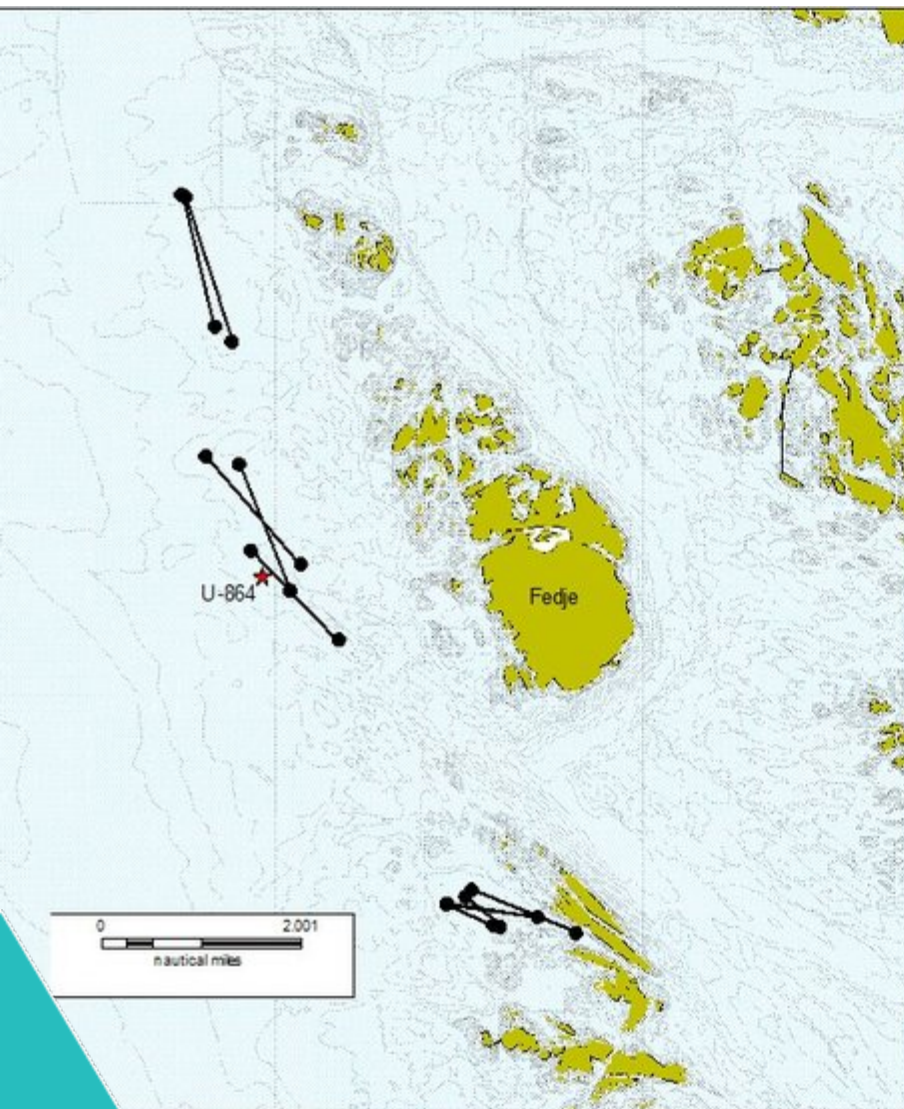




KVIKKSØLV I SJØMAT VED U-864

Resultat fra overvåkning i 2020

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):

Resultat fra overvåkning i 2020

Results from monitoring in 2020

Rapportserie:

Rapport fra havforskningen

ISSN:1893-4536

År - Nr.:

2021-37

Dato:

21.09.2021

Forfatter(e):

Sylvia Frantzen, Amund Måge og Monica Sanden (HI)

Godkjent av: Forskningsdirektør(er): Gro-Ingunn Hemre

Programleder(e): Livar Frøyland

Distribusjon:

Åpen

Prosjektnr:

15224

Oppdragsgiver(e):

Kystverket

Oppdragsgivers referanse:

3260BHPM

Program:

Trygg og sunn sjømat

Forskningsgruppe(r):

Fremmed- og smittestoff (FRES)

Antall sider:

26

Sammendrag (norsk):

Den tyske ubåten U-864 hadde store mengder kvikksølv om bord, da den ble senket vest av Fedje i 1945. Vraket ligger på omlag 150 m dyp og sjøbunnen rundt 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 2020 analyserte vi filet av 75 brosmer (*Brosme brosme*) og klokjøtt og innmat av 75 taskekrabber (*Cancer pagurus*) for totalkvikksølv. Tolv brosmer (6 prøvetatt ved vraket, 5 sør for vraket og 1 nord for vraket) hadde kvikksølvnivå over grenseverdien satt for mattrygghet i EU og Norge. Når størrelsen på fisken ble tatt høyde for, var ikke konsentrasjonene målt i 2020 høye sammenlignet med tidligere år. Gjennomsnittlig kvikksølvnivå i krabber fanget ved vraket av U-864 var forholdsvis lavt i 2020 sammenlignet med mange tidligere år, noe som kan skyldes at prøvene dette året ble tatt allerede tidlig i mai. Klokjøtt av krabber hadde et kvikksølvnivå godt innenfor grenseverdiene for mattrygghet, og det var ingen forskjell mellom de tre lokalitetene. Heller ikke i innmat var det forskjell mellom de tre lokalitetene dette året, men både ved vraket og fire nautiske mil nord var det et par krabber som skilte seg ut med avvikende høye kvikksølvnivåer i hepatopankreas.

Sammendrag (engelsk):

The German submarine U-864 had large quantities of mercury on board when it was sunken west of the island of Fedje in 1945. It is located at around 150 m depth and the surrounding seafloor 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 localities four nautical miles north and south of the wreck. In 2020 we analysed fillet of 75 tusk (*Brosme brosme*) and claw meat and hepatopancreas of 75 edible crab (*Cancer pagurus*) for total mercury. Twelve tusk (6 sampled at the wreck site, 5 south of the wreck and 1 north of the wreck) had mercury levels above the maximum level set for food safety in EU and Norway. When fish size was accounted for, the concentrations measured in 2020 were not high compared with earlier years. Average mercury levels in crabs caught near the wreck of U-864 were relatively low in 2020 compared with earlier years, which may be due to the fact that sampling was made already in early May. Claw meat of crabs had a mercury level well within the maximum levels set for food safety, and there was no difference between the three localities. Neither in hepatopancreas was there any difference between the three sites this year, but both at the wreck site and four nautical miles north, there were a couple of crabs which stood out with relatively high mercury levels in hepatopancreas.

Innhold

1	Innledning	5
2	Materiale og metoder	6
2.1	Prøveinnsamling	6
2.2	Opparbeiding og analyse	7
2.3	Databehandling og statistikk	7
3	Resultater og diskusjon	8
3.1	Brosme	8
3.2	Krabbe	10
3.2.1	<i>Sammenligning av lokaliteter</i>	11
3.2.2	<i>Utvikling over tid</i>	13
4	Konklusjoner	15
5	Litteraturliste	16
6	Vedlegg	18

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 var 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, 2005 og 2013 (Uriansrud et al. 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.

Uorganisk kvikksølv er mindre giftig enn organisk kvikksølv og blir i mindre grad tatt opp i biota. Den vanligste organiske formen av kvikksølv er metylkvikksølv som kan dannes ved metylering. Et forsøk har vist at det er liten grad av metylering i sediment tatt like ved vraket (Kystverket 2015).

For å kunne vurdere i hvilken grad kvikksølv fra ubåtvraket og sedimentet rundt påvirker sjømattryggheten har Havforskningsinstituttet (før 01.01.2018: NIFES) overvåket kvikksølvinnholdet i fisk og krabbe fra området årlig siden 2004 (Måge et al. 2006, 2007; Frantzen et al. 2008, 2010, 2011, 2012; 2014, 2018, 2019a,b, 2020; Frantzen and Måge 2015, 2016; Haldorsen et al. 2013). Kvikksølvanalysene har hvert år siden 2009 blitt utført på prøver av brosme (*Brosme brosme*) og taskekrabbe (*Cancer pagurus*). Overvåkingen viser at det er noe forhøyede nivåer av kvikksølv i brunmat av taskekrabbe fanget i vrakområdet, men ikke i klokjøtt av krabbe eller i 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 (Bloom 1992). 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 et al. 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 kvikksølv isotoper, gjennomført i et samarbeidsprosjekt med Universitetet i Gent (Rua-Ibarz et al. 2016; Dumont 2019). Her fant vi at brunmat av krabbene fisket nærmest vraket hadde en sammensetning av kvikksølv isotoper mer likt metallisk kvikksølv fra vraket og sedimentet enn de krabbene som var fisket fire nautiske mil nord og fire nautiske mil sør for vraket.

Muskel av brosme inneholder nesten bare metylkvikksølv, mens lever av brosme også inneholder uorganisk kvikksølv i ulik grad, og det er vanlig å finne høyere andel uorganisk kvikksølv i lever i områder forurensede 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 kvikksølv isotoper, 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 et al. 2019). Disse resultatene støtter de tidligere antakelsene om at brosme i svært liten grad akkumulerer det metalliske kvikksølvet i sedimentet rundt ubåtvraket, hverken i filet eller lever.

Siden 2017 har krabbe blitt opparbeidet både på den vanlige måten med koking og uten koking, og etterhvert også uten frysetørking. Resultatene tydet på at hepatopankreas av rå krabber 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. I 2019 fant vi ikke forskjell i kvikksølvnivå mellom kokte og rå krabber, men det var store individuelle forskjeller og lavt prøveantall.

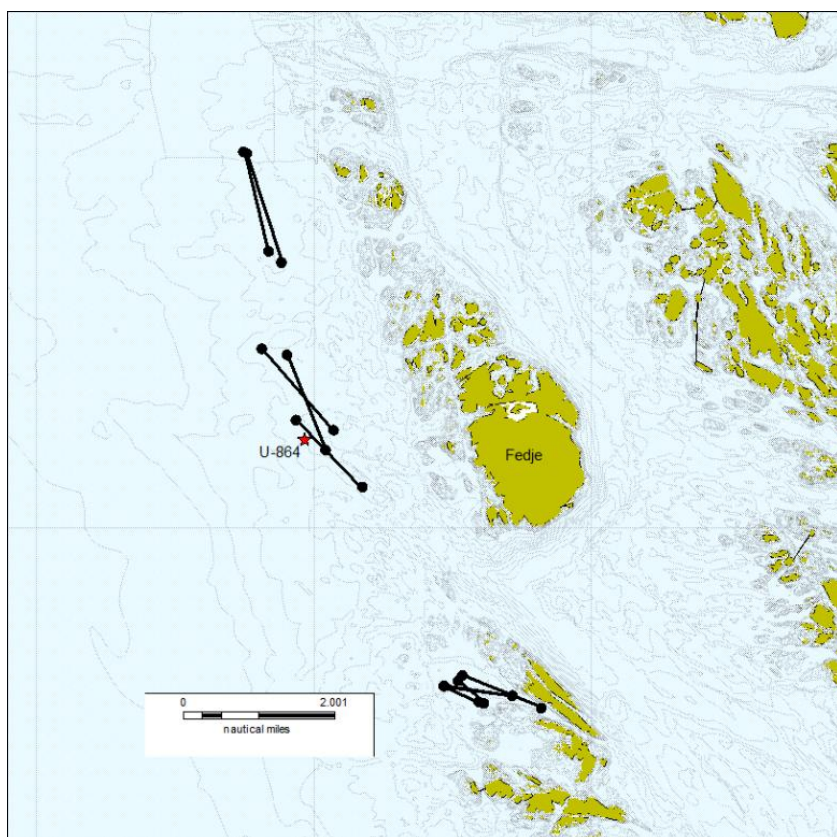
I 2020 ble det igjen tatt prøver av krabbe og brosme ved vraket samt fire nautiske mil sør for vraket og fire nautiske mil nord for vraket. På grunn av Covid-19-restriksjoner måtte prøvetakingen gjennomføres av fisker uten HI personale til stede, og alle prøvene ble derfor frosset rå og opparbeidet senere. Filet av brosme, samt klokjøtt og hepatopankreas av rå krabber ble analysert for totalkvikksølv.

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 av brosme og krabbe ble gjennomført i perioden 1.-6. mai 2020 av kystfisker Helge Torsvik med hans 43 fots fiskebåt M/K Vikingfjord (H-1-A). Prøvene ble tatt med dypvannteiner i lenker satt i området ved vraket, mellom 4 nautiske mil sørøst for vraket (4 nm S) og mellom 2,3 og 4 nautiske mil nordvest for vraket (4 nm N) (Figur 1). I kartet er posisjonene for hver teinelenke tegnet inn.

Målet var å få tatt 25 brosmer og 25 krabber fra hver posisjon, og dette året fikk vi alle de prøvene som ble bestilt (Tabell 1). På grunn av koronarestriksjoner var det ikke mulig å sende ansatte fra HI på feltarbeid på Fedje, slik planen var. Alle prøvene ble derfor frosset ned til -20°C like etter prøvetaking og oppbevart i frossen tilstand frem til opparbeiding ved Havforskningsinstituttet i Bergen.



Figur 1. Map of the area near Fedje where tusk and crab were sampled 1-6 May 2020. The straight lines represent the position of each line of pots.

Tabell 1. Total number of individuals caught of tusk (*Brosme brosme*) and edible crab (*Cancer pagurus*), respectively, during sampling in May 2020. The samples were taken at the site of the U-864 wreck, four nautical miles south (4 nm S) and four nautical miles north (4 nm N) of the wreck.

Sampling area	Tusk	Edible crab
Wreck site U-864	25	25
4 nm S	25	25
4 nm N	25	25

2.2 - Opparbeiding og analyse

Hver fisk ble lengdemålt og veid, og fisken ble filetert og skinnnet fjernet. Taskekrabbene ble kjønnsbestemt og veid, og bredden på ryggskjoldet ble målt.

Fordi koking av krabber fra ubåtvrak-området har vist seg å påvirke kvikksølvkonsentrasjonene, og særlig koking etter frysing har stor påvirkning, ble alle krabbene opparbeidet og analysert rå. Krabbene ble tint og klørne ble tatt av, og kjøttet i klørne plukket ut. Ryggskjoldet ble åpnet, vann fikk renne av, og deretter ble så mye som mulig av hepatopankreas plukket ut ved hjelp av en pinsett. Hver prøve ble homogenisert, og prøvene av brosmefilet ble frysetørket før kvikksølvanalyse. Prøver av klokjøtt, brunmat og hepatopankreas ble ikke frysetørket, bare homogenisert. Tørrestoff ble bestemt i en alikvot av det homogeniserte prøvematerialet som ble tørket i varmeskap ved 104°C og veid før og etter.

Før bestemmelse av totalkvikksølv med induktivt koblet plasma-massespektrometer (ICPMS) ble prøven dekomponert med syre i mikrobølgeovn slik at kvikksølvet forelå som ioner i løsning. Metoden ble beskrevet i detalj av Julshamn et al. (2007). Analysemetoden for bestemmelse av totalkvikksølv 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 prøver analysert i frysetørket prøve vil det si at konsentrasjonen i det analyserte materialet regnes tilbake til våt prøve ved hjelp av tørrestoffinnholdet:

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

Fordi vanninnholdet i krabbeprovne 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.

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

For brosmen 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 ulik størrelse på fisken, er det brukt lengdenormalisering ved hjelp av kovariansanalyse (ANCOVA). Ved ANCOVA sammenlignet vi logtransformerte kvikksølvkonsentrasjoner mellom år med fiskens lengde som kovariat. For krabbe er det ikke entydig sammenheng mellom størrelse og kvikksølvnivå, og her ble det brukt vanlig variansanalyse (ANOVA) på logtransformerte konsentrasjoner. Statistiske beregninger er gjort i programvaren Statistica 13.

3 - Resultater og diskusjon

3.1 - Brosme

Brosme fisket i 2020 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 37,5 til 74 cm og i vekt fra 631 til 5370 g (Tabell 2). Gjennomsnittsvekt av fisken prøvetatt ved de tre lokalitetene var relativt lik, fra 1998 g ved den nordligste lokaliteten til 2360 g ved vraket. I 2020 var fisken fortsatt (som i 2016-2019) større enn tidligere, og godt over langtidsmiddelet for hele perioden (Figur 2). Det at størrelsen på fisken varierer fra år til år gjør direkte sammenligning mellom år utfordrende, siden kvikksølvkonsentrasjonen i fisk generelt øker med størrelse. Hvorfor størrelsen på brosmene som fiskes ved U-864 ser ut til å øke i de siste årene, er ikke kjent.

Gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon i filet av brosme fanget i 2020 ved vraket, 4 nm N og 4 nm S var henholdsvis 0,38, 0,36 og 0,39 mg/kg våtvekt (Tabell 2). Seks fisk prøvetatt ved vraket, én fisket 4 nm N og fem 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 om visse forurensende stoffer i næringsmidler).

Gjennomsnittskonsentrasjonen av kvikksølv i fisk prøvetatt ved vraket var høyere i 2020 enn alle tidligere år (Figur 2). Siden fisken også var nokså stor i 2020 er det sannsynlig at de relativt høyere kvikksølvkonsentrasjonene dette året kan skyldes størrelse. Når fiskens lengde ble justert for ved hjelp av ANCOVA, var kvikksølvnivået i 2020 likt som i 2018 og 2019. Nivået i 2018-2020 var ellers høyere enn i 2016 og 2017 og 2011-2013 samt 2007 (Figur 2). Nivået var imidlertid ikke høyere i 2020 enn i 2014, 2015 og 2008-2010. Det ser altså ut til at kvikksølvnivåene i brosmemuskel, uavhengig av fiskens størrelse, svinger opp og ned i perioder på to til tre år, og at det ikke er noen økning i perioden overvåkning har pågått bortsett fra det som skyldes økning i fiskens størrelse.

Gjennomsnittlig kvikksølvinnhold i brosmefilet i 2020 var omtrent like høyt ved alle de tre lokalitetene (Tabell 2). Når kvikksølvkonsentrasjonen var gruppert etter størrelse var det heller ingen betydelig forskjell (Figur 3 venstre). Men når alle dataene fra alle årene ble inkludert, var det særlig i de mindre størrelsesgruppene av fisk noe lavere kvikksølvkonsentrasjon ved vraket enn ved begge de to andre lokalitetene (Figur 3 høyre). Hvorfor det er slik vet vi ikke, men en mulig forklaring kan være at kvikksølv ved vraket er lite metylert, som tidligere har vært vist gjennom metyleringsforsøk (Kystverket, 2015). Det er ikke gjort tilsvarende metyleringsforsøk med sediment prøvetatt fire nautiske mil nord og sør for vraket. En annen mulig forklaring kan være at tilgjengelige byttedyr ved vraket er forskjellige fra de som er tilgjengelig ved de to andre lokalitetene, noe som igjen kan skyldes de spesielle forholdene ved vraket og det forurensede sedimentet.

Tabell 2. Fish weight (g), length (cm) and mercury concentration (Hg, mg/kg ww) in fillet of tusk (Brosme brosme) sampled in May 2020 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.

Sampling site	N	Fish weight (g) Mean $\pm$ SD (Min – max)	Fish length (cm) Mean $\pm$ SD (Min – max)	Hg (mg/kg ww) Mean $\pm$ SD (Min – max)
U-864	25	2360 $\pm$ 1099 (631 - 5370)	59.9 $\pm$ 9.2 (43 - 70)	0.38 $\pm$ 0.19 (0.085 - 0.86) (6)
4 nm N	25	1998 $\pm$ 900 (763 - 3765)	57.6 $\pm$ 8.0 (43 - 70)	0.36 $\pm$ 0.13 (0.092 - 0.57) (1)
4 nm S	25	2013 $\pm$ 1019 (475 - 4703)	56.9 $\pm$ 8.9 (37.5 - 74)	0.39 $\pm$ 0.20 (0.062 - 0.94) (5)

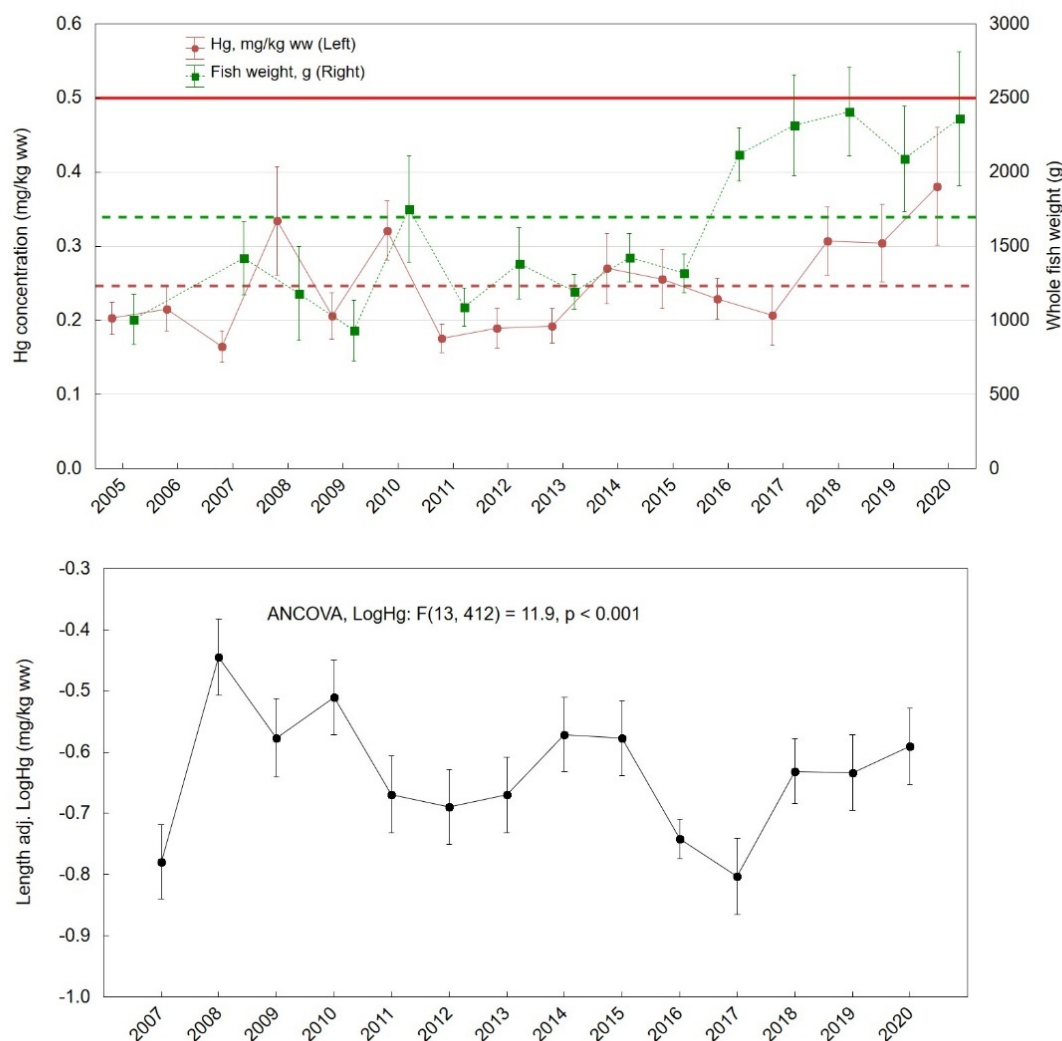


Figure 2. Year to year variation in mercury (Hg) concentrations (mg/kg wet weight, ww) in fillet of tusk (*Brosme brosme*) caught near the wreck of U-864. Top: Concentration of Hg (mg/kg ww, left) and fish weight (g, right) every year from 2005-2019. For each year, mean $\pm$ 95% confidence intervals are given, and median values are shown as separate points. The long term mean values 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 Log_{10}Hg (Least square means) per year (2007-2019) obtained by ANCOVA with fish length as covariate. ANCOVA results are shown.

En stor kartleggingsundersøkelse i 2013-2015 og en mindre undersøkelse i 2009 viste at brosme har relativt høyt kvikksølvnivå sammenlignet med mange andre fiskearter prøvetatt i de samme områdene, og nivåene øker fra åpent hav til kyst og videre inn i fjordene, mens de avtar fra sør mot nord (Frantzen og Måge 2016; Kvangarsnes et al. 2012). Tidligere er det gjort sammenligninger av kvikksølvnivå i brosme fra Fedje med resultater fra disse tidligere undersøkelsene (Frantzen et al. 2018; Frantzen et al. 2019b). Da ble det vist at gjennomsnittlig konsentrasjon av kvikksølv i fillet av brosme prøvetatt langs kysten av Nordsjøen var 0,39 mg/kg våtvekt, som er likt det vi målte i brosmen tatt nær U-864 i 2020 (Tabell 2). Brosme fisket langs kysten av Norskehavet hadde lavere nivåer, med et snitt på 0,29 mg/kg våtvekt, mens langs kysten av Skagerrak var nivået høyere med 0,53 mg/kg. Inne i fjorder på Vestlandet var nivåene høyest, med et gjennomsnitt på 0,68 mg/kg. Selv om kvikksølvnivåene målt i brosme prøvetatt ved U-864 i 2020 var forholdsvis høyt sammenlignet med tidligere år, var det altså ikke høyere enn normalnivået for kysten av Vestlandet.

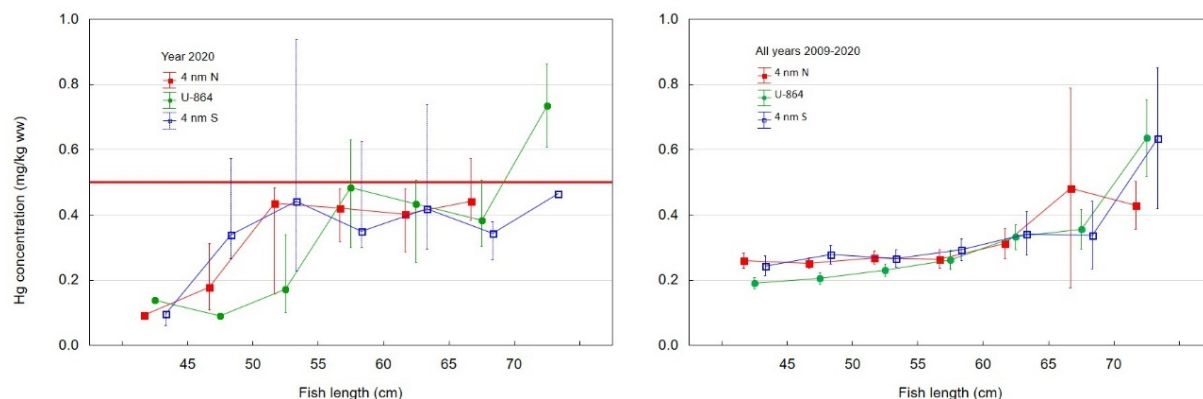


Figure 3. Concentration of mercury (mg/kg ww; mean and confidence interval) in fillet of tusk (*Brosme brosme*) at different length intervals (<45, 45-50, 50-55, 55-60, 60-65, 65-70 and >70 cm), caught at three different sites; at the wreck of U-864, four nautical miles south (4 nm S) and four nautical miles north (4 nm N) of U-864. Left: Year 2020 only, median, minimum and maximum values shown. Right: All years 2009-2020, means $\pm$ 95% confidence intervals are given.

3.2 - Krabbe

Krabbene fisket i 2020 hadde skallbredde fra 116 til 187 mm og veide fra 225 til 962 g (Tabell 3). Krabbene som ble prøvetatt 4 nm sør var gjennomsnittlig betydelig større enn krabbene i de andre gruppene, uten de minste individene, under 140 mm.

Kvikksølvkonsentrasjonen i klokjøtt av krabbe prøvetatt i 2020 varierte fra 0,004 til 0,25 mg/kg våtvekt (Tabell 3). Ingen prøver var altså over grenseverdien på 0,5 mg/kg våtvekt som gjelder omsetning av klokjøtt til human konsum. Gjennomsnittskonsentrasjonen var høyest i klokjøtt av krabber prøvetatt 4 nm N, med 0,098 mg/kg våtvekt, og lavest i krabber prøvetatt 4 nm S, med 0,058 mg/kg våtvekt. Kvikksølvkonsentrasjonen i hepatopankreas varierte fra 0,023 til 1,1 mg/kg våtvekt (Tabell 3), og gjennomsnittsnivået for de tre lokalitetene varierte fra 0,057 mg/kg våtvekt ved 4 nm S til 0,136 mg/kg våtvekt ved 4 nm N. I hepatopankreas av rå krabber var det lavere gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon sør for vraket enn ved vraket og 4 nm nord for vraket.

Gjennomsnittskonsentrasjonen i klokjøtt av krabber prøvetatt ved vraket, på 0,076 mg/kg våtvekt, var lavere enn de tre foregående årene (snitt 0,11 – 0,16 mg/kg våtvekt), da krabbene også ble analysert rå (vedlegg tabell A2). Også i hepatopankreas var gjennomsnittskonsentrasjonen av kvikksølv lavere i 2020, med et snitt på 0,13 mg/kg, enn de tre foregående årene (snitt 0,21 til 0,53 mg/kg våtvekt).

Table 3. Crab size (weight, g, and carapace width, mm) and mercury concentrations (Hg, mg/kg wet weight) of raw edible crab (*Cancer pagurus*) caught in 2020 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 hepatopankreas (hep) and for claw meat. Results are given as means $\pm$ standard deviations, minimum and maximum values.

Area	Treatment	N	Weight (g) Mean $\pm$ SD (Min – max)	Carapace width (mm) Mean $\pm$ SD (Min – max)	Hg hep (mg/kg ww) Mean $\pm$ SD (Min – max)	Hg claw (mg/kg ww) Mean $\pm$ SD (Min – max)
U-864	Raw	25	425 $\pm$ 83 (263 – 630)	141 $\pm$ 10 (122 – 167)	0.126 $\pm$ 0.210 (0.029 – 1.1)	0.076 $\pm$ 0.041 (0.024 – 0.18)
4 nm S	Raw	25	552 $\pm$ 128 (372 – 962)	155 $\pm$ 11 (141 – 187)	0.057 $\pm$ 0.017 (0.023 – 0.084)	0.058 $\pm$ 0.032 (0.004 – 0.12)
4 nm N	Raw	25	427 $\pm$ 128 (225 – 708)	140 $\pm$ 14 (116 – 167)	0.136 $\pm$ 0.063 (0.053 – 0.30)	0.098 $\pm$ 0.051 (0.036 – 0.25)

En del av variasjonen mellom prøver, lokaliteter og år skyldes ulikt vanninnhold i prøvene. Omregnet til konsentrasjon i tørr prøve var det i 2020 ingen statistisk signifikante forskjeller i kvikksølvkonsentrasjon i klokjøtt eller hepatopankreas mellom krabber prøvetatt ved vraket og de to lokalitetene 4 nm N og 4 nm S (Figur 4). Nord for vraket og ved vraket var det imidlertid enkeltkrabber med konsentrasjoner i klokjøtt og hepatopankreas som var noe høyere enn de øvrige, mens dette ikke var tilfelle ved lokaliteten 4 nm S.

Median tørrvektkonsentrasjon både i klokjøtt og hepatopankreas var litt høyere ved alle tre lokalitetene enn det som i 2015 ble målt i krabber prøvetatt vest av Sotra og ved Guvåg i Vesterålen (Martin Wiech, ikke publiserte data). Ved U-864, 4 nm S og 4 nm N var medianverdiene for klokjøtt mellom 0,40 og 0,42 mg/kg tørrvekt, mens ved Sotra og i Vesterålen var medianverdiene 0,32 og 0,33 mg/kg tørrvekt. I hepatopankreas var mediankonsentrasjonen ved de tre lokalitetene ved Fedje mellom 0,34 og 0,35 mg/kg tørrvekt, mens ved Sotra og i Vesterålen var medianverdiene henholdsvis 0,27 og 0,30 mg/kg tørrvekt. Størrelsen på krabbene var omtrent den samme i begge undersøkelsene. Sammenlignet med taskekrabbe fra de Britiske øyer, hadde krabbene fra Fedje omtrent samme eller noe lavere kvikksølvnivå på våtvekt (Barrento et al. 2009; Noël et al 2011). Selv om nivået var litt høyere ved Fedje enn vest av Sotra og i Vesterålen, trenger ikke det å bety at det er ubåtvraket som er kilde til det forhøyede kvikksølvnivået. Bruk av stabile kvikksølv isotopanalyser i krabbe for å spore kvikksølvet er tidligere gjort bare i området ved vraket og 4 nm sør og nord for vraket (Rua-Ibarz et al., 2016). I 2021-2022 vil vi ta prøver av krabbe flere ulike steder langs Norskekysten og andre steder i Europa for å sammenligne sammensetningen av kvikksølv isotoper.

Ved vraket var det en signifikant positiv sammenheng mellom størrelse og kvikksølvkonsentrasjon i klokjøtt ($r^2 = 0,36$, $p < 0,005$) (Figur A1, vedlegg). Nord for vraket var det en tendens til positiv sammenheng, men ikke signifikant ($p = 0,06$), mens sør for vraket var det ingen sammenheng mellom kvikksølvkonsentrasjon og størrelse på krabbene ($p > 0,05$). I hepatopankreas var det ingen signifikant sammenheng mellom kvikksølvkonsentrasjon og skallbredde ved noen av lokalitetene (Figur A2, vedlegg), og dette skyldtes i hovedsak at de to krabbene fra vrakområdet som hadde høyest kvikksølvkonsentrasjon, var forholdsvis små (133 og 140 mm). Uten disse to krabbene var det en signifikant positiv sammenheng mellom kvikksølvkonsentrasjon i hepatopankreas og skallbredde ved vraket ($r^2 = 0,38$, $p < 0,005$). Størrelse på krabbene kan ikke forklare forskjellen i kvikksølvkonsentrasjoner mellom de tre lokalitetene.

3.2.1 - Sammenligning av lokaliteter

Selv om kokte krabber ikke ble prøvetatt og analysert i 2020, har vi sammenlignet de tre prøvelokalitetene statistisk med resultater for alle år, for klør av rå og kokte krabber og for brunmat av kokte og hepatopankreas av rå krabber (Figur 5). Resultatet viser at det for kokte krabber er signifikant høyere kvikksølvkonsentrasjon ved vraket enn ved den sørlige lokaliteten, både i klokjøtt og brunmat (Figur 5A, C). For brunmat var det også signifikant høyere kvikksølvnivå nord for vraket enn sør for vraket, mens for klokjøtt var det ikke signifikant forskjell mellom lokalitetene ved vraket og 4 nm N. For de rå krabbene var det ingen signifikante forskjeller mellom lokalitetene (Figur 5B, D). Tendensen for rå krabber var imidlertid at den sørlige lokaliteten skilte seg ut med lavere kvikksølvnivå i klokjøtt enn både vraket og lokaliteten nord for vraket (Figur 5B), og høyere kvikksølvnivå i hepatopankreas fra vrakområdet enn begge de to andre områdene (Figur 5D).

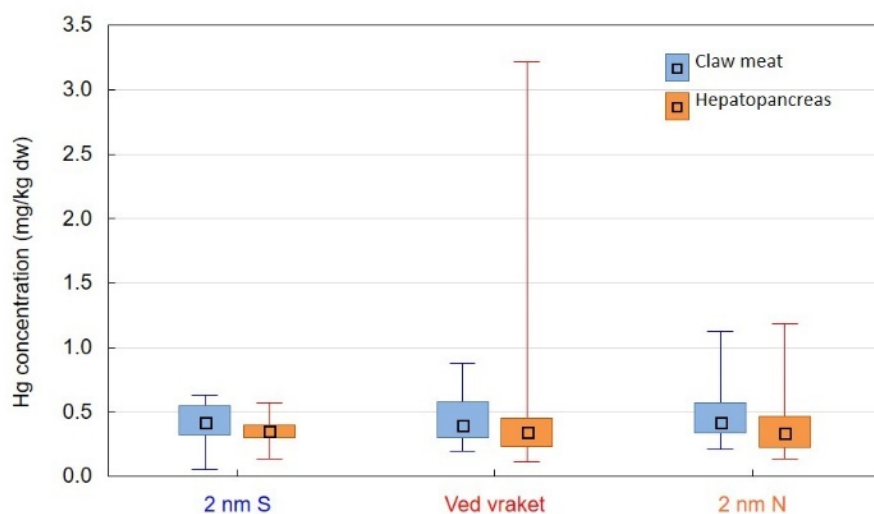


Figure 4. Total mercury concentration on dry weight (Hg, mg/kg dw) in crab (*Cancer pagurus*) caught at the wreck of U-864 (Ved vraket), four nautical miles north of the wreck (4 nm N) and four nautical miles south of the wreck (4 nm S) in 2020. Results are given for claw meat and hepatopancreas of raw crab. Boxplots show medians, quartiles, minimum and maximum values. No significant differences were found (Kruskal-Wallis ANOVA).

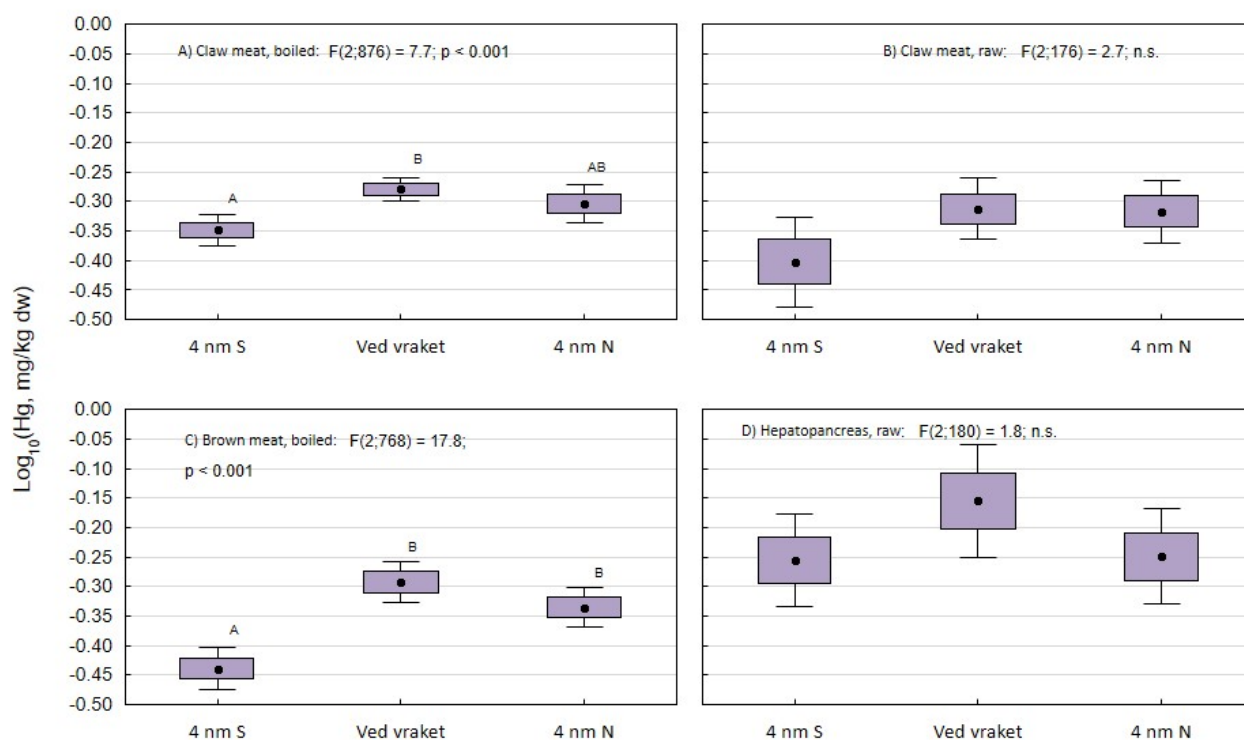


Figure 5. Total mercury concentration on dry weight (Hg, mg/kg dw) in crab (*Cancer pagurus*) caught at the wreck of U-864 (U-864), four nautical miles north of the wreck (4 nm N) and four nautical miles south of the wreck (4 nm S) during 2006-2020. Results are given for A) claw meat of boiled crab, B) claw meat of raw crab, C) brown meat of boiled crab and D) hepatopancreas of raw crab. Boxplots show mean, standard error and 96% confidence intervals of log_{10} transformed values. Results of one-way ANOVA is given with significance level of 95%. Different letters above the boxes indicate significant differences between groups (Tukey HSD).

Til sammen tyder dette og resultater fra overvåking over mange år 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 et al. 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 kvikksølvisotoper 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 et al., 2016). Det kan imidlertid være vanskeligere å spore med isotopanalyse kvikksølv som har blitt omdannet til metylkvikksølv, fordi metylering er en av prosessene som påvirker isotopsammensetningen.

3.2.2 - Utvikling over tid

Fordi det var små og ikke signifikante forskjeller i kvikksølvkonsentrasjon mellom områdene ved vraket og nord for vraket, har vi valgt å slå sammen resultatene for de to lokalitetene for å se på utviklingen i kvikksølvnivå i krabbe over tid (Figur 6). Tidligere er det også vist at de to lokalitetene viser samme trend (Frantzen et al., 2020). Utviklingen over tid i kvikksølvkonsentrasjon i krabber fra disse to lokalitetene samlet er vist som log-transformerte tørrvektskonsentrasjoner. For kokte krabber går tidsserien fra 2006 til og med 2019, mens for rå krabber er det bare resultater fra og med 2017 til og med 2020. De årene klør fra både kokte og rå krabber ble analysert, var det alltid lavere konsentrasjoner i de rå enn i de kokte klørne, som diskutert tidligere (Frantzen et al. 2020). I hepatopankreas av rå krabber var det som oftest, men ikke alltid, høyere konsentrasjon enn i brunmat av kokte krabber. Kvikksølvnivået i rå krabber prøvetatt i 2020 er det laveste som hittil er målt i rå krabber, både i klokjøtt og hepatopankreas (Figur 5). En forklaring på det forholdsvis lave kvikksølvnivået i 2020 kan være tidlig prøvetaking, allerede tidlig i mai, mens prøvene de siste foregående årene ble tatt enten sent i mai eller i juni. I 2014 var det også lave kvikksølvnivåer, og da diskuterte vi også at det kunne være tidlig prøvetidspunkt som var årsaken. Da var imidlertid prøvene tatt så sent som 1. juni, mens nå i 2020 ble de tatt allerede en måned tidligere enn det. I 2018 og 2019 ble prøvene tatt sent i mai og tidlig i juni, og da var det relativt høyt kvikksølvnivå. 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. Generelt viser overvåkingen over tid et komplekst bilde og ingen klar tidstrend i hverken økende eller avtakende retning.

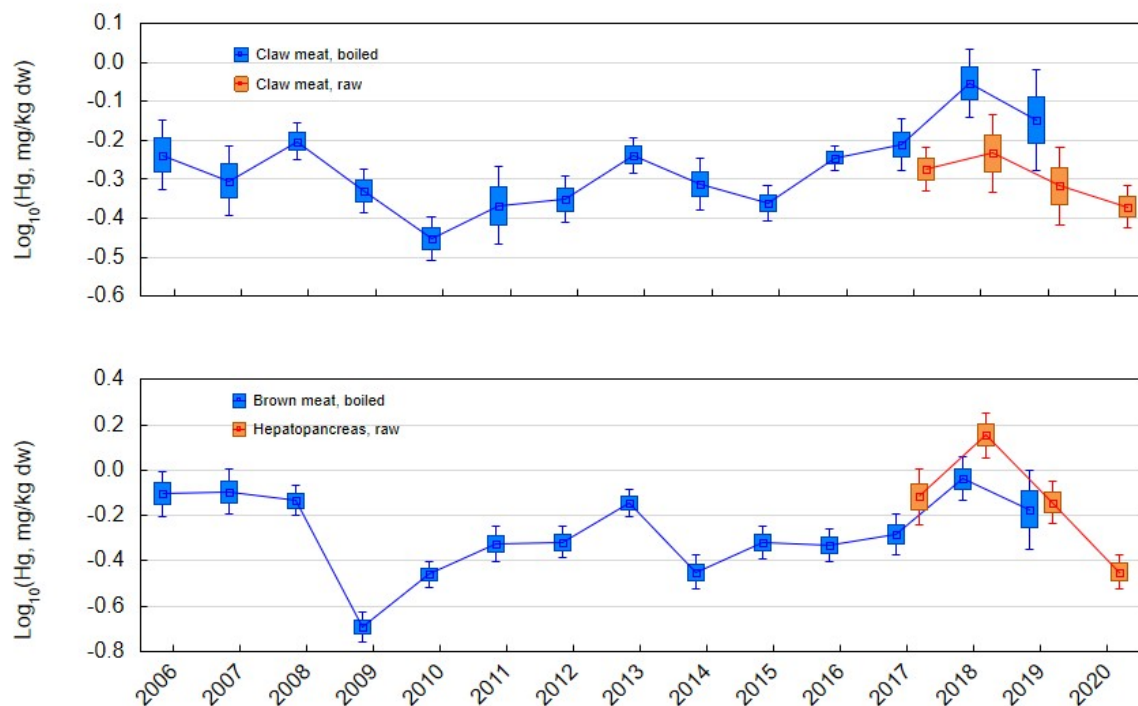


Figure 6. Concentrations (mg/kg dry weight, dw) of Hg from 2006-2020 analysed in A) claw meat and B) brown meat of raw (orange; 2017-2020) and boiled (blue; 2006-2019) crabs (*Cancer pagurus*) captured at the site of U-864 and 4 nautical miles north of the wreck. Concentrations are given as log_{10} 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.

4 - Konklusjoner

Av i alt 75 brosmer analysert i 2020 hadde tolv fisk (16 %) kvikksølvnivå i filet over grenseverdien for mattrygghet på 0,5 mg/kg våtvekt; seks var fisket ved vraket, én fire nautiske mil nord for vraket og fem fire nautiske mil sør for vraket. Gjennomsnittskonsentrasjonene for alle de analyserte brosmene var under grenseverdien ved alle de tre lokalitetene. I løpet av perioden overvåkingen har foregått til nå (2005-2020) har til sammen 70 av 1193 brosmer, 5,8 %, hatt kvikksølvnivå over grenseverdien som gjelder mattrygghet.

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 2020 nær vraket av U-864 hadde relativt høyt kvikksølvnivå sammenlignet med flere tidligere år, men når kvikksølvnivået var justert for fiskens størrelse var det ingen endring over tid.

Ingen taskekrabber fisket i 2020 eller tidligere ved vraket av U-864 eller fire nautiske mil nord eller sør for vraket hadde kvikksølvnivåer i klokjøtt over EU og Norges grenseverdi på 0,5 mg/kg våtvekt. Det er ingen grenseverdi for mattrygghet som gjelder for hepatopankreas av krabbe.

Gjennomsnittsnivået av totalkvikksølv i både klokjøtt og hepatopankreas av rå krabber prøvetatt i 2020 var forholdsvis lavt sammenlignet med en del tidligere år, og det kan skyldes at prøvene ble tatt tidlig på året (tidlig i mai). I pandemiåret 2020 ble alle krabbene prøvetatt rå, siden det ikke var mulighet for våre medarbeidere å dra på feltarbeid og koke krabbene der.

Dette året var det ingen vesentlige forskjeller i kvikksølvnivå i klokjøtt eller hepatopankreas av krabbe mellom de tre lokalitetene ved vraket, fire nautiske mil sør og fire nautiske mil nord, men både ved vraket og fire nautiske mil nord var det et par krabber som skilte seg ut med avvikende høye kvikksølvnivåer i hepatopankreas.

5 - Litteraturliste

- Barrento, S., Marques, A., Teixeira, B., Carvalho, M.L., Vaz-Pires, P., Nunes, M.L. (2009). 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: 150-156.
- Bloom, N.S. (1992). On the chemical form of mercury in edible fish and marine invertebrate tissue. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 49: 1010-1017.
- 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 s.
- EU (2020). Commission regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union. Consolidated version 14.10.2020.
- Frantzen, S., Furevik, D., Ulvestad, B.H. og Måge, A. (2014). Kvikksølvinnhold i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje. Nye analyser i 2013. NIFES-rapport. 20 s.
- Forskrift om visse forurensende stoffer i næringsmidler (FOR-2015-03-07-870).
- Frantzen, S. og Måge, A. (2015). Kvikksølv i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje. Nye analyser i 2014. NIFES-rapport. 24 s.
- Frantzen, S. og Måge, A. (2016). Kvikksølvinnhold i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje. Nye analyser i 2015. NIFES-rapport. 31 s.
- Frantzen, S., Måge, A., Furevik, D. og Julshamn, K. (2008). Kvikksølvinnhold i fisk og sjømat ved vraket av U864 vest av Fedje. Nye analyser i 2008 og sammenligning med data fra perioden 2004 til 2007. NIFES-rapport. 20 s.
- Frantzen, S., Måge, A., Furevik, D. og Julshamn, K. (2010). Kvikksølvinnhold i fisk og sjømat ved vraket av U864 vest av Fedje - Nye analyser i 2009 og sammenligning av data fra perioden 2004-2008. NIFES-rapport. 18 s.
- Frantzen, S., Måge, A., Furevik, D. og Julshamn, K. (2011). Kvikksølv i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje - Nye analyser i 2010 og sammenligning med perioden 2004 til 2009. NIFES-rapport. 20 s.
- Frantzen, S., Måge, A., Furevik, D., Ulvestad, B.H. og Julshamn, K. (2012). Kvikksølvinnhold i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje - Nye analyser i 2011 og sammenligning med data fra perioden 2004 til 2010. NIFES-rapport. 20 s.
- 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.
- 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 s.
- 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.
- Haldorsen, A.-K.L., Frantzen, S., Julshamn, K., Furevik, D. og Måge, A. (2013). Kvikksølvinnhold i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje. - Nye analyser i 2012. NIFES-rapport. 17 s.
- 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: 844-456.

- Kvangarsnes, K., Frantzen, S., Julshamn, K., Sætre, L.J., Nedreaas, K. og Maage, A. (2012). Distribution of mercury in a gadoid fish species, tusk (*Brosme brosme*), and its implication for food safety. *Journal of Food Science and Engineering* 2: 603-615.
- Kystverket (2015). Oppsummering av metyleringsforsøk på kvikksølvforurensede sedimenter ved U-864. 2015-8063. 58 s.
- 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.
- Måge, A., Julshamn, K., Storaker, A. og Furevik, D.M. (2006). Kvikksølvinnhold i fisk og sjømat ved søkkt ubåt (U-864) vest av Fedje - Nye analysar i 2006 - Samanlikning med data frå 2004 og 2005. . NIFES-rapport. 15 s.
- Måge, A., Vågenes, L., Frantzen, S., Julshamn, K. og Furevik, D. (2007). Kvikksølvinnhold i fisk og sjømat ved søkkt ubåt (U864) vest av Fedje - Nye analysar 2007 - Samanlikning med data frå perioden 2004 til 2006. NIFES-rapport. 17 s.
- Noël, L., Chafey, C., Testu, C., Pinte, J., Velge, P., Guérin, T (2011). Contamination levels of lead, cadmium and mercury in imported and domestic lobsters and large crab species consumed in France: Differences between white and brown meat. *Journal of food composition and analysis* 24(3): 368-375.
- Rua-Ibarz, A., Bolea-Fernandez, E., Måge, A., Frantzen, S., Sanden, M. og Vanhaecke, F. (2019). Tracing Mercury Pollution along the Norwegian Coast via Elemental, Speciation, and Isotopic Analysis of Liver and Muscle Tissue of Deep-Water Marine Fish (*Brosme brosme*). *Environmental Science and Technology* 53(4): 1776-1785.
- Rua-Ibarz, A., Bolea-Fernandez, E., Måge, A., Frantzen, S., Valdersnes, S. og Vanhaecke, F. (2016). Assessment of Hg Pollution Released from a WWII Submarine Wreck (U-864) by Hg Isotopic Analysis of Sediments and *Cancer pagurus* Tissues. *Environmental Science and Technology* 50(19): 10361-10369.
- Solhjell, E. og Lunne, T. (2013). U-864 2013 Soil Survey. Geotechnical report. 20120738-01-R.
- Uriansrud, F., Skei, J. og Stenstrøm, P. (2005). Miljøovervåkning, strømundersøkelser, sedimentkartlegging og miljørisikovurdering knyttet til Fase 1, kartlegging og fjerning av kvikksølvforurensing ved U-864. NIVA-rapport. 2092-2005. 61 s.

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	N	Vekt (g)			Hg (mg/kg våtvekt) EU-øvre grenseverdi: 0,5			
				snitt	min	maks	snitt	min	maks	# > 0.5
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	

				Vekt (g)			Hg (mg/kg våtvekt) EU-øvre grenseverdi: 0,5			
	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	
Totalt	.	.							

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
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
		09.09.2016	27	13.1	11.6	15.3	0.151	0.073	0.40
	4 nm nord	04.08.2016	23	15.0	12.7	16.9	0.084	0.040	0.15
	4 nm 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

Klokjett				Skallbredde (cm)			Hg (mg/kg våtvekt) EU-grense: 0,5		
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 kokt, fra 2004 til 2019. 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
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

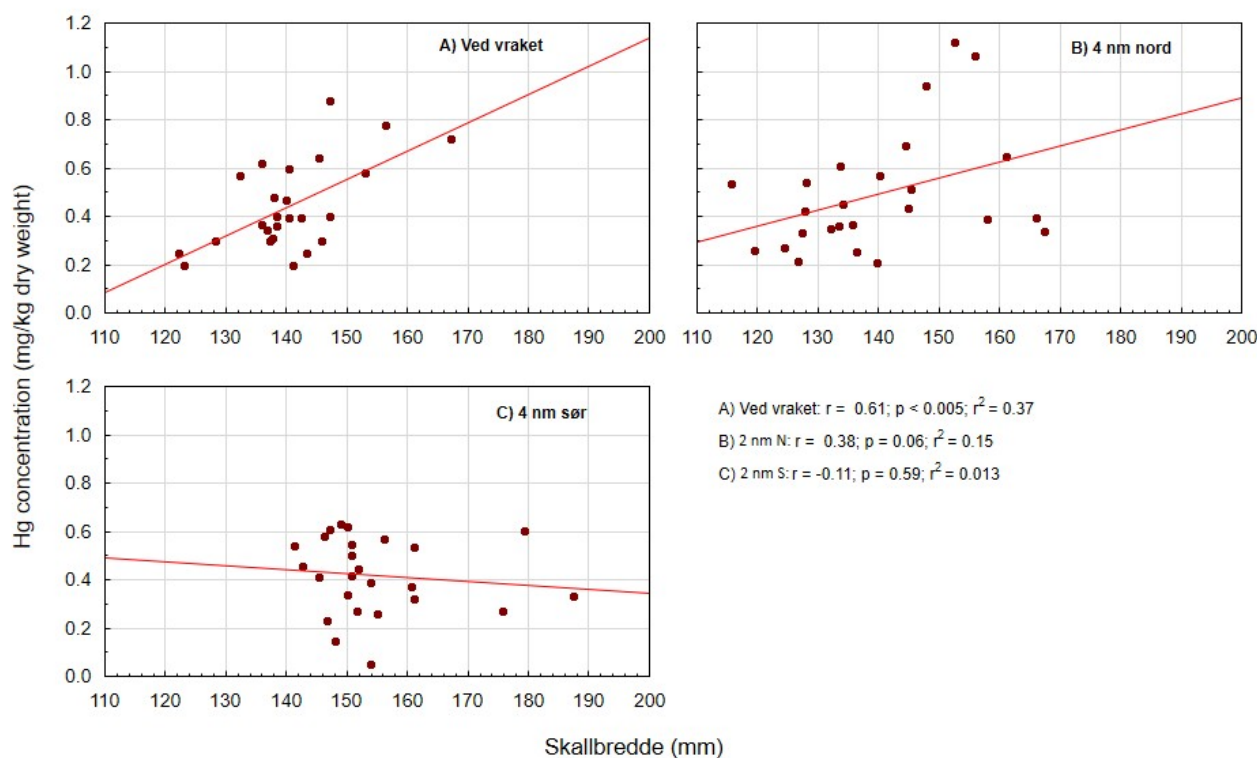
Brunmat				Vekt (g)			Hg (mg/kg våtvekt)		
2008	Ved vraket	30.06.08	23	314	217	463	0.26	0.08	0.77
	2 n mil nord	30.06.08	18	373	144	675	0.21	0.09	0.49
	4 n mil sør	30.06.08	17	368	209	685	0.18	0.06	0.34
2007	Ved vraket	19.06.07	25	326	168	485	0.29	0.11	1.3
	2 n mil nord	20.06.07	22	377	162	621	0.24	0.05	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, 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 henholdsvis klokjøtt og innmat av kokte krabber.

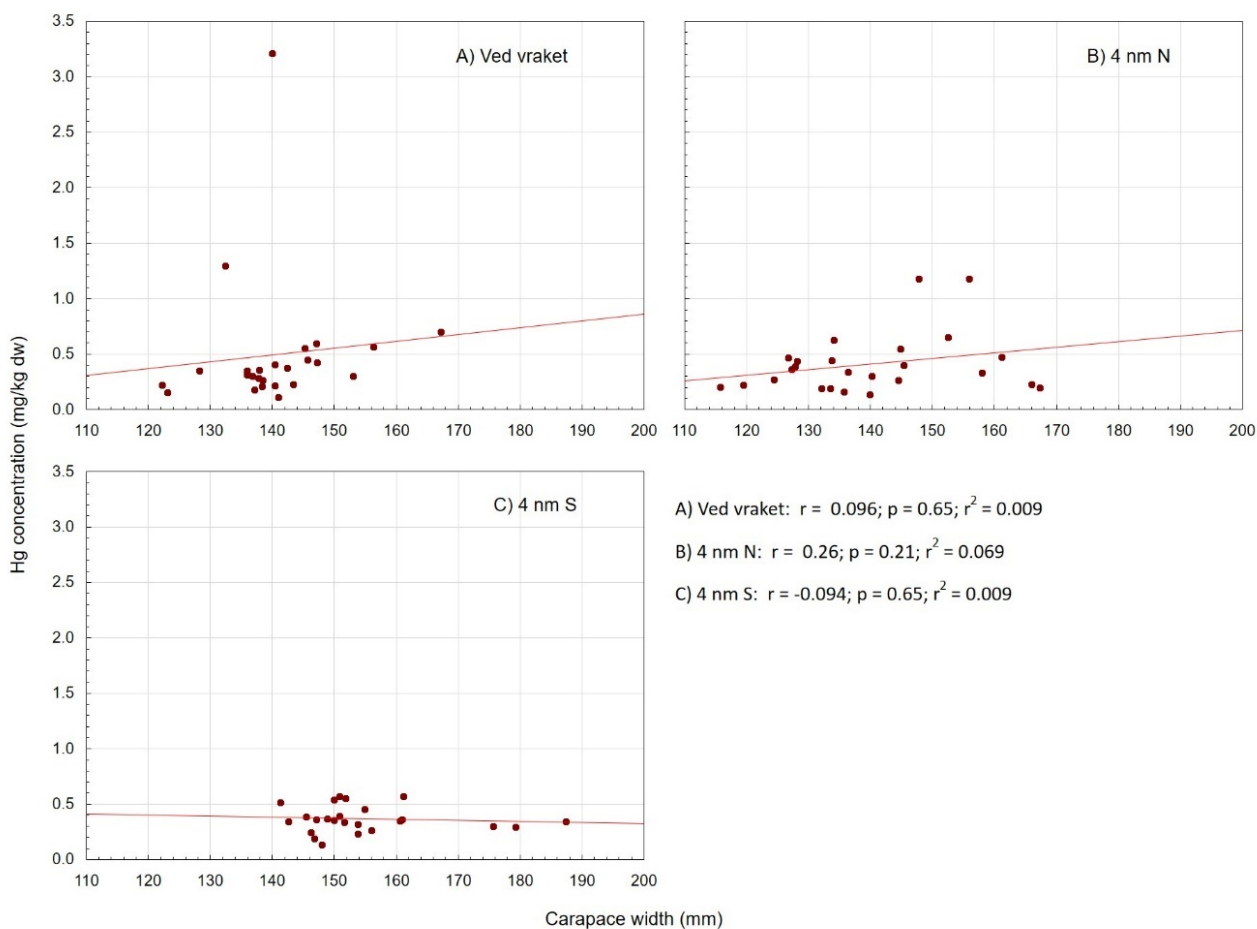
År	Hg innmat							Hg klo								
	Mean	N	Min	Max	SD	Q25	Median	Q75	Mean	N	Min	Max	SD	Q25	Median	Q75
2005	0.26	25	0.090	0.56	0.12	0.17	0.24	0.34	0.177	25	0.083	0.37	0.065	0.14	0.17	0.20
2006	0.198	74	0.040	0.41	0.073	0.15	0.19	0.24	0.138	74	0.040	0.60	0.084	0.090	0.12	0.16
2007	0.229	71	0.053	1.70	0.24	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
Alle	0.157	977	0.010	2.6	0.164	0.071	0.13	0.20	0.112	977	0.002	0.60	0.065	0.066	0.098	0.14

Tabell A6. Kvikksølvkonsentrasjoner i krabbe (*Cancer pagurus*) 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 for hepatopankreas og klokjøtt av rå krabber.

År	Hg hepatopankreas								Hg klo, rå							
	Mean	N	Min	Max	SD	Q25	Median	Q75	Mean	N	Min	Max	SD	Q25	Median	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
Alle	0.5	189	0.023	26	2.5	0.073	0.17	0.26	0.092	182	0.002	0.50	0.058	0.051	0.081	0.12



Figur A1. Sammenheng mellom kvikksølvkonsentrasjon (mg/kg tørrvekt, dw) i klokjøtt og skallbredde (mm) for krabber prøvetatt i 2020 A) ved vraket av U-864, B) 4 nautiske mil (nm) nord og C) 4 nm sør for vraket. Resultat av Pearson's lineær korrelasjon er gitt for hver lokalitet.



Figur A2. Sammenheng mellom kvikksølvkonsentrasjon (mg/kg tørrvekt, dw) i hepatopankreas og skallbredde (mm) for krabber prøvetatt i 2020 A) ved vraket av U-864, B) 4 nautiske mil (nm) nord og C) 4 nm sør for vraket. Resultat av Pearson's lineær korrelasjon er gitt for hver lokalitet.



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes
5817 Bergen
E-post: post@hi.no
www.hi.no