



KVIKKSØLV I SJØMAT VED U-864

Resultater fra overvåkning i 2022 og 2023

Sylvia Frantzen, Amund Måge og Monica Sanden (HI)



Tittel (norsk og engelsk):

Kvikksølv i sjømat ved U-864
Mercury in seafood at U-864

Undertittel (norsk og engelsk):

Resultater fra overvåkning i 2022 og 2023
Results from monitoring in 2022 and 2023

Rapportserie:

Rapport fra havforskningen
ISSN:1893-4536

År - Nr.:

2024-35

Dato:

23.08.2024

Distribusjon:

Åpen

Forfatter(e):

Sylvia Frantzen, Amund Måge og Monica Sanden (HI)

Antall sider:

33

Godkjent av: Forskningsdirektør(er): Gro-Ingunn Hemre Programleder(e):
Livar Frøyland

Sammendrag (norsk):

Den tyske ubåten U-864 transporterte store mengder kvikksølv, da den ble senket vest av Fedje i 1945. Vraket ligger på rundt 150 m dyp og sjøbunnen nær vrakdelene er sterkt forurensset av metallisk kvikksølv. På vegne av Kystverket overvåker Havforskningsinstituttet årlig innholdet av kvikksølv i sjømat fisket rundt vraket samt referanselokaliteter fire nautiske mil nord og sør for vraket. I henholdsvis 2022 og 2023 analyserte vi filet av 75 og 69 brosmer (*Brosme brosme*) og klokjøtt og innmat av 51 og 62 taskekrabber (*Cancer pagurus*) for totalkvikksølv. Filet av totalt seks brosmer prøvetatt ved vraket, tolv fisket fire nautiske mil sør for vraket og tre fisket fire nautiske mil nord for vraket, hadde kvikksølvkonsentrasjoner over grenseverdien satt for mattrygghet i EU og Norge. Dette var flere enn det som tidligere har vært målt, men gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon i brosme prøvetatt ved vraket i 2022 og 2023 var henholdsvis på nivå med og litt høyere enn langtidsmiddelet for 2005-2023. Klokjøtt av krabber (behandlet rå før analyse) hadde et kvikksølvnivå godt innenfor grenseverdiene for mattrygghet, og det var ingen forskjell mellom de tre lokalitetene. En av syv krabber som ble kokt før analyse, hadde et kvikksølvnivå i klokjøtt like over grenseverdien for mattrygghet. For innmat var det høyest konsentrasjoner av kvikksølv i krabber fanget ved vraket, lavere fire nautiske mil nord og aller lavest fire nautiske mil sør for vraket. Dette har også blitt observert tidligere hos krabbe. Gjennomsnittlig kvikksølvnivå i innmat av krabber fanget ved vraket av U-864 var relativt lavt i 2022 og relativt høyt i 2023, mens i klokjøtt var gjennomsnittlig kvikksølvnivå relativt lavt begge årene. Det er ikke grunnlag for å fastslå at det har vært noen nedgang eller økning i perioden overvåkingen har pågått. I klokjøtt var det ingen betydelig forskjell mellom de tre lokalitetene.

Sammendrag (engelsk):

The German submarine U-864 carried a large amount of mercury in its hull, when it was sunken west of the island Fedje off the Norwegian west coast in 1945. The wreck is located at about 150 m depth and the surrounding seabed is heavily polluted with metallic mercury. On behalf of the Norwegian Coastal Administration, the Institute of Marine Research annually monitors the content of mercury in seafood caught around the wreck as well as at reference sites four nautical miles north and south of the wreck. In 2022 and 2023 respectively, we analysed fillet samples of 75 and 69 tusk (*Brosme brosme*) and claw meat and brown meat or hepatopancreas of 51 and 62 edible crabs (*Cancer pagurus*) for total mercury. Fillet of in total six tusk sampled at the wreck site, twelve sampled four nautical miles south of the wreck and three sampled four nautical miles north of the wreck, had mercury concentrations above the maximum level set for food safety in EU and Norway. This was more exceedances than previously measured, but average mercury concentrations in tusk sampled in 2022 and 2023 respectively, were at the level of and somewhat higher than the long term mean for 2005-2023. Claw meat of crab treated raw had mercury levels well within maximum levels for food safety, and there was no difference in mercury levels between the three sampling sites. One of the seven crabs boiled before analysis, had a mercury concentration in claw meat above the maximum level for food safety. In hepatopancreas, concentrations of mercury were highest at the wreck site, lower four nautical miles north of the wreck and lowest of all four nautical miles south of the wreck. This has also been observed previously in crab. Average mercury concentrations in hepatopancreas of crab caught at the wreck of U-864 was relatively low in 2022 and high in 2023, while in claw meat mean mercury level was relatively low both years. There is no indication that there has been any increase during the monitoring period.

Innhold

1	Innledning	5
2	Materiale og metoder	7
2.1	Prøveinnsamling	7
2.2	Opparbeiding og analyse	8
2.3	Databehandling og statistikk	9
3	Resultater og diskusjon	10
3.1	Brosme	10
3.2	Krabbe	12
3.2.1	<i>Sammenligning av lokaliteter</i>	13
3.2.2	<i>Utvikling over tid</i>	14
3.2.3	<i>Andre metaller og halvmetaller</i>	16
4	Konklusjoner	23
5	Litteraturliste	24
6	Vedlegg	26

1 - Innledning

Den 9. februar 1945 ble den tyske ubåten U-864 torpedert og senket av den britiske ubåten HMS «Venturer» vest av Fedje. Ubåten var på vei til Japan med en last krigsutstyr, og det er estimert at 67 tonn metallisk kvikksølv kan ha vært lagret i jernflasker i kjølen. Vrakdelene av ubåten og den farlige lasten ble liggende på rundt 150 meters dyp om lag tre kilometer vest for Fedje, og ble lokalisert først i 2003. Analyser utført i 2003, verifisert gjennom en større kartlegging i 2005 og i 2013 (Uriansrud m.fl. 2005; Solhjell and Lunne 2013), viste at prøver av sedimenter tatt ved vraket inneholdt høye konsentrasjoner av kvikksølv. De høyeste kvikksølvkonsentrasjonene i sedimentet er funnet nærmest vraket, innenfor en radius på ca. 100 meter, og nivåene avtar gradvis med økende avstand fra vraket.

Alt kvikksølv er giftig, men uorganisk kvikksølv er mindre giftig enn organisk kvikksølv og blir i mindre grad tatt opp i biota. Metylkvikksølv er den vanligste organiske formen av kvikksølv og den som lettest tas opp i organismer og akkumuleres i næringskjeden (Bloom 1992). Metylkvikksølv kan bli dannet ved metylering av mikroorganismer, både i sedimenter og i vannsøylen. Laboratorieforsøk har vist at det er liten grad av metylering i sediment tatt like ved vraket, og at tilsetning av mer organisk materiale økte metyleringen (Kystverket 2015). Lite metylering skyldes altså sannsynligvis at det er lite organisk materiale til stede i sedimentene rundt vraket.

For å kunne vurdere i hvilken grad kvikksølv fra ubåtvraket og sedimentet rundt påvirker sjømattryggheten har Havforskningsinstituttet overvåket kvikksølvinnholdet i fisk og krabbe fra området årlig siden 2004 (Måge m.fl. 2006, 2007; Frantzen m.fl. 2008, 2010, 2011, 2012, 2014, 2018, 2019a,b, 2021, 2023; Haldorsen m.fl. 2013; Frantzen and Måge 2015, 2016). Kvikksølvanalysene har hvert år siden 2009 blitt utført på prøver av brosme (*Brosme brosme*) og taskekrabbe (*Cancer pagurus*) prøvetatt ved vraket og ved referanselokaliteter fire nautiske mil sør for vraket (4 nm S) og fire nautiske mil nord for vraket (4 nm N). Overvåkingen viser at det er noe forhøyede nivåer av kvikksølv i brunmat av taskekrabbe fanget i vrakområdet, men ikke i klokjøtt av krabbe og muskel av brosme. Dette skyldes sannsynligvis at kvikksølvet i sedimentet i liten grad er metylkvikksølv, som er den formen som tas lettest opp i muskelvev. Metallisk kvikksølv fra sedimentet kan likevel inntas og være i fordøyelseskjertelen til krabben før det eventuelt skilles ut. I 2014 og 2018 ble krabbeprovne analysert for metylkvikksølv, og analysene viste at 100 % av kvikksølvet i både kokt og rått klokjøtt var i form av metylkvikksølv (Frantzen and Maage 2015; Frantzen m.fl., 2019a). I brunmat og hepatopankreas varierte imidlertid andelen metylkvikksølv mye, og en del enkeltkrabber hadde relativt lav andel metylkvikksølv trolig fordi de inneholdt metallisk kvikksølv. At kvikksølv i brunmat/hepatopankreas av krabbene stammer fra vraket og sedimentet rundt har blitt bekreftet ved analyse for stabile kvikksølvisotoper, gjennomført i et samarbeidsprosjekt med Universitetet i Gent (Rua-Ibarz m.fl. 2016; Dumont, 2019). Her fant vi at brunmat av krabbene fisket nærmest vraket hadde en sammensetning av kvikksølvisotoper mer likt metallisk kvikksølv fra vraket og en prøve tatt av sedimentet rundt vraket, enn de krabbene som var fisket fire nautiske mil nord og fire nautiske mil sør for vraket.

I muskel av brosme finnes nesten alt kvikksølv i form av metylkvikksølv, mens leveren også inneholder uorganisk kvikksølv i ulik grad, og det er vanlig å finne høyere andel uorganisk kvikksølv i lever i områder forurensset av kvikksølv. Undersøkelser fra 2015 viste at det ikke var uvanlig mye uorganisk kvikksølv i lever av brosme fisket nær de forurensede sedimentene rundt ubåtvraket (Frantzen and Måge 2016). Lever og filet av brosme prøvetatt i 2015 ble også analysert for stabile kvikksølvisotoper, og dette arbeidet viste at brosme fra området ved U-864 ikke har annerledes isotopsammensetning enn brosme prøvetatt andre steder langs kysten av Vestlandet eller i Skagerrak (Rua-Ibarz m.fl. 2019). Disse resultatene støtter de tidligere antakelsene om at

brosme i svært liten grad akkumulerer det metalliske kvikksølv i sedimentet rundt ubåtvraket, hverken i filet eller lever.

Siden 2017 har krabbe blitt opparbeidet både med koking og uten koking. Resultatene tydet på at hepatopankreas av krabber som ikke var kokt (og ikke frysetørket) hadde høyere nivå av totalkvikksølv, men ikke av metylkvikksølv, enn brunmat av krabber som var kokt. Dette kunne igjen tyde på at koking medfører tap av uorganisk/metallisk kvikksølv fra hepatopankreas. De siste årene har det derfor vært hovedfokus på rå krabber, med noen analyser av kokte krabber i tillegg siden det er kokte krabber som spises.

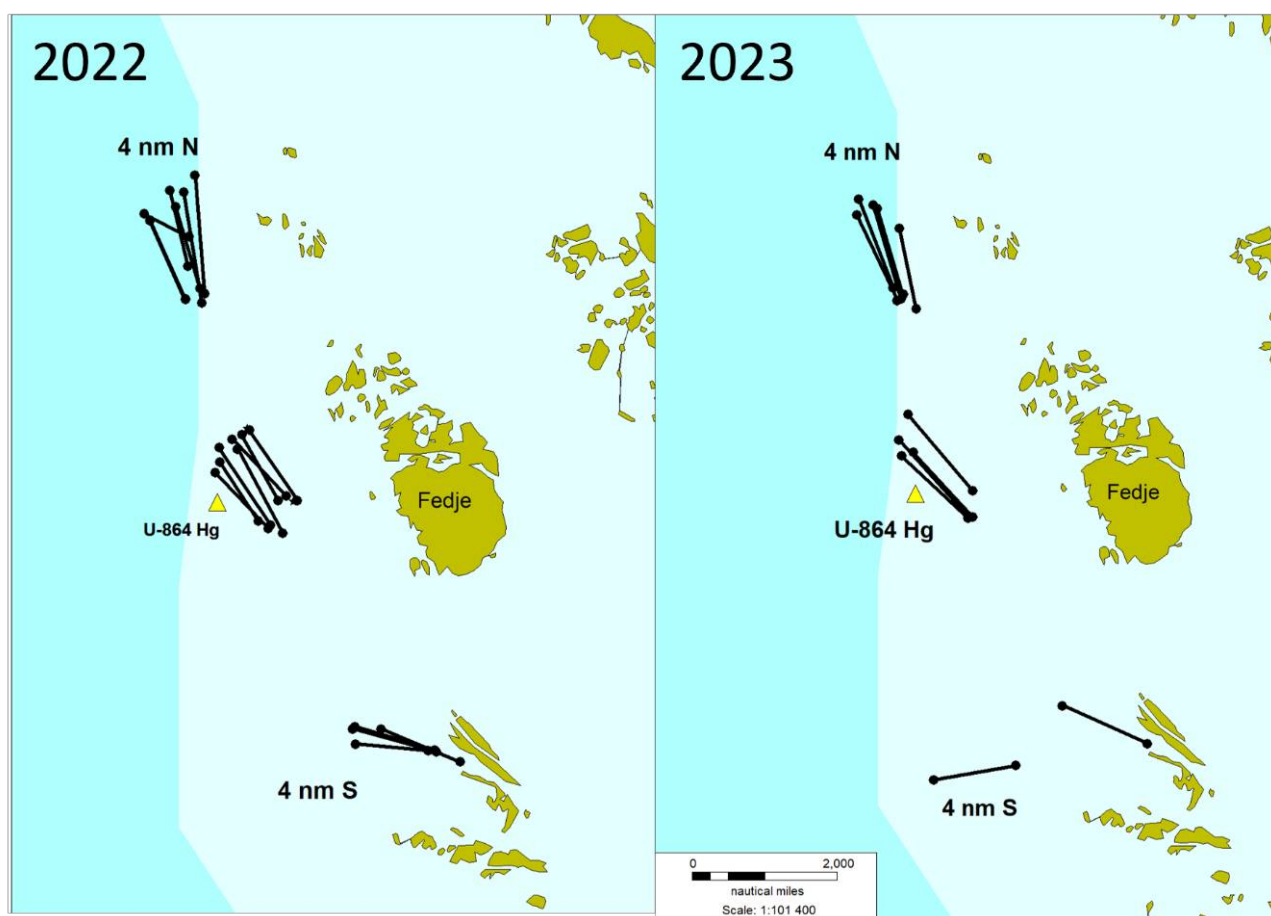
I 2022 og 2023 ble det igjen tatt prøver av krabbe og brosme ved vraket samt fire nautiske mil sør for vraket og fire nautiske mil nord for vraket, og disse har blitt analysert for kvikksølv og noen andre elementer ved hjelp av ICP-MS. Det er hovedvekt på resultater for kvikksølv, men resultater for kadmium, bly, arsen og selen er også presentert kort.

2 - Materiale og metoder

2.1 - Prøveinnsamling

Vraket av U-864 ligger i to deler på rundt 150 meters dyp om lag tre kilometer vest for øya Fedje, ved 60°46' N, 4°37' Ø. Prøvetakingen ble gjennomført fra kystfiskefartøyet M/K Vikingfjord (H-1-A), ved kystfisker Helge Torsvik og teknikere fra Havforskningsinstituttet. 13.-29. juni 2022 og 30. mai til 7. juni 2023.

Prøvene ble tatt med dypvannteiner i lenker satt i området ved vraket, rundt 4 nautiske mil sørøst for vraket (4 nm S) og mellom 2,5 og 4 nautiske mil nordvest for vraket (4 nm N) (Figur 1). I kartene i figur 1 er posisjonene for hver teinelenke tegnet inn. Hovedstrømretningen i området er fra sørøst mot nordvest.



Figur 1. Maps of the area near Fedje where tusk and crab were sampled 13-29 June 2022 (left) and 30 May - 7 June 2023 (right). Each line represents one line with pots.

Tabell 1. Total number of individuals caught of tusk (*Brosme brosme*) and edible crab (*Cancer pagurus*), respectively, during sampling in June 2022 and May-June 2023. The samples were taken at the site of the U-864 wreck, four nautical miles south (4 nm S) and up to four nautical miles north (4 nm N) of the wreck.

Sampling area	Dates	Tusk/brosme	Edible crab/taskekrabbe
Wreck site U-864	13.-24.06.2022 30.05.-05.06.2023	25 25	17 22*
4 nm S	25.-28.06.2022 07.06.2023	20 19	17 20
4 nm N	13.-25.06.2022 30.05.-06.06.2023	25 25	17 20

*15 fresh, 7 cooked

I 2022 var det ikke mulig, på grunn av dårlig vær og tidsbegrensning, å gjennomføre feltarbeid med teknikere om bord. Fisket ble derfor gjennomført av Helge Torsvik, og frosne brosmer og levende krabber ble hentet ved kai av HI-personell. Deretter ble krabbene avlivet og dissekert fersk eller frosset ned før opparbeiding. I 2023 ble det igjen gjennomført feltarbeid med HI-teknikere på Fedje, med opparbeiding av ferske krabber på land på Fedje. Krabbene ble avlivet ved stikking og både klokjøtt og hepatopankreas ble dissekert ut og frosset ned. Syv krabber tatt ved vraket i 2023, ble kokt før brunmat og klokjøtt ble dissekert ut. Dårlig vær med mye vind i slutten av mai/begynnelsen av juni var årsaken til at prøvetakingen startet noe senere i 2022 enn i 2023.

Målet var å få tatt 25 brosmer og 20 krabber fra hver posisjon. I 2023 planla vi å i tillegg ta ti krabber ved vraket til koking, til sammen 30 krabber ved vraket. Både i 2022 og 2023 fikk vi det ønskede antallet brosmer sør for vraket og nord for vraket, men bare henholdsvis 20 og 19 brosmer ved vraket (Tabell 1). I 2022 fikk vi 17 krabber ved hver lokalitet og i 2023 fikk vi 20 ved den sørlige og den nordlige lokaliteten. Ved vraket fikk vi i 2023 22 krabber, hvorav syv ble kokt og 15 ble opparbeidet fra rå tilstand.

2.2 - Opparbeiding og analyse

Taskekrabbene ble kjønnsbestemt og veid, og bredden på ryggskjoldet ble målt. Fra krabbene som ble avlivet ved stikking, ble ryggskjoldet åpnet, vann fikk renne av, og deretter ble så mye som mulig av hepatopankreas plukket ut ved hjelp av en pinsett. Syv krabber prøvetatt i 2023 ble kokt og deretter ble ryggskjoldet åpnet, og brunmaten (hepatopankreas, bindevev og evt. innrogn) ble tatt ut. Hepatopankreas og brunmat ble deretter frosset ned (-20°C) og senere tint og homogenisert. Klørne av både kokte og rå krabber ble tatt av. Kjøttet fra klørne ble enten tatt ut direkte eller frosset ned og dissekert ut senere. Deretter ble klokjøttet homogenisert. Krabbeprovne ble ikke frysetørket, men analysert i våt tilstand. Tørrstoffinnholdet ble i stedet bestemt i en alikvot av det homogeniserte prøvematerialet som ble tørket i varmeskap ved 104°C, og veid før og etter.

Hver fisk ble tint, lengdemålt og veid, og skinnfrie fileter ble skåret ut og homogenisert. De homogeniserte prøvene av brosmefilet ble frysetørket før kvikksølvanalyse, og tørrstoffinnholdet ble bestemt ved å veie prøvene før og etter frysetørrking.

For metallanalyse ble litt av det homogeniserte prøvematerialet først brutt ned med syre i mikrobølgeovn slik at kvikksølv forelå som ioner i løsning. Deretter ble metallene kvikksølv (totalkvikksølv), kadmium, bly, arsen og selen kvantifisert med induktivt koblet plasma-massespektrometer (ICP-MS). Metoden ble beskrevet i detalj av Julshamn m.fl. (2007) og en mer oppdatert versjon ble beskrevet av Moxness Reksten m.fl. (2020).

Laboratoriene og analysemetodene for bestemmelse av metaller og tørrstoff er akkreditert i henhold til ISO 17025.

2.3 - Databehandling og statistikk

Alle resultater for kvikksølv er i utgangspunktet presentert som konsentrasjoner i våt prøve, det vil si mengde kvikksølv per kilo våtvekt av det vevet som er tatt ut til analyse. For frysetørkede prøver av brosme vil det si at konsentrasjonen i det analyserte materialet regnes tilbake til våt prøve ved hjelp av tørrstoffinnholdet:

$$\text{Hg (vv)} = \frac{\text{Hg(tv)} \times \text{tørrstoff \%}}{100}$$

Fordi vanninnholdet i krabbep prøvene kan variere mye og påvirke konsentrasjonene av kvikksølv, ble all statistisk analyse for krabbene gjennomført med kvikksølvkonsentrasjoner analysert i vått materiale og omregnet til tørr prøve.

$$\text{Hg (tv)} = \frac{100 \times \text{Hg(vv)}}{\text{tørrstoff \%}}$$

For brosme har størrelse mye å si for kvikksølvkonsentrasjonen, og for å se om det har vært en reell utvikling over tid som ikke er knyttet til størrelse på fisken, er det brukt lengdenormalisering ved hjelp av kovariansanalyse (ANCOVA). Ved ANCOVA sammenlignet vi log-transformerte kvikksølvkonsentrasjoner mellom år med fiskens lengde som kovariat.

Statistiske beregninger ble gjort i programvaren Statistica 13.

3 - Resultater og diskusjon

3.1 - Brosme

Brosme fisket i 2022-2023 ved vraket av U-864, fire nautiske mil nord for vraket (4 nm N) og fire nautiske mil sør for vraket (4 nm S) varierte i lengde fra 36,5 til 78,5 cm og i vekt fra 474 til 6137 g (Tabell 2).

Gjennomsnittsvekt av fisken prøvetatt ved de tre lokalitetene i de to årene varierte relativt mye, fra 1649 g 4 nm N i 2023 til 2835 g ved 4 nm S i 2023. Med unntak av lokalitet 4 nm N var fisken som ble analysert i 2023 gjennomsnittlig større enn fisken som ble analysert i 2022. I 2022 var fisk prøvetatt ved vraket i gjennomsnitt på størrelse med langtidsmiddelet på rundt 1,7 kg og mindre enn i 2016-2020 (Figur 2). I 2023 var fisken tatt ved vraket i gjennomsnitt 2,1 kg og på størrelse med i 2016 og 2019 og noe mindre enn i 2017, 2018 og 2020. Det at størrelsen på fisken varierer fra år til år gjør at det er nødvendig å korrigere for størrelse når vi skal se etter tidstrender, siden kvikksølvkonsentrasjonen i fisk generelt øker med størrelse.

I likhet med størrelse var kvikksølvnivået generelt høyere i 2023 enn i 2022 (Tabell 2). Gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon i filet av brosme fanget i 2022 ved vraket, 4 nm S og 4 nm N var henholdsvis 0,26, 0,33 og 0,30 mg/kg våtvekt (Tabell 2). Én fisk prøvetatt ved vraket og fire fra 4 nm S, hadde kvikksølvkonsentrasjoner over grenseverdien på 0,5 mg/kg våtvekt som gjelder ved omsetning av fisk som mat (EU, 2020; Forskrift 3. juli 2015 nr. 870 om visse forurensende stoffer i næringsmidler). I 2023 var konsentrasjonene høyere, med gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon ved de tre lokalitetene på henholdsvis 0,33, 0,47 og 0,32 mg/kg våtvekt, og ved 4 nm S var hele åtte fisk over grenseverdien. Ved vraket og 4 nm N var henholdsvis fem og tre fisk over grenseverdien i 2023.

Gjennomsnittskonsentrasjonen av kvikksølv i fisk prøvetatt ved vraket i 2022 var omtrent på langtidsmiddelet for hele overvåkingsperioden (Figur 2). I 2023 var gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon på nivå med 2008 og 2010 og blant de årene med høyest kvikksølvkonsentrasjon. Når fiskens lengde ble justert for ved hjelp av kovariansanalyse (ANCOVA), var kvikksølvnivået i 2023 fremdeles blant årene med de høyeste nivåene, og det lengdejusterte gjennomsnittet var bare lavere enn i 2008, 2010 og 2020.

Tabell 2. Fish weight (g), length (cm) and mercury concentration (Hg, mg/kg ww) in the fillet of tusk (Brosme brosme) sampled in June 2022 and May-June 2023 at the wreck site (U-864), four nautical miles south (4 nm S) and four nautical miles north (4 nm N) of the wreck. The results are given as mean $\pm$ standard deviation, minimum and maximum values (number of samples > 0.5 mg/kg ww, EU and Norway's maximum level).

År	Område	N	Hel vekt (g)	Hel lengde (cm)	K-faktor	Hg (mg/kg ww)
2022	Ved vraket	25	1764 $\pm$ 853 552 - 3609	54.1 $\pm$ 8.5 39.0 - 69.0	1.04 $\pm$ 0.09 0.91 - 1.2	0.258 $\pm$ 0.160 0.059 - 0.70 (1)
	4 nm S	20	2142 $\pm$ 1149 596 - 4187	57.2 $\pm$ 9.9 42.0 - 75.5	1.03 $\pm$ 0.10 0.80 - 1.2	0.330 $\pm$ 0.218 0.083 - 0.95 (4)
	4 nm N	25	1756 $\pm$ 1152 608 - 4738	53.9 $\pm$ 10.1 38.0 - 78.0	0.99 $\pm$ 0.08 0.84 - 1.1	0.296 $\pm$ 0.139 0.091 - 0.49
2023	Ved vraket	25	2083 $\pm$ 1093 474 - 5173	55.6 $\pm$ 9.3 36.5 - 78.0	1.12 $\pm$ 0.13 0.94 - 1.4	0.329 $\pm$ 0.196 0.086 - 0.77 (5)
	4 nm S	19	2835 $\pm$ 1554 559 - 6137	60.9 $\pm$ 10.3 38.5 - 78.5	1.14 $\pm$ 0.13 0.97 - 1.4	0.474 $\pm$ 0.221 0.14 - 1.0 (8)
	4 nm N	25	1649 $\pm$ 688 847 - 3620	53.4 $\pm$ 6.4 43.0 - 69.5	1.03 $\pm$ 0.09 0.86 - 1.2	0.317 $\pm$ 0.171 0.13 - 0.70 (3)

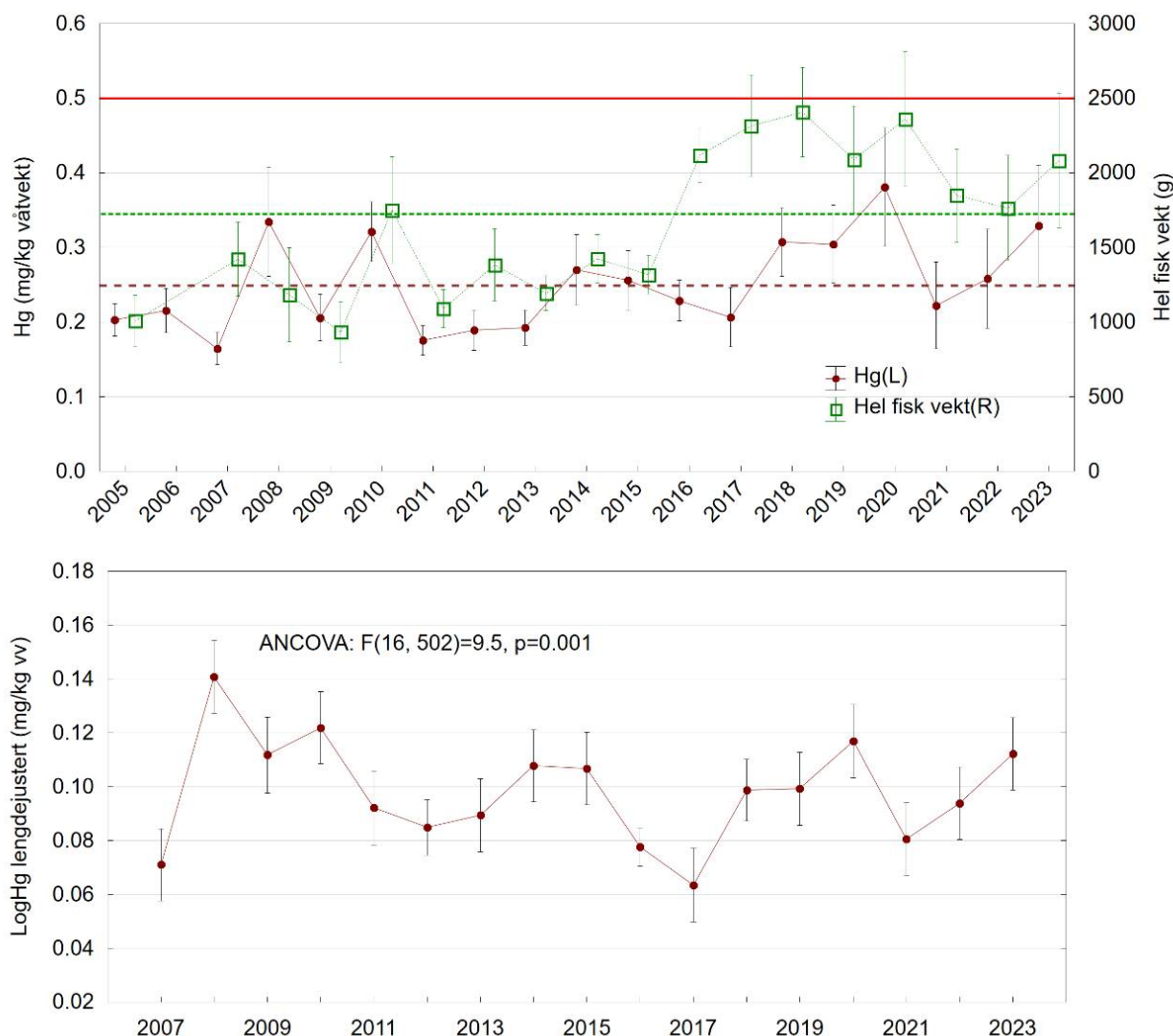


Figure 2. Year to year variation in mercury (Hg) concentrations (mg/kg wet weight, ww) in fillet of tusk (*Brosme brosme*) caught near the wreck of U-864. Top: Concentration of Hg (mg/kg ww, left) and fish weight (g, right) every year from 2005-2023. For each year, mean $\pm$ 95% confidence intervals are given. The long term mean values (2005-2023) are shown as dotted horizontal lines for Hg (maroon) and for fish weight (green). EU and Norway's maximum level for Hg is marked with a continuous red line. Bottom: Length adjusted Log₁₀ Hg (Least square means) per year (2007-2023) obtained by ANCOVA with fish length as covariate. ANCOVA results are shown.

Det ser ut til at kvikksølvnivåene i brosmemuskel, uavhengig av fiskens størrelse, svinger opp og ned i perioder på to til tre år, og det er ikke grunnlag for å si at det har vært noen økning i perioden overvåkingen har pågått. Det kan se ut som om brosmene som har vært prøvetatt siden 2016 stort sett har vært større enn fisken som ble tatt tidligere, og flere enkeltfisk over grenseverdien enn tidligere kan tyde på større variasjon mellom individer.

Gjennomsnittlig kvikksølvinnhold i filet av brosmer fanget i 2022 og 2023 var høyere ved den sørligste lokaliteten enn ved vraket og nord for vraket (Tabell 2). Når kvikksølvkonsentrasjonen var gruppert etter fiskens størrelse var det ingen betydelig forskjell mellom lokalitetene (Figur 3).

Tidligere har vi vist at kvikksølvnivåene i brosme fra området ved vraket av U-864, samt 4 nm nord og sør for vraket, ikke er høyere enn andre steder langs kysten mot Nordsjøen (se diskusjon i Frantzen m.fl., 2018;

Frantzen m.fl., 2019b). Dette gjelder fremdeles. Årlige gjennomsnittskonsentrasjoner i brosme prøvetatt i norske hav- og fjordområder i 2019-2022 var på mellom 0,28 og 0,35 mg/kg våtvekt ([Brosme filet | Sjømatdata | hi.no](#)), der fjorder og havner med kostadvarsler ikke er inkludert. Dette er i samme område som gjennomsnittsverdiene for hver av lokalitetene rundt U-864 både i 2022 og 2023, bortsett fra brosme fra 4 nm S i 2023, som hadde et gjennomsnitt på 0,47 mg/kg.

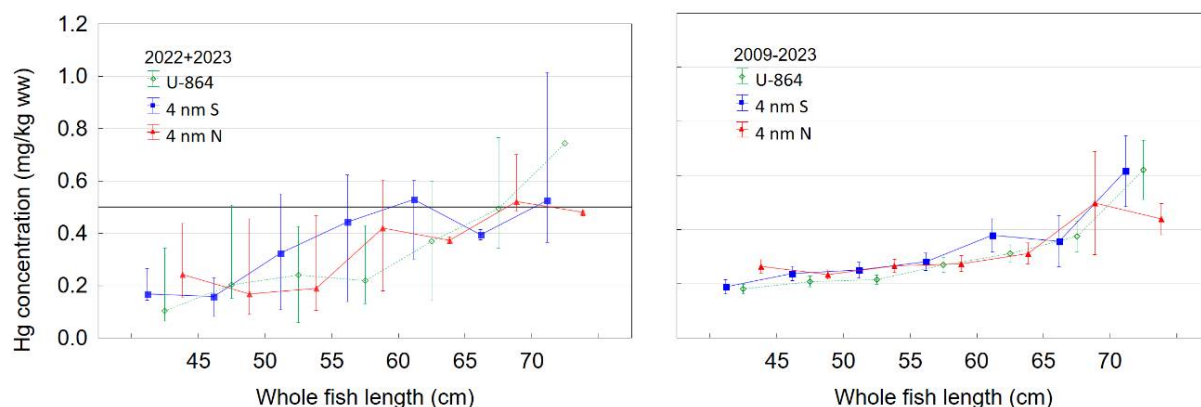


Figure 3. Concentration of mercury (mg/kg ww) in fillet of tusk (*Brosme brosme*) at different length intervals (<45, 45-50, 50-55, 55-60, 60-65, 65-70 and >70 cm), caught at three different sites: at the wreck of U-864, four nautical miles south (4 nm S) and four nautical miles north (4 nm N) of U-864. Left: Year 2022 and 2023 pooled, median, minimum and maximum values shown. Right: All years 2009-2023, means $\pm$ 95% confidence intervals are given.

3.2 - Krabbe

Krabbene fisket i 2022-2023 hadde skallbredde fra 110 - 177 mm og veide fra 223 til 1062 g (Table 3). Krabbene fra 2022 var i gjennomsnitt noe større enn krabbene fra 2023, ved alle lokalitetene.

Kvikksølvkonsentrasjonen i klokjøtt av krabbe prøvetatt i 2022-2023 og bearbeidet uten koking, varierte fra 0,015 til 0,26 mg/kg våtvekt (Tabell 3). Ingen prøver var altså over grenseverdien på 0,5 mg/kg våtvekt som gjelder for omsetning av klokjøtt til human konsum. Gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon i klokjøtt av krabber prøvetatt ved vraket i 2022 og 2023 var henholdsvis 0,065 og 0,082 mg/kg våtvekt.

Gjennomsnittskonsentrasjonen i klokjøtt var imidlertid høyest i krabber prøvetatt 4 nm N, med henholdsvis 0,084 og 0,092 mg/kg våtvekt i 2022 og 2023, og lavest i krabber prøvetatt 4 nm S, med snitt på 0,048 og 0,061 mg/kg våtvekt de to årene.

Kvikksølvkonsentrasjonen i hepatopankreas av krabber varierte fra 0,015 til 1,0 mg/kg våtvekt (Tabell 3). I 2023 var gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon høyest ved vraket, med 0,305 mg/kg våtvekt mot 0,19 og 0,082 mg/kg ved henholdsvis 4 nm N og 4 nm S. I 2022 var gjennomsnittskonsentrasjonene både ved vraket og 4 nm N rundt 0,1 mg/kg, og litt lavere ved 4 nm S, med 0,076 mg/kg.

Syv krabber prøvetatt ved vraket i 2023 ble kokt etter prøvetaking. Disse hadde gjennomsnittlig kvikksølvinnhold i klokjøtt og brunmat på henholdsvis 0,162 og 0,166 mg/kg våtvekt, og en krabbe hadde kvikksølvnivå i klokjøtt på 0,53 mg/kg våtvekt og altså litt over grenseverdien for mattrygghet på 0,5 mg/kg våtvekt som gjelder for klokjøtt men ikke for brunmat. Dette er den eneste målingen over grenseverdien som

hittil er målt i en krabbe fra området ved vraket U-864, og de seks andre krabbene som var kokt hadde lave konsentrasjoner, mellom 0,061 og 0,15 mg/kg våtvekt. Den høye enkeltmålingen har blitt bekreftet ved to reanalyser. Brunmat av den samme krabben hadde til gjengjeld nokså lavt kvikksølvinnhold, bare 0,068 mg/kg, og man kan bare spekulere i om koking har medført lekkasje av kvikksølv fra brunmaten og over i klørne.

Tabell 3. Crab size (weight, g, and carapace width, mm) and mercury concentrations (Hg, mg/kg wet weight) of edible crab (Cancer pagurus) caught in 2022 and 2023 at the wreck site of U-864, four nautical miles south (4 nm S) and four nautical miles north (4 nm N) of the wreck. Hg concentrations are given for hepatopancreas (hep) and claw meat of raw crabs. Results for brown meat (BM) and claw meat of cooked crabs is given for 7 crabs caught at the wreck site of U-864 in 2023. Results are given as means $\pm$ standard deviations, minimum and maximum values.

Year	Sampling site	N	Width (mm)	Weight (g)	Hg claw (mg/kg ww)	Hg hep/BM (mg/kg ww)
			Mean $\pm$ SD min-max	Mean $\pm$ SD min-max	Mean $\pm$ SD min-max	Mean $\pm$ SD min-max
2022	U-864	17	144 $\pm$ 20 110-177	533 $\pm$ 222 247 - 1062	0.065 $\pm$ 0.037 0.015-0.17	0.098 $\pm$ 0.067 0.031-0.22
	4 nm N	17	152 $\pm$ 13 122 - 174	548 $\pm$ 134 275 - 832	0.084 $\pm$ 0.054 0.019-0.23	0.108 $\pm$ 0.099 0.015-0.33
	4 nm S	17	153 $\pm$ 15 112 - 176	552 $\pm$ 173 223 - 843	0.048 $\pm$ 0.025 0.017-0.10	0.076 $\pm$ 0.043 0.024-0.16
2023	U-864	15	140 $\pm$ 11 130-165	424 $\pm$ 160 259-806	0.080 $\pm$ 0.042 0.027-0.17	0.344 $\pm$ 0.305 0.029-1.0
	4 nm N	20	136 $\pm$ 11 115-165	382 $\pm$ 102 274-645	0.092 $\pm$ 0.052 0.028-0.26	0.192 $\pm$ 0.067 0.042-0.31
	4 nm S	20	146 $\pm$ 11 125-172	495 $\pm$ 136 319-777	0.061 $\pm$ 0.038 0.023-0.16	0.081 $\pm$ 0.033 0.019-0.14
2023	U-864 (kokt)	7	133 $\pm$ 12 121-150	383 $\pm$ 83 294-516	0.162 $\pm$ 0.165 0.061-0.53	0.166 $\pm$ 0.068 0.068-0.24

3.2.1 - Sammenligning av lokaliteter

En del av variasjonen mellom prøver, lokaliteter og år skyldes ulikt vanninnhold i prøvene. Omregnet til konsentrasjon i tørr prøve var det i 2023 signifikant forskjell mellom lokalitetene for kvikksølv i hepatopankreas (Figur 4), med signifikant høyere kvikksølvkonsentrasjon både ved vraket og 4 nm N enn 4 nm S. I 2022 var det ingen forskjeller mellom de tre lokalitetene, og for klokjøtt var det ingen forskjeller. Det var fire individer som hadde relativt høye kvikksølvnivåer i hepatopankreas i 2023, med konsentrasjoner på 0,49, 0,61, 1,0 og 1,0 mg/kg våtvekt. Dette bekrefter tidligere funn om at enkeltindivider av krabbe fanget ved vraket har forhøyede kvikksølvnivåer i hepatopankreas.

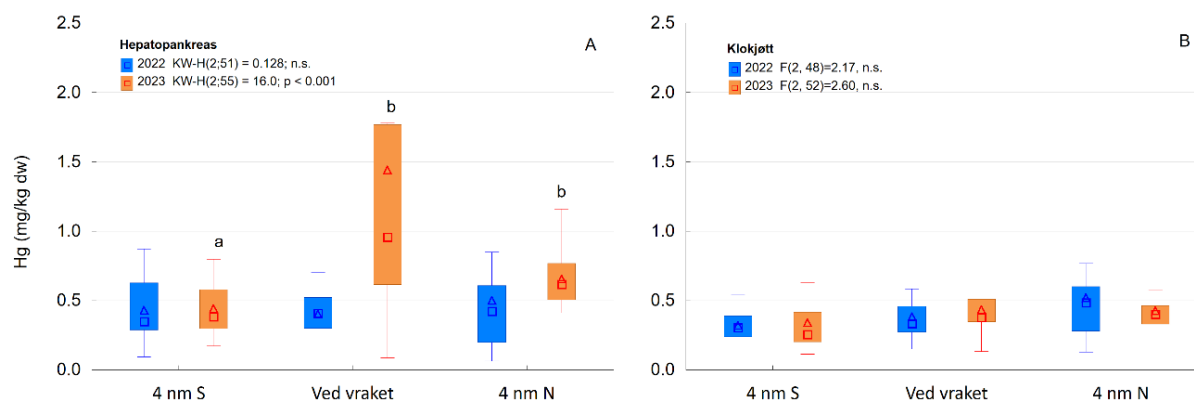


Figure 4. Comparison of Hg dry weight concentrations (Hg, mg/kg dry weight) in crab (*Cancer pagurus*) tissue between different localities; at the wreck of U-864 ("ved vraket"), four nautical miles south of the wreck (4 nm S) and four nautical miles north of the wreck (4 nm N). Results are given for hepatopankreas (A) and claw meat (B) of raw crabs sampled in 2022 (blue) and 2023 (orange), respectively. Boxplots show medians (square), means (triangle), 25 percentiles and non-outlier range. Results of Kruskal-Wallis non-parametric analysis or one-way ANOVA are shown for each tissue and year, and different letters above the boxes indicate significant differences between groups.

Til sammen tyder dette og resultater fra overvåking over mange år (se fjorårets rapport Frantzen m.fl., 2023) på at krabber som er fanget både i området ved vraket og så langt som fire nautiske mil nord for vraket har forhøyet kvikksølvnivå, mens krabber fanget fire nautiske mil sør for vraket er upåvirket. Ved vraket skyldes det forhøyede nivået klart kvikksølvforurensning fra ubåtvraket, mens det er uvisst om det forhøyede nivået ved den nordlige lokaliteten også kan stamme fra andre kilder. Dersom noe av kvikksølvet fra sedimentet rundt U-864 har spredd seg til lokaliteten 4 nm N, kan dette skyldes utlekking fra det forurensede sedimentet og spredning med strømmen, som under utredninger knyttet til heving/tildekking av vraket har blitt vist ved modellering (Laugesen m.fl., 2008). Selv om mengden kvikksølv i sedimentet nødvendigvis vil være mye lavere så langt unna vraket, kan mengden biotilgjengelig kvikksølv være like stor. Resultater av analyse for stabile kvikksølv isotoper i 2014 viste at brunmat av krabber prøvetatt både sør og nord for ubåtvraket hadde en annen isotopsammensetning enn de som ble tatt ved vraket, noe som tyder på at kvikksølvet kom fra andre kilder (Rua-Ibarz m.fl., 2016). Det kan imidlertid være vanskeligere å spore med isotopanalyse kvikksølv som har blitt omdannet til metylkvikksølv, blant annet fordi metylering er en av prosessene som påvirker isotopsammensetningen og fordi kvikksølv fra vraket bare vil utgjøre en del av den totale kvikksølvbelastningen. Det kan altså ikke utelukkes at noe forhøyet kvikksølvnivå i krabber prøvetatt fire nautiske mil nord for U-864 kan stamme fra vraket.

3.2.2 - Utvikling over tid

Fordi det var små og ikke signifikante forskjeller i kvikksølvkonsentrasjon mellom områdene ved vraket og nord for vraket (særlig i klokjøtt), har vi valgt å slå sammen resultatene for de to lokalitetene for å se på utviklingen i kvikksølvnivå i krabbe over tid (Figur 5). Tidligere er det vist at de to lokalitetene viser samme trend (Frantzen m.fl. 2020). Utviklingen over tid i kvikksølvkonsentrasjon i krabber fra disse to lokalitetene samlet er vist som log-transformerte tørrvekt-konsentrasjoner. For rå krabber er det bare resultater fra og med 2017, mens tidsserien for kokte krabber går tilbake til 2006. De årene klør fra både kokte og rå krabber ble analysert, var det noe lavere konsentrasjoner i de rå enn i de kokte klørne, som diskutert tidligere (Frantzen m.fl., 2020). I 2023 var det særlig stor variasjon i kvikksølvkonsentrasjonen i de kokte klørne, med en enkelt kvikksølvkonsentrasjon på over 0,5 mg/kg våtvekt (Tabell 3). Også fordi så få kokte krabber ble analysert (n = 7), ble usikkerheten (vist

som 95% konfidensintervall i figur 5) ekstra stor dette året. Gjennomsnittet var imidlertid større i kokte klør i 2023, som tidligere. Som oftest, men ikke alltid, var det høyere kvikksølvkonsentrasjon i hepatopankreas av rå krabber enn i brunmat av kokte krabber. Dette var også tilfellet i 2023.

Kvikksølvnivå i klokjøtt rå krabber prøvetatt i 2022 og 2023 var nokså likt og begge årene lavere enn i 2017-2021 (Figur 5). Det er foreløpig ikke grunnlag for å fastslå at nivået av kvikksølv i klokjøtt av krabber er nedadgående.

For hepatopankreas av rå krabber var det betydelig forskjell mellom de to årene 2022 og 2023. Krabbene prøvetatt i 2022 hadde relativt lave konsentrasjoner, på nivå med 2020, mens krabbene i 2023 hadde høyere konsentrasjoner, på nivå med 2017, 2019 og 2021 (Figur 5). Nivået har gått opp og ned siden vi begynte å analysere rå krabber i 2017, men det er ingen økning eller nedgang i perioden. Gjennomsnittskonsentrasjonen i brunmat av de kokte krabbene prøvetatt i 2023 var på samme nivå som i 2019 og 2021. De kokte krabbene har generelt hatt høyere konsentrasjoner av kvikksølv fra 2018 og fremover enn i perioden fra 2010 og frem til 2017. Dette kan muligens være en effekt av endringer i prøvebehandlingsmetodikk. Før 2018 ble alle prøvene frysetørket, noe som kan ha ført til noe tap av kvikksølv. Det ville derfor ikke være riktig å konkludere med at det har vært en økning.

Noe av variasjonen fra år til år kan skyldes prøvetakingstidspunkt. I 2018, 2019, 2021 og 2023 ble prøvene tatt sent i mai eller tidlig i juni, og da var kvikksølvnivået relativt høyt. En forklaring på det forholdsvis lave kvikksølvnivået i 2020 kan være tidlig prøvetaking, allerede tidlig i mai. I 2022 ble imidlertid prøvene tatt i andre halvdel av juni og da var konsentrasjonene i hepatopankreas like lave som i 2020. Mye tyder på at det er store variasjoner fra år til år både i vandringsmønster, når krabbene begynner å spise og hvor mye krabbene har fått i seg av det forurensede sedimentet.

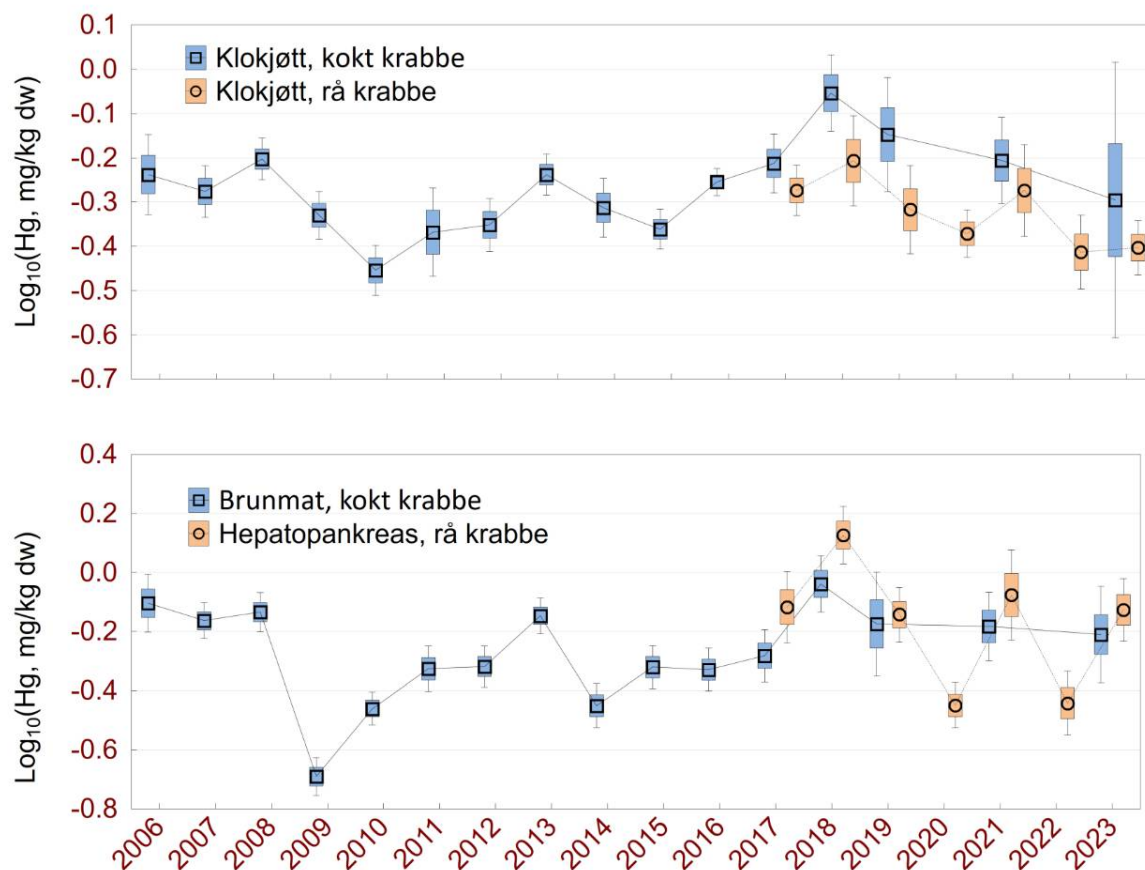


Figure 5. Concentrations (mg/kg dry weight, dw) of Hg from 2006-2023 analysed in A) claw meat and B) brown meat of raw (orange) and boiled (blue) crabs (*Cancer pagurus*) captured at the site of U-864 and 4 nautical miles north of the wreck. Concentrations are given as log10 transformed values, and mean, standard errors and 95% confidence intervals are given. From 2018 on, samples were not freeze dried before analysis, and dry matter was determined by drying at 104°C.

3.2.3 - Andre metaller og halvmetaller

I rapporten for 2021 ble det gitt en fyldig diskusjon av resultatene for andre grunnstoffer i krabbe med resultater både for alle år sett under ett og for 2021. Her vil oppdaterte tall for 2022 og 2023 i hovedsak bli presentert kort.

Arsen

Arsen er et halvmetall (metalloid) som er relativt giftig i uorganisk form (arsenikk), men lite giftig når stoffet er organisk bundet som arsenobetain (EFSA, 2009). Arsenobetain er den arsenformen som vi vanligvis finner mest av i sjømat. Skalldyr og annen sjømat kan ha naturlig høye konsentrasjoner av arsen, for det meste i form av arsenobetain. Ved ICPMS-analyse blir dette målt som totalt arsen. Konsentrasjonen av totalarsen kan altså være veldig høye i skalldyr som reker og krabbe. Det er også store geografiske forskjeller, og reker og torsk fra Barentshavet har høyere arsennivå enn reker og torsk fra Nordsjøen (Frantzen m.fl., 2022). Dette skyldes trolig naturlige forhold og ikke forurensning. Vraket av U-864 er ikke en åpenbar kilde til arsenforurensning. Arsen er i liten grad brukt i konvensjonelle våpen, og i sin kartlegging av fisk og annen sjømat nær dumpefelt for ammunisjon konkluderte FFI med at ammunisjon dumpet etter andre verdenskrig trolig ikke var en kilde til forhøyet arsennivå i sjømat (Johnsen, 2021). Det finnes imidlertid kjemiske våpen som inneholder store mengder arsen.

Gjennomsnittlige arsenkonsentrasjoner i hepatopankreas av krabber fanget ved vraket i 2022 og 2023 og

behandlet rå var henholdsvis 45,3 og 36,5 mg/kg våtvekt (Tabell 3). Det var ikke høyere konsentrasjon ved vraket enn ved de to lokalitetene nord og sør for vraket, i motsetning til i 2021. Klokjøtt av rå krabber hadde gjennomsnittskonsentrasjoner av arsen ved vraket i 2022 og 2023 på henholdsvis 46,8 og 39,7 mg/kg våtvekt. Heller ikke for klokjøtt var det i gjennomsnitt høyere arsennivå ved vraket enn ved 4 nm nord og 4 nm sør. Den høyeste gjennomsnittlige arsenkonsentrasjonen og den høyeste enkeltverdien, ble målt klokjøtt av kokte krabber som ble prøvetatt i 2023, med gjennomsnitt og maksverdi på henholdsvis 75,7 og 159 mg/kg våtvekt. Arsenkonsentrasjonen var betydelig høyere i klokjøtt enn i brunmat av de kokte krabbene, mens de rå krabbene hadde ubetydelige forskjeller mellom klokjøtt og hepatopankreas (Tabell 3). Krabber prøvetatt, kokt og analysert i 2021 hadde også høyere arsennivå i klokjøtt enn i brunmat (Frantzen m.fl., 2023), og dette var også tilfelle når dataene for alle årene til og med 2023 ble slått sammen (Tabell 3).

Tabell 3. Arsenic concentrations (mg/kg wet weight) in hepatopancreas and claw meat of raw crabs and in brown meat and claw meat of cooked crabs sampled at the wreck site of U-864 and 4 nautical miles (nm) north (N) and south (S) of the wreck, respectively. Results are given for 2022, 2023 and for all years¹⁻⁵ combined, as mean, median (med) minimum (min) and maximum (max) values.

Arsenic		Hepatopancr (raw)		Claw (raw)		Brown meat (cooked)		Claw (cooked)	
mg/kg ww	Area	N	mean (med) min - max	N	mean (med) min - max	N	mean (med) min - max	N	mean (med) min - max
2023	U-864	17	36.5 (35) 12 - 96	17	39.7 (35) 10 - 78	7	41.3 (42) 20 - 58	7	75.7 (59) 40 - 179
	4 nm N	17	43.4 (35) 12 - 129	17	40.8 (31) 12 - 91		-		-
	4 nm S	17	32.1 (24) 13 - 74	17	28.8 (26) 9.8 - 59		-		-
2022	U-864	15	45.3 (47) 18 - 88	15	46.8 (50) 12.4 - 97		-		-
	4 nm N	20	41.1 (39) 13 - 87	20	53.3 (56) 13.1 - 83		-		-
	4 nm S	20	46.5 (40) 26 - 128	20	30.9 (26) 14 - 66		-		-
All years ¹⁻⁵	U-864	103 ¹	54.6 (46) 9.9 - 315	103	61.7 (52) 4.3 - 333	399 ³	33.7 (28) 2.1 - 163	390	55.5 (48) 2.7 - 219
	4 nm N	106 ²	46.8 (41) 9.8 - 183	106	52.6 (54) 8.8 - 133	276 ⁴	31.3 (26) 1.1 - 350	277	51.2 (44) 0.17 - 521
	4 nm S	119 ²	43.2 (35) 12 - 132	119	33.1 (30) 0.016 - 86	267 ⁵	24.1 (22) 5.8 - 111	268	35.9 (30) 6.1 - 129

¹⁾ 2016-2023, ²⁾ 2017-2023, ³⁾ 2006-2023, ⁴⁾ 2007-2023, ⁵⁾ 2008-2023

Konsentrasjonen av arsen i brunmat av syv kokte krabber fra 2023 var i gjennomsnitt 41,3 mg/kg. Dette var høyere enn gjennomsnittet for kysten, målt i kartleggingsprogrammet i 2011/2012 (N= 457, snitt 19,4 mg/kg våtvekt; Julshamn m.fl., 2012).

Det er ikke satt grenseverdier for arsen i sjømat. Arsen finnes i ulike former, og i sjømat forekommer det som oftest i form av arsenobetain, som regnes som en ikke-giftig forbindelse (EFSA, 2009). Den giftigste formen av arsen er uorganisk arsen. I kartleggingsprogrammet for krabbe (Julshamn m.fl., 2012a) ble ni prøver av klokjøtt med høyt innhold av totalarsen, også analysert for uorganisk arsen. Konsentrasjonen av uorganisk arsen i disse

prøvene varierte fra <0,003 til 0,055 mg/kg våtvekt, som utgjorde mindre enn 0,1 % av det totale arseninnholdet. Det indikerer at selv om det er høyt nivå av arsen, så kan dette være arsenobetain, som ikke er giftig, og som ikke har betydning for mattrygghet. Men det kan eventuelt være andre organiske arsenformer som man har mye mindre kunnskap om effektene av. For å vite helt sikkert at krabber ved U-864 ikke inneholder uorganisk arsen i betydelige mengder, burde ideelt sett noen av disse også ha vært analysert for uorganisk arsen og andre organiske arsenformer.

Kadmium

Kadmium er et giftig tungmetall som akkumuleres i liten grad i muskel av fisk og skaldyr og i større grad i lever og nyrer hos fisk og i hepatopankreas hos virvelløse dyr som skjell og krabber (VKM, 2015). Det var derfor ikke uventet at krabber prøvetatt ved U-864 også hadde mye høyere kadmiumkonsentrasjoner i hepatopankreas og brunmat enn i klokjøtt (Tabell 4).

Krabbene prøvetatt ved vraket av U-864 i 2022 og 2023 hadde gjennomsnittlig kadmiumkonsentrasjon i hepatopankreas på henholdsvis 8,04 og 19,3 mg/kg våtvekt. I klokjøtt var gjennomsnittskonsentrasjonene de to årene 0,007 og 0,012 mg/kg, og alle enkeltkrabbene hadde konsentrasjoner innenfor grenseverdien på 0,5 mg/kg våtvekt som kun gjelder klokjøtt av krabber.

De syv kokte krabbene prøvetatt ved vraket i 2023, hadde gjennomsnittlig kadmiumkonsentrasjon i klokjøtt på 0,107 mg/kg våtvekt, nesten ti ganger så høyt som gjennomsnittet for de rå krabbene. Brunmaten fra de kokte krabbene hadde imidlertid noe lavere gjennomsnittlig kadmiumnivå enn hepatopankreas av de rå krabbene. Dette er som forventet, da det tidligere er vist at koking av krabber medfører lekkasje av kadmium ut av hepatopankreas og over i kokevannet, med en påfølgende kontaminering av klokjøttet (Wiech m.fl., 2017, 2020).

I 2021 var det høyest gjennomsnittlig kadmiumnivå i hepatopankreas av krabber prøvetatt ved vraket., men dette var ikke tilfelle i 2022 og 2023 (Tabell 4). I 2023 var det høyere kadmiumnivå i hepatopankreas av krabber prøvetatt ved vraket (19,3 mg/kg) og 4 nm N (19,3 mg/kg) enn i krabber prøvetatt 4 nm S (6,94 mg/kg). I 2022 var gjennomsnittlig konsentrasjon størst i nord (12,1 mg/kg) og lavest i sør (4,48 mg/kg), men det var ingen statistisk signifikant forskjell mellom de tre uttaksstedene på grunn av stor variasjon.

Det er tidligere vist at kadmiumnivået i krabber prøvetatt fra Salten og nordover gjennomgående er høyere enn i krabber prøvetatt sør for Salten (Julshamn m.fl., 2012, Wiech m.fl., 2020). Gjennomsnittsnivået i hepatopankreas av rå krabber prøvetatt i Vesterålen i 2015-2016 var 16 mg/kg våtvekt (Wiech m.fl., 2020), mens gjennomsnittet for krabber prøvetatt ved Sotra i samme undersøkelse var 5,4 mg/kg våtvekt. Det vil si at de høyeste gjennomsnitts- og mediankonsentrasjonene av målt ved U-864 og nord for vraket i 2022-2023, var på nivå ved det som er målt nord for Salten, mens de laveste gjennomsnitts- og medianverdiene var mer på nivå med målingene for Sotra. Krabber tatt sør for vraket hadde konsentrasjoner mer på nivå med resultatene for Sotra i 2022 og 2023.

I brunmat av kokte krabber prøvetatt ved U-864 i 2023, var gjennomsnittlig kadmiumkonsentrasjon 13,3 mg/kg våtvekt (Tabell 4). I kartleggingsundersøkelsen i 2011 var gjennomsnittet for lokalitetene nord for Salten mellom 6,7 og 25 mg/kg våtvekt. Sør for Salten var gjennomsnittskonsentrasjonene lavere, mellom 0,55 og 4,8 mg/kg våtvekt (Julshamn m.fl., 2012).

Tilsvarende konsentrasjoner som det som er målt i innmat av krabber ved U-864 og nord for Salten er også tidligere målt i krabber fra Skottland, den engelske kanal og i Frankrike (Davies m.fl., 1981; Falconer m.fl., 1986; Barrento m.fl., 2009a, Barrento m.fl., 2009c, b).

En eventuell kadmiumforurensning kan stamme fra ulike kilder, og finnes blant annet i korrosjonsbeskyttende maling. Det er ikke sannsynlig at forhøyet kadmiumnivå i krabber tatt ved U-864 og 4 nm nord for vraket skyldes ammunisjonsrester ved vraket, bortsett fra eventuelt fra maling utenpå ammunisjonen (Johnsen, 2021). En mulig naturlig forklaring på de relativt høye kadmiumkonsentrasjonene målt i krabber i områdene rundt U-864, sammenlignet med det som tidligere er målt ved Sotra, kan være at krabbene ved U-864 ble prøvetatt ved større dyp, der kadmiumkonsentrasjonene i vannet generelt er høyere (se Falk og Nøst, 2013).

Tabell 4. Cadmium concentrations (mg/kg wet weight) in hepatopancreas and claw meat of raw crabs and in brown meat and claw meat of cooked crabs sampled at the wreck site of U-864 and 4 nautical miles (nm) north (N) and south (S) of the wreck, respectively. Results are given for 2022, 2023 and for all years¹⁻⁵ combined, as mean, median (med) minimum (min) and maximum (max) values.

Cadmium mg/kg ww	Area	Hepatopancreas (raw)		Claw (raw)		Brown meat (cooked)		Claw (cooked)	
		N	mean (med) min - max	N	mean (med) min - max	N	mean (med) min - max	N	mean (med) min - max
2023	U-864	15	19.3 (17) 1.2 - 46	15	0.012 (0.012) <0.004 - 0.027	7	13.3 (10) 3.0 – 25	7	0.107 (0.073) 0.010 - 0.38
	4 nm N	20	19.3 (18) 4.1 - 37	20	0.018 (0.012) <0.004 - 0.063		-		-
	4 nm S	20	6.94 (5.6) 0.13 – 21	20	0.007 (0.005) <0.004 - 0.021		-		-
2022	U-864	17	8.04 (5.3) 2.3 - 34	17	0.007 (0.005) <0.004 - 0.019		-		-
	4 nm N	17	12.1 (6.2) 0.56 - 40	17	0.010 (0.005) <0.004 - 0.050		-		-
	4 nm S	17	4.58 (3.5) 0.61 - 12	17	0.005 (0.004) <0.004 - 0.009		-		-
All years ¹⁻⁵	U-864	110 ¹	18.2 (14) 1.2 - 74	103	0.016 (0.009) <0.002 - 0.16	399 ³	10.9 (8.2) 0.13 - 52	390	0.217 (0.13) 0.006 - 5.6
	4 nm N	106 ²	18.1 (17) 0.56 - 102	106	0.055 (0.012) <0.002 - 0.53	276 ⁴	8.7 (7.4) 0.44 - 39	277	0.20 (0.12) <0.001 - 2.6 (2)
	4 nm S	119 ²	11.2 (7.4) 0.13 - 52	119	0.021 (0.008) <0.001 - 0.19	267 ⁵	5.8 (4.1) 0.21 - 55	268	0.17 (0.10) 0.003 - 2.5

¹⁾ 2016-2023, ²⁾ 2017-2023, ³⁾ 2006-2023, ⁴⁾ 2007-2023, ⁵⁾ 2008-2023

Bly

Bly er et giftig tungmetall som vi generelt finner lite av i norsk sjømat (se [Bly \(Pb\) | Stoff | hi.no](#)). Bly kan være en bestanddel i ammunisjon, og mulig forhøyet blynivå i brunmat av trollkrabbe (0,16 mg/kg) og i filet og lever av brosme (0,12 og 0,071 mg/kg) er funnet nær et dumpfelt for ammunisjon vest av Øygarden (Johnsen, 2021).

I krabbe prøvetatt ved U-864 samt 4 nm sør og nord for vraket, hadde prøver av hepatopankreas noe høyere konsentrasjoner av bly enn prøver av klokjøtt (Tabell 5). De fleste av klokjøttprøvene av krabber prøvetatt i 2022 og 2023 hadde konsentrasjoner lavere enn analysemetodens bestemmelsesgrense (limit of quantification – LOQ) på 0.02 mg/kg våtvekt. Gjennomsnittlig blykonsentrasjon i hepatopankreas av rå krabber fanget ved vraket i 2022 og 2023 var på henholdsvis 0,068 og 0,11 mg/kg våtvekt. Alle klokjøttprøvene hadde konsentrasjoner langt under 0,5 mg/kg våtvekt, grenseverdien som gjelder ved omsetning av krabbe som mat, og som bare gjelder for klokjøtt.

Tabell 5. Lead concentrations (mg/kg wet weight) in hepatopankreas and claw meat of raw crabs and in brown meat and claw mat of cooked crabs sampled at the wreck site of U-864 and 4 nautical miles (nm) north (N) and south (S) of the wreck, respectively. Results are given for 2022, 2023 and for all years¹⁻⁵ combined, as mean, median (med) minimum (min) and maximum (max) values.

Lead		Hepatopankreas (raw)		Claw (raw)		Brown meat (cooked)		Claw (cooked)	
		N	mean (med) min - max	N	mean (med) min - max	N	mean (med) min - max	N	mean (med) min - max
2023	U-864	15	0.112 (0.11) 0.029 - 0.31	15	(0.020) <0.02 - <0.02	7	0.098 (0.079) 0.029 - 0.21	7	(0.020) <0.02 - 0.03
	4 nm N	20	0.139 (0.10) 0.026 - 0.31	20	(0.020) <0.02 - 0.03		-		-
	4 nm S	20	0.111 (0.10) 0.022 - 0.27	20	(0.020) <0.02 - 0.03		-		-
2022	U-864	17	0.068 (0.051) 0.021 - 0.18	17	(0.020) <0.02 - 0.04		-		-
	4 nm N	17	0.068 (0.036) <0.02 - 0.28	17	(0.020) <0.02 - 0.04		-		-
	4 nm S	17	0.054 (0.043) <0.02 - 0.11	17	(0.020) <0.02 - <0.02		-		-
All years ¹⁻⁵	U-864	110 ¹	0.093 (0.078) <0.020 - 0.31	103	0.020 (0.020) 0.007 - 0.043	399 ³	0.106 (0.082) 0.006 - 1.1	390	0.017 (0.015) <0.004 - 0.24
	4 nm N	106 ²	0.112 (0.094) 0.020 - 0.44	106	(0.020) <0.006 - 0.092	276 ⁴	0.111 (0.093) 0.006 - 0.60	277	0.017 (0.015) 0.003 - 0.072
	4 nm S	119 ²	0.133 (0.073) 0.016 - 0.89	119	(0.020) <0.005 - 0.15	267 ⁵	0.089 (0.070) 0.011 - 0.41	268	0.016 (0.014) <0.003 - 0.079

¹⁾ 2016-2023, ²⁾ 2017-2023, ³⁾ 2006-2023, ⁴⁾ 2007-2023, ⁵⁾ 2008-2023

Det var små forskjeller i blynivå mellom kokte og rå krabber og ikke høyere konsentrasjoner ved vraket sammenlignet med lokalitetene 4 nm N og 4 nm S. Tilsvarende konsentrasjoner som vi har målt i brunmat av krabbe nær U-864, ble også funnet ved flere andre lokaliteter under den store kartleggingen i 2011/2012 (Julshamn m.fl. 2012).

Selen

Selen er et grunnstoff som blir bestemt i samme analyse som kvikksølv, arsen, kadmium og bly, men det er et essensielt grunnstoff og regnes ikke som et fremmedstoff eller miljøgift. Ved svært høye konsentrasjoner eller høyt inntak kan imidlertid også selen være giftig. Selen er kjent for å danne sterke bindinger med kvikksølv og skal slik kunne hemme gifteffekten av kvikksølv (Ralston m.fl., 2008). Trolig er opptak og utskillelse av selen regulert i organismen, og selen kan ha en rolle i avgiftning og utskillelse av kvikksølv hos fisk. Det vitenskapelige grunnlaget som finnes, er likevel for usikkert til å fastslå at selen beskytter mot skadelige effekter av kvikksølv hos mennesker.

Gjennomsnittlig selenkonsentrasjon i rå krabber prøvetatt ved U-864 i 2022 og 2023, varierte fra 1,00 mg/kg til 3,39 mg/kg våtvekt (Tabell 6). Konsentrasjonene var høyest i hepatopankreas og lavest i klokjøtt. De kokte

Tabell 6 Selenium concentrations in hepatopankreas and claw meat of raw crabs and in brown meat and claw mat of cooked crabs sampled at the wreck site of U-864 and 4 nautical miles (nm) north (N) and south (S) of the wreck, respectively. Results are given for 2022, 2023 and for all years¹⁻⁵ combined, as mean, median (med) minimum (min) and maximum (max) values.

Selenium	Area	Hepatopankreas (raw)		Claw (raw)		Brown meat (cooked)		Claw (cooked)	
		N	mean (med) min - max	N	mean (med) min - max	N	mean (med) min - max	N	mean (med) min - max
2023	Ved vraket	15	2.56 (2.7) 0.65 - 4.6	15	1.16 (1.3) 0.41 - 1.8	7	2.43 (2.8) 1.0 - 3.4	7	2.28 (2.1) 1.5 - 4.0
	4 nm N	20	3.32 (3.2) 1.6 - 6.5	20	1.47 (1.6) 0.64 - 2.1		-		-
	4 nm S	20	3.39 (3.0) 0.87 - 7.8	20	1.00 (0.90) 0.50 - 1.9		-		-
2022	Ved vraket	17	2.20 (2.2) 0.91 - 4.8	17	1.23 (1.2) 0.36 - 1.9		-		-
	4 nm N	17	2.26 (2.2) 0.83 - 4.1	17	1.13 (1.1) 0.37 - 2.1		-		-
	4 nm S	17	2.62 (2.2) 0.70 - 6.4	17	1.05 (1.0) 0.39 - 1.7		-		-
All years ¹⁻⁵	U-864	110 ¹	3.14 (2.8) 0.56 - 8.1	103	1.44 (1.4) 0.35 - 3.1	374 ³	2.03 (1.9) 0.33 - 5.7	365	1.45 (1.4) 0.30 - 4.6
	4 nm N	106 ²	3.37 (3.1) 0.62 - 11	106	1.42 (1.4) 0.31 - 2.6	276 ⁴	1.84 (1.8) 0.13 - 4.5	277	1.37 (1.3) 0.006 - 3.8
	4 nm S	119 ²	3.11 (2.6) 0.70 - 14	119	1.11 (1.0) 0.06 - 2.1	267 ⁵	1.54 (1.4) 0.42 - 5.3	268	1.22 (1.1) 0.25 - 3.1

¹⁾ 2016-2023, ²⁾ 2017-2023, ³⁾ 2006-2023, ⁴⁾ 2007-2023, ⁵⁾ 2008-2023

krabbene viste mindre forskjell mellom brunmat og klokjøtt enn de rå krabbene. Selennivået i kokt brunmat av syv krabber prøvetatt i 2023, var litt høyere enn gjennomsnittsverdien i krabber langs hele norskekysten målt i kartleggingen i 2011/2012, på 1,27 mg/kg våtvekt (Julshamn m.fl. 2012).

Selen-kvikksølv molar ratio (Se:Hg) er forholdet mellom antallet molekyler av selen og kvikksølv, og skal kunne si om det er nok selen til å eventuelt beskytte mot kvikksølvforgiftning. I tabell 7 har vi beregnet denne ratioen for de ulike krabbeprøvene tatt i 2022 og 2023. Gjennomsnittlig Se:Hg varierte fra 30 i hepatopankreas av krabber tatt ved vraket i 2023 til 114 i hepatopankreas av krabber tatt ved 4 nm S begge årene. Variasjonen skyldes i hovedsak variasjoner i konsentrasjon av kvikksølv, siden selennivået varierte i mye mindre grad. Alle verdiene av Se:Hg var langt over 1. Teoretisk sett skulle dette gi en svært god beskyttelse mot eventuelle skadelige effekter av kvikksølv (Ralston m.fl., 2008; Azad m.fl., 2019). Men uansett om det har det eller ikke, så er kvikksølvkonsentrasjonene i krabbene under nivåer som vil kunne gi helseskade.

Tabell 7 Selenium: mercury molar ratio (Se:Hg) in hepatopancreas and claw meat of raw crabs and in brown meat and claw meat of cooked crabs sampled at the wreck site of U-864 and 4 nautical miles (nm) north (N) and south (S) of the wreck, respectively. Results are given for 2022 and 2023, as mean, median (med) minimum (min) and maximum (max) values.

Se:Hg	Area	Hepatopancreas (raw)		Claw (raw)		Brown meat (cooked)		Claw (cooked)	
		N	mean (med) min - max	N	mean (med) min - max	N	mean (med) min - max	N	mean (med) min - max
2023	Ved vraket	15	30 (25) 6.7 - 116		42 (39) 17 - 83	7	39 (33) 30 - 74	7	48 (48) 19 - 65
	4 nm N	20	48 (43) 31 - 107		48 (50) 11 - 71		-		-
	4 nm S	20	114 (111) 50 - 203		48 (50) 17 - 73		-		-
2022	Ved vraket	17	74 (55) 33 - 141		55 (52) 16 - 96		-		-
	4 nm N	17	81 (58) 28 - 243		43 (43) 13 - 77		-		-
	4 nm S	17	114 (87) 35 - 488		65 (67) 26 - 129		-		-

4 - Konklusjoner

Av i alt 139 brosmer analysert i 2022 og 2023 hadde 21 fisk (15 %) kvikksølvnivå i filet over grenseverdien for mattrygghet på 0,5 mg/kg våtvekt; seks var fisket ved vraket, mens tolv og tre var fisket henholdsvis fire nautiske mil sør og nord for vraket. Gjennomsnittskonsentrasjonene for alle de analyserte brosmene var under grenseverdien ved alle de tre lokalitetene begge årene. Individene med kvikksølvkonsentrasjoner over grenseverdien varierte i størrelse fra 1,5 kg til over 6 kg, og de største fiskene hadde høyest gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon, med helt opp til 1,0 mg/kg i den aller største fisken.

I løpet av perioden overvåkingen har foregått til nå (2005-2023) har til sammen 96 av 1259 brosmer, 6,8 %, hatt kvikksølvnivå over grenseverdien som gjelder mattrygghet. Disse har vært nokså jevnt fordelt mellom vrakområdet og referanselokalitetene lenger nord og sør.

Det var ingen forskjell i kvikksølvnivå mellom brosme prøvetatt ved vraket og de to lokalitetene fire nautiske mil nord og fire nautiske mil sør for vraket, og kvikksølvnivået var heller ikke forhøyet sammenlignet med bakgrunnsnivå for kysten av Vestlandet.

Filet av brosme prøvetatt i 2023 nær vraket av U-864, hadde relativt høyt kvikksølvnivå sammenlignet med flere tidligere år, også når kvikksølvnivået var justert for fiskens størrelse. Nivået var likevel ikke høyere enn det som ble målt i 2019, 2014 og 2015 og det er ikke noe som tyder på økning. I 2022 var nivået høyere enn i 2021 men lavere enn i 2023.

En taskekrabbe fisket i 2023 ved vraket av U-864 og kokt, hadde et kvikksølvnivå i klokjøtt over EU og Norges grenseverdi på 0,5 mg/kg våtvekt, med 0,53 mg/kg. Denne hadde mye høyere kvikksølvkonsentrasjon enn alle de andre klokjøttprøvene, og den nest høyeste verdien var 0,26 mg/kg våtvekt. Det er ingen grenseverdi for mattrygghet som gjelder for brunmat av kokte eller hepatopankreas av rå krabber.

Krabber som er fanget både i området ved vraket og så langt som fire nautiske mil nord for vraket ser ut til å ha forhøyet kvikksølvnivå, mens krabber fanget fire nautiske mil sør for vraket er upåvirket. Ved vraket skyldes det forhøyede nivået klart kvikksølvforurensning fra ubåtvraket, mens det er uvisst om det forhøyede nivået ved den nordlige lokaliteten også kan stamme fra andre kilder.

Krabbene prøvetatt i 2022 hadde relativt lave konsentrasjoner i hepatopankreas, på nivå med 2020, mens krabbene i 2023 hadde høyere konsentrasjoner, på nivå med 2017, 2019 og 2021. Kvikksølvnivå i klokjøtt av rå krabber prøvetatt i 2022 og 2023 var nokså likt og begge årene lavere enn i 2017-2021. Nivået av kvikksølv har gått opp og ned siden vi begynte å analysere rå krabber i 2017, men det er ikke grunnlag for å konkludere med noen økning eller nedgang i perioden.

Arsen, kadmium og selen i prøver av krabber tatt både ved vraket, fire nautiske mil nord og fire nautiske mil sør for vraket viste relativt høye nivåer sammenlignet med det som er målt tidligere andre steder ved kysten, men det er ikke grunnlag for å fastslå at dette skyldes forurensning fra ubåtvraket.

5 - Litteraturliste

- Azad, A.M., Frantzen, S., Bank, M.S., Nilsen, B.M., Duinker, A., Madsen, L. og Maage, A. (2019). Effects of geography and species variation on selenium and mercury molar ratios in Northeast Atlantic marine fish communities. *Science of the Total Environment* 652: 1482-1496. [10.1016/j.scitotenv.2018.10.405](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.405)
- Barrento, S., Marques, A., Teixeira, B., Anacleto, P., Carvalho, M.L., Vaz-Pires, P. og Nunes, M.L. (2009a). Macro and trace elements in two populations of brown crab *Cancer pagurus*: Ecological and human health implications. *Journal of Food Composition and Analysis* 22(1): 65-71.
- Barrento, S., Marques, A., Teixeira, B., Carvalho, M.L., Vaz-Pires, P. og Nunes, M.L. (2009b). Accumulation of elements (S, As, Br, Sr, Cd, Hg, Pb) in two populations of *Cancer pagurus*: Ecological implications to human consumption. *Food and Chemical Toxicology* 47(1): 150-156.
- Barrento, S., Marques, A., Teixeira, B., Carvalho, M.L., Vaz-Pires, P. og Nunes, M.L. (2009c). Influence of season and sex on the contents of minerals and trace elements in brown crab (*Cancer pagurus*, Linnaeus, 1758). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(8): 3253-3260.
- Davies, I.M., Topping, G., Graham, W.C., Falconer, C.R., McIntosh, A.D. og Seward, D. (1981). Field and experimental studies on cadmium in the edible crab *Cancer pagurus*. *Marine Biology* 64(3): 291-297.
- Dumont, L. (2019). High-precision mercury isotopic analysis in an environmental context. *Department of Chemistry, Atomic and Mass Spectrometry*. Ghent, Belgium, Gent University. Master of Science: 76 pp.
- EFSA (2009). EFSA panel on contaminants in the food chain (CONTAM); Scientific opinion on arsenic in food. *EFSA Journal* 2009 7(10): 199 pp.
- Falconer, C.R., Davies, I.M. og Topping, G. (1986). Cadmium in edible crabs (*Cancer pagurus* L.) from Scottish coastal waters. *Science of the Total Environment* 54: 173-183.
- Falk, A.H. og Nøst, O.-A. (2013). Oppstrømming av dyphavsvann – litteraturstudie av oppstrømming utenfor Salten/Lofoten/Vesterålen. *Akvaplan-niva rapport*. 6311-01. 32 s.
- Frantzen, S., Boitsov, S., Dehnhard, N., Duinker, A., Grøsvik, B.E., Heimstad, E., Hjermann, D., Jensen, H., Jensen, L.K., Leiknes, Ø., Nilsen, B.M., Routti, H., Schøyen, M. og Skjerdal, H.K. (2022). Forurensning i de norske havområdene - Barentshavet, Norskehavet og Nordsjøen - Rapport fra Overvåkningsgruppen 2021. Rapport fra havforskningen. 2022-3. 87. <https://www.hi.no/templates/reporteditor/report-pdf?id=54784&25976793>
- Frantzen, S., Duinker, A., Sanden, M. og Måge, A. (2018). Kadmiumanalyser i produkter av taskekrabbe kjøpt inn i 2016. Rapport fra Havforskningen. 12-2018. 13 s. <http://hdl.handle.net/11250/2562416>
- Frantzen, S., Måge, A. og Sanden, M. (2019a). Kvikksølv i sjømat ved U-864 : Resultater fra overvåkning i 2018. Rapport fra Havforskningen. 2019-38. 26 s. <http://hdl.handle.net/11250/2635987>
- Frantzen, S., Måge, A. og Sanden, M. (2020). Kvikksølv i sjømat ved U-864 - Resultater fra overvåkning i 2019. Rapport fra Havforskningen. 2020-33. 23 s. <https://www.hi.no/templates/reporteditor/report-pdf?id=36962&68857658>
- Frantzen, S., Måge, A. og Sanden, M. (2023). Kvikksølv i sjømat ved U-864 - Resultater fra overvåkning i 2021. Rapport fra havforskningen. 2023-23. <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2023-23>

- Frantzen, S., Sanden, M. og Måge, A. (2019b). Kvikksølvinnhold i sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje - Resultater fra fast overvåkning i 2017. *Rapport fra Havforskningen*. 2019-9. 34 pp.
- Johnsen, A. (2021). Påvirkes fisk og skalldyr av dumpet ammunisjon? - en undersøkelse i fire dumpefelt for krigsetterlatenskaper. *FFI-rapport*. 21/01396. 39 s. + vedlegg.
<https://publications.ffi.no/nb/item/asset/dspace:7168/21-01396.pdf>
- Julshamn, K., Måge, A., Norli Skaar, H., Grobecker, K., Jorheim, L. og Fecher, P. (2007). Determination of arsenic, cadmium, mercury, and lead by inductively coupled plasma/mass spectrometry in foods after pressure digestion: NMKL Interlaboratory Study. *Journal of AOAC International* 90: 844-856.
- Julshamn, K., Nilsen, B.M., Valdersnes, S. og Frantzen, S. (2012). Årsrapport 2011. Mattilsynets program: Fremmedstoffer i villfisk med vekt på kystnære farvann: Delrapport I: Undersøkelser av miljøgifter i taskekrabbe. 52 s. [Årsrapport fremmedstoffer i villfisk 2011. Delrapport 1: Undersøkelser av miljøgifter i taskekrabbe | Havforskningsinstituttet \(hi.no\)](#)
- Laugesen, J., Møskeland, T., Østbøll, H., Brautaset, A.B., Reible, D., Skyllberg, U., Palermo, M., Teeter, A., Skei, J., Eek, E., Kleiv, R.A. og Jersak, J. (2008). Salvage of U-864 - Supplementary studies - Study No. 11: Assessment of future spreading of mercury for the capping alternative. 23916-11 Revision No. 1. 74 s.
- Moxness Reksten, A., Bøkevoll, A., Frantzen, S., Lundebye, A.-K., Kögel, T., Kolås, K., Aakre, I. og Kjellevoid, M. (2020). Sampling protocol for the determination of nutrients and contaminants in fish and other seafood – The EAF-Nansen Programme. *MethodsX* 7: 101063. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.101063> .
- Ralston, N.V.C., Ralston, C.R., Blackwell, J.L. og Raymond, L.J. (2008). Dietary and tissue selenium in relation to methylmercury toxicity. *NeuroToxicology* 29(5): 802-811. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2008.07.007> .
- VKM (2015). Risk assessment of dietary cadmium exposure in the Norwegian population. Opinion of the Panel on Contaminants of the Norwegian Scientific Committee for Food Safety. *VKM Report*. 2015:12. 90 s. + vedlegg.
<https://vkm.no/risikovurderinger/allevurderinger/risikovurderingavkadmiuminntakframatidennorskebefolkningen.4>
- Wiech, M., Frantzen, S., Duinker, A., Rasinger, J.D. og Maage, A. (2020). Cadmium in brown crab *Cancer pagurus*. Effects of location, season, cooking and multiple physiological factors and consequences for food safety. *Science of the Total Environment* 703: 134922. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134922>.
- Wiech, M., Vik, E., Duinker, A., Frantzen, S., Bakke, S. og Måge, A. (2017). Effects of cooking and freezing practices on the distribution of cadmium in different tissues of the brown crab (*Cancer pagurus*). *Food Control* 75: 14-20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.12.011>.

6 - Vedlegg

Tabell A1. Kvikksølvkonsentrasjoner (Hg, mg/kg våtvekt) i filet av brosme (Brosme brosme) fanget ved og i ulik avstand fra vraket av ubåten U-864 ved Fedje fra 2005 til 2020. Hel fisk vekt (g) og Hg (mg/kg våtvekt) er vist for hvert år og stasjon med gjennomsnitt, minste og største verdi.

År	Lokalitet	Dato	Vekt (g)				Hg (mg/kg våtvekt) EU-øvre grenseverdi: 0,5			
			N	snitt	min	maks	snitt	min	maks	# > 0.5
2023	Ved vraket	30.05.-05.06.2023	25	2083	474	5173	0.329	0.086	0.77	5
	4 n mil nord	30.05.-06.06.2023	25	1649	847	3620	0.317	0.13	0.70	3
	4 n mil sør	07.06.2023	19	2835	559	6137	0.474	0.14	1.0	8
2022	Ved vraket	13.-24.06.2022	25	1764	552	3609	0.258	0.059	0.70	1
	4 n mil nord	13.-25.06.2022	25	1756	608	4738	0.296	0.091	0.49	0
	4 n mil sør	25.-28.06.2022	20	2142	596	4187	0.33	0.083	0.95	4
2021	Ved vraket	18.05.2021	25	1848	608	3524	0.22	0.081	0.61	1
	4 n mil nord	18.05.2021	25	1527	689	3371	0.28	0.11	0.50	0
	4 n mil sør	23.05.2021	16	1930	149	4325	0.37	0.064	0.98	4
2020	Ved vraket	01.05.2020	25	2360	631	5370	0.38	0.085	0.86	6
	4 n mil nord	01.-02.05.2020	25	1998	763	3765	0.36	0.092	0.57	1
	4 n mil sør	02.-06.05.2020	25	2013	475	4703	0.39	0.062	0.94	5
2019	Ved vraket	06.-07.06.2019	35	2089	679	3932	0.30	0.074	0.53	2
	4 n mil nord	06.-07.06.2019	25	2477	736	4332	0.36	0.15	0.64	3
	4 n mil sør	08.06.2019	15	1886	647	3633	0.33	0.13	0.53	2
2018	Ved vraket	23.05.2018	25	2317	651	4050	0.29	0.082	0.71	3
	4 n mil nord	25.05.2018	25	2705	1681	3888	0.39	0.20	1.1	3
	4 n mil sør	25.05.2018	20	2192	1206	3442	0.33	0.20	0.55	1
2017	Ved vraket	15.06.2017	25	2317	1230	4085	0.21	0.11	0.47	
	4 n mil nord	21.06.2017	25	2775	1571	4268	0.25	0.042	0.53	1
	4 n mil sør	16.06.2017	19	2539	802	4595	0.26	0.050	0.44	
2016	Ved vraket	12.05.2016	47	2292	848	4952	0.26	0.090	0.72	5
		15.08.2016	25	1739	901	2741	0.21	0.11	0.39	
		09.09.2016	20	2179	375	4576	0.18	0.055	0.78	1
	4 n mil nord	15.08.2016	25	2536	1109	5117	0.23	0.10	0.47	
	4 n mil sør	15.08.2016	25	3784	1452	7539	0.44	0.14	1.3	9
2015	Ved vraket	04.07.2015	25	1318	931	2204	0.26	0.11	0.44	
	4 n mil nord	04.07.2015	25	1573	960	2164	0.24	0.15	0.41	
	4 n mil sør	04.07.2015	25	1791	834	4004	0.24	0.099	0.57	1
2014	Ved vraket	01.06.2014	25	1424	850	2112	0.27	0.11	0.69	1
	4 n mil nord	01.06.2014	25	1310	757	2270	0.25	0.13	0.38	

	4 n mil sør	01.06.2014	25	1554	885	2260	0.23	0.070	0.49	
2013	Ved vraket	30.05.2013	25	1194	656	1708	0.19	0.084	0.32	
	4 n mil nord	29.05.2013	25	1033	434	2036	0.25	0.15	0.34	
	4 n mil sør	31.05.1013	25	1401	462	4035	0.27	0.11	0.56	1
2012	Ved vraket	21.06.2012	25	1384	528	3029	0.19	0.10	0.32	
	4 n mil nord	21.06.2012	25	1307	451	2395	0.24	0.15	0.42	
	4 n mil sør	21.06.2012	25	1548	680	2274	0.25	0.16	0.48	1
2011	Ved vraket	10.06.2011	25	1090	391	1660	0.18	0.10	0.28	
	4 n mil nord	10.06.2011	25	963	449	1707	0.22	0.11	0.37	
	4 n mil sør	10.06.2011	25	1472	551	2321	0.29	0.12	0.59	2
2010	Ved vraket	20.05.2010	25	1751	451	3540	0.32	0.14	0.46	
	4 n mil nord	20.05.2010	25	1751	605	5053	0.36	0.15	0.60	4
	4 n mil sør	20.05.2010	25	1893	644	3209	0.27	0.13	0.80	2
2009	Ved vraket	15.07.2009	25	931	380	2640	0.21	0.11	0.41	
	4 n mil nord	10.07.2009	25	1036	420	1900	0.35	0.21	0.54	1
	4 n mil sør	22.10.2009	25	837	480	1620	0.22	0.10	0.53	1
2008	Ved vraket	30.06.2008	25	1182	340	3360	0.33	0.16	0.73	5
	2 n mil nord	30.06.2008	25	1383	420	3600	0.39	0.14	0.62	5
	4 n mil sør	30.06.2008	25	1290	520	2780	0.42	0.28	0.58	2
2007	Ved vraket	19.06.2007	25	1422	540	2840	0.16	0.09	0.26	
	2 n mil nord	26.06.2007	22	783	320	2160	0.24	0.10	0.39	1
	4 n mil nord	22.06.2007	25	1148	480	2440	0.25	0.14	0.64	
2006	Ved vraket	12.06.2006	25	964	340	2080	0.22	0.13	0.49	
	1 n mil nord	13.06.2006	25	1222	360	3540	0.28	0.19	0.53	1
	2 n mil nord	17.06.2006	25	1142	280	3000	0.28	0.16	0.53	1
2005	Ved vraket	27.10.2005	25	1007	539	2195	0.20	0.08	0.35	

Tabell A2. Kvikksølvkonsentrasjoner (mg/kg våtvekt) i filet av brosme fanget i området rundt U-864, der resultater er slått sammen for alle lokalitetene. For hvert år og totalt er gjennomsnitt, antall prøver (N) minste (min) og største (maks) verdi, standardavvik (SD), median samt 25 % og 75 % kvartiler (Q25 og Q75) vist.

År	Hg filet (mg/kg ww)							
	Snitt	N	Min	Maks	SD	Q25	Median	Q75
2005	0.20	25	0.082	0.35	0.05	0.18	0.20	0.24
2006	0.26	75	0.130	0.53	0.08	0.20	0.24	0.29
2007	0.22	72	0.088	0.64	0.08	0.16	0.21	0.25
2008	0.38	75	0.140	0.73	0.13	0.28	0.36	0.48
2009	0.26	75	0.100	0.54	0.10	0.17	0.24	0.34

2010	0.32	75	0.130	0.80	0.13	0.23	0.30	0.39
2011	0.23	75	0.100	0.59	0.09	0.15	0.22	0.27
2012	0.23	75	0.096	0.48	0.08	0.17	0.23	0.26
2013	0.24	75	0.084	0.56	0.09	0.17	0.22	0.29
2014	0.25	75	0.070	0.69	0.09	0.18	0.23	0.30
2015	0.25	75	0.099	0.57	0.10	0.18	0.23	0.28
2016	0.27	142	0.055	1.3	0.19	0.16	0.21	0.30
2017	0.24	69	0.042	0.53	0.11	0.16	0.21	0.31
2018	0.34	70	0.082	1.1	0.16	0.26	0.30	0.39
2019	0.33	65	0.074	0.64	0.12	0.25	0.33	0.39
2020	0.38	75	0.062	0.94	0.17	0.29	0.40	0.47
2021	0.28	66	0.063	0.98	0.18	0.14	0.22	0.41
2022	0.29	70	0.059	0.95	0.17	0.15	0.27	0.41
2023	0.36	69	0.086	1.0	0.20	0.19	0.33	0.50
2005-2023	0.28	1398	0.042	1.3	0.14	0.18	0.25	0.35

Tabell A3. Kvikksølvkonsentrasjoner (Hg, mg/kg våtvekt) i klokjøtt av kokt krabbe (*Cancer pagurus*) fanget ved og i nærheten av vraket av U-864 ved Fedje fra 2005 til 2019. Skallbredde og Hg er gitt ved gjennomsnitt, minste og største verdi.

Klokjøtt				Skallbredde (cm)			Hg (mg/kg våtvekt) EU-grense: 0,5		
År	Lokalitet	Dato	N	snitt	min	maks	snitt	min	maks
2023	Ved vraket	30.05-05.06.2023	7	13,3	12,1	15,0	0,162	0,061	0,53
2021	Ved vraket	18.05.2021	10	14,0	13,0	15,3	0,137	0,045	0,23
	4 n mil nord	19.05.2021	9	14,8	12,6	17,3	0,137	0,044	0,35
	4 n mil sør	23.05.2021	10	15,1	13,5	16,6	0,079	0,028	0,16
2019	Ved vraket	05.06.2019	6	12,5	10,2	14,3	0,159	0,10	0,29
	4 n mil nord	05.06.2019	12 (9)	12,7	10,5	14,5	0,167	0,070	0,28
	4 n mil sør	08.06.2019	15	15,3	13,3	17,5	0,126	0,041	0,26
2018	Ved vraket	23.05.2018	9	14,6	12,1	17,7	0,185	0,089	0,26
	4 n mil nord	26.05.2018	14	13,9	10,6	16,6	0,246	0,12	0,39
	4 n mil sør	24.05.2018	15	14,1	12,0	16,5	0,116	0,053	0,23
2017	Ved vraket	15.06.2017	11	13,7	11,5	15,7	0,141	0,090	0,22
	4 n mil nord	22.06.2017	10	14,5	13,2	16,7	0,146	0,082	0,22
	4 n mil sør	16.06.2017	15	15,1	12,9	17,2	0,103	0,029	0,17
2016	Ved vraket	12.05.2016	48	13,6	11,1	17,2	0,096	0,046	0,26
		15.08.2016	25	13,8	11,8	16,6	0,114	0,031	0,27

Klokjøtt				Skallbredde (cm)			Hg (mg/kg våtvekt) EU-grense: 0,5		
År	Lokalitet	Dato	N	snitt	min	maks	snitt	min	maks
		09.09.2016	27	13,1	11,6	15,3	0,151	0,073	0,40
	4 n m nord	04.08.2016	23	15,0	12,7	16,9	0,084	0,040	0,15
	4 n m sør	13.08.2016	23	13,6	10,4	17,1	0,070	0,026	0,15
2015	Ved vraket	04.07.2015	25	13,5	10,8	16,5	0,082	0,032	0,14
	4 n mil nord	04.07.2015	24	14,0	10,5	17,2	0,084	0,033	0,16
	4 n mil sør	04.07.2015	25	13,7	10,0	16,7	0,079	0,031	0,20
2014	Ved vraket	01.06.2014	25	14,2	11,3	17,9	0,074	0,024	0,14
	4 n mil nord	01.06.2014	25	14,4	12,0	16,9	0,094	0,019	0,29
	4 n mil sør	01.06.2014	24	14,4	12,0	18,0	0,075	0,019	0,18
2013	Ved vraket	05.06.2013	25	13,6	11,4	16,5	0,10	0,045	0,19
	4 n mil nord	29.05.2013	25	13,6	11,4	17,2	0,12	0,033	0,21
	4 n mil sør	05.06.2013	25	14,1	11,7	16,5	0,10	0,037	0,20
2012	Ved vraket	18-21.06.12	25	14,0	10,8	18,0	0,11	0,032	0,32
	4 n mil nord	18-21.06.12	25	14,2	11,1	17,0	0,11	0,039	0,27
	4 n mil sør	18-21.06.12	25	14,4	11,6	17,6	0,10	0,046	0,21
2011	Ved vraket	10.06.11	25	13,6	10,5	16,7	0,15	0,039	0,48
	4 n mil nord	10.06.11	25	12,8	10,7	15,4	0,085	0,002	0,18
	4 n mil sør	10.06.11	24	14,0	10,7	16,6	0,097	0,034	0,18
2010	Ved vraket	20.05.10	25	14,3	10,8	17,5	0,07	0,02	0,17
	4 n mil nord	20.05.10	25	13,3	10,3	18,9	0,07	0,02	0,23
	4 n mil sør	20.05.10	25	14,2	11,3	16,2	0,06	0,02	0,18
2009	Ved vraket		25	14,7	13,0	17,0	0,11	0,05	0,22
	4 n mil nord		21	14,5	11,7	17,1	0,11	0,05	0,25
	4 n mil sør		24	15,2	12,7	17,4	0,11	0,05	0,17
2008	Ved vraket	30.06.08	23	13,5	12,0	16,0	0,16	0,07	0,26
	2 n mil nord	30.06.08	18	14,0	12,0	17,0	0,14	0,06	0,30
	4 n mil sør	30.06.08	17	13,9	12,0	16,5	0,14	0,04	0,29
2007	Ved vraket	19.06.07	25	13,8	11,0	17,0	0,13	0,03	0,27
	2 n mil nord	20.06.07	23	14,1	12,0	17,0	0,14	0,07	0,31
	4 n mil nord	21.06.07	22	14,1	11,0	18,0	0,14	0,06	0,27
2006	Ved vraket	17.06.06	25				0,15	0,04	0,60
	1 n mil nord	13.06.06	24				0,15	0,05	0,45
	2 n mil nord	17.06.06	25				0,12	0,05	0,21
2005	Ved vraket	27.10.05	25				0,18	0,08	0,37

Tabell A4, Kvikksølvkonsentrasjoner (Hg, mg/kg våtvekt) i brunmat av krabbe (*Cancer pagurus*) fanget ved og i nærheten av vraket av ubåten U-864 ved Fedje (og kott), fra 2004 til 2023. Krabbevekt (g) og Hg er vist med gjennomsnitt, minste og største verdi.

Brunmat				Vekt (g)			Hg (mg/kg våtvekt)		
År	Lokalitet	Dato	N	snitt	min	maks	snitt	min	maks
2023	Ved vraket	30.05-05.06.2023	7	383	294	516	0,166	0,068	0,24
2021	Ved vraket	18.05.2021	10	448	293	694	0.184	0.089	0.35
	4 n mil nord	19.05.2021	9	576	331	848	0.082	0.018	0.15
	4 n mil sør	23.05.2021	10	613	388	990	0.037	0.012	0.086
2019	Ved vraket	05.06.2019	6	325	200	450	0.29	0.10	0.72
	4 n mil nord	05.06.2019	9	329	200	500	0.14	0.075	0.24
	4 n mil sør	08.06.2019	15	572	350	1100	0.063	0.024	0.14
2018	Ved vraket	23.05.2018	9	550	273	1004	0.24	0.10	0.40
	4 n mil nord	26.05.2018	14	426	190	667	0.20	0.098	0.34
	4 n mil sør	24.05.2018	15	469	266	778	0.12	0.043	0.28
2017	Ved vraket	15.06.2017	11	403	245	719	0.16	0.11	0.25
	4 n mil nord	22.06.2017	10	500	345	780	0.059	0.031	0.10
	4 n mil sør	16.06.2017	15	544	332	851	0.061	0.024	0.11
2016	Ved vraket	12.05.2016	57	292	108	633	0.23	0.067	0.64
	Ved vraket	15.08.2016	25	385	164	652	0.14	0.016	0.27
	Ved vraket	09.09.2016	28	302	165	480	0.42	0.11	2.6
	4 nm nord	04.08.2016	24	462	261	808	0.077	0.033	0.17
	4 nm sør	13.08.2016	25	357	140	715	0.069	0.033	0.10
2015	Ved vraket	04.07.2015	25	334	148	554	0.21	0.042	2.4
	4 n mil nord	04.07.2015	24	374	170	671	0.15	0.075	0.24
	4 n mil sør	04.07.2015	25	358	145	635	0.090	0.039	0.20
2014	Ved vraket	01.06.2014	25	394	218	818	0.065	0.016	0.17
	4 n mil nord	01.06.2014	25	395	247	632	0.11	0.012	0.22
	4 n mil sør	01.06.2014	25	423	235	1026	0.077	0.019	0.44
2013	Ved vraket	05.06.2013	25	339	159	515	0.21	0.099	0.39
	4 n mil nord	29.05.2013	25	349	199	742	0.21	0.059	0.44
	4 n mil sør	05.06.2013	25	431	247	788	0.12	0.042	0.28
2012	Ved vraket	18-21.06.12	25	395	205	689	0.17	0.056	0.33
	4 n mil nord	18-21.06.12	25	387	182	636	0.18	0.050	0.54
	4 n mil sør	18-21.06.12	25	427	249	742	0.13	0.049	0.33
2011	Ved vraket	10.06.11	25	386	182	634	0.17	0.040	0.70
	4 n mil nord	10.06.11	25	308	183	457	0.13	0.050	0.24

	4 n mil sør	10.06.11	25	385	164	704	0.16	0.031	0.34
2010	Ved vraket	20.05.10	23	343	136	578	0.09	0.04	0.20
	4 n mil nord	20.05.10	24	272	155	417	0.12	0.04	0.21
	4 n mil sør	20.05.10	22	371	200	577	0.06	0.03	0.13
2009	Ved vraket	16.11.09	25	375	212	531	0.07	0.01	0.26
	4 n mil nord	16.11.09	21	457	260	718	0.05	0.03	0.12
	4 n mil sør	16.11.09	24	505	316	754	0.05	0.03	0.10
2008	Ved vraket	30.06.08	23	314	217	463	0.26	0.08	0.77
	2 n mil nord	30.06.08	18	373	144	675	0.21	0.09	0.49
	4 n mil sør	30.06.08	17	368	209	685	0.18	0.06	0.34
2007	Ved vraket	19.06.07	25	326	168	485	0.29	0.11	1.3
	2 n mil nord	20.06.07	22	377	162	621	0.24	0.05	1.7
	4 n mil nord	21.06.07	24	333	137	558	0.16	0.06	0.29
2006	Ved vraket	17.06.06	25				0.19	0.06	0.34
	1 n mil nord	13.06.06	24				0.22	0.04	0.41
	2 n mil nord	17.06.06	25				0.18	0.08	0.33
2005	Ved vraket	27.10.05	25	350	199	486	0.26	0.09	0.56
2004	Ved vraket	16.1.04	24				0.20	0.08	0.50

Tabell A5. Kvikksølvkonsentrasjoner i krabbe (*Cancer pagurus*) fanget i området rundt U-864 og kokt, der resultater er slått sammen for alle lokalitetene. For hvert år 2005-2021 og totalt er gjennomsnitt, antall prøver (N) minste (min) og største (maks) verdi, standardavvik (SD), median samt 25 % og 75 % kvartiler (Q25 og Q75) vist for henholdsvis klokjøtt og innmat av kokte krabber.

År	Hg innmat							Hg klo								
	Mean	N	Min	Max	SD	Q25	Median	Q75	Mean	N	Min	Max	SD	Q25	Median	Q75
2005	0.26	25	0.090	0.56	0.12	0.17	0.24	0.34	0.177	25	0.083	0.37	0.065	0.14	0.17	0.20
2006	0.198	74	0.040	0.41	0.073	0.15	0.19	0.24	0.138	74	0.040	0.60	0.084	0.090	0.12	0.16
2007	0.229	71	0.053	1.70	0.24	0.14	0.19	0.24	0.139	70	0.033	0.31	0.063	0.089	0.12	0.18
2008	0.221	58	0.059	0.77	0.14	0.13	0.19	0.26	0.146	58	0.041	0.30	0.064	0.084	0.14	0.19
2009	0.057	70	0.010	0.26	0.034	0.040	0.050	0.06	0.110	70	0.050	0.25	0.045	0.080	0.10	0.13
2010	0.089	69	0.030	0.21	0.048	0.050	0.080	0.12	0.069	75	0.020	0.23	0.039	0.040	0.060	0.080
2011	0.153	75	0.031	0.70	0.095	0.089	0.14	0.21	0.110	74	0.002	0.48	0.077	0.066	0.092	0.13
2012	0.160	75	0.049	0.54	0.092	0.084	0.14	0.21	0.106	74	0.032	0.32	0.059	0.061	0.086	0.14
2013	0.181	75	0.042	0.44	0.085	0.12	0.17	0.22	0.110	75	0.033	0.21	0.043	0.077	0.10	0.13
2014	0.078	73	0.012	0.22	0.049	0.042	0.066	0.12	0.081	75	0.019	0.29	0.052	0.045	0.069	0.11
2015	0.152	74	0.039	2.4	0.27	0.079	0.11	0.17	0.082	74	0.031	0.20	0.038	0.051	0.074	0.10
2016	0.201	159	0.016	2.6	0.24	0.081	0.15	0.25	0.103	146	0.026	0.40	0.055	0.065	0.090	0.13
2017	0.092	36	0.024	0.25	0.057	0.044	0.13	0.13	0.092	36	0.024	0.25	0.057	0.044	0.074	0.13

2018	0.178	38	0.043	0.40	0.087	0.11	0.17	0.25	0.180	38	0.053	0.39	0.093	0.095	0.15	0.24
2019	0.132	30	0.024	0.72	0.132	0.055	0.10	0.17	0.147	33	0.041	0.29	0.071	0.10	0.19	0.13
2021	0.102	29	0.012	0.35	0.081	0.037	0.086	0.15	0.117	29	0.028	0.35	0.074	0.060	0.10	0.16
2023	0.166	7	0.068	0.24	0.068	0.11	0.18	0.23	0.162	7	0.061	0.53	0.16	0.083	0.091	0.15
2005-2023	0.158	1038	0.010	2.6	0.16	0.071	0.13	0.20	0.114	1033	0.002	0.60	0.067	0.066	0.099	0.14

Tabell A6. Kvikksølvkonsentrasjoner i krabbe (*Cancer pagurus*) fanget i området rundt U-864 og behandlet rå, der resultater er slått sammen for alle lokalitetene. For hvert år og totalt er gjennomsnitt, antall prøver (N) minste (min) og største (maks) verdi, standardavvik (SD), median samt 25 % og 75 % kvartiler (Q25 og Q75) vist for hepatopankreas og klokkjøtt av rå krabber.

År	Hg hepatopankreas								Hg klo, rå							
	Mean	N	Min	Max	SD	Q25	Med	Q75	Mean	N	Min	Max	SD	Q25	Med	Q75
2016	12	5	0.32	26	11	0.56	15	17	.	.	.	.	.	.	.	.
2017	0.25	39	0.023	1.3	0.19	0.20	0.22	0.29	0.094	39	0.002	0.22	0.045	0.068	0.086	0.12
2018	0.33	41	0.077	0.96	0.20	0.18	0.31	0.40	0.11	41	0.036	0.50	0.08	0.070	0.093	0.14
2019	0.17	29	0.031	0.49	0.10	0.10	0.16	0.23	0.10	27	0.032	0.22	0.06	0.047	0.079	0.13
2020	0.11	75	0.023	1.1	0.13	0.053	0.069	0.13	0.077	75	<0.004	0.25	0.045	0.041	0.070	0.11
2021	0.16	40	0.029	1.0	0.18	0.061	0.10	0.21	0.083	40	0.020	0.30	0.061	0.040	0.066	0.099
2022	0.094	51	0.01	0.33	0.073	0.040	0.064	0.14	0.066	51	0.015	0.23	0.043	0.032	0.053	0.084
2023	0.19	55	0.019	1.0	0.19	0.083	0.16	0.23	0.077	55	0.023	0.26	0.046	0.041	0.072	0.10
2016-2023	0.35	335	0.015	26	1.9	0.066	0.13	0.23	0.084	328	0.002	0.50	0.055	0.045	0.073	0.11



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes

5817 Bergen

Tlf: 55 23 85 00

E-post: post@hi.no

www.hi.no