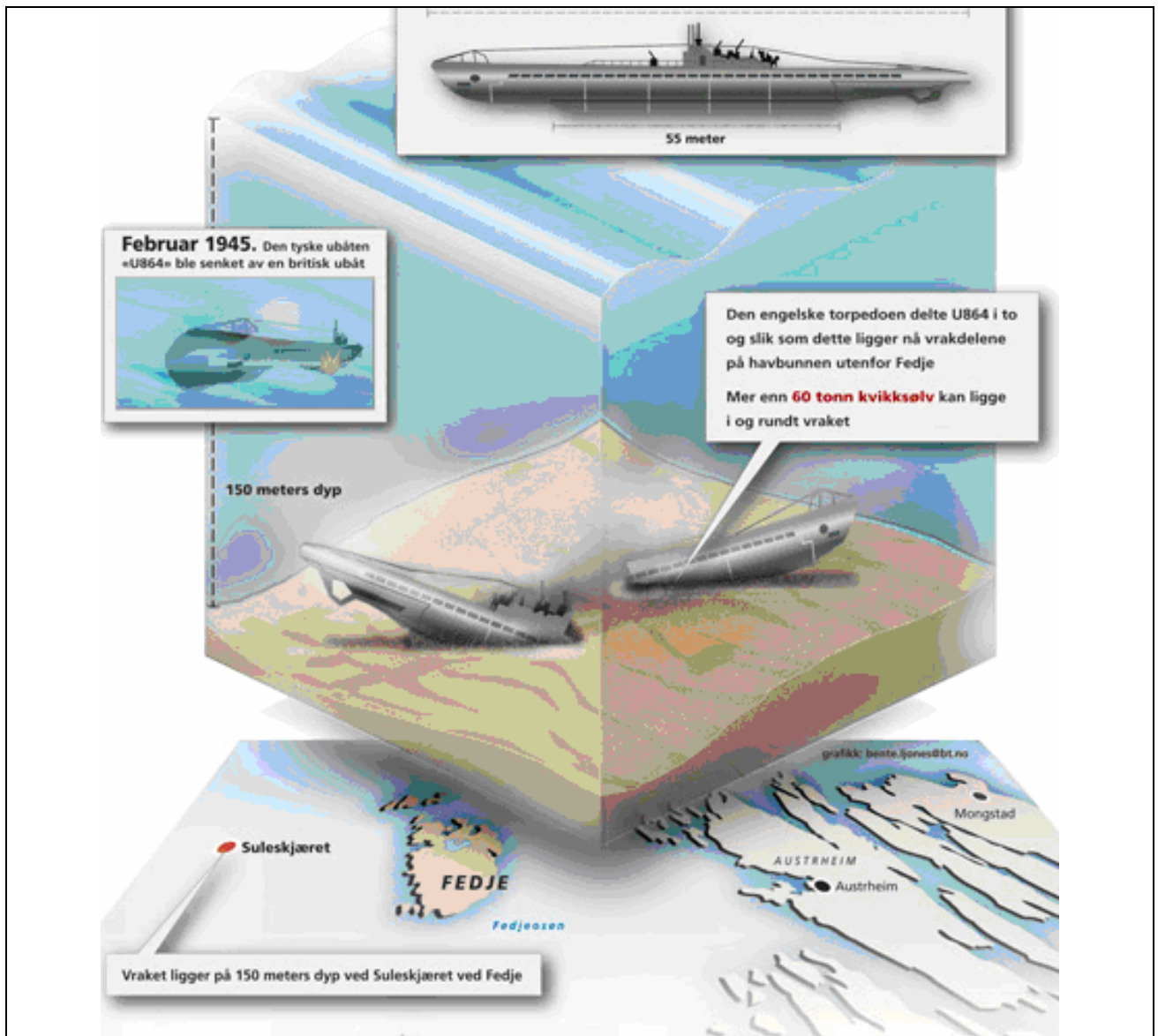


## Miljørisikovurdering av kvikksølv ved sunket ubåt U-864, Fedje i Hordaland

### Fase 1: Kvikksølvkartlegging



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Midt-Norge**

Postboks 1264 Pirsenteret  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 73 87 10 34 / 44  
Telefax (47) 73 87 10 10

|                                                                                                                           |                                  |                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| Tittel<br>Miljøkonsekvensvurdering av kvikksølv ved sunket ubåt U-864, Fedje i Hordaland.<br>Fase 1. Kvikksølvkartlegging | Løpenr. (for bestilling)<br>5022 | Dato<br>juni.2005    |
|                                                                                                                           | Prosjektnr. Undernr.<br>25142    | Sider Pris<br>30     |
| Forfatter(e)<br>Frode Uriansrud<br>Jens Skei<br>Merete Schøyen                                                            | Fagområde<br>Miljøgifter         | Distribusjon<br>Åpen |
|                                                                                                                           | Geografisk område<br>Hordaland   | Trykket<br>NIVA      |

|                                                                  |                                        |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Oppdragsgiver(e)<br>Kystdirektoratet, Beredskapsavdelingen (KyD) | Oppdragsreferanse<br>Carl Magne Hansen |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|

**Sammendrag**

Det er gjennomført en kartlegging av kvikksølv i bunnsedimenter innenfor en radius på 3 km fra sunket tysk ubåt (U864) utenfor Fedje i Hordaland. Arbeidet er første del av en mer omfattende miljørisikovurdering. Ubåten skal angivelig ha hatt en last på 65-70 tonn metallisk kvikksølv. Det ble ikke påvist forhøyede nivåer av kvikksølv i sedimentene utover en radius på ca. 300 m fra vraket og betydelig forurensning er kun påvist nær vraket (maks. ca. 100 m avstand). Det anbefales at vrakets tilstand inspiseres og at beholdere med kvikksølv lokaliseres og fjernes i den grad det er mulig. Dersom lokaliseringen av kvikksølvbeholderne medfører forflytting av sedimenter eller vrakdel må en påse at det ikke skjer en ytterligere spredning av kvikksølv til omgivelsene. En miljøovervåkning i forbindelse med alt undersjøisk arbeid bør gjennomføres. Det anbefales at sedimenter nær vraket testes for biotilgjengelighet og mobilitet av kvikksølv. Samtidig planlegges tiltak på selve vrakstedet. Heving av vraket ansees som risikofyllt i forhold til miljø. Det anbefales i stedet å utrede en isolering av vraket på stedet for å unngå fremtidig spredning av kvikksølv. Lokalisering, inspeksjon og sedimentundersøkelse rundt en tredje vrakdel må gjøres for å påse at kvikksølv ikke har lekket ut til omgivelsene. Det må også fremskaffes gode løsninger for håndtering og avhending av kvikksølvet da dette er et metall det er meget risikofyllt å jobbe med.

|                        |                                    |
|------------------------|------------------------------------|
| Fire norske emneord    | Fire engelske emneord              |
| 1. Kvikksølv           | 1. Mercury                         |
| 2. Ubåt                | 2. Submarine                       |
| 3. Fedje i Hordaland   | 3. Fedje, Hordaland                |
| 4. Konsekvensvurdering | 4. Environmental impact assessment |

# **Miljørisikovurdering av kvikksølv ved sunket ubåt**

## **U-864, Fedje i Hordaland.**

### **Fase 1. Kvikksølvkartlegging**

*Frode Uriansrud*  
Prosjektleder

*Kristoffer Næs*  
Forskningsleder  
ISBN 82-577-4723-8

*Øyvind Sørensen*  
Ansvarlig

## Forord

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) ble bedt av Kystverket i november 2003 om å utarbeide et forslag til innledende undersøkelser knyttet til kvikksølv i bunnsedimenter i nærområdet til en sunket tysk ubåt lokalisert utenfor Fedje i Hordaland. Målsettingen med dette var å fastslå om noe av lasten med metallisk kvikksølv hadde lekket ut og forurenset sedimentene. Resultatene viste at så var tilfelle.

Kystverket utlyste derfor et nytt prosjekt i februar 2005 som omfattet en miljøkonsekvensvurdering av kvikksølv ved sunket ubåt U-864. NIVA fikk tildelt prosjektet (fase 1) og feltarbeid ble utført i april 2005 ved hjelp av MV "Hans Brattstrøm" fra Universitetet i Bergen.

Kontaktpersoner hos oppdragsgiver har vært seniorrådgiver Carl M. Hansen og rådgiver Jon Roar Andersen. Prosjektleder på NIVA er Frode Uriansrud. Analyser av kvikksølv i vann og kvikksølv, kornstørrelse og totalt organisk karbon i sedimenter er utført ved NIVAs laboratorium, mens analysene av metyl- kvikksølv er utført ved Analytica.

Bilde på framside er hentet fra Bergens Tidende ([www.bt.no](http://www.bt.no))

Alle involverte i prosjektet takkes for sin innsats.

Oslo, juni 2005

*Frode Uriansrud*

---

# Innhold

|                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Sammendrag</b>                                             | <b>5</b>  |
| <b>1. Innledning</b>                                          | <b>8</b>  |
| <b>2. Formål</b>                                              | <b>9</b>  |
| <b>3. Områdebeskrivelse</b>                                   | <b>9</b>  |
| <b>4. Feltarbeid</b>                                          | <b>10</b> |
| <b>5. Analyser</b>                                            | <b>12</b> |
| <b>6. Analyseresultater</b>                                   | <b>12</b> |
| 6.1 Sedimentprøver                                            | 12        |
| 6.2 Vannprøver                                                | 17        |
| <b>7. Risikovurdering</b>                                     | <b>18</b> |
| 7.1 Vurdering av resultatene                                  | 18        |
| 7.2 Bruk av risikovurderingsverktøy                           | 19        |
| <b>8. Vurdering av behovet for tiltak</b>                     | <b>22</b> |
| 8.1 Generelle betraktninger                                   | 22        |
| 8.2 Beslutningsgrunnlag for tiltak.                           | 22        |
| 8.3 Potensielle tiltaksalternativer.                          | 23        |
| <b>9. Anbefalinger</b>                                        | <b>24</b> |
| <b>10. Referanser</b>                                         | <b>25</b> |
| <b>11. Vedlegg</b>                                            | <b>26</b> |
| <b>Vedlegg A. CTD-profiler</b>                                | <b>26</b> |
| <b>Vedlegg B. Beskrivelse av prøvetatte sedimentstasjoner</b> | <b>29</b> |
| <b>Vedlegg C. Analyserte prøver</b>                           | <b>31</b> |

---

## Sammendrag

Utenfor Fedje i Hordaland ligger en tysk ubåt (U864) på ca. 150 m dyp på skrånende bunn. Ubåten er brukket i to og vrakets fysiske tilstand er uavklart. Ubåten var lastet med 65-70 tonn metallisk kvikksølv og det er ikke avklart i hvor stor grad lasten befinner seg inntakt og i lukket emballasje og hvor mye som er havnet på sjøbunnen utenfor vraket.

Innledende undersøkelser av kvikksølv i sedimentet tett inntil vraket ble utført i 2003 og viste ekstreme kvikksølvkonsentrasjoner. Det er derfor sannsynliggjort at kvikksølv i løpet av de 60 årene som vraket har ligget på sjøbunnen har lekket ut til omgivelsene.

Oppfølgende undersøkelser som ble gjennomført i april 2005 hadde som målsetting å vurdere miljørisikoen i vrakområdet innenfor en radius på 3 km for å kunne vurdere størrelsen på influensområdet. Resultatene kan sammenfattes på følgende måte:

- Det ble i april 2005 tatt overflatesedimenter (0-2 cm) fra 30 lokaliteter innenfor en radius på 3 km fra vraket. Prøvene ble analysert for total kvikksølv, kornstørrelse, tørrstoffinnhold og totalt organisk karbon. På 4 av stasjonene ble sedimentene snittet til 5 cm dyp og på 9 av stasjonene ble det også gjort analyser av metyl-kvikksølv.
- Resultatene viser normalt innhold av kvikksølv på 28 lokaliteter, mens to av lokalitetene ca. 300 m nord for ubåt-vrakets viste forhøyede nivåer av kvikksølv. Disse to lokalitetene viste også høyere innhold av metyl-kvikksølv enn de andre lokalitetene.
- Sedimentene var gjennomgående grove og harde og tydet på erosjonsbunn.
- Det ble tatt vannprøver fra 4 lokaliteter og 6 dyp for analyse av kvikksølv (løst og partikulært) noen hundre meter fra vraket. Kun en vannprøve viste kvikksølv-konsentrasjon utover det normale. Prøven ble tatt på 150 m dyp nord for vraket, og på samme lokalitet ble det også påvist forhøyet nivå i sedimentet.
- Resultatene fra feltarbeidet i april 2005 viser altså kun lokal forurensning av kvikksølv og de videre vurderingene knyttet til miljørisiko kan derfor fokusere på selve vrakstedet.
- Det anses nødvendig å få avklart vrakets fysiske tilstand og mulighetene til å få fjernet kvikksølv uten å heve vraket. I tillegg bør eventuelle løse kvikksølvbeholdere i området lokaliseres. Dersom lokaliseringen av kvikksølvbeholderne medfører forflytting av sedimenter eller vrakdeler må en påse at det ikke skjer en ytterligere spredning av kvikksølv til omgivelsene.
- Som en del av beslutningsgrunnlaget for tiltak anbefales gjennomføring av tester av biotilgjengeligheten av kvikksølv i sedimenter nær vraket, samt teste i hvilken grad dette kvikksølvet er mobilt (løselig). Sedimenter for dette formålet er allerede innhentet.
- Sannsynligheten er stor for at vrakets tilstand vil forverres med tiden og at det derfor er vanskelig å unngå tiltak på vrakstedet. Heving av vraket blir ansett som risikabelt i forhold til miljø ettersom dette vil medføre stor oppvirvling av sterkt kvikksølvholdige sedimenter og fare for spredning. Det anbefales derfor at en isolering av vrakstedet utredes for å unngå framtidig spredning og eksponering av kvikksølv i miljøet.
- Lokalisering, inspeksjon og sedimentundersøkelse rundt en tredje vrakdel må gjøres for å påse at kvikksølv ikke har lekket ut til omgivelsene og å avdekke om denne vrakdelen inneholder kvikksølvbeholdere.
- I forhold til arbeidsmiljø må det fremskaffes gode løsninger for håndtering og avhending av kvikksølvet.
- Det bør utarbeides en plan for miljøovervåking i forbindelse med alt undersjøisk arbeid.

## Summary

Title: Risk assessment of mercury contamination from a sunken German submarine outside Fedje in Hordaland, Norway.

Year:2005

Author: Frode Uriansrud, Jens Skei and Merete Schøyen

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4723-8

Outside Fedje in Hordaland a German submarine (U-864) is resting on the sea floor at 150 m depth. The submarine is broken into two or three parts and the condition of the wreckage is unknown. The submarine had a cargo of 65-70 tons of metallic mercury and it is not clear to what extent this cargo is intact inside the wreckage or how much has been disrupted and exposed to the sediments on the outside.

A preliminary study of mercury in the sediments close to the wreckage in 2003 showed extreme levels of mercury, indicating that during 60 years of rest on the seabed mercury has been released to the environment.

New investigations were carried out in April 2005 to map the area of influence within a radius of 3 km from the wreck. The result may be summarized as follows:

- Surface sediments (0-2 cm) were collected at 30 sites within a radius of 3 km from the wreck. The samples were analysed for total mercury, grain size, dry weight and total organic carbon. At 4 sites the sediments were sectioned down to 5 cm depth and at 9 sites analyses of methyl-mercury were performed.
- The results indicated normal levels of mercury at 28 sites, two of the sites north of the wreck showed elevated levels of mercury. These two sites also showed elevated levels of methyl-mercury.
- The sediments were generally coarse grained and hard, indicating erosion.
- Water samples were collected at 4 sites and 6 depths some hundred meters north of the submarine for analyses of mercury (dissolved and particulate). Only one sample showed enhanced mercury concentration. The sample was collected at 150 m depth close to a site where elevated mercury in the sediments was also observed.
- The overall results from the field investigation in April 2005 indicated only local contamination of mercury and further risk assessment should be restricted to the site of the wreckage. In addition one should locate free mercury containers around the wreck. If work with locating mercury containers around the wreck involves moving contaminated sediments or parts of the wreck one should ensure that mercury contaminated sediments is not spread to the surrounding area.
- It is considered essential to evaluate the physical status of the submarine and the potential of removing the mercury cargo without removing the wreckage from the seabed.
- As a part of the decision on remedial action it is recommended to perform tests on bioavailability and mobility of mercury in sediments from the area close to the wreckage. Sediments for that purpose was collected during the present sampling survey.
- The probability is that the physical status of the wreckage will impair with time and that remedial action on the site of the submarine wreck will be necessary. Removing the wreck from the bottom is considered risky due to the likelihood of resuspending contaminated sediments, causing dispersal of mercury. It is recommended that a plan for how to isolate the site of the wreckage is made to avoid future dispersal and exposure of mercury.

- Localization, inspection and sediment mapping around a third part of the wreck to ensure that no mercury has contaminated the surrounding area and to examine if this part of the wreck holds any mercury containers.
- Obtain good solutions for handling and disposal of the mercury recovered.
- A plan for environmental monitoring during all subsea operations should be made.



## 1. Innledning

NIVA ble 1/4-2005 tildelt arbeidet med å gjennomføre en miljørisikoanalyse knyttet til kvikksølv ved sunket ubåt U-864 utenfor Fedje i Hordaland. Arbeidet bestod i å kartlegge utbredelsen av kvikksølv rundt vraket ved å prøveta sedimenter og vannmasser i en radius på 3 km og på denne måten registrere størrelsen på det kvikksølvpåvirkede bunnområdet.

Den tyske ubåten U864 ble senket vest av Fedje i februar 1945 på vei til Japan. Via ubåthistoriske kilder i Tyskland er det funnet informasjon som har gitt grunn til å tro at den hadde en last på mellom 65 og 70 tonn kvikksølv. NIVA analyserte i 2003 (Skei, 2003) 10 sedimentprøver fra området i nærheten av ubåt-vraket på oppdrag av Kystverket og påviste svært varierende kvikksølvmengder (fra moderat forurenset til meget sterkt forurenset). I tillegg undersøkte Nasjonalt institutt for ernærings- og sjømatforskning (NIFES) og Havforskningsinstituttet (HI) kvikksølv i torsk, sei, lange, uer og krabbe fra området i januar 2004. De påviste forhøyede nivåer av kvikksølv i filet av uer og i krabbesmør.

Det ble sannsynliggjort at kvikksølvforurensningen i bunnsedimentene stammet fra ubåt-vraket. NIVA ble deretter bedt av Kystverket om å lage et forslag til en miljørisikovurdering som skulle være et tilstrekkelig grunnlag for å vurdere behov for tiltak. Det er dette forslaget som ligger til grunn for denne undersøkelsen.

I grunnlagsdokumentene er det lagt opp til at undersøkelsen gjøres i 3 faser hvor omfanget av de ulike fasene vil være bestemt av resultatene fra de foregående undersøkelsene. Dette gjøres for å sikre at det ikke igangsettes aktiviteter utover det som er ansett som nødvendige. Denne rapporten omhandler analyser og vurderinger foretatt under fase 1 av prosjektet.

## 2. Formål

*Målsettingen med miljørisikovurderingen Fase 1 var å kartlegge nivåer av kvikksølv i potensielle sedimentasjonsområder innenfor en radius på 3 km fra vraket for å fastslå størrelsen på influensområdet og risiko for spredning.*

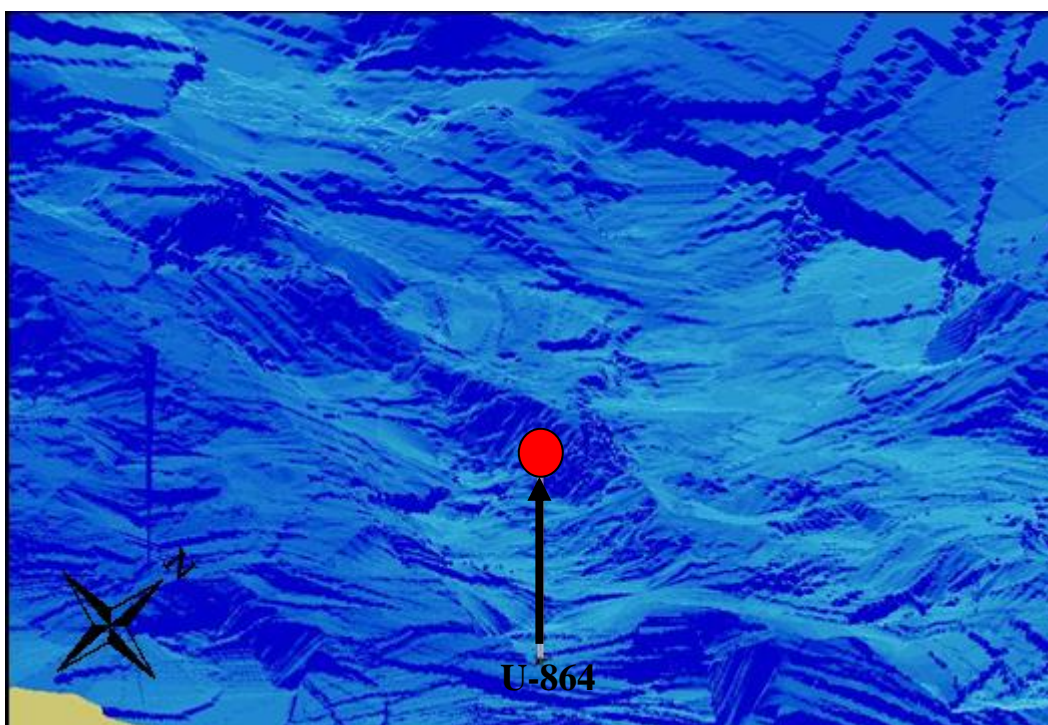
*I tillegg vurdere eventuelle behov for risikoreduserende tiltak dersom miljørisikoen anses som uakseptabel:*

*-skissere aktuelle tiltaksalternativer*

*-vurdere eventuell fare for videre spredning av kvikksølv ved ulike tiltak*

## 3. Områdebeskrivelse

U-864 er lokalisert i en nordvestvendt skråning på 150 meters dyp ca. 3 kilometer på vestsiden av Fedje (figur 1). Ubåten er brukket i to. I området varierer vanddyptet mellom ca. 100 og 300 meter. Sedimentene i området består hovedsakelig av hard sand, grus og stein. I enkelte av fordypningene er det akkumulert løsere sedimenter. Sedimentprøvene ble tatt i disse fordypningene. Undersøkelser med HF radar system har vist at overflatestrømmene i området hovedsakelig er rettet nordover med en hastighet på 0,5-1 knop ([http://ifmaxp1.ifm.uni-hamburg.de/EuroROSE/USER\\_INTERFACE\\_INDEX.HTML](http://ifmaxp1.ifm.uni-hamburg.de/EuroROSE/USER_INTERFACE_INDEX.HTML)).



**Figur 1.** Lokalisering av U-864 på bunnen utenfor Fedje, Hordaland (3D-view).

## 4. Feltarbeid

Feltarbeid ble gjennomført i perioden 18-22/4-2005 fra MV "Hans Brattstrøm". Området rundt vraket ble først kartlagt med hensyn på dyp. Dette ble gjort for best mulig å kunne plassere sedimentstasjonene i akkumulasjonsbassenger. Dybdekartleggingen ble gjort ved hjelp av Olex (kartplotter system) og ekkolodd. Sedimentstasjonene ble deretter plassert i de dypeste områdene i en radius på ca. 3 km rundt vraket.

For å kontrollere innholdet av total-kvikksølv ( $Hg_{tot}$ ) i vannmassene rundt vraket ble det tatt vannprøver på 4 lokaliteter (100 meter nord, sør, øst og vest for vraket,

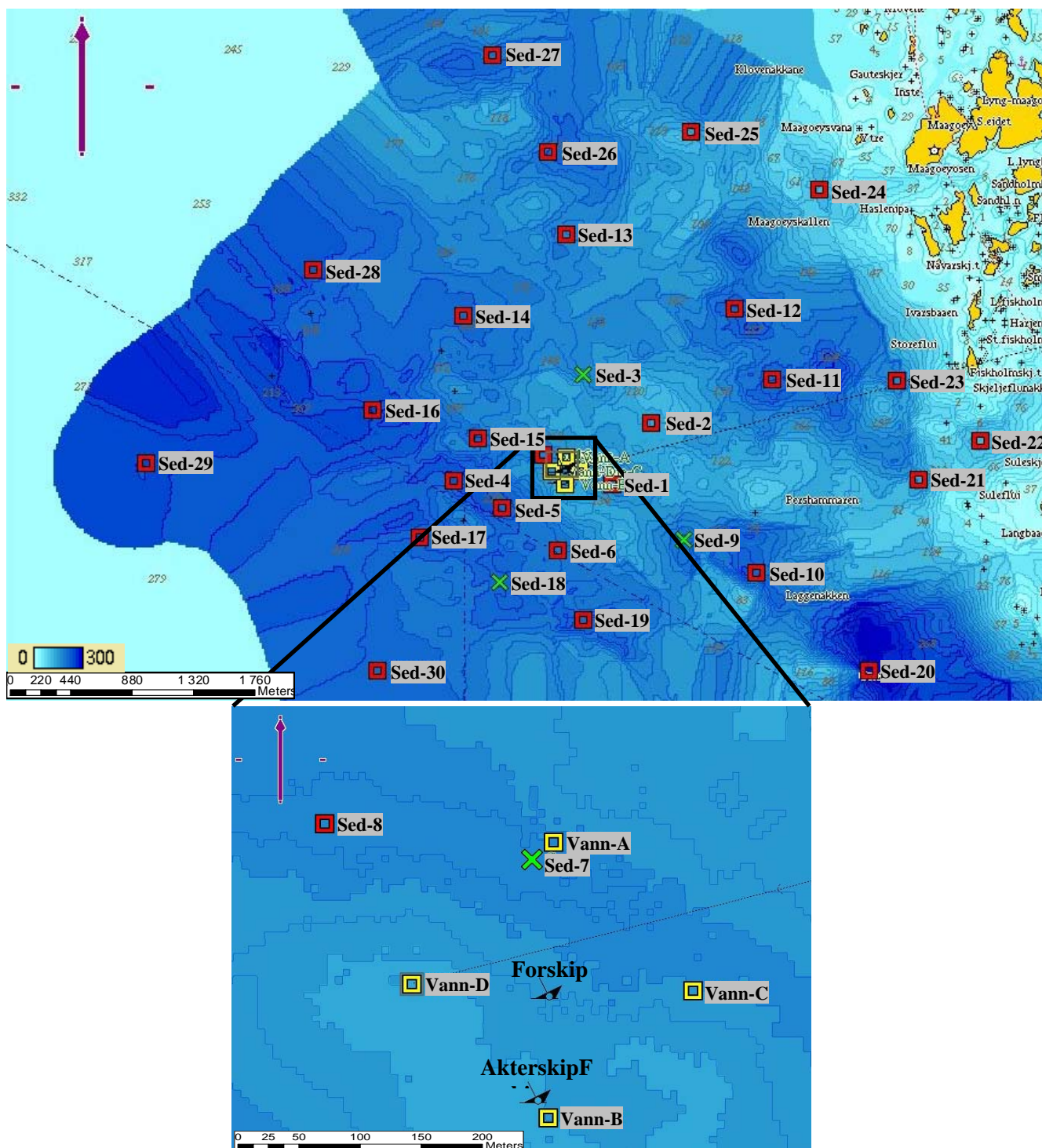
Figur 2). En CTD-profil ble tatt på hver av de 4 vannprøvestasjonene før prøvetaking for å velge rett dyp for prøvetaking. Vannprøvene ble samlet inn med en rosett vannhenter på 6 vanddyb før sedimentprøvetakingen startet. Dette for å unngå kontaminering av vannmassene som følge av prøvetakingen av sedimenter.

Det ble samlet inn sedimentprøver fra 30 stasjoner i en radius på ca. 3 km rundt vraket

Figur 2). Sedimentprøvene ble samlet inn med en 0,1 m<sup>2</sup> van Veen grabb. Overflatesedimentene (0-2 cm) fra 26 stasjoner ble skrapet av med skje. Fra 4 stasjoner ble sedimentene snittet i 1 cm intervaller ned til 5 cm for analyse av mektigheten til det forurensede laget. Fra 9 stasjoner ble det samlet inn ekstra overflatesedimenter (0-2 cm) for analyse av metyl-kvikksølv. Sedimentprøvene ble etter endt tokt transportert til NIVAs laboratorium.

Vedlegg B gir en oversikt over prøvetatte sedimentstasjoner og en grov beskrivelse av sedimentet.

Sedimenterprøver til biotilgjengelighetstester og utlekkningstester i Fase 2 av miljørisikovurderingen ble hentet opp med van Veen grabb fra stasjonen der det ved tidligere undersøkelser (st. 5, Skei 2003) ble påvist høyest kvikksølvkonsentrasjoner. Tre 10 liters bøtter med sedimenter fra st. 5 ble fylt opp og transportert til NIVAs marine forskningsstasjon Solbergstrand. I tillegg ble 3 kasser 50 x 50 cm fylt opp med et ca. 15 cm tykt lag med antatt kvikksølvforurensset sediment. Det ble også hentet opp referansesedimenter til utlekkningstestene fra et ikke-forurensset område sør for ubåten (posisjon N: 60°36.817 Ø: 04°42.422).



**Figur 2.** Oversikt over plassering av sedimentprøvestasjoner. Ved stasjonene markert med rød firkant er overflatesedimentene (0-2 cm) analysert. På stasjonene merket med grønt kryss ble sedimentene snittet i 1 cm intervaller ned til 5 cm. Vannprøvene er merket med gul firkant.

## 5. Analyser

43 sedimentprøver ble analysert med hensyn på total-kvikksølv ( $Hg_{tot}$ ), total organisk karbon (TOC) og kornfordeling ( $>< 63 \mu m$ ). 9 av disse ble også analysert for metylkvikksølv (Me-Hg). En oversikt over hvilke prøver som er analysert er vist i vedlegg C. Alt utenom metylkvikksølv ble analysert ved NIVAs laboratorium. Det ble analysert totalkvikksølv i 24 vannprøver.

Sedimentprøvene inneholdt en del stein og grus som ble fjernet før prøvene ble analysert. Bestemmelse av totalkvikksølv i vann og sedimenter ble gjort med en Perkin- Elmer FIMS-400 analysator. Total kvikksølv i sediment ble analysert ved at sedimentprøven først tørkes i varmeskap (temperaturen må ikke overstige  $80^{\circ}C$ , gjelder bare for sedimentprøvene). Prøven oppsluttes i salpetersyre. Kvikksølv må foreligge på ionisk form i prøveløsningen for at kalddamp teknikken skal kunne benyttes. Når reduksjonsmiddelet ( $SnCl_2$ ) blandes med prøven blir det ioniske kvikksølvet omformet til metallisk kvikksølv (Hg). En inert bæregass (argon) transporterer kvikksølvet til spektrofotometeret. En fordel med denne teknikken er den gode separasjonen av analytten fra matrisen slik at ikke-spesifikk bakgrunnsabsorpsjon og matriseinterferenser er minimale. Kvikksølvet oppkonsentreres i et amalgameringsystem.

Metylkvikksølv i sedimenter ble analysert ved at prøvene først gjennomgikk en forbehandling (Spiking med isomerket metylkvikksølv). Metylkvikksølvet ble deretter ekstrahert med organisk løsemiddel og avionisert vann og overført til en adsorbent. Adsorbenten ble så varmet opp og separert på GC (Gasskromatograf). Detektering og kvantifisering av metylkvikksølv ble til slutt gjort på en ICP-MS. (Induktiv koplet plasma-masse spektroskopi).

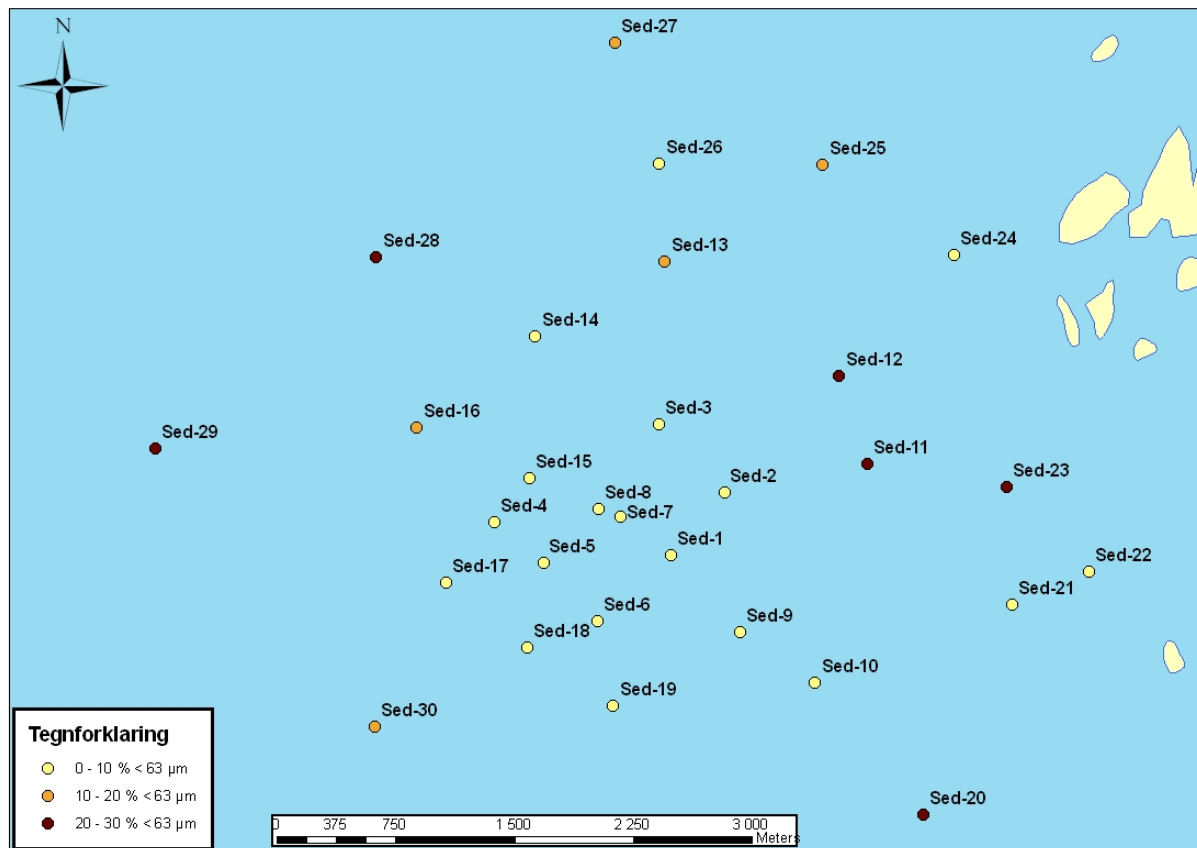
En oversikt over analyserte og innsamlede prøver er vist i vedlegg C.

## 6. Analyseresultater

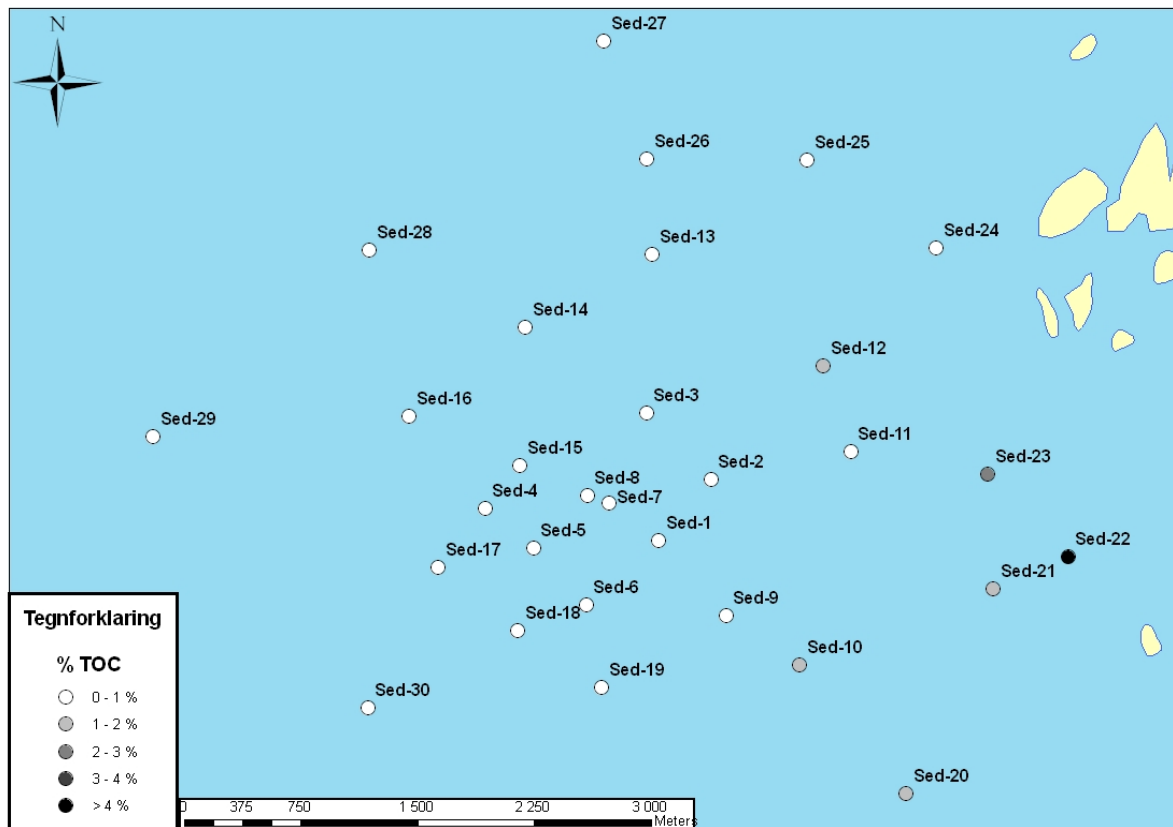
### 6.1 Sedimentprøver

Området der vraket av U-864 er lokalisert er kupert og sedimentene er meget harde. Kornfordelingsanalysene viser at det selv i fordypningene er sedimenter bestående av sand, grus og stein. I enkelte av de dypere områdene nærmere land og lengst vest ble det funnet noe høyere innhold av finkornet materiale (Figur 3). Sedimentenes innhold av total organisk karbon er generelt lavt (Figur 4), med en noe økning i de dypere partiene inn mot land (opp til 4 %).





Figur 3. Kornfordeling % < 63 µm (finere enn sand)



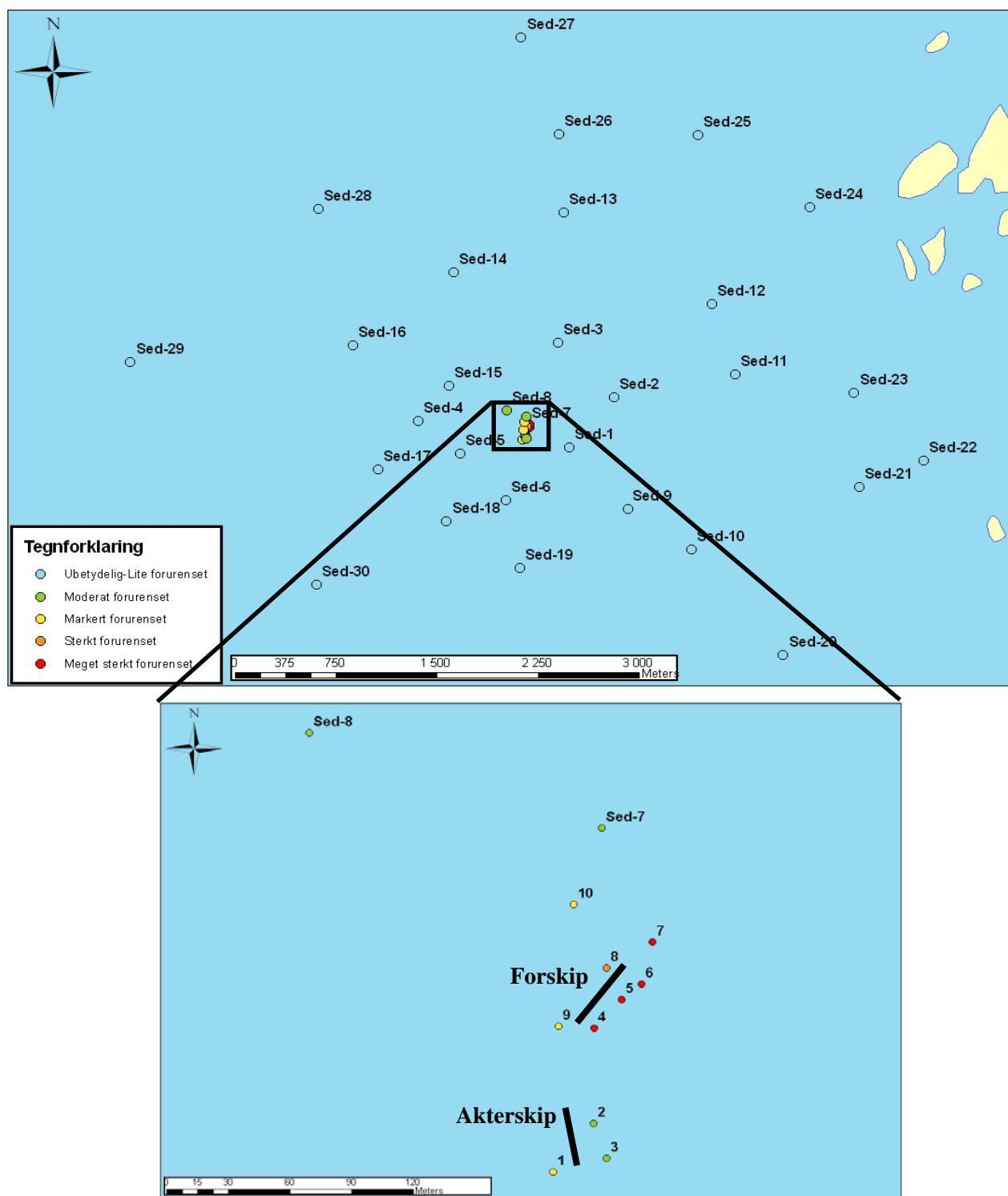
Figur 4. Sedimentenes innhold av total organisk karbon (TOC) %.

Totalkvikksølvinnholdet i sedimentene ble undersøkt på 30 stasjoner i en radius på ca 3 km rundt vraket av U-864. Analyser av overflatesedimentene (0-2 cm) gjort i denne undersøkelsen viser at området som er påvirket av kvikksølv er avgrenset til nærområdet rundt vraket (mindre enn 300 m). Kun to av de analyserte sedimentoverflateprøvene viste forhøyede konsentrasjoner av kvikksølv (sed-7 og sed-8, nord for vraket) og kan klassifiseres som moderat forurenset etter klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (Molvær et al. 1997). Alle analyserte overflateprøver i en radius større enn 300 meter fra vraket er ubetydelig til lite forurenset av kvikksølv (Figur 5, Tabell 1). Sammenlignet med resultatene fra tidligere undersøkelser av totalkvikksølvinnholdet i sedimentene nær vraket (0,41-1653 µg/g, Skei 2003) er totalkvikksølvinnholdet i sedimentene >300 meter fra vraket meget lave.

I sandige, marine sedimenter er normalinnholdet av kvikksølv 0,05-0,1 µg/g, mens det tilsvarende normalnivået for kvikksølv i vann regnes å være 0,5-1 ng/l. De registrerte kvikksølvverdiene i denne undersøkelsen ligger således på samme nivå som bakgrunnskonsentrasjonen for marine sedimenter. Unntaket er stasjonene Sed-7 og Sed-8 som ligger 2-3 ganger over bakgrunnskonsentrasjonen.

Analysen av snittet ved stasjon Sed-7 nærmest vraket viser at sedimentet er moderat forurenset av kvikksølv dypere enn 5 cm. Det ble ikke observert i forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner i snittene Sed-3, Sed-9 og Sed-18 (Tabell 1).

Metyl-kvikksølv (Me-Hg), som er en metallorganisk forbindelse, finnes i svært lave konsentrasjoner i naturlig vann og sedimenter. Metyl-kvikksølv ble undersøkt i overflatesedimentene (0-2 cm) fra 9 stasjoner rundt vraket av U-864. Innholdet av metyl-kvikksølv i sedimentprøvene varierte mellom 0,00005 µg/g på stasjon Sed-11 og 0,0004 µg/g på stasjon Sed-8. Høyest metylkvikksølvkonsentrasjoner ble funnet ved stasjonene Sed-7 og Sed-8 som også hadde høyest total-kvikksølvkonsentrasjoner. Metyl-kvikksølv utgjør 0,1 til 1 prosent av totalkvikksølvkonsentrasjonen (Tabell 1). Lavest prosentandel metyl-kvikksølv ble funnet på stasjonene Sed-7 og Sed-8, der det ble funnet høyest totalkvikksølvkonsentrasjoner. En lav konsentrasjon av metyl-kvikksølv antas å ha sammenheng med det lave innholdet av organisk materiale i sedimentene.









**Figur 5.** Totalkvikksølv i sedimentene rundt U-864. Klassifisert etter miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (Molvær et al. 1997). Alle sedimentanalyser foretatt rundt vraket er med, også de som ble gjort i 2003.



**Tabell 1.** Kvikksølv i sedimentene. Prøvene er klassifisert etter miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (Molvær et al. 1997).

| Stasjon        | Hg µg/g | Me-Hg (µg/g) | % Me-Hg av tot-Hg | KORN<63µm % t.v. | TOC/F µg/mg C TS | TTS/% | År   |
|----------------|---------|--------------|-------------------|------------------|------------------|-------|------|
| Sed 1          | 0.023   | 0.00023      | 1                 | 7                | 4.0              | 72.7  | 2005 |
| Sed 2          | 0.026   |              |                   | 7                | 6.1              | 72.8  | 2005 |
| Sed 3 0-1 cm   | 0.017   | 0.00009      | 0.53              | 5                | 3.2              | 78.0  | 2005 |
| Sed 3 1-2 cm   | 0.024   |              |                   | 6                | 4.3              | 75.1  | 2005 |
| Sed 3 2-3 cm   | 0.027   |              |                   | 2                | 6.1              | 71.6  | 2005 |
| Sed 3 3-4 cm   | 0.028   |              |                   | 8                | 6.2              | 72.7  | 2005 |
| Sed 3 4-5 cm   | 0.029   |              |                   | 9                | 5.7              | 73.1  | 2005 |
| Sed 4          | 0.016   | 0.00009      | 0.56              | 10               | 3.4              | 71.0  | 2005 |
| Sed 5          | 0.015   |              |                   | 8                | 2.5              | 74.9  | 2005 |
| Sed 6          | 0.016   | 0.00010      | 0.63              | 6                | 3.3              | 76.5  | 2005 |
| Sed 7 0-1 cm   | 0.34    | 0.00038      | 0.1               | 7                | 5.0              | 72.9  | 2005 |
| Sed 7 4-5 cm   | 0.32    |              |                   | 11               | 5.2              | 70.5  | 2005 |
| Sed 8          | 0.22    | 0.00040      | 0.18              | 5                | 3.3              | 74.1  | 2005 |
| Sed 9 0-1 cm   | 0.019   | 0.00009      | 0.47              | 5                | 4.1              | 68.2  | 2005 |
| Sed 9 1-2 cm   | 0.024   |              |                   | 12               | 5.2              | 66.2  | 2005 |
| Sed 9 2-3 cm   | 0.029   |              |                   | 13               | 5.5              | 66.8  | 2005 |
| Sed 9 3-4 cm   | 0.026   |              |                   | 14               | 5.3              | 65.2  | 2005 |
| Sed 9 4-5 cm   | 0.027   |              |                   | 12               | 5.9              | 66.2  | 2005 |
| Sed 10         | 0.025   |              |                   | 8                | 10.2             | 64.6  | 2005 |
| Sed 11         | 0.026   | 0.00005      | 0.19              | 21               | 7.6              | 59.6  | 2005 |
| Sed 12         | 0.034   |              |                   | 22               | 10.1             | 55.4  | 2005 |
| Sed 13         | 0.038   |              |                   | 14               | 5.4              | 67.9  | 2005 |
| Sed 14         | 0.023   | 0.00009      | 0.39              | 8                | 3.1              | 67.9  | 2005 |
| Sed 15         | 0.097   |              |                   | 8                | 5.7              | 64.2  | 2005 |
| Sed 16         | 0.020   |              |                   | 12               | 5.1              | 71.6  | 2005 |
| Sed 17         | 0.018   |              |                   | 5                | 3.9              | 70.8  | 2005 |
| Sed 18 0-1 cm  | 0.013   |              |                   | 2                | 1.9              | 79.9  | 2005 |
| Sed 18 1-2 cm  | 0.019   |              |                   | 9                | 3.9              | 75.3  | 2005 |
| Sed 18 2-3 cm  | 0.024   |              |                   | 8                | 4.8              | 74.3  | 2005 |
| Sed 18 3-4 cm  | 0.029   |              |                   | 11               | 3.6              | 74.9  | 2005 |
| Sed 18 4-5 cm  | 0.029   |              |                   | 10               | 3.9              | 75.9  | 2005 |
| Sed 19         | 0.015   |              |                   | 2                | 3.4              | 76.7  | 2005 |
| Sed 20         | 0.037   |              |                   | 21               | 10.2             | 54.6  | 2005 |
| Sed 21         | 0.029   |              |                   | 7                | 13.9             | 66.5  | 2005 |
| Sed 22         | 0.017   |              |                   | 6                | 56.4             | 58.2  | 2005 |
| Sed 23         | 0.025   |              |                   | 30               | 26.8             | 48.0  | 2005 |
| Sed 24         | 0.017   |              |                   | 5                | 2.8              | 69.6  | 2005 |
| Sed 25         | 0.032   |              |                   | 19               | 7.7              | 53.7  | 2005 |
| Sed 26         | 0.019   |              |                   | 10               | 3.5              | 67.8  | 2005 |
| Sed 27         | 0.024   |              |                   | 19               | 5.4              | 63.6  | 2005 |
| Sed 28         | 0.026   |              |                   | 24               | 5.4              | 63.9  | 2005 |
| Sed 29         | 0.027   |              |                   | 21               | 6.4              | 62.1  | 2005 |
| Sed 30         | 0.019   |              |                   | 15               | 4.6              | 65.7  | 2005 |
| 1 (Skei. 2003) | 1.94    |              |                   |                  |                  | 27.9  | 2004 |
| 2 (Skei. 2003) | 0.56    |              |                   |                  |                  | 30.5  | 2004 |
| 3 (Skei. 2003) | 0.41    |              |                   |                  |                  | 26.9  | 2004 |

| Stasjon         | Hg µg/g | Me-Hg (µg/g) | % Me-Hg av tot-Hg | KORN<63µm % t.v. | TOC/F µg/mg C TS | TTS/% | År   |
|-----------------|---------|--------------|-------------------|------------------|------------------|-------|------|
| 4 (Skei. 2003)  | 96.5    |              |                   |                  |                  | 27.4  | 2004 |
| 5 (Skei. 2003)  | 1653    |              |                   |                  |                  | 28.5  | 2004 |
| 6 (Skei. 2003)  | 139     |              |                   |                  |                  | 27.2  | 2004 |
| 7 (Skei. 2003)  | 10.2    |              |                   |                  |                  | 26    | 2004 |
| 8 (Skei. 2003)  | 3.23    |              |                   |                  |                  | 23.8  | 2004 |
| 9 (Skei. 2003)  | 2.96    |              |                   |                  |                  | 23.6  | 2004 |
| 10 (Skei. 2003) | 2.11    |              |                   |                  |                  | 27    | 2004 |

|                                                                                   |                                   |                                                                                   |                              |                                                                                   |                            |                                                                                    |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|  | I. Ubetydelig-<br>lite forurenset |  | II. Moderat<br>forurenset    |  | III. Markert<br>forurenset |  | IV. Sterkt<br>forurenset |
|  | V. Meget sterkt<br>forurenset     |  | Ikke i klassifiseringssystem |                                                                                   |                            |                                                                                    |                          |

## 6.2 Vannprøver

Mengde totalkvikksølv i vannmassene ble undersøkt i 6 vanddyb på 4 stasjoner nord. sør. øst. og vest for vraket. Vannmassene er generelt ubetydelig – lite forurenset av kvikksølv bortsett fra den dypeste prøven (150 m) ved stasjon A som var moderat forurenset (Tabell 2). Noe høyere totalkvikksølvkonsentrasjoner i bunnvannet nord for vraket kan henge sammen med at det trolig er en nordoverrettet strøm fra vraket mot stasjon A og at sedimentene ved stasjon A har noe forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner.

På stasjon C ble det observert en verdi på 8 ng/l på 70 meters dyp noe som tilsvarer markert forurenset (Molvær et al. 1997). Feilanalyse er utelukket da prøven ble analysert 3 ganger. Flere analyser av prøven i etterkant har vist at kvikksølvkonsentrasjonen i prøven øker med tiden. Dette er trolig forårsaket av at det er partikler i prøven som løser ut kvikksølv. Stasjonen lå øst for vraket og vi kan ikke utelukke ubåten som kilde direkte eller indirekte via partikler (mineralske eller biologiske) som siden er blitt oppvirvlet og transportert i vannmassene. Alternativt kan partiklene være tilført som kontaminering under prøvetaking eller tilfeldig langtransport fra andre kilder enn ubåten.

CTD-profilene som ble brukt til å velge ut dyp for prøvetaking av vannmassene er vist i vedlegg A.

**Tabell 2.** Analyseresultater vannprøver.

| Stasjon | Vanddyb (m) | Hg ng/l | Kommentar                                                                                               |
|---------|-------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A       | 5           | 1.0     |                                                                                                         |
|         | 40          | <1.0    |                                                                                                         |
|         | 75          | <1.0    |                                                                                                         |
|         | 100         | 1.0     |                                                                                                         |
|         | 130         | <1.0    |                                                                                                         |
|         | 150         | 2.0     |                                                                                                         |
| B       | 10          | <1.0    |                                                                                                         |
|         | 40          | <1.0    |                                                                                                         |
|         | 70          | 1.0     |                                                                                                         |
|         | 90          | 1.0     |                                                                                                         |
|         | 120         | <1.0    |                                                                                                         |
|         | 135         | <1.0    |                                                                                                         |
| C       | 5           | <1.0    |                                                                                                         |
|         | 30          | 1.0     |                                                                                                         |
|         | 70          | 8.0 ?   | Denne verdien er usikker. Mulig kontaminering ?<br>Prøven er analysert 3 ganger (feilanalyse utelukket) |
|         | 100         | 1.0     |                                                                                                         |
|         | 130         | <1.0    |                                                                                                         |
|         | 160         | <1.0    |                                                                                                         |
| D       | 5           | <1.0    |                                                                                                         |
|         | 20          | <1.0    |                                                                                                         |
|         | 50          | 1.0     |                                                                                                         |
|         | 80          | <1.0    |                                                                                                         |
|         | 110         | <1.0    |                                                                                                         |
|         | 135         | <1.0    |                                                                                                         |

## 7. Risikovurdering

### 7.1 Vurdering av resultatene

Resultatene fra undersøkelsene av kvikksølvnivået i overflatesedimentene innenfor en avstand på 3 km fra ubåt-vraket er entydige. De viser at overflatesedimentene ikke er påvirket av kvikksølv-lasten i ubåten med unntak av et par lokaliteter ca. 300 m nord for vraket. De preliminare undersøkelsene i nærområdet til vraket som ble gjort i 2003 viste ekstremt høye kvikksølvnivåer helt inn til vraket (< 100 m avstand). Det bør også påpekes at nivået av metyl-kvikksølv i sedimentene var 2-3 ganger høyere på de to stasjonene nord for vraket enn på de øvrige lokalitetene. Det betyr at kvikksølvet kan omdannes til metylkvikksølv til tross for lavt innhold av organisk materiale i sedimentene. Kvikksølvet kan med andre ord omformes til den mest biotilgjengelige fraksjonen som tas opp i fisk og skalldyr.

Bunnforholdene viser typisk erosjonsbunn med grove og harde sedimenter i området. Det betyr at selv om det har vært en spredning av kvikksølv fra vrakområdet så har ikke dette hatt noen innflytelse på områder med erosjonsbunn. Det at de eneste lokalitetene som viste forhøyet kvikksølv i denne undersøkelsen lå nord for vraket bekrefter at vanntransporten i hovedsak er nordoverrettet. Det er også verdt å merke seg at begge vannprøvene hvor det var

antydning til forhøyet kvikksølvinnhold ble tatt nord eller øst for vraket og den som mest sannsynlig kunne relateres til vraket ble tatt i samme området hvor det ble påvist forhøyet kvikksølvinnhold i sedimentene. Dette indikerer en spredning av kvikksølv fra vraket i nordgående retning, men at stor fortykning og resuspensjon av sedimentene gir lave konsentrasjoner.

## **7.2 Bruk av risikovurderingsverktøy**

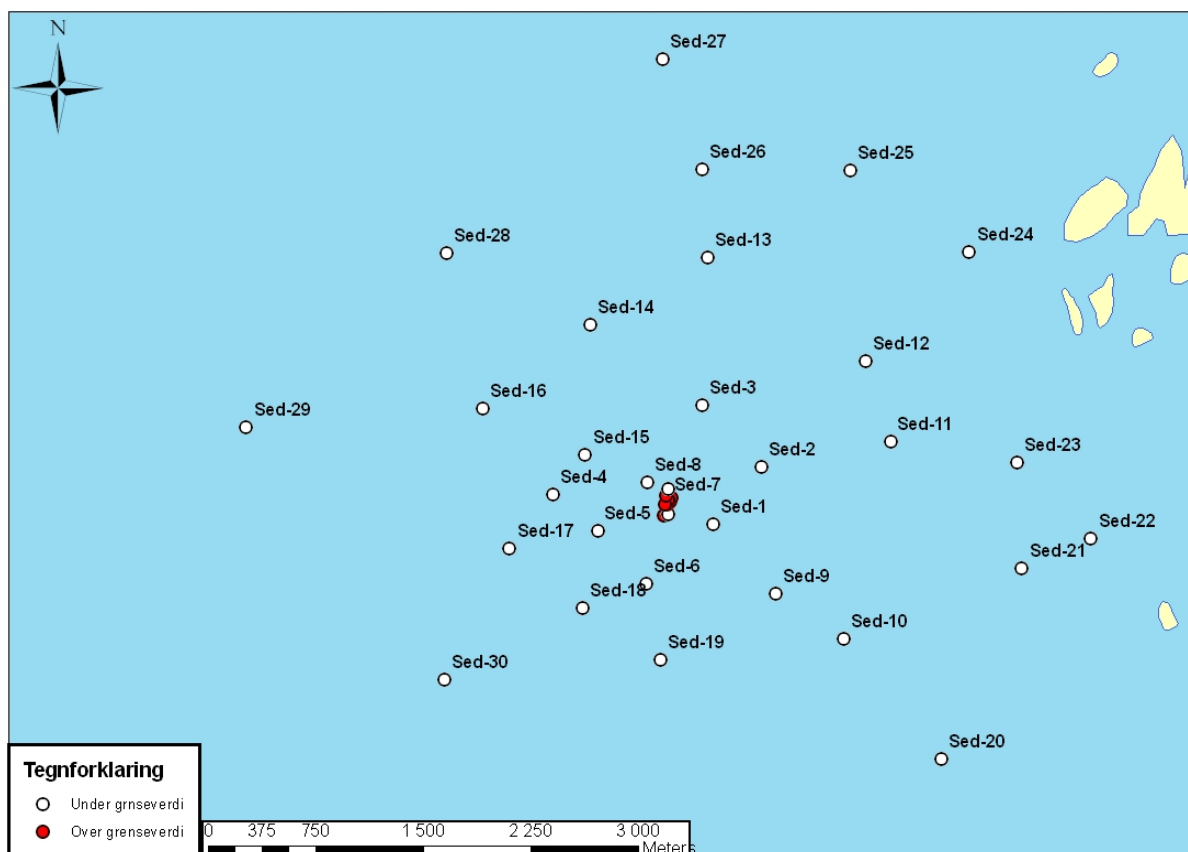
Risikovurderingen tar utgangspunkt i veileder for risikovurdering av forurenset sediment (Breedveld et al. 2005) som er utarbeidet til bruk i prioritering av fjordområder for eventuelle tiltak. Risikovurderingen gjøres i tre trinn, der hvert trinn er mer arbeidskrevende og mindre konservativt enn foregående trinn. I denne undersøkelsen gjøres deler av risikovurderingen i Trinn 1 som skiller områder med ubetydelig risiko fra de som bør vurderes videre. Giftighetstestene som inngår i Trinn 1 er ikke gjennomført i denne undersøkelsen.

### *Risikovurdering trinn 1*

Risikovurderingen er gjort ved at resultatene fra de kjemiske analysene i sediment sammenlignes med anbefalte grenseverdier for akseptable konsentrasjoner (Breedveld et al. 2005). Dersom en eller flere av grenseverdiene overskrides i en eller flere av prøvene, er den potensielle risiko av sedimentene ikke ubetydelig og trinn 2 i risikovurderingen bør gjennomføres. Grenseverdiene benyttes for å anslå potensiell miljørisiko ut fra miljøgiftkonsentrasjoner og giftighet.

Grenseverdien for kvikksølv i sedimenter er satt til 1 µg/g. Dette er den anbefalte grensen valgt ut fra laveste grense for ubetydelig risiko for økosystem og human helse. Det er ikke nedfelt grenseverdier for metylkvikksølv i sedimenter.

Det er kun sedimenter som ble tatt nær vraket i 2003 som overskrider grenseverdiene for kvikksølv i sediment (Figur 6). Overskridelsene er fra 1 til 1653 ganger grenseverdien. I og med at kvikksølvkonsentrasjonene i sedimentene overskrider grenseverdien skal det i henhold til veilederen gjennomføres en fase 2.



**Figur 6.** Oversikt over stasjoner som overstiger grenseverdien for akseptabel kvikksølvkonsentrasjon i sediment.

### *Risikovurdering trinn 2*

I trinn 2 vurderes aktuell risiko for miljøskade fra et forurenset område. Dette gjøres ved å vurdere:

- A Risiko for spredning til et uforurenset område.
- B Risiko for human helse.
- C Risiko for effekter på organismer populasjon og økosystem.

Trinn 2 baserer seg på estimater av sannsynlig spredning av miljøgifter via ulike transportveier, biotilgjengelighet og effekter.

### *A-Risiko for spredning fra sedimentene*

Beregning av transport av kvikksølv ut fra sediment er gjort ut fra allmenne sjablongverdier for målestørrelse, konstanter og koeffisienter. Disse er presentert i risikoveilederen (Breedveld et al. 2005). Spredning fra sedimentene beregnes ut fra transport ved biodiffusjon, oppvirvling som følge av skipstrafikk og transport via organismer. Oppvirvling som følge av skipstrafikk er ikke en aktuell problemstilling i denne vurderingen da U-864 ligger så dypt at båttrafikken ikke har noen effekt.

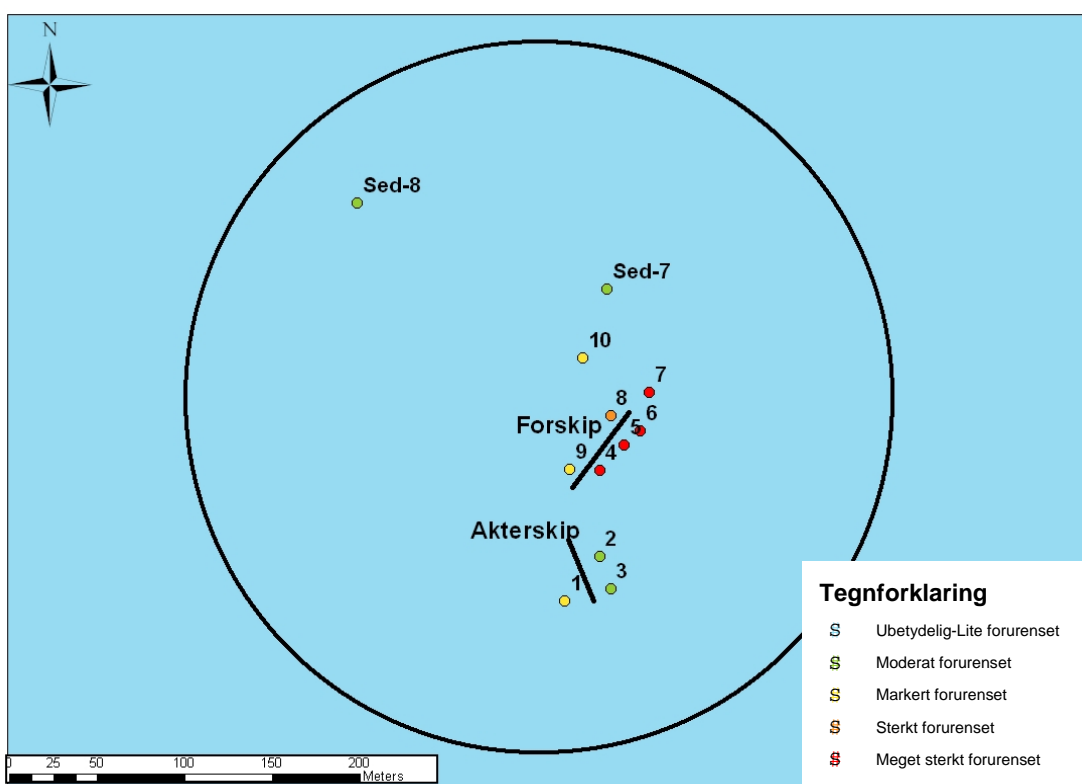
Spredning ved diffusjon ( $F_{diff}$ ) beregnes ved at molekylærdiffusjon ganges med en faktor for å ta hensyn til økt transport pga. bioturbasjon og korrigeres for økt diffusjonslengde som følge av pore-geometrien. Det er stor usikkerhet knyttet til slike teoretiske beregninger.

En mer utfyllende beskrivelse av formelverket bak beregningene finnes i risikoveilederen (Breedveld et al. 2005).

#### *Beregning av total spredning fra sediment*

Beregninger basert på middelkonsentrasjonen for kvikksølv ( $23 \mu\text{g/g}$ ) innenfor en radius på 200 meter rundt vraket (Figur 7) viser at det er en fluks på  $0.16 \text{ kg}$  kvikksølv fra sedimentet til vannmassen i løpet av et år. Middelkonsentrasjonen er basert på analyseresultatene i nærområdet til vraket (verdier fra Skei 2003 og Sed-7 og Sed-8). Ekstremverdien fra stasjon 5 (Skei. 2003) er ikke tatt med i beregningene.

For å få bedre tall på mengden kvikksølv som lekker ut av sedimentene bør utlekkings tester gjennomføres. Dette vil også være viktig for vurdering av tiltak rettet mot de kvikksølvforurensede sedimentene nær vraket.



**Figur 7.** Antatt ytre avgrensning for kvikksølvpåvirket sediment benyttet i beregningen av spredning i trinn 2 av risikovurderingen.

#### *B-Risiko for human helse*

En vurdering av human eksponering vil i dette området hovedsakelig være knyttet til konsum av sjømat. Undersøkelser av torsk, sei, lange og uer utenfor Fedje i 2004 har vist at det er trygt å spise fisk fanget i dette området (Julshamn et al. 2004). De observerte kvikksølvverdiene i fisk var lavere enn EUs øvre grenseverdi for kvikksølvinnhold i fisk på  $0.5 \text{ mg/kg}$  våt vekt. Kvikksølvinnholdet i filet av torsk, sei og lange tilsvarte det som er funnet å være normalinnholdet for kvikksølv i disse artene. Kvikksølvinnholdet i uer og krabbesmør var høyere enn normalnivået.

## 8. Vurdering av behovet for tiltak

### 8.1 Generelle betraktninger

Stortingsmelding 14 (2004-2005) omhandler akutt forurensing fra skipsvrak og miljøkonsekvenser av forurensing fra skipsvrak. Miljøskadelige konsekvenser av potensielle utslipp av forurensende stoffer fra skipsvrak vil variere betydelig avhengig av tilstanden til vraket og forhold knyttet til lokalisering, så som nærhet til miljøfølsomme områder, strømforhold. osv. En eventuell akutt lekkasje av forurensende stoffer med stort volum kan medføre forurensningsmessige skader lokalt, kanskje også regionalt, ved at både sjøfugl, levende organismer i vann, strandsamfunn og andre miljøressurser blir berørt.

Ved vurdering av tiltak overfor skipsvrak har forurensningsmyndighetene tatt utgangspunkt i miljørisikoen som vrakene representerer. Faktorer som inngår i disse vurderingene er bl.a. geografisk beliggenhet, fysisk tilstand for vraket, potensielt influensområde og egenskapene til oljer eller andre forurensende stoffer fra vraket, aktuelle mengder av slike stoffer og miljøressurser i influensområdet.

Vraket av U864 utenfor Fedje er spesielt omtalt i stortingsmelding 14 (2004-2005) som følge av at den representerer et mulig punktutslipp for 65-70 tonn kvikksølv. Foreløpige undersøkelser indikerer at det forekommer forhøyede verdier av kvikksølvinnhold i filet av uer og krabbesmør i området. Det er gitt en anbefaling om at det tas flere krabbeprøver for å få avklart situasjonen.

### 8.2 Beslutningsgrunnlag for tiltak.

Det er sannsynliggjort at ubåten hadde en last på 65 -70 tonn kvikksølv. Dette er en betydelig mengde i forhold til nasjonale utslipp av kvikksølv. Det er også sannsynliggjort at deler av dette kvikksølvet allerede er tilført bunnområdet rundt vraket i lys av de høye nivåene i bunnsedimentene som ble målt i 2003. I 2002 ble det totale utslipp av kvikksølv til norsk natur beregnet til 1,1 tonn (kilde Miljøstatus i Norge), noe som illustrerer skaleringen av kvikksølvmengden i ubåtvraket.

Resultatene fra undersøkelsene av kvikksølvnivåer i bunnsedimenter som er gjort utenfor Fedje fram til i dag viser sterkt forurensete sedimenter i nærområdet til vraket og at forhøyede nivåer kan spores i sedimentene inntil ca 200 m avstand fra ubåten. Hvor mye kvikksølv som allerede er spredt fra vraket er svært usikkert ettersom området er preget av erosjon og sterke strømmer. I og med at det er ikke er påvist opphopning av kvikksølv i sedimentene annet enn nær vraket er dette grunnlag nok for å kunne avvise behov for tiltak mot forurensete sedimenter i omgivelsene. Det som da gjenstår er å vurdere selve vrakstedet og beslutningsgrunnlaget for tiltak her.

Selv om det ikke er påvist kvikksølvforurensning i sedimentene utover en avstand på noen hundre meter kan det ikke utelukkes at vraket er å betrakte som en punktilde med hensyn til spredning. Men ettersom dette dreier seg om metallisk kvikksølv er det grunn til å vente atspredningspotensialet vil være mindre enn om det var andre kvikksølvforbindelser. I lys av at det er funnet flere indikasjoner på spredning:

- forhøyet nivå av kvikksølv i bunnsedimenter like nord for vraket
- forhøyet nivå av metylkvikksølv i samme sedimentprøver
- forhøyet nivå av kvikksølv i en vannprøve og
- forhøyede nivåer av kvikksølv i sjømat,

er vår konklusjon at det bør vurderes å gjøre tiltak på selve vrakstedet. Dette er også delvis begrunnet med at situasjonen kan utvikle seg negativt i fremtiden etterhvert som vrakets tilstand og tilstanden til emballasjen til kvikksølvet forverres. Det er foreslått en fase 2 og en fase 3 som vil styrke beslutningsgrunnlaget og bidra til at tiltaket kan utformes på en kost-nytte-effektiv måte.

### 8.3 Aktuelle tiltaksalternativer.

Hvis beslutningen blir å gjøre tiltak på vrakstedet er det viktig å velge et tiltaksalternativ som er forbundet med liten miljørisiko og et tiltak som er kost-nytte-effektivt.

Grunnlaget for å velge tiltaksmetode bør bedres ved å studere vraket med hensyn til tilstand og muligheter for å fjerne beholdere med kvikksølv. Vraket har ligget på havbunnen i 60 år og det må forventes at sjansen for å eksponere mer kvikksølv i miljøet vil øke uansett hva utfallet av undersøkelser av vraket viser. Hvis det viser seg å være mulig å hente opp store deler av kvikksølvlasten i intakte beholdere vil det potensielle miljøproblemet reduseres.

I realiteten er det tre valg knyttet til tiltak:

1. Heving av kvikksølvbeholdere og isolering av vraket på bunnen. Dette alternativet forutsetter at det lar seg gjøre å heve kvikksølvlasten uten at kvikksølv spres til omgivelsene. Deler av vraket stikker opp av sjøbunnen og det vil måtte lages en konstruksjon som gjør det mulig å lage en sarkofag av betong eller tilsvarende materiale. Den langsiktige risikoen forbundet med dette tiltaket vil være mindre enn ved alternativ 2 i og med at kvikksølvet blir fjernet på en forsvarlig måte og risiko for videre spredning av kvikksølv til omgivelsene blir eliminert. Den største utfordringen vil være å sikre vraket på en slik måte at dette blir en varig løsning som er sjøvannsbestandig -og erosjonsbestandig. De kvikksølvforurensede sedimentene rundt vraket må også håndteres på en forsvarlig måte, enten ved at de fjernes (suges opp) eller dekkes til med rene masser.
2. Isolering av vraket og forurensede sedimenter på bunnen uten heving av kvikksølvlasten (innkapsling/tildekking). Det forutsettes at det er teknisk umulig eller miljømessig for risikabelt å fjerne kvikksølvlasten kan det velges å dekke til eller kapsle inn vraket uten å heve kvikksølvlasten. En slik løsning vil måtte innbefatte en langtidsovervåking av området for å kontrollere at kvikksølv ikke lekker ut fra vraket i ettertid.
3. Heving av vraket og kvikksølvlasten. Dette alternativet forutsetter at det lar seg gjøre å heve kvikksølvlasten uten at kvikksølvet spres til omgivelsene. Selv ved en heving av både kvikksølvlasten og vraket vil det være behov for tiltak rettet mot de forurensede sedimentene nær vraket. De forurensede sedimentene kan da enten fjernes (suges opp)



eller dekkes til med rene masser. De observerte delene av vraket er delt i to og en betydelig del av vraket befinner seg langt nede i sedimentet. En eventuell heving av vrakdelene kan lett føre til stor oppvirvling av kvikksølvforurensede sedimenter og med de rådende strømforholdene i dette området vil umiddelbar og betydelig spredning være vanskelig å unngå.

## 9. Anbefalinger

Det er gjennomført undersøkelser av kvikksølv i sedimenter innenfor en radius på 3 km fra vraket av U864. Disse undersøkelsene viser at det er kun bunnsedimenter som befinner seg innenfor en avstand på 300 m som er påvirket av kvikksølv og at det er kun sedimenter innenfor en avstand på ca. 100 m fra vraket som er så sterkt forurenset at det kan representere et miljøproblem. Noen vannprøver ble analysert innenfor en radius på 300 m fra vraket og det er kun en prøve på nordsiden av vraket som viser en svak kvikksølvforurensning. Undersøkelser av kvikksølv i fisk og krabbe utført av NIFES og HI i 2004 konkluderte med forhøyede verdier av kvikksølv i filet av uer og i krabbesmør (begrenset datamateriale). Det er dette som er det eksisterende datagrunnlaget og som anbefalingene skal basere seg på.

Følgende foreslås:

1. Resultatene fra sedimentundersøkelsene (2003 og 2005) viser lave og normale kvikksølvverdier i hele undersøkelsesområdet med unntak av noen hundre meter fra vraket. Det er derfor ikke grunnlag for å vurdere tiltak (f.eks. tildekking) i områder mer enn 200 m fra selve vrakstedet.
2. Det anbefales at fase 2 av miljørisikovurderingen gjennomføres. Den omfatter testing av sedimenter som er tatt opp nær vraket med hensyn til biotilgjengelighet (human helse risiko og økosystemeffekt) og mobilitet av kvikksølv (risiko for spredning). Resultatene vil inngå som en viktig del av beslutningsgrunnlaget for tiltak.
3. Det anbefales at man parallelt med gjennomføringen av fase 2 utfører inspeksjoner av vraket ved hjelp av ROV (Remote Operated Vehicle) eller lignende for å få bedre oversikt over vrakets tilstand og mulighetene for å fjerne beholdere med kvikksølv uten å heve vraket.
4. Det anbefales at man parallelt med gjennomføringen av fase 2 starter planleggingen av tiltaksmetoder knyttet til selve vrakstedet. Vraket ligger i et erosjonsområde og på skrånende bunn og det anses som lite sannsynlig at det vil være mulig å gjøre noe med de forurensede sedimentene som ligger mer enn 50 m fra vraket og at all fokus på tiltak bør rettes mot selve vrakstedet.
5. Ved et eventuelt valg av tildekking/isolering som tiltak vil strømmålinger måtte utføres som grunnlag for dimensjonering av tildekkingsmaterialet. Gode kunnskaper om strømforholdene i området vil trolig også være viktig dersom det besluttes å heve vraket.
6. Uten å kjenne til vrakets fysiske tilstand anses heving av vrakdelene å innebære en betydelig risiko for spredning av kvikksølv til omgivelsene via oppvirvling av kvikksølvforurensede sedimenter og forventede høye strømhastigheter.

7. Isolering eller innkapsling av vraket og tildekking av de mest forurensede bunnsedimentene som ligger nær vraket anses som et mulig tiltak for å hindre framtidig spredning av kvikksølv.
8. Det anbefales at en forsøker å få lokalisert den tredje vrakdelen som ikke er funnet og at det isåfall foretas en grunnleggende undersøkelse av kvikksølvnivåene i sedimentene rundt denne.
9. Det anbefales også at en i sammenheng med pkt.8 også forsøker å lokalisere eventuelle løse kvikksølvbeholdere på sjøbunnen.
10. Gode løsninger for lokalisering, håndtering og avhending av kvikksølvbeholderne må fremskaffes.
11. Dersom lokaliseringen av kvikksølvbeholderne medfører forflytting av sedimenter eller vrakdeler må en påse at det ikke skjer en ytterligere spredning av kvikksølv til omgivelsene.
12. Det bør utarbeides en plan for miljøovervåkning i forbindelse med alt undersjøisk arbeid.

## 10. Referanser

Breedveld. G., Bakke. T., Eek. E., Helland. A., Källqvist. T., Oen. A., 2005: Veileder i risikovurdering av forurenset sediment. 44 s. ISBN-nr. 82-7655-250-1. TA-2085/2005

Molvær. J., Knutzen. J., Magnusson. J., Rygg. B., Skei. J., Sørensen. J., 1997: Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. SFT-rapport TA 1467/1997. 36s. ISBN 82-7655-367-2.

Julshamn K., Klungsøyr J., 2004: Kvikksølvinnholdet i filet av torsk. sei. lange og uer fanget utenfor Fedje i Hordaland. Notat NIFES/HI.

Skei. J., 2003: Analyse av sedimentprøver rundt vrak av ubåt (U-864) utenfor Fedje, Hordaland. NIVA-notat 2003.

## 11. Vedlegg

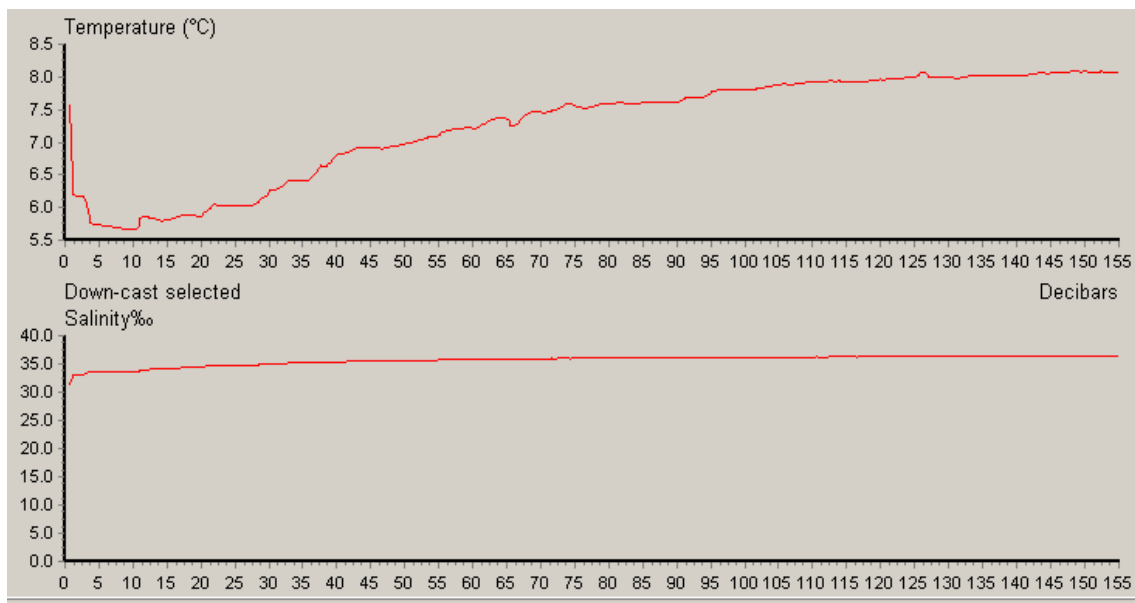
### Vedlegg A. CTD-profiler

CTD-profiler ble gjort på 4 stasjoner (Tabell 1). Dette er de samme stasjonene der vannprøvene ble tatt.

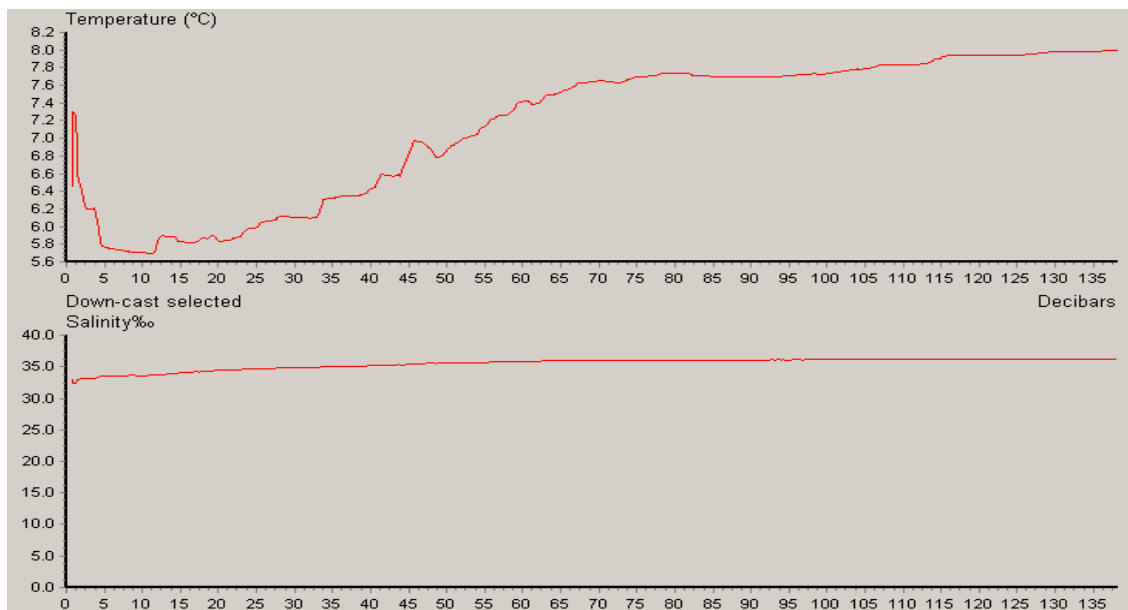
**Tabell 1.** CTD-profilene for de 4 stasjonene er vist i figurene 1-4 i dette vedlegget.

| Stasjon                  | Vanndyp (m) |
|--------------------------|-------------|
| Vannprøve A/CTD-profil-1 | 155         |
| Vannprøve B/CTD-profil-2 | 135         |
| Vannprøve C/CTD-profil-3 | 160         |
| Vannprøve D/CTD-profil-4 | 134         |

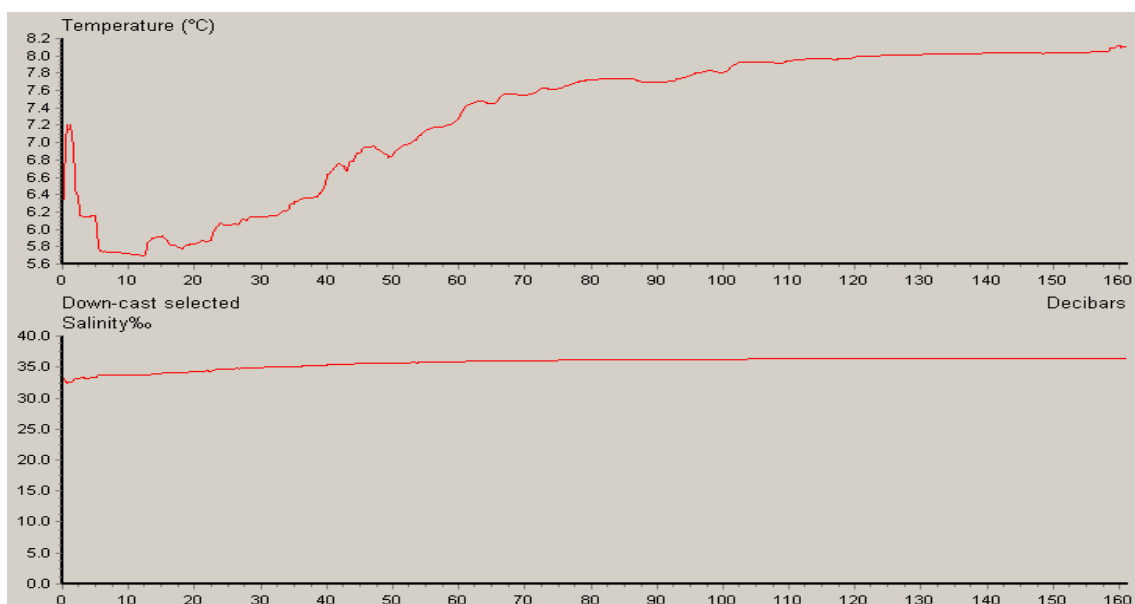
Vannprøver tatt på 4 stasjoner.



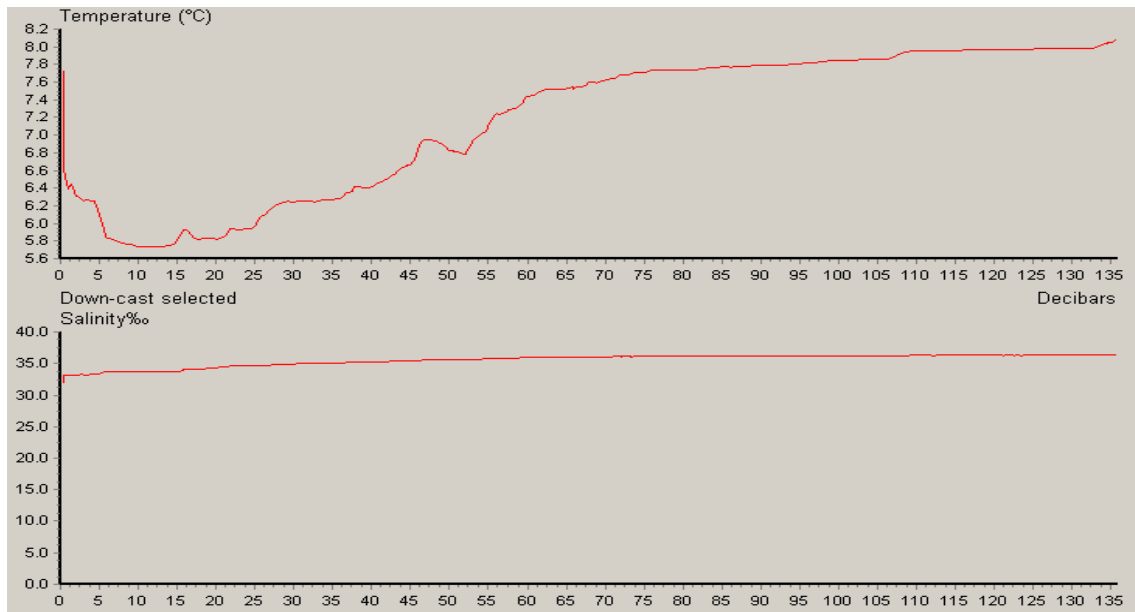
Figur 1 CTD-profil 1 ved Vannprøve A 100 m nord for vraket.



Figur 2. CTD-profil 2 ved Vannprøve B 100 m sør for vraket.



Figur 3. CTD-profil 3 ved Vannprøve C 100 m øst for vraket.



Figur 4. CTD-profil 4 ved Vannprøve D 100 m vest for vraket.

## Vedlegg B. Beskrivelse av prøvetatte sedimentstasjoner

Vedlegg B. Oversikt over prøvetatte sedimentstasjoner.

| St.    | Nord (WGS84) | Øst (WGS84) | Vanndyp (m) | Dato       | Snitt (cm)            | Beskrivelse                                                                           |
|--------|--------------|-------------|-------------|------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Sed-1  | 60°46.158    | 04°37.629   | 170         | 18.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand med noe gruspartikler. Hard bunn. Noen børstemark                        |
| Sed-2  | 60°46.396    | 04°37.924   | 138         | 19.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand, grus og stein. Hard bunn. 3 hugg                                        |
| Sed-3  | 60°46.587    | 04°37.401   | 175         | 19.04.2005 | 0-1<br>(Me-Hg 0-2 cm) | Gråbrun sand med noe grus. Noe skjellfragmenter. Børstemark, slangestjerne og sjømus. |
|        |              |             |             |            | 1-2                   |                                                                                       |
|        |              |             |             |            | 2-3                   |                                                                                       |
|        |              |             |             |            | 3-4                   |                                                                                       |
|        |              |             |             |            | 4-5                   |                                                                                       |
| Sed-4  | 60°46.172    | 04°36.382   | 226         | 19.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand og grus. Noe skjellfragmenter                                            |
| Sed-5  | 60°46.063    | 04°36.762   | 220         | 19.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand, grus og stein. Hard bunn. Mye fauna.                                    |
| Sed-6  | 60°45.897    | 04°37.195   | 194         | 19.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand, grus og stein. Hard bunn.                                               |
| Sed-7  | 60°46.258    | 04°37.243   | 173         | 19.04.2005 | 0-1<br>(Me-Hg 0-2 cm) | Gråbrun sand, grus. Hard bunn. Mye fauna. Analysert snittene 0-1 og 4-5 cm            |
|        |              |             |             |            | 1-2                   |                                                                                       |
|        |              |             |             |            | 2-3                   |                                                                                       |
|        |              |             |             |            | 3-4                   |                                                                                       |
|        |              |             |             |            | 4-5                   |                                                                                       |
| Sed-8  | 60°46.272    | 04°37.080   | 173         | 19.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand, grus og stein. Hard bunn                                                |
| Sed-9  | 60°45.939    | 04°38.184   | 195         | 19.04.2005 | 0-1<br>(Me-Hg 0-2 cm) | Gråbrun sand, grus og stein. Hard bunn. Ingen prøve på 4-5 cm på snitt                |
|        |              |             |             |            | 1-2                   |                                                                                       |
|        |              |             |             |            | 2-3                   |                                                                                       |
|        |              |             |             |            | 3-4                   |                                                                                       |
|        |              |             |             |            | Ikke snitt            |                                                                                       |
| Sed-10 | 60°45.810    | 04°38.751   | 195         | 19.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand med noen gruspartikler.                                                  |
| Sed-11 | 60°46.566    | 04°38.871   |             | 19.04.2005 | 0-2                   | Olivengrønn siltig mudder                                                             |
| Sed-12 | 60°46.847    | 04°38.583   | 217         | 19.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand, grus og stein. Meget hard bunn. 10 grabb skudd.før prøve                |
| Sed-13 | 60°47.134    | 04°37.264   | 174         | 19.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sandig silt med noe skjellfragmenter.                                         |
| Sed-14 | 60°46.817    | 04°36.460   | 207         | 20.04.2005 | 0-2                   | Homogen gråbrun sand                                                                  |
| Sed-15 | 60°46.338    | 04°36.576   | 213         | 20.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand med mye skjellfragmenter. Steinkorall                                    |
| Sed-16 | 60°46.447    | 04°35.748   | 250         | 20.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand med noe gruspartikler                                                    |
| Sed-17 | 60°45.947    | 04°36.118   | 210         | 20.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sandig grus og stein. Noen skjellfragmenter                                   |

|        |           |           |     |            |                       |                                                         |
|--------|-----------|-----------|-----|------------|-----------------------|---------------------------------------------------------|
| Sed-18 | 60°45.773 | 04°36.743 | 212 | 20.04.2005 | 0-1<br>(Me-Hg 0-2 cm) | 0-2 cm lysebrun sand. 2 cm →<br>gråbrun sand.           |
|        |           |           |     |            | 1-2                   |                                                         |
|        |           |           |     |            | 2-3                   |                                                         |
|        |           |           |     |            | 3-4                   |                                                         |
|        |           |           |     |            | 4-5                   |                                                         |
| Sed-19 | 60°45.625 | 04°37.396 | 215 | 20.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand. grus og stein.<br>Hard bunn.              |
| Sed-20 | 60°45.426 | 04°39.635 | 289 | 20.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand. grus og stein.<br>Hard bunn.              |
| Sed-21 | 60°46.175 | 04°40.016 | 140 | 19.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand og grus med noe<br>skjellfragmenter.       |
| Sed-22 | 60°46.325 | 04°40.504 |     | 20.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand og grus med noe<br>skjellfragmenter        |
| Sed-23 | 60°46.563 | 04°39.850 | 172 | 20.04.2005 | 0-2                   | Løs gråbrun sandig silt med<br>noe skjellfragmenter.    |
| Sed-24 | 60°47.312 | 04°39.239 |     | 20.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand. grus og stein.<br>Hard bunn.              |
| Sed-25 | 60°47.541 | 04°38.241 | 117 | 20.04.2005 | 0-2                   | Sand med mye skjellfragmenter<br>på sedimentoverflaten. |
| Sed-26 | 60°47.459 | 04°37.120 | 200 | 20.04.2005 | 0-2                   | Homogen lysebrun sand                                   |
| Sed-27 | 60°47.840 | 04°36.683 | 194 | 20.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand med noen<br>gruspartikler.                 |
| Sed-28 | 60°46.996 | 04°35.284 | 225 | 20.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand med noen<br>gruspartikler.                 |
| Sed-29 | 60°46.239 | 04°33.980 | 243 | 20.04.2005 | 0-2                   | Gråbrun sand. grus og stein.<br>Hard bunn.              |
| Sed-30 | 60°45.425 | 04°35.785 | 204 | 20.04.2005 | 0-2                   |                                                         |

## Vedlegg C. Analyserte prøver

Vedlegg C Oversikt over analyserte prøver.

| Stasjon | Snitt (cm)         | Hg  | Me-Hg | Fauna | Stasjon | Snitt (cm)         | Hg  | Me-Hg | Fauna |
|---------|--------------------|-----|-------|-------|---------|--------------------|-----|-------|-------|
| Sed-1   | 0-2                | X   | X     | X     | Sed-12  | 0-2                | X   |       |       |
| Sed-2   | 0-2                | X   |       |       | Sed-13  | 0-2                | X   | X     |       |
| Sed-3   | 0-1 (Me-Hg 0-2 cm) | X   | X     | X     | Sed-14  | 0-2                | X   | X     |       |
|         | 1-2                | X   |       |       | Sed-15  | 0-2                | X   | X     |       |
|         | 2-3                | X   |       |       | Sed-16  | 0-2                | X   | X     |       |
|         | 3-4                | X   |       |       | Sed-17  | 0-2                | X   |       |       |
|         | 4-5                | X   |       |       | Sed-18  | 0-1 (Me-Hg 0-2 cm) | X   | X     |       |
| Sed-4   |                    | X   | X     | X     |         | 1-2                | X   |       |       |
| Sed-5   |                    | X   | X     | X     |         | 2-3                | X   |       |       |
| Sed-6   |                    | X   | X     | X     |         | 3-4                | X   |       |       |
| Sed-7   | 0-1 (Me-Hg 0-2 cm) | X   | X     | X     |         | 4-5                | X   |       |       |
| Sed-7   | 1-2                | X   |       |       | Sed-19  | 0-2                | X   |       |       |
|         | 2-3                | X   |       |       | Sed-20  | 0-2                | X   |       |       |
|         | 3-4                | X   |       |       | Sed-21  | 0-2                | X   |       |       |
|         | 4-5                | X   |       |       | Sed-22  | 0-2                | X   |       |       |
|         | Sed-8              | 0-2 | X     | X     | X       | Sed-23             | 0-2 | X     |       |
| Sed-9   | 0-1 (Me-Hg 0-2 cm) | X   | X     | X     | Sed-24  | 0-2                | X   |       |       |
|         | 1-2                | X   |       |       | Sed-25  | 0-2                | X   |       |       |
|         | 2-3                | X   |       |       | Sed-26  | 0-2                | X   |       |       |
|         | 3-4                | X   |       |       | Sed-27  | 0-2                | X   |       |       |
|         | 4-5                | X   |       |       | Sed-28  | 0-2                | X   |       |       |
| Sed-10  | 0-2                | X   | X     | X     | Sed-29  | 0-2                | X   |       |       |
| Sed-11  | 0-2                | X   | X     | X     | Sed-30  | 0-2                | X   |       |       |
|         | = Analysert prøve  |     |       |       |         |                    |     |       |       |
| X       | = Prøve samlet inn |     |       |       |         |                    |     |       |       |