kg sediment i de øverste 8 cm. Økningene i Hg og Pb konsentrasjonene skyldes sannsynligvis antropogen tilførsel i de øverste 7 cm av sedimentene. Tabell 14 viser minimum, gjennomsnitt, median og maksimum verdier for de analyserte elementene.

Tabell 14. Sedimentkjerne R1139MC010 (0-31 cm). Minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 23	Min.	3,5	71,0	0,060	35,1	13,2	0,0177	24,1	10,3	58,9
	Gjsn.	7,4	84,7	0,275	39,4	14,6	0,0249	27,7	14,5	65,0
	Med.	4,9	82,9	0,251	38,7	14,7	0,0236	27,9	10,9	65,3
	Max.	17,1	102,0	0,962	43,1	15,9	0,0328	30,0	23,2	69,9



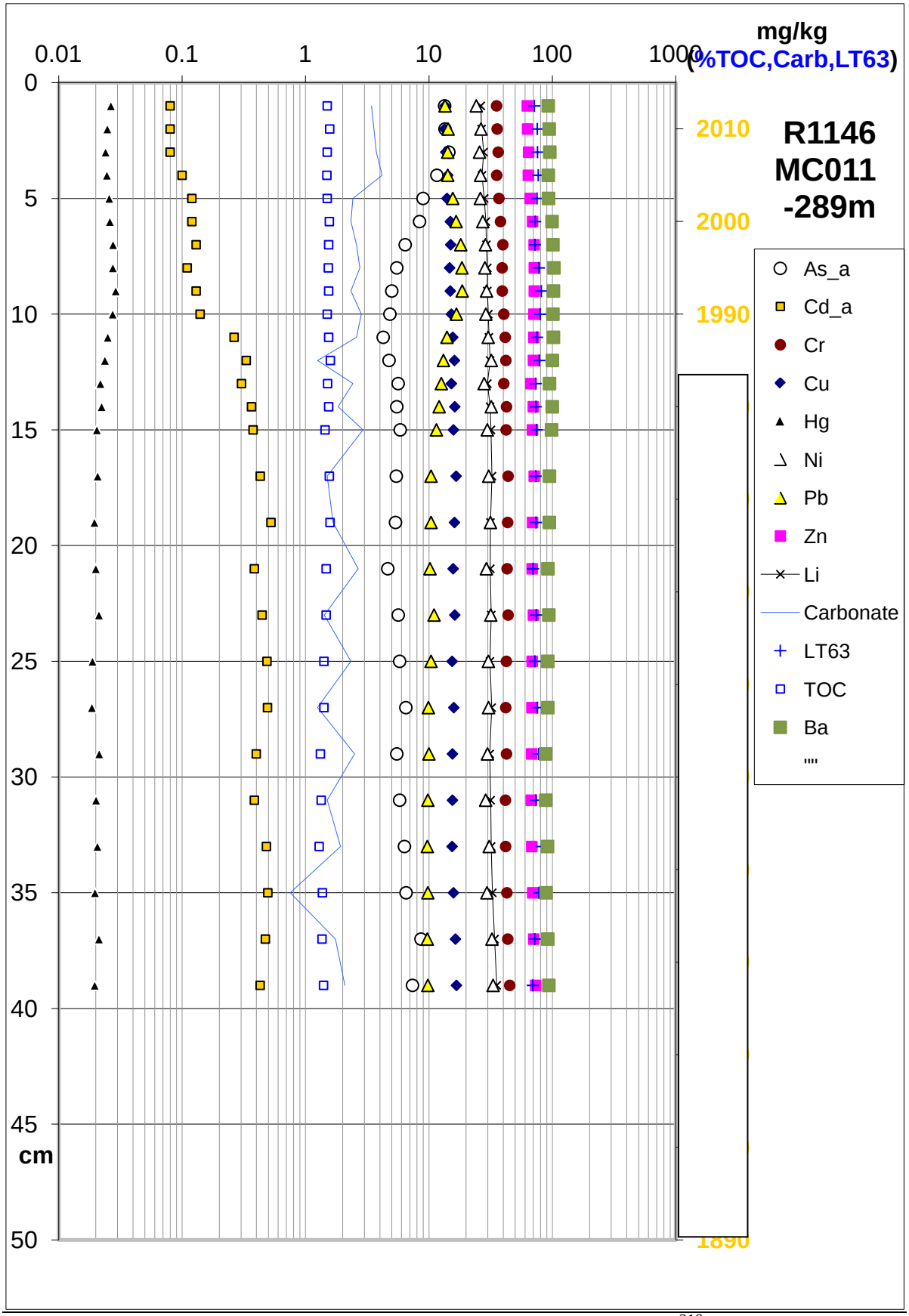
Figur 50. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1139MC010 (0-31 cm). X-skalaen er logaritmisk.

R1146MC011, TOO

Kjernen er 39 cm lang. Andelen finstoff er relativt stabilt rundt 70-80 %. TOC er stort sett stabil fra bunnen til toppen, med verdier fra 1,3-1,6 vekt % (Figur 51). Metallene Cr, Cu, Ni og Zn har relativt konstante konsentrasjoner gjennom kjernen, uten store variasjoner. Ba har en relativ konstant konsentrasjon på 90 -100 mg/kg sediment gjennom hele kjernen. De 5 elementene er derfor på naturlig bakgrunnsnivå. Cd reduseres markant fra 0,4-0,5 mg/kg sediment i intervallet 12-39 cm, til 0,08-0,15 mg/kg sediment i de øverste 11 cm. As har stabilt lave konsentrasjoner på 5-9 mg/kg sediment i intervallet 9-39 cm, og øker så til 12-14 mg/kg i de øverste 5 cm. Hg og Pb øker begge fra 14-15 cm til toppen av kjernen, og har stabile bakgrunnsnivåer fra nederst til 14-15 cm. Bakgrunnsnivået av Hg er på ca. 0,02 mg/kg sediment mens det for Pb er 12-14 mg/kg sediment. Hg øker til 0,024-0,028 mg/kg sediment i de øverste 12 cm, mens Pb har konsentrasjoner på 14-19 mg/kg sediment, og avtagende konsentrasjoner i de øverste 6 cm. Årstall basert på ^{210}Pb-datering indikerer at økningen i både Hg og Pb begynte på 1980-tallet. Sammenlignet med andre daterte sedimentkjerner fra Barentshavet virker dette tidspunktet for økt Hg og Pb å være uriktig. Dateringsresultatene for R1146MC011 (avsnitt 5.4) viser stor usikkerhet. Tabell 15 viser minimum, gjennomsnitt, median og maksimum verdier for de analyserte elementene.

Tabell 15. Sedimentkjerne R1146MC011 (0-39 cm). Minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 27	Min.	4,3	88,1	0,080	35,3	13,4	0,0186	24,2	11,5	62,7
	Gns.	7,1	95,2	0,302	40,8	15,3	0,0229	29,3	15,0	68,7
	Med.	5,8	94,3	0,365	41,8	15,5	0,0218	29,5	14,2	69,1
	Max.	14,5	103,0	0,525	45,1	16,7	0,0290	33,1	21,6	73,2



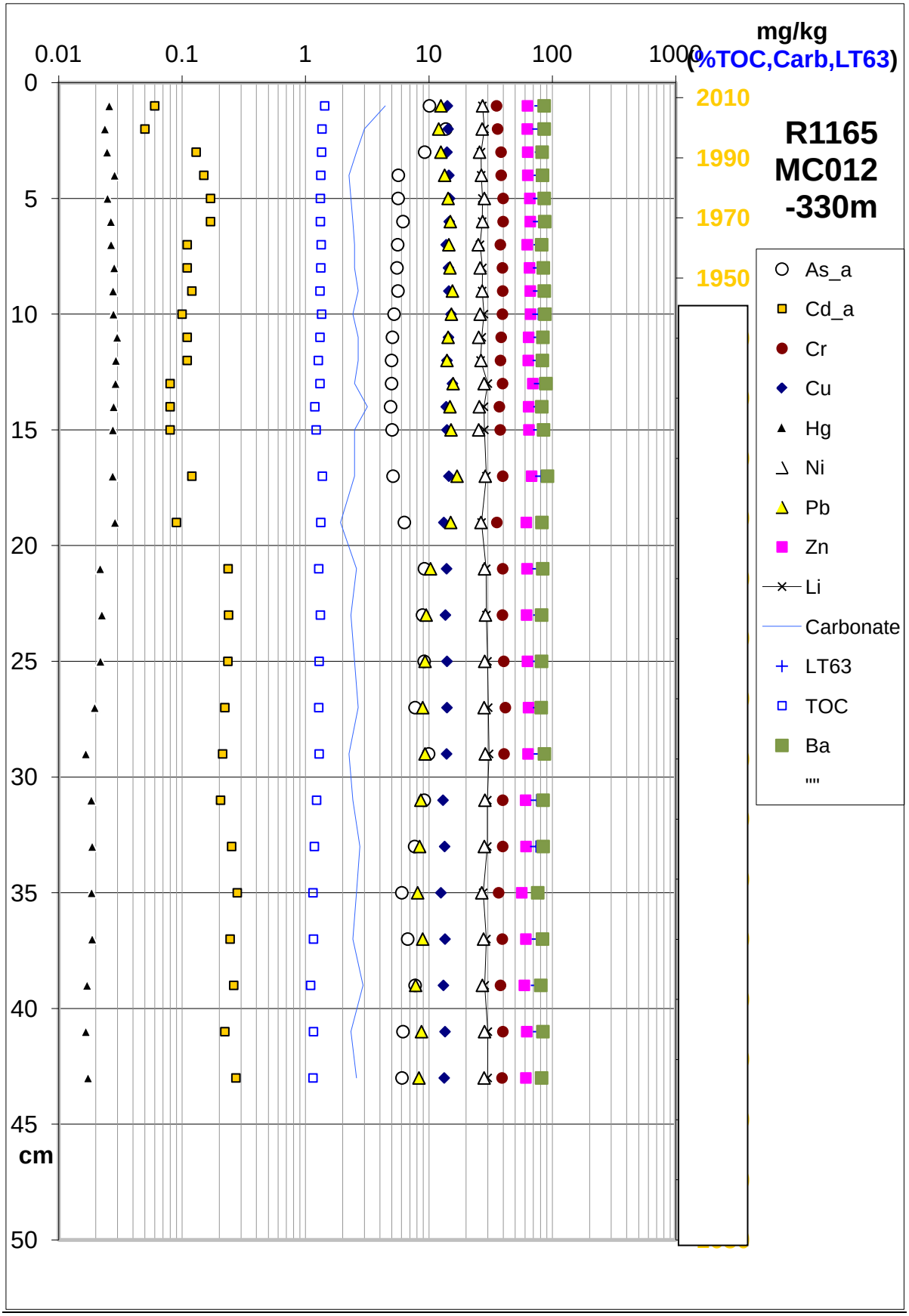
Figur 51. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i den $^{210}Pb^{-}$daterte sedimentkjernen R1146MC011 (0-39 cm). X-skalaen er logaritmisk.

R1165MC012, TOO

Det er analysert sedimentprøver fra topp til bunn, med dypeste prøve på 43 cm. Andelen finstoff er meget stabilt gjennom sedimentkjernen, varierende mellom 74 og 82 %. TOC øker gradvis fra ca. 1,2 vekt % i bunnen til ca. 1,4 vekt % i toppen (Figur 52). Andelen karbonat i sedimentene utgjør stabilt mellom 10 og 20 vekt %, med en viss økning i de øverste 3 cm. Metallene Cr, Cu, Ni og Zn har relativt konstante konsentrasjoner gjennom kjernen (Figur 52). Ba har en stabil konsentrasjon på 80-87 ppm. Disse 5 elementene er alle på bakgrunnsnivå i hele kjernen. Cd reduseres markant fra bunnen til toppen , mens den motsatte trend ses for As. Hg har fluktuerende lave konsentrasjoner (0,015-0,022 mg/kg) fra 43 cm til 20 cm. Fra 18 cm dyp til toppen av kjernen øker konsentrasjonen av Hg markant til 0,027-0,030 mg/kg sediment, og holder seg stabilt på dette nivået inntil de øverste 3 cm, hvor Hg reduseres til 0,024 mg/kg sediment. Pb har et tilsvarende mønster, med stabilt lave konsentrasjoner på ca. 8-10 mg/kg sediment i intervallet 43-20 cm. Deretter øker Pb markant til 15-17 mg/kg sediment fra 18 cm til 5 cm. I de øverste 5 cm reduseres Pb til ca 12 mg/kg sediment. En liten reduksjon av Pb i overflatenære sedimenter er ofte registrert i sedimentkjerner i MAREANO (Jensen m.fl., 2013). På grunn av usikkerheten forbundet med ^{210}Pb dateringen (avsnitt 5.4), er det ikke mulig å si med sikkerhet når økningen i Hg og Pb skjer (Figur 52). Tabell 16 viser minimum, gjennomsnitt, median og maksimum verdier for de analyserte elementene.

Tabell 16. Sedimentkjerne R1165MC012 (0-43 cm). Minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 29	Min.	4,9	76,1	0,050	35,8	12,5	0,0166	25,1	9,0	56,5
	Gjsn.	7,0	83,9	0,163	38,8	14,0	0,0238	27,2	14,6	63,3
	Med.	6,2	83,8	0,150	39,4	14,0	0,0249	27,2	15,1	63,1
	Max.	13,7	91,3	0,280	41,6	15,5	0,0298	28,7	20,2	69,4



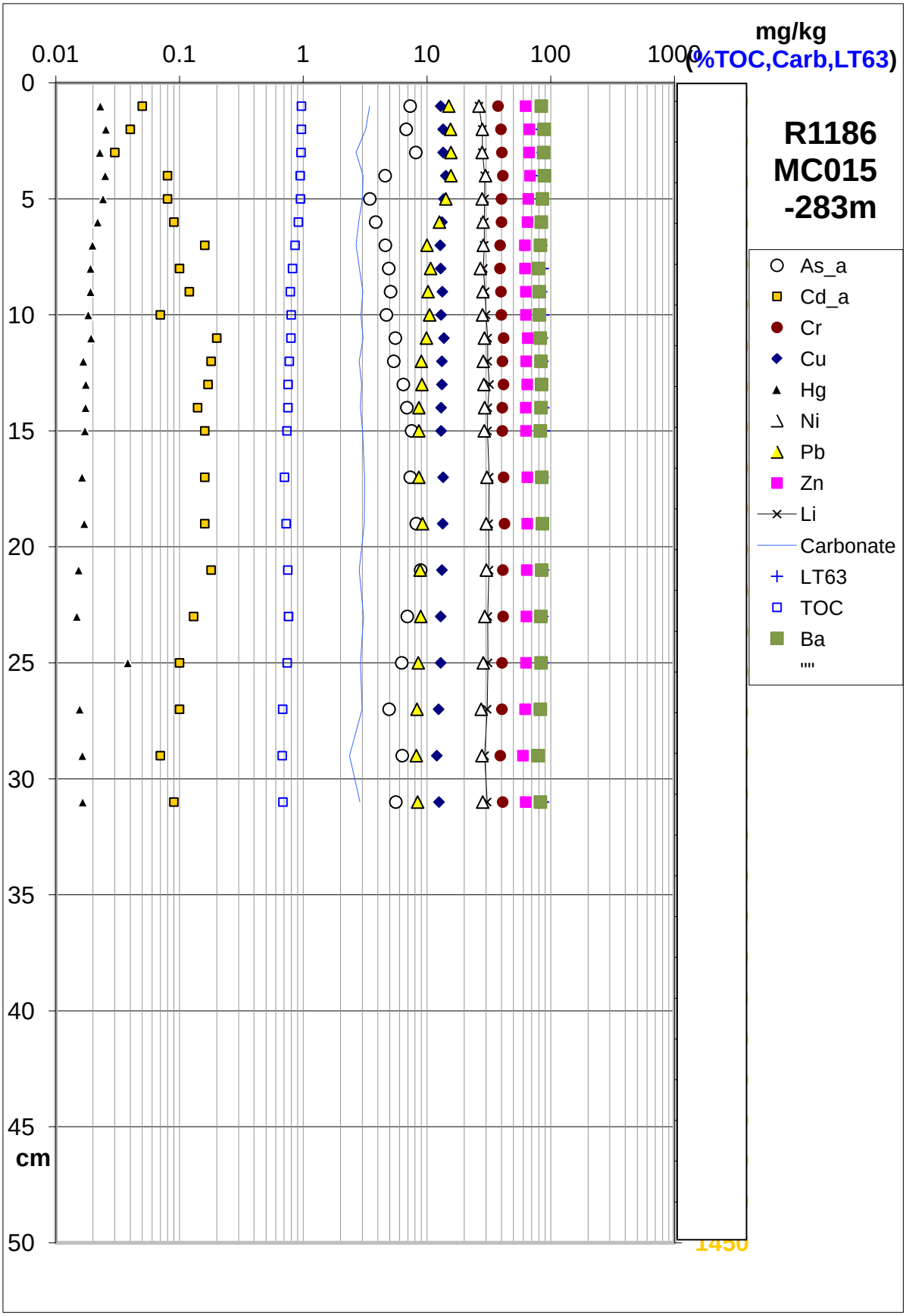
Figur 52. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i den $^{210}Pb^{-}$daterte sedimentkjernen R1165MC012 (0-43 cm). X-skalaen er logaritmisk.

R1186MC015, TOO

Sedimentkjernen er 31 cm lang. Andel finstoff er stabilt høyt, og utgjør mellom 78 og 87 %. TOC øker gradvis fra i underkant av 0,7 vekt % nederst til i underkant av 1,0 vekt % øverst (Figur 53), med stabilt nivå i de øverste 6 cm. Metallene Cr, Cu, Ni og Zn har relativt konstante nivåer gjennom hele kjernen. Ba er tilsvarende stabil gjennom hele kjernen. Disse 5 elementene er derfor på et stabilt bakgrunnsnivå. Hg er på bakgrunnsnivå på 0,016-0,020 mg/kg i intervallet 6-31 cm. Deretter øker Hg til 0,022-0,025 mg/kg i de øverste 6 cm av sedimentkjernen. Pb har en tilsvarende økning fra et naturlig bakgrunnsnivå på 10-13 ppm i intervallet 6-31 cm, til et noe høyere nivå i de øverste 6 cm, på15-18 ppm. As har konstant nivå i intervallet 31-13 cm, men i de øverste 12 cm er det større utslag. Høyest konsentrasjon med 6,8-8,1 ppm opptrer i de øverste 3 cm. Cd har relativ store variasjoner gjennom hele sedimentkjernen, og med lavest konsentrasjon i de øverste 3 cm. Både As og Cd er sannsynligvis påvirket av redoksforholdene i sedimentene, slik at konsentrasjonene i sedimentene ikke alene skyldes tilførselen, men også mobilitet av As og Cd. Tabell 17 viser minimum, gjennomsnitt, median og maksimum verdier for de analyserte elementene.

Tabell 17. Sedimentkjerne R1186MC015 (0-31 cm). Minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 23	Min.	3,5	78,9	0,030	37,5	12,0	0,0148	26,3	10,1	59,6
	Gns.	6,1	83,6	0,116	40,3	13,1	0,0198	28,6	12,9	63,8
	Med.	6,3	83,4	0,100	40,4	13,2	0,0183	28,5	11,4	63,3
	Max.	8,9	88,9	0,200	42,3	14,2	0,0382	30,5	18,5	68,0



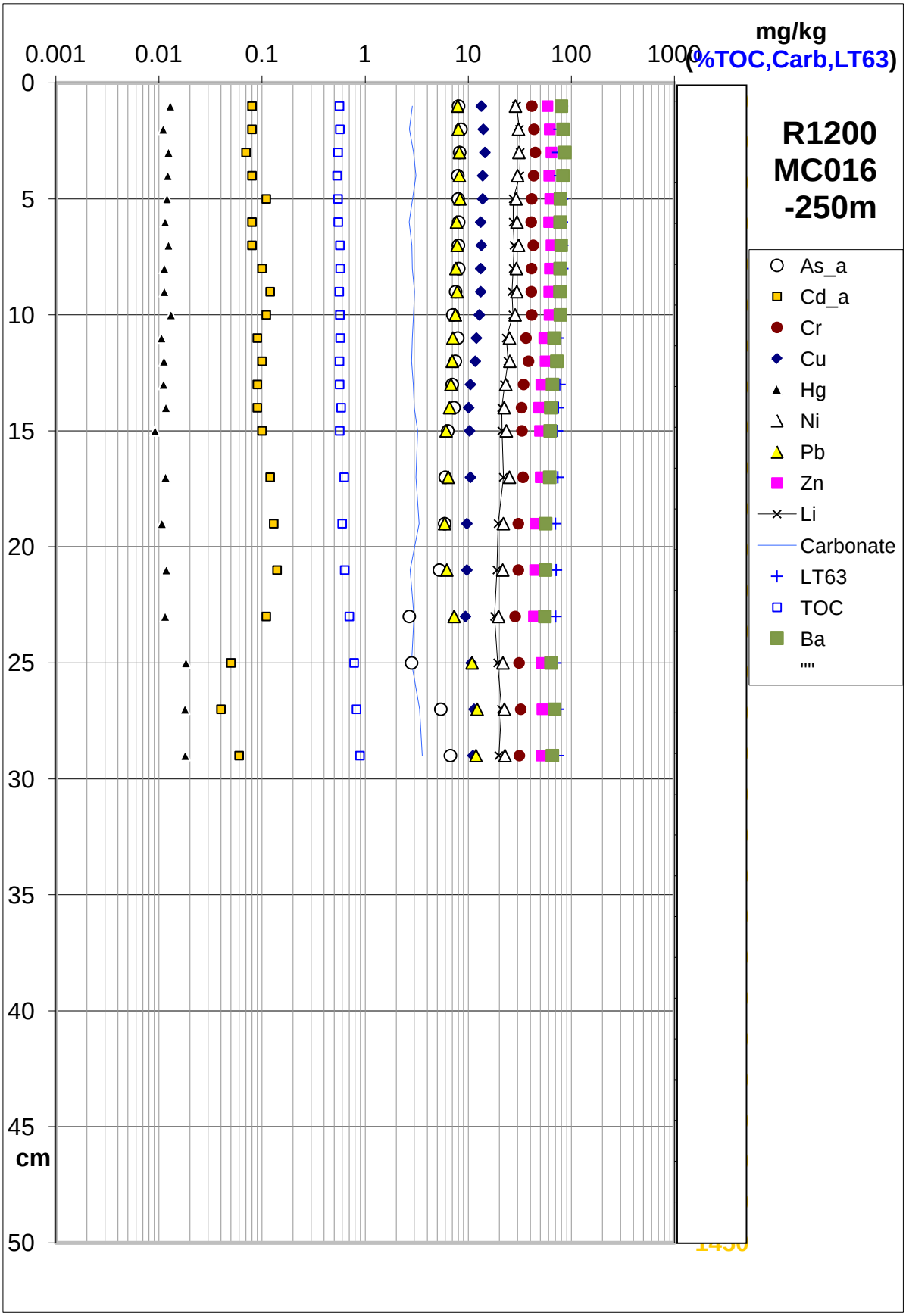
Figur 53. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i kjerne R1186MC015 (0- 31 cm). X-skalaen er logaritmisk.

R1200MC016, TOO

Den 29 cm lange sedimentkjernen fra TOO har finstoffandel fra 70 til 82 %, og TOC reduseres gradvis fra i underkant av 0,9 vekt % til 0,55 vekt % øverst (Figur 54). I motsetning til de andre sedimentkjernene i TOO, så er det høyest TOC nivå nederst i sedimentkjernen. ^{210}Pb-dateringsrapporten (avsnitt 5.4) viser at det ikke er avsatt sedimenter i nyere tid på stasjon R1200MC016. De stabilt lave Hg konsentrasjoner på 0,010-0,013 mg/kg sediment og Pb nivåer på 6-12 mg/kg sediment gjennom hele sedimentkjernen er også sterke indikasjoner på at det ikke har skjedd avsetning av sedimenter de siste 100-150 år. Under normale forhold med sedimentasjon er det vanlige at både Hg og Pb øker 2-3 ganger det som tilsvarer bakgrunnsnivå. Dette er altså ikke tilfellet i R1200MC016, hvor både Hg og Pb holder seg på naturlig bakgrunnsnivå i hele sedimentkjernen. Metallene Cr, Cu, Ni og Zn har stabile nivåer gjennom hele kjernen. Ba øker svakt oppover. Det er derfor ikke mulig å angi noen alder for sedimentene fra R1200MC016. Sedimentene er sannsynligvis flere hundre eller tusen år gamle. Tabell 18 viser minimum, gjennomsnitt, median og maksimum verdier for de analyserte elementene.

Tabell 18. Sedimentkjerne R1200MC016 (0-29 cm). Minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 22	Min.	2.7	55.4	0.040	28.5	9.4	0.0092	19.7	6.4	43.3
	Gns.	6.8	71.0	0.092	37.0	11.9	0.0124	26.0	8.5	55.2
	Med.	7.4	70.5	0.090	37.4	11.9	0.0117	25.2	8.3	55.4
	Max.	8.5	86.6	0.140	44.7	14.5	0.0183	31.0	13.0	64.1



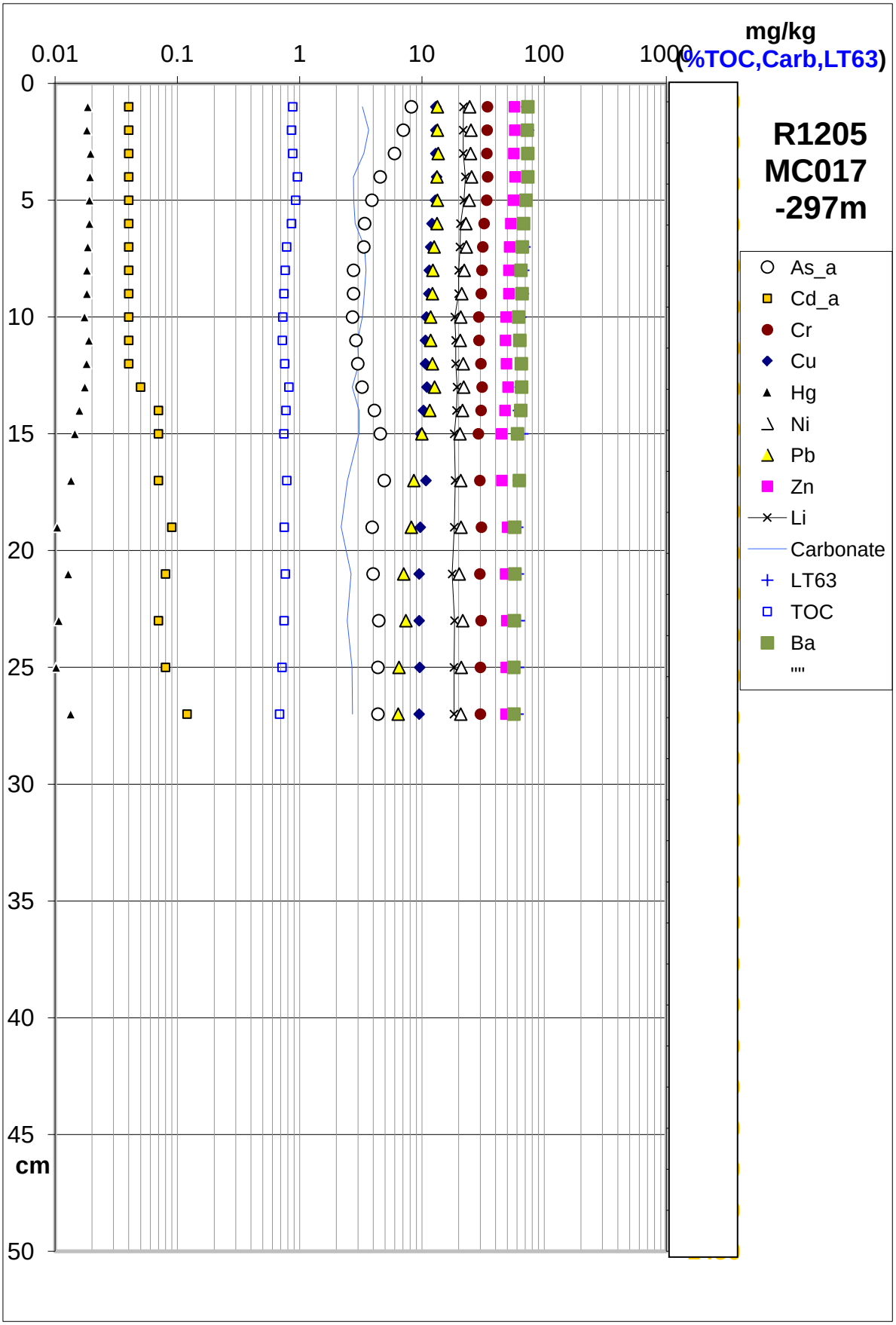
Figur 54. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i den $^{210}Pb^{-}$daterte sedimentkjernen R1200C016 (0- 29 cm). X-skalaen er logaritmisk.

R1205MC017, TOO

Den 27 cm lange sedimentkjernen fra TOO har TOC som øker fra ca. 0,7 % nederst til i underkant av 1,0 % øverst (Figur 55). Cr, Cu, Ni og Zn har svakt økende konsentrasjoner gjennom hele kjernen. Ba øker gradvis fra bunnen, fra 57 mg/kg, til 74 mg/kg sediment øverst. Økningen i de 5 elementene er sammenfallende med den gradvise økningen i andel finstoff fra 54 % til 74 % øverst. Cd reduseres og er under deteksjonsgrensen fra 12 cm og til toppen av sedimentkjernen. As har en karakteristisk reduksjon fra 4 -5 mg/kg sediment i intervallet 14-27 cm. Dette nivået reduseres markant til mindre enn 3 mg ved 5-13 cm, og så øker As til 8 mg/kg sediment øverst. Hg øker fra et bakgrunnsnivå på 0,011-0,014 mg/kg sediment til 0,017-0,018 mg/kg sediment i de øverste 13 cm av kjernen. Pb har lave verdier i intervallet 27-14 cm, varierende fra 6 til 10 mg/kg sediment Det er en økning til 12-14 mg/kg sediment i de øverste 14 cm. Sammenlignet med andre sedimentkjerner i TOO så er de høyeste konsentrasjonene relativt lave. Det kan enten skyldes at det er mindre tilførsel av både Hg og Pb til R1205MC017 sammenlignet med stasjoner lengre mot nord i TOO. Alternativt så skyldes de lavere konsentrasjonene at det ikke er avsatt sedimenter på R1205MC017 i nyere tid, slik det er registrert på den forrige stasjonen, R1200MC016. Den siste forklaringen vurderes som mest sannsynlig p.g.a. de meget konstante Hg- og Pb-konsentrasjonene i de øverste 14 cm. Tabell 19 viser minimum, gjennomsnitt, median og maksimum verdier for de analyserte elementene.

Tabell 19. Sedimentkjerne R1205MC017 (0-27 cm). Minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 21	Min.	2,7	56,5	0,040	29,0	9,5	0,0102	20,2	6,4	44,9
	Gns.	4,2	64,7	0,056	31,3	11,1	0,0163	22,2	11,0	51,2
	Med.	4,0	64,6	0,040	30,6	10,9	0,0182	21,6	12,2	50,3
	Max.	8,2	73,6	0,120	34,5	13,2	0,0195	25,5	13,6	57,9



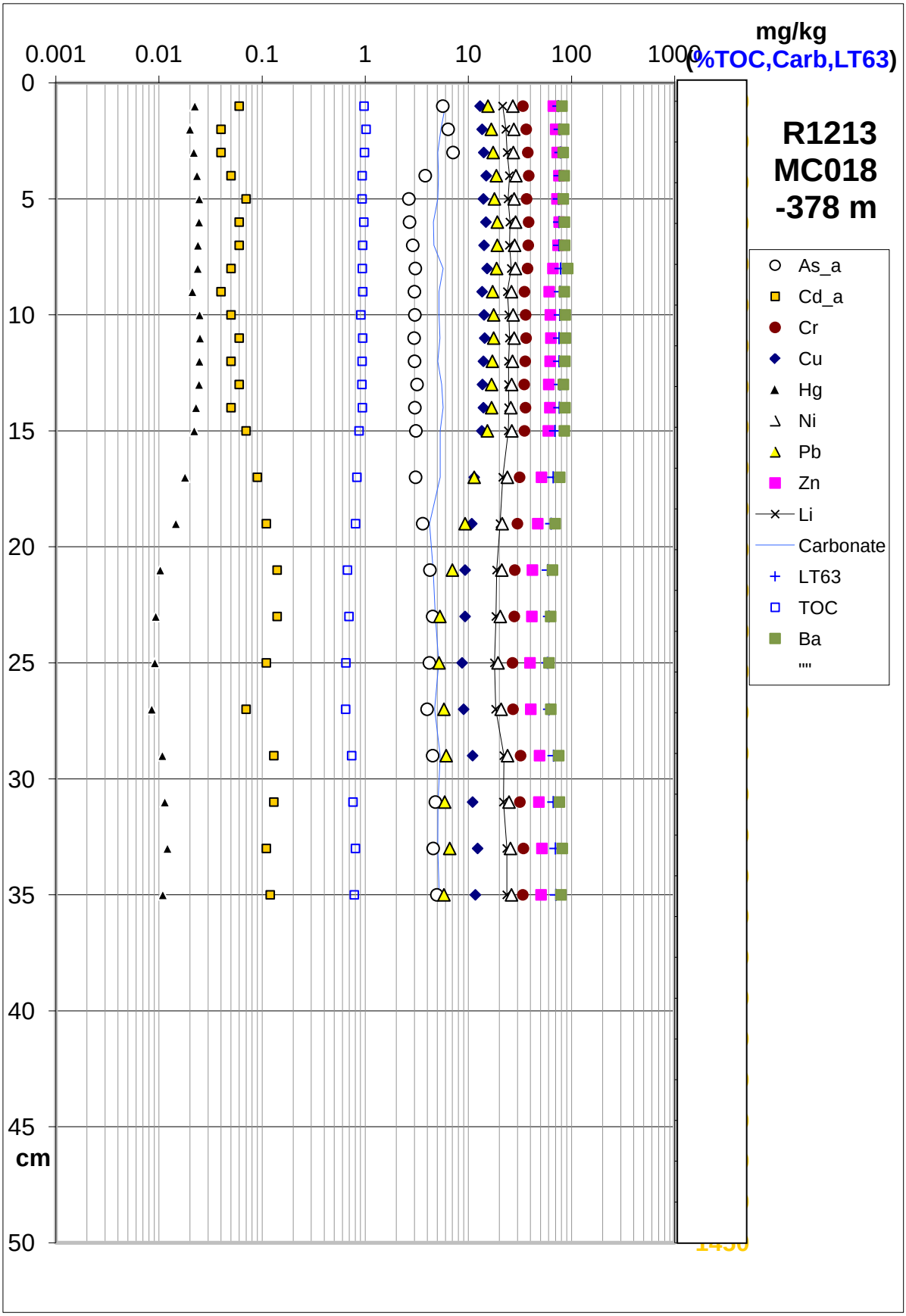
Figur 55. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1205MC017(0-27 cm). X-skalaen er logaritmisk.

R1213MC018, TOO

Den 35 cm lange sedimentkjernen har gradvis økende TOC, fra 0,65 vekt % nederst til ca. 1,0 vekt % øverst, mens andel finstoff øker fra 60-70 % i den nedre delen av sedimentkjernen til 75-79 % i den øvre delen (Figur 56). Cr, Cu, Ni, Zn og Ba har svakt økende konsentrasjoner fra bunnen mot toppen av kjernen. Nivåene for de 5 elementene svarer til naturlig bakgrunnsnivå. Cd har fluktuerende lave konsentrasjoner gjennom kjernen. As har en karakteristisk konstant konsentrasjon, gradvis avtagende fra 35 cm til 5 cm, for heretter å øke i de øverste 4 cm til maksimalt 7,1 mg/kg sediment i 3-4 cm. Hg øker fra et naturlig bakgrunnsnivå på ca. 0,01mg/kg sediment i intervallet 35-20 cm for deretter å øke gradvis til et stabilt nivå på 0,022-0,025 mg/kg sediment i de øverste 15 cm. Pb øker fra et naturlig bakgrunnsnivå på 5-7 mg/kg sediment i intervallet 35-20 cm. Pb-konsentrasjonen øker gradvis til et konstant nivå på 15-19 mg/kg sediment i de øverste 15 cm av sedimentkjernen. Pb konsentrasjonen reduseres litt, fra maks. 19 mg/kg sediment i intervallet 5-6 cm til litt under 16 mg/kg sediment i prøven ved 0-1 cm. Dette er en utvikling som er observert i flere sedimentkjerner. Tabell 20 viser minimum, gjennomsnitt, median og maksimum verdier for de analyserte elementene.

Tabell 20. Sedimentkjerne R1213MC018 (0-35 cm). Minimum, gjennomsnitt, median og maksimumsverdier for tungmetaller, arsen og barium.

Antall prøver		As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
N = 26	Min.	2,7	60,5	0,040	26,8	8,7	0,0085	19,4	5,2	39,6
	Gjsn.	3,9	79,6	0,078	33,9	12,6	0,0186	25,5	13,2	58,6
	Med.	3,6	83,2	0,060	35,0	13,6	0,0218	26,3	16,7	60,8
	Max.	7,1	91,9	0,140	38,5	15,2	0,0250	28,9	19,1	76,0



Figur 56. Tungmetall, arsen, barium, TOC, karbonat og finstoff i sedimentkjerne R1213MC018 (0-35 cm).

6. OPPSUMMERING

Metall- og arsenkonsentrasjonene i overflatesedimentene er generelt lave, tilsvarende klasse I for kyst- og fjordsedimenter. TBT-analyser av overflateprøver fra 9 stasjoner i Norskehavet og TOO er alle under deteksjonsgrensen på 1 µg/g sediment tørrvekt. Det er lave ^{137}Cs nivåer i overflatesedimentene i TOO og Norskehavet, men litt høyere konsentrasjoner i Norskehavet enn i TOO. Analyserte sedimentkjerner viser følgende generelle trekk:

Det er stabile konsentrasjoner av Cr, Cu, Ni og Zn i stort sett alle sedimentkjernene. Disse metallene vurderes å stamme utelukkende fra naturlige geologiske kilder. As og Cd har varierende konsentrasjoner i flere av sedimentkjernene, og ofte med motsatte trender, slik at når As-konsentrasjonen øker, minker Cd-konsentrasjonen, og omvendt. Hg og Pb følger de samme trendene i de fleste analyserte sedimentkjernene. Dypeste del av kjernene har vanligvis lavest Hg- og Pb-konsentrasjoner, tilsvarende naturlig bakgrunnsnivå. Bakgrunnsnivået varierer noe avhengig av finstoffinnhold og TOC, men er typisk 0,01 mg/kg for Hg og 10 mg/kg for Pb. Høyere oppe i sedimentkjernene øker innholdet av begge metallene. Typisk vil Hg ha økt til 2-3 ganger bakgrunnsnivå øverst, mens Pb dobles noen få cm under toppen for deretter å avta øverst. Økningen er registrert både i TOO og Norskehavet. Økningene i Hg og Pb tilskrives menneskelig tilførsel, som ender opp i sedimentene via havstrømmer og atmosfærisk tilførsel. Dateringene med ^{210}Pb indikerer at økningen av Hg og Pb i sedimentkjernene starter enten sent på 1800-tallet eller tidlig på 1900-tallet. Økningen skyldes sannsynligvis økte utslipp i forbindelse med den industrielle utvikling siden 1800-tallet. En viss nedgang i Pb øverst i de fleste kjernene kan sannsynligvis knyttes til at en sluttet å bruke blyholdig bensin i mange industrialiserte land fra 1970-tallet. På enkelte stasjoner på kontinentalskråningen i Nordland VI viser Hg- og Pb-trendene at det kan ha skjedd resedimentasjon av eldre sedimenter med lavere Hg- og Pb-konsentrasjoner enn sedimenter fra nyere tid typisk vil ha. Bemærkning: forklar bedre

Datering med ^{210}Pb og ^{137}Cs har gitt lineære sedimentasjonsrater på 0,5-2,1 millimeter/år for 5 sedimentkjerner fra Norskehavet. Dateringsanalysene av sedimentkjernene fra TOO ga meget høye lineære sedimentasjonsrater for 2 av 3 sedimentkjerner, med 5,0 millimeter og 3,0 millimeter pr år. Disse sedimentasjonsratene er uvanlig høye når en sammenligner med tykkelsen av sedimenter avsatt de siste 10 000 år, og skyldes trolig ikke naturlig sedimentasjon. Det er mulig at resultatene er påvirket av bunntråling fra fiskeaktivitet. Den tredje sedimentkjernen har ikke "unsupported" ^{210}Pb. Det har derfor ikke vært sedimentasjon på denne stasjonen i de siste 150 år.

7. REFERANSER

Braastad, G. 2000: Kort innføring i toksikologi – økotoksikologisk risikovurdering – veiledning – Del IIA. SFT-rapport TA 1756, 46 sider.

Bøe R., Dolan M., Thorsnes T., Lepland A., Olsen H., Totland O. & Elvenes S. 2010: Standard for geological seabed mapping offshore. NGU-rapport 2010.033, 15 sider.

Dehairs, F., Chesselet, R., and Jedwab, J., 1980. Discrete suspended particles of barite and the barium cycle in the ocean. Earth Planetary Science Letters, vol. 49, s. 528 – 550.

Jensen, H.K.B., Knies, J., Finne, T.E. og Thorsnes, T. 2007: MAREANO 2006 - miljøgeokjemiske resultater fra Tromsøflaket, Ingøydjupet og Sørøysundet, NGU-rapport 2007.059, 249 sider inkl. vedlegg.

Jensen, H.K.B., Knies, J., Finne, T.E. og Thorsnes, T. 2008: MAREANO 2007 - miljøgeokjemiske resultater fra Troms II og Troms III, NGU-rapport 2008.077, 253 sider inkl. vedlegg.

Jensen, H.K.B., Knies, J., Finne, T.E. og Thorsnes, T. 2009: MAREANO 2008 – miljøgeokjemiske resultater fra fra havområdene utenfor Lofoten – Troms, NGU-rapport 2009.057, 31sider inkl. CD med vedlegg.

Jensen, H.K.B., Knies, J., Finne, T.E. og Thorsnes, T. 2010a: MAREANO 2009 – miljøgeokjemiske resultater fra Eggakanten, NGU-rapport 2010.016, 31 sider inkl. CD med vedlegg.

Jensen H. K. B, Knies J., Finne, T.E. og Thorsnes, T. 2010b: MAREANO 2009 –miljøgeokjemiske resultater fra Eggakanten, Tromsøflaket og Nordland VII, NGU-rapport 2010.063, 36 sider inkl. CD med vedlegg.

Jensen H. K. B., Finne T. E. og Thorsnes T., 2011. MAREANO 2010 – miljøgeokjemiske resultater av overflatesedimenter fra områder utenfor Finnmark, Troms III og Nordland VI. NGU-rapport 2011.052, 22 sider og vedlegg.

Jensen H. K. B., Knies J., Finne T. E. og Thorsnes T., 2013. Miljøkjemiske data og dateringsresultater fra 4 sedimentkjerner i Nordkapptransektet, Troms III og Nordland VI. 28 sider og vedlegg,.

Jensen H. K. B., L., Knies J., Finne T. E. og Thorsnes T., 2013. Miljøkjemiske data og dateringsresultater fra Finnmark, Nordland VI og Mørebankene. NGU-rapport 2013.041, 76 sider.

Knies, J., Jensen, H.K.B., Finne, T.E., Lepland, A. & Sæther, O. M. 2006: Sediment composition and heavy metal distribution in Barents Sea surface samples: Results from Institute of Marine Research 2003 and 2004 cruises. NGU-report 2006.067, 1-35.

Lepland, A., Sæther O. M. & Thorsnes T. 2000: Accumulation of barium in recent Skagerrak sediments: sources and distribution control. Marine Geology, vol. 163, s. 13 – 26.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. & Sørensen, J. 1997: Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. Veiledning. SFT-rapport 97:03, TA-1467, 36 sider.

Nuernberg C. C., Bohrmann G., Schlueter M. og Frank M., 1997. Barium accumulation in the Atlantic sector of the Southern Ocean. Results from 190,000-year records. Paleoceanography. Vol. 12 (4), s. 594 – 603.

Olsgård F. and Gray J., 1995. A comprehensive analysis of the effects of offshore oil and gas exploration and production on the benthic communities of the Norwegian continental shelf. Marine Ecology Progress Series, vol. 122, pp. 277 – 306.

Rye H., 1996. Miljøeffekter av utslipp fra borekjemikalier. Rapport fra OLF. IKU Petroleumsforskning. Rapport nr. 42.4053.00/01/96. 98 sider.

SFT 2007: Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. SFT-veileder 2229, 11 sider.

Steinsund P.I. and Hald M., 1993. Recent calcium carbonate dissolution in the Barents Sea: Paleoceanographic applications. Marine Geology, vol. 117, pp. 303-316.

Sværen I., 2013. Cs-137 aktivitet i sediment og datering av kjernar i MAREANO-prosjektet. HI-rapport 2013.

Sæther O. M., Faye G., Thorsnes T., Rise L., Longva O. and Bøe R., 1996. Regional distribution of manganese, phosphorus, heavy metals, barium, and carbon in sea-bed sediments (0-2 cm) from the northern part of the Norwegian Skagerrak. Geological Survey of Norway Bull., no. 430, p. 103-112.

Thorsnes T. and Klungsøyr J., 1997. Contamination of Skagerrak sediments due to man-made inputs during the last 200 years. In: O. Longva and T. Thorsnes (Editors), Skagerrak in the past and at the present - an integrated study of geology, chemistry, hydrography and microfossil ecology. Geological Survey of Norway. Special Publication, vol. 8, p. 52-79.

NGU
Norges geologiske undersøkelse
Geological Survey of Norway

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
Telefax 73 92 16 20
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no

Geological Survey of Norway
PO Box 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norway

Visitor address
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim

Tel (+ 47) 73 90 40 00
Fax (+ 47) 73 92 16 20
E-mail ngu@ngu.no
Web www.ngu.no/en-gb/