



Provfiske väster om Måseskär i anslutning till vrak med dumpade kemiska stridsmedel



Rapport – 2022:10



Rapport 2022:10

**Havs
och Vatten
myndigheten**

Provfiske väster om Måseskär i anslutning till vrak med dumpade kemiska stridsmedel

Rapport – 2022:10

JIMMY AHLSEN

JOHANNA BERGKVIST

MARINA MAGNUSSON

Rapporten har tagits fram på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten. Rapportförfattarna ansvarar för innehållet och slutsatserna i rapporten. Rapportens innehåll innebär inte något ställningstagande från Havs- och vattenmyndighetens sida

© HAVS- OCH VATTENMYNDIGHETEN | Datum: 2022-05-24

ISBN 978-91-89329-39-3 | Omslagsfoto: Jimmy Ahlsen/Marine Monitoring AB

Havs- och vattenmyndigheten | Box 11 930 | 404 39 Göteborg | www.havochvatten.se

Förord

I dumpningsområdet för vrak väster om ön Måseskär i Skagerrak sänktes 28 fartyg av de allierade efter andra världskrigets slut. HaV har genomfört ett antal provfisken i området sedan 2016 för att utreda om, var och i hur höga koncentrationer kemiska stridsmedel återfinns i fisk och skaldjur i närområdet runt vraken. Hittills har kemiska stridsmedel återfunnits i både fisk och skaldjur i närheten av flera vrak. Men ytterligare studier är viktiga att genomföra för att få en övergripande bild av vilka vrak i området som sannolikt är källor till spridning av kemiska stridsmedel. För att få fram ett heltäckande utredningsmaterial inför framtida möjliga åtgärder, med syfte att minska spridningen av dessa farliga kemikalier till det omgivande havsområdet. Därför har ytterligare provfiske genomförts utförts i området, på fem inte tidigare undersökta vrak. Förutom att analysera vävnadsprover från fisk och skaldjur har i denna undersökning även sediment från i nära anslutning till vraken analyserats. Resultaten från detta provfiske och sedimentprovtagning presenteras i denna rapport.

Sammanfattning

Marine Monitoring AB har under 2021 på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten undersökt biota och sediment i anslutning till dumpningsområdet av kemiska stridsmedel väster om ön Måseskär. Tidigare undersökningar i dumpningsområdet har visat på spår av kemiska stridsmedel i sedimentet och i biota. Vid de tidigare undersökningarna av biota har nedbrytningsprodukter av Clark I och/eller Clark II detekterats i arterna nordhavsräka, havskräfta, rödtunga samt pirål. Den aktuella undersökningen kompletterar tidigare provfisken med fokus på nya vrak, två liggandes längst väster ut och tre i de yttre sydöstra delarna av vrakområdet, samt ytterligare ansträngning i form av analys av sedimentprover. Kemiska analyser av fångade organismer och sedimentprover utfördes av the Finnish Institute for Verification of the Chemical Weapons Convention, University of Helsinki (VERIFIN).

Målarterna som undersöks är utvalda på grund av deras kommersiella betydelse och ekologiska levnadssätt. Precis som vid tidigare undersökningar av biota analyseras vävnad från målarterna nordhavsräka, havskräfta och pirål. Provfisket utfördes med passiva redskap så som burar och fällor. Sediment provtogs med huggare.

Resultatet från de kemiska analyserna av målarterna visade på spår av kemiska stridsmedel i form av nedbrytningsprodukter från trifenylarsin och Clark I och/eller Clark II. Sju analyserade prover innehöll nedbrytningsprodukt av trifenylarsin (0,06-1,67 ng/g) och bland de sju proverna detekterades även nedbrytningsprodukt av Clark I och/eller Clark II i två prover (0,20-0,29 ng/g). Även resultatet från de kemiska analyserna av sedimentprover visade på detektion av trifenylarsin i ett av proverna (ej kvantifierbart) och av nedbrytningsprodukt av trifenylarsin i tre av proverna (0,40-1,23 µg/kg). Totalt detekterades spår av kemiska stridsmedel vid 37 % av biotaproverna och vid 27 % av sedimentproverna.

Efter de totalt fyra undersökningarna av kemiska stridsmedel i biota utförda av Marine Monitoring inom olika delar av dumpningsområdet har majoriteten av området undersökts, och visar att samtliga delar är mer eller mindre påverkade. Fyra av de fem undersökta vraken visade också på spår av kemiska stridsmedel i sedimentet. De aktuella kemiska stridsmedlen har låg spridningsgrad varför flera källor anses finnas inom dumpningsområdet, trots att det finns en hög aktivitet av bottentråkning inom området som kan bidra till spridning av kontaminerat sediment.

Koncentrationerna av kemiska stridsmedel i biota och sedimentproverna pekar på högst påverkan inom de västligaste delarna av dumpningsområdet, men även inre delar visar på kvantifierbara halter. Detektion av kemiska stridsmedel i vävnadsprover från arter i flera olika steg av näringsväven tyder på stor spridning även vid själva källorna.

Summary

Marine Monitoring AB has by the request of the Swedish Agency for Marine and Water Management investigated on biota and sediment in close proximity to dumping areas of chemical warfare agents (CWAs) west of the island Måseskär. Earlier investigations in the area have shown traces of CWA in sediment and biota. During the earlier investigations degradable products from Clark I and/or Clark II were detected in the species northern prawn, Norway lobster, Torbay sole and hagfish. The current investigation complements earlier trail fishing focusing on new wrecks, two laying on the most western edge and three in the outer south-eastern part of the area, as well as additional effort in the form of sediment samples. Chemical analyses were done by the Finnish Institute for Verification of the Chemical Weapons Convention, University of Helsinki (VERIFIN).

The target species were selected based on their commercial importance and ecological lifestyle. As with previous investigations of biota, tissue samples from northern prawn, Norway lobster and hagfish are analysed. The trail fishing was conducted using passive gears such as cages and traps. Sediment samples were collected using a Van Veen grab sampler.

The results from the chemical analysis of the target species showed traces of CWAs in the form of degradables from triphenylarsine and Clark I and/or Clark II. Seven of the analysed tissue samples contained degradation products of triphenylarsine (0,06-1,67 ng/g) and among those seven, two samples contained degradation products of Clark I and/or Clark II (0,20-0,29 ng/g). Also the chemical analysis of the sediment samples detected traces of CWAs in the form of triphenylarsine in one sample (not quantifiable), and degradation products of triphenylarsine in three of the samples (0,40-1,23 µg/kg). Detection of CWA occurred in 32 % of the biota samples and in 27 % of the sediment samples.

After the now four investigations of CWAs in biota within different parts of the dumping area conducted by Marine Monitoring, the majority of the total area has now been covered and shows that the whole area is more or less contaminated. Four of the five investigated wrecks also showed traces of CWAs in the sediments. The detected CWAs has a low degree of spreading why several sources of the contamination is likely present within the dumping area, even though the area has a high amount of bottom trawling which can contribute to spreading of contaminated sediment. The concentrations of CWAs in the biota and the sediments points to the highest contamination at the western parts of the dumping area, but also the inner parts show quantifiable concentrations. Detection of CWAs in tissue samples of species at several steps of the food web indicate a great spread at the specific sources.

Innehåll

1	Introduktion	9
1.1	Uppdraget	9
1.2	Bakgrund	9
1.2.1	Dumpning av CWA	9
1.2.2	Kvantiteter	10
1.3	Kemiska stridsmedel i den marina miljön	10
1.4	Undersökningsområde	12
1.5	Effekt på biota/Kemiska stridsmedel i biota	13
1.5.1	Blåmussla	13
1.5.2	Havskräfta och nordhavsräka	14
1.5.3	Fisk14	
1.6	Målarter	16
1.6.1	Pirål16	
1.6.2	Havskräfta	16
1.6.3	Nordhavsräka	16
2	Metodik	18
2.1	Provfiske	18
2.2	Sedimentprovtagning	19
2.3	Analys	20
2.3.1	Analys av vävnad från målarter	20
2.3.2	Analys av sediment	20
3	Resultat	22
3.1	Målarter	23
3.2	Sediment	24
3.3	Utbredning av stridsmedel 2021	25
4	Kemiska stridsmedel i vrakområdet	26
4.1	Utbredning av stridsmedel 2016 - 2021	28
5	Diskussion	29
6	Slutsats	32
7	Referenser	33

1 Introduktion

1.1 Uppdraget

Marine Monitoring AB har fått i uppdrag att undersöka biota och sediment i anslutning till dumpningsområden av kemiska stridsmedel utanför Sveriges västkust. Syftet med uppdraget har varit att under 2021 vidare utreda hur utbredd kontaminationen av dumpade kemiska stridsmedel är i dumpningsområdet väster om ön Måseskär. Projektet har beställts och finansierats av Havs- och Vattenmyndigheten (HaV) genom anslag 1:4 för Sanering och återställning av förorenade områden. Resultaten ska användas för att sammanfatta spridningen av kemiska stridsmedel från vraken i området, sprida kunskap om att dumpade kemiska stridsmedel anrikas upp i näringskedjan till fisk och skaldjur och som bakgrundsmaterial för att undersöka om det går att begränsa yrkesfiske i området.

1.2 Bakgrund

Under andra världskriget tillverkades stora kvantiteter kemiska stridsmedel (CWA, från engelskans Chemical Warfare Agents) med syfte att användas i kriget för att hämma soldaters förmåga till strid. Genom kemiska och biokemiska reaktioner påverkar de fysiologiska funktioner hos människan negativt, vissa till så pass stor grad att de får en dödlig utgång. Vilken effekt CWA har beror på vilket typ det är, till exempel finns tårgaser (till exempel Kloracetofenon) som orsakar bland annat ögon-, andnings- och hudirritation, kräkningar samt blindhet. Andra CWA kan orsaka näs- och halsirritation (till exempel Clark I, Clark II och Adamsit) och lungirritation. De allvarligaste effekterna kommer från blåsbildande gaser (till exempel senapsgas, kvävesenapsgas och Lewisit) och nervgaser (Tabun) där dödlig utgång är möjlig. Den vanligaste CWAn som producerades under andra världskriget är senapsgasen, och ofta ingick en blandning av arsinolja och till exempel Clark I och Clark II.

1.2.1 Dumpning av CWA

Efter andra världskriget fanns det stora kvantiteter av överbliven CWA som behövdes tas om hand och oskadliggöras (Laurin, 1991). De CWA som tillverkades under andra världskriget var i huvudsak inneslutna i bomber och granater. Både den allierade som den tyska sidan hade under kriget byggt upp en stor arsenal av CWA, men i stort sett inget kom till användning innan kriget tog slut. Det innebar dock att stora mängder fortfarande fanns tillgängliga, och vid konferensen i Potsdam 1945 bestämdes att all CWA skulle förstöras. Ett effektivt sätt att lösa problemet var att dumpa delar av ammunitionen i havet. På otjänliga skepp lastades ammunition från de amerikanska, brittiska och franska ockupationszonerna, skeppen togs sedan ut till havs och sänktes på djupt vatten. Exakta positioner för dumpade vrak finns inte från den tiden utan endast ungefärliga områden inom vilket dumpningen skedde. Inom Skagerrak är två platser kända, djupområdena utanför norska Arendal samt inom den svenska ekonomiska zonen väster om Måseskär. Det hände dock att skepp

avsiktligt eller oavsiktligt sänktes innan de nått slutmålet och dumpning av enstaka CWA ska ha skett under färden.

Även om dumpningen av vraken väster om Måseskär alltid varit offentlig kännedom, framför allt bland fiskare i området var det inte förrän i början på 90-talet som det uppmärksammades i Sverige (Laurin, 1991). Uppdagandet från Björn Åkerlund och journalisten Fredrik Laurin (Laurin, 1991) väckte stor medial uppmärksamhet (Waleij 2000) och ledde till att regeringen i början av 1991 gav Sjöfartsverket i uppdrag att utreda dumpningen av CWA på svenska vatten. Utredningen visade på två dumpningsområden lokaliserade på den svenska kontinentalsockeln, ett sydost om Gotland (Gotlandsdjupet) och ett i djupområdet väster om Måseskär (Sjöfartsverket 1992). Skador på Östersjöns och Skagerraks marina miljö ansågs dock vara begränsad till den omedelbara närheten och det bästa alternativet då var att låta CWA ligga kvar. Bärning av lasten skulle vara för riskfull och kostsam. Ovissheten kring vad lasten bestod av och var, samt hur många vrak som fanns, kunde ändå innebära att inte allt skulle kunna bärgas. Kunskap om spridning i botten sedimentet och om eventuella biologiska effekter eller bioackumulering av de kemiska stridsmedlen ansågs också vara bristfälliga.

1.2.2 Kvantiteter

De totala mängderna som tillverkades i Tyskland före och efter andra världskriget är kända. År 1992 beslöt HELCOM (Helsinki Commission, Baltic Marine Environment Protection Commission) att utreda dumpningen av CWA i Östersjön (Waleij 2000). Arbetsgruppen från HELCOM sammanställde 1994 en rapport där de listade mängderna CWA som upptäcktes i Tyskland mellan slutet av andra världskriget och 1948 (HELCOM 1994). Totalt handlade det om 296 103 ton CWA, inklusive metallvikten på de fyllda bomberna, artillerigranaterna och minorna (HELCOM 1994). Fortfarande saknades uppgifter om exakta mängder och typer av CWA som sänkts i de två områdena men uppskattningsvis dumpades 150 000 ton utanför Arendal och Måseskär (Waleij 2001). Hur mycket av de 150 000 tonnen som bestod av CWA respektive metallvikt är oklart men uppskattas till 20 000 ton nettovikt (Sjöfartsverket 1992, Waleij 2001).

1.3 Kemiska stridsmedel i den marina miljön

Den överblivna kemiska ammunitionen som har dumpats i havet är innesluten i granater, minor och flygbomber och det är först när substansen frisläpps från sin behållare som det finns risk för påverkan på den marina miljön. Det skyddande höljet som omsluter den kemiska ammunitionen kan ha skadats vid transport och sänkning av skeppen eller rostat sönder under de många decennierna under vatten. När väl de kemiska stridsmedlen exponeras för havsvatten startar olika nedbrytningsprocesser och för de flesta substanser sker nedbrytning till mindre toxiska och vattenlösliga substanser (HELCOM 1994). Efter långsam nedbrytning och neutralisering så kvarstår dock oorganiska arsenikföreningar som är fortsatt toxiska och inte bryts ner vidare.

Den vanligaste CWA som producerades under andra världskriget, senapsgasen (diklor-dietylsulfid), förekommer som vätska eller fast form vid lägre temperaturer ($<14\text{ }^{\circ}\text{C}$ och som gas över $14\text{ }^{\circ}\text{C}$). Som vätska och fast form är senapsgasen tyngre än vatten och stannar därför vid havsbotten. Senapsgas som har lösts upp i vatten bryts på några timmar ner till mindre toxiska substanser genom hydrolys. Nedbrytningen kan dock endast ske med upplöst senapsgas, något som kan ta lång tid för den relativt olösliga substansen. Beroende på omgivande temperatur kan nedbrytning av senapsgas ta allt från veckor till år. Dessutom finns det varianter med olika tillsatser, till exempelvis trögflytande senapsgas som på grund av tillsatt förtjockningsmedel inte reagerar med havsvatten. Runt den förtjockade senapsgasen kan det även skapas en skorpa som tillsammans med sand och lera ytterligare försvårar nedbrytningen. Vid det inkapslade stadiet kan senapsgasen ligga bevarad under flera årtionden, utan att förlora potensen.

Förutom senapsgas tillverkade Tyskland under andra världskriget (HELCOM 1994) även stora kvantiteter av nervgasen tabun (N, N-dimetylfosforamidcyanidat). Tabun är ett av de farligaste kemiska stridsmedlen som finns där låga doser kan leda till död. I vatten är tabun dock lösligt och bryts ner till mindre toxiska substanser som på några timmar i sin tur bryts ned till harmlösa produkter.

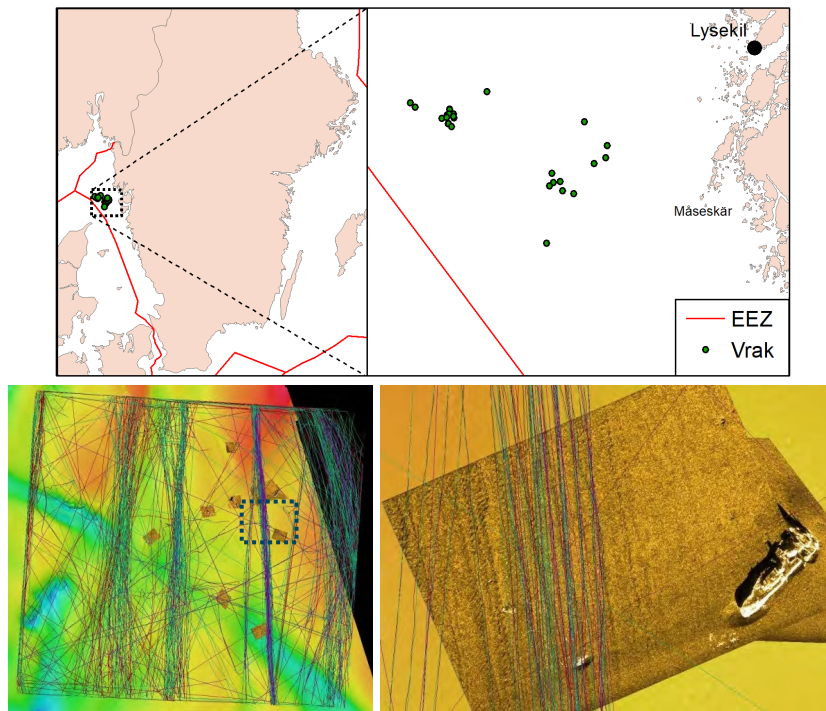
Andra CWA är Adamsit (10-kloro-5,10-dihydrofenarsazin), Clark I (difenylkloroarsin), Clark II (difenylcyanoarsin) samt arsinolja. Den senare är en blandning av Clark I, fenyldiklorarsin, trifenylarsin och arseniktriklorid. Arsinoljan tillsattes ofta till senapsgas för att sänka dess smältpunkt och göra det möjligt att använda den även vintertid (Sjöfartsverket 1992). Dessa CWA är även en källa till oorganisk arsenik.

Adamsit bryts ner väldigt långsamt då den i stort sett är olöslig i vatten. Densiteten är lägre än vatten och ämnet lägger sig därför på botten där det adsorberar till sedimentet. I och med detta antas spridningen från en källa vara långsam och att ämnet mest har en lokal påverkan (Tørnes m.fl 2002).

Clark I och Clark II är kemiska stridsmedel som orsakar näs- och halsirritation vid exponering. De reagerar långsamt med vatten och bryts ner genom oxidation. Risken är hög att Clark I och II och deras nedbrytningsprodukter finns kvar på havsbotten under lång tid och det finns därmed en fara att de ackumuleras i organismer (HELCOM 1994).

1.4 Undersökningsområde

På västkusten, ca 10 sjömil väster om Måseskär, Orust, ligger dumpningsområdet (Figur 1) som är aktuellt i denna undersökning. Området ligger innanför den svenska exklusiva ekonomiska zonen. Våren 1946 användes området för att sänka tyska örlogsfartyg. Huvuddelen av fartygen tros inte ha innehållit kemiska stridsmedel, men två av de större fartygen misstänks ha varit *Monte Pascoal* och *Schwabenland* (Tørnes m.fl. 2015, ej bekräftat) vilka tros varit lastade med ungefär 20 000 ton kemiska stridsmedel. Efter att området första uppmärksammades i och med Laurins arkivstudie 1991 så har området undersökts vid ett flertal tillfällen. Undersökningar av sedimentet i området har visat på förhöjda arsenikhalter och spår av nedbrytningsprodukter av senapsgas (Sjöfartsverket, 1992, 2015; Spiridonov och Zhamoida, 1999). Precisionen på vrakens positioner har sedan 90-talet förbättrats och exakta positioner på ett 30-tal vrak liggandes på 190-250 meters djup finns tillgängliga (Sjöfartsverket 1992, 2015). Spridningen av CWA och eller nedbrytningsprodukter från dessa är oklar men kan vara stor och även fortgå i dag när mer och mer ammunition rostar sönder. I området sker ett aktivt yrkesfiske som genomför trålning i direkt närhet till vraken (Figur 1). Hög densitet och inkapslingsprocesser hos till exempel senapsgas och Adamsit innebär att spridningen borde begränsas, men störning genom trålning riskerar att förvärra omfattningen. Trålning virvlar upp sedimentet i vattenmassan vilket ökar biotillgängligheten samt ökar spridningen av begrävda ämnen med bottenströmmar. Sedimentpartiklar kan vara fortsatt suspenderade i vattenmassan åtta timmar till flera dagar beroende på typ av sediment (Linders m.fl. 2018).



Figur 1. Översiktskarta över vrakområdet väster om Måseskär. Vrak karterade av Sjöfartsverket är markerade med gröna punkter. Nedre bilderna visar spårdata från fiskefartyg i dumpningsområdet (från Sjöfartsverket 2015) där den högra bilden avser spårdata i närheten av BAL149 (streckad ruta i bilden nere till höger).

1.5 Effekt på biota/Kemiska stridsmedel i biota

Effekterna av dumpade kemiska stridsmedel på biota är relativt okänt. Skada kan ske direkt vid kontakt med ämnena, men det kan också ske indirekta effekter när ämnena lagras i vävnad. Påverkan kan ske hos individen själv eller hos högre stående djur genom bioackumulation. Kemiska stridsmedel och dess nedbrytningsprodukter har dock en låg benägenhet att ackumuleras (Sanderson m.fl. 2007). Högst benägenhet bland de kemiska stridsmedlen och deras nedbrytningsprodukter har Clark I och Adamsit, även om de inte är signifikant bioackumulerande (Sanderson m.fl. 2007). Nedan beskrivs kortfattat några arter som har studerats tidigare inom andra studier.

1.5.1 Blåmussla

CHEMSEA-projektet undersökte 2012 effekten av kemiska stridsmedel på blåmusslor placerade i dumpningsområdet vid Bornholmsdjupet i Östersjön (CHEMSEA Findings 2014). Olika biomarkörer kontrollerades, bland annat lysosomal membranstabilitet (LMS). Blötdjur som blåmusslor är arter som regelbundet används som indikatorarter vid studier av ackumulering och biologiska effekter av olika typer av miljögifter. Ingen tydlig påverkan kunde observeras som effekt av förekomst av kemiska stridsmedel. Försämrade LMS sågs på musslor placerade inom dumpningsområdet vid 65 meters djup, men orsaken misstänks i stället vara den lägre syrgashalten som individerna utsattes för (CHEMSEA Findings 2014). Även

laboratoriestudier på effekterna på blåmusslor utsatta för kemiska stridsmedel i kontrollerad miljö har genomförts. Resultatet visade att påverkade blåmusslor bioackumulerade de oxiderade formerna av bland annat Clark I och Adamsit (Höher m.fl. 2019). Flera stresseffekter kunde också observeras bland utsatta individer, även vid låga koncentrationer av kemiska stridsmedel (Höher m.fl. 2019). Blåmusslor utsatta i vrakområdet vid tidigare studier visade på hög stress, men orsakerna till stressen kunde inte bestämmas (Ahlsén m.fl. 2018).

1.5.2 Havskräfta och nordhavsräka

Inga studier har genomförts angående effekter av kemiska stridsmedel på havskräfta och nordhavsräka. Tidigare analyser av fångster från det aktuella har dock visat på spår kemiska stridsmedel hos båda arterna.

1.5.3 Fisk

Fisk från industriellt arsenikförorenade bräck- och sötvatten har ofta förhöjda totalarsenikhalter. Det mesta av arseniken (90-95%) föreligger som organiskt bunden arsenik i form av både fett- och vattenlösliga föreningar (Norin och Vahter, 1983). De organiska föreningarna antas ackumuleras från lägre trofiska nivåer i form av biosyntetiserade organiska arsenikföreningar (Lunde, 1972). Detta antas eftersom makroalger, mikroalger och andra mikroorganismer men inte fisk har förmåga att biosyntetisera organiska arsenikföreningar. Ackumulation av arsenik hos samtlig fisk varierar med art, ålder, vattentemperatur och salthalt (NRCC, 1978). Oorganisk arsenik är en del av flera av de aktuella kemiska stridsmedlen. I sin oorganiska form är arseniken både mutagent och cancerogent och mycket toxisk, både för djur och människor (Sandersson m.fl. 2010).

Torsk

Inom CHEMSEA-projektet undersöktes även hälsostatusen hos torsk vid olika dumpningsområden inom Östersjön (CHEMSEA Findings 2014). Inga signifikanta skillnader i den sammanlagda hälsostatusen kunde dock ses mellan torsk fångad inom dumpningsområde jämfört med torsk fångad i referensområde. Däremot kunde skillnader ses vid jämförelse av enskilda parametrar och slutsatsen var att dessa möjligen kunde vara en effekt från exponering för kemiska stridsmedel (CHEMSEA Findings 2014). I en annan studie utförd 2017 fångades torsk vid ett dumpningsområde i Bornholmsdjupet med syfte att undersöka möjlig bioackumulering av kemiska stridsmedel och deras negativa effekter (Niemikoski m.fl. 2020). Bland infångad torsk detekterades spår av kemiska stridsmedel hos 14 % men biomarkörerna som undersöktes visade inte på stora skillnader mellan påverkade och opåverkade områden (Niemikoski m.fl. 2020). Vissa skillnader kunde dock observeras för biomarkörerna hos individer innehållande spår av kemiska stridsmedel jämfört med resterande individer (Niemikoski m.fl. 2020).

Pirål

Pirål från dumpningsområdet utanför Arendal undersöktes 2017 och 2018 och jämfördes med två referensområden 2 respektive 21 km från uppskattad källa. Området har tidigare visat på spår i sedimentet av flera kemiska stridsmedel samt deras nedbrytningsprodukter (Tørnes m.fl. 2002). Inga skillnader mellan områdena kunde observeras i leverprover (Straumer m.fl. 2020), men signifikanta skillnader syntes för biokemikaliska biomarkörer (Ahvo m.fl. 2020). Skillnaderna visar på negativa biologiska effekter hos pirålen som uppehåller sig nära det dumpade kemiska stridsmedlet (Ahvo m.fl. 2020).

1.6 Målarter

Målarterna för 2021 års undersökning är samma som vid tidigare undersökningar genomförda i området under åren 2016, 2017 och 2019 (Ahlsén m.fl. 2017, Ahlsén m.fl. 2018, Ahlsén m.fl. 2020). Arterna i fråga är pirål (*Myxine glutinosa*), havskräfta (*Nephrops norvegicus*) och nordhavsräka (*Pandalus borealis*) och beskrivs närmare nedan (Figur 2). Samtliga arter har ett levnadssätt och födoval som innebär att de löper hög risk att komma i kontakt med påverkade sediment. Utav dessa tre arter är havskräfta och nordhavsräka även av kommersiellt intresse som livsmedel.

1.6.1 Pirål

Pirål är en bottenlevande fisk som lever nergrävd i sedimentet och riskerar på så sätt att komma i kontakt med farliga ämnen i sedimentet. Födan är as eller andra organismer så som havsborstmaskar och kräftdjur vilka lokaliseras via luktsinnet. Pirålen är vanlig som föda för tumlare (SLU Artfakta 2021) men därutöver är det få djur som livnär sig på pirålen, förmodligen på grund av deras förmåga att producera stora mängder slem som kan fastna i gälarna på eventuella angripare.

1.6.2 Havskräfta

Havskräftan är en kräftdjursart som lever stationärt på lerbottnar i hålor och gångar ungefär 20–30 cm nere i sedimentet, gångarna lämnar den vid födosök och parning. Havskräftan livnär sig framför allt på havsborstmask, ormstjärnor och fisk. Arten har ett relativt svagt utvecklat avgiftningssystem (Rand 1995) vilket innebär att risken för höga halter av toxiska ämnen i vävnaden är större än för exempelvis med fisk. Det är en kommersiellt viktig art som fångas med trål alternativt burar.

1.6.3 Nordhavsräka

Nordhavsräkan är en kräftdjursart som uppehåller sig på mjuka ler- och gyttjebottnar på djup mellan 30-900 meter. Arten uppehåller sig nära botten men har också en dygnstyrd vertikal migration i vattenmassan. Födan består av mindre kräftdjur och maskar medan nordhavsräkan själv är en vanlig föda till fiskarter så som torsk, sej och pirål. Nordhavsräkan är en kommersiellt viktig art som fiskas med trål. Inom det aktuella området sker ett aktivt trålfiske efter bland annat räka.

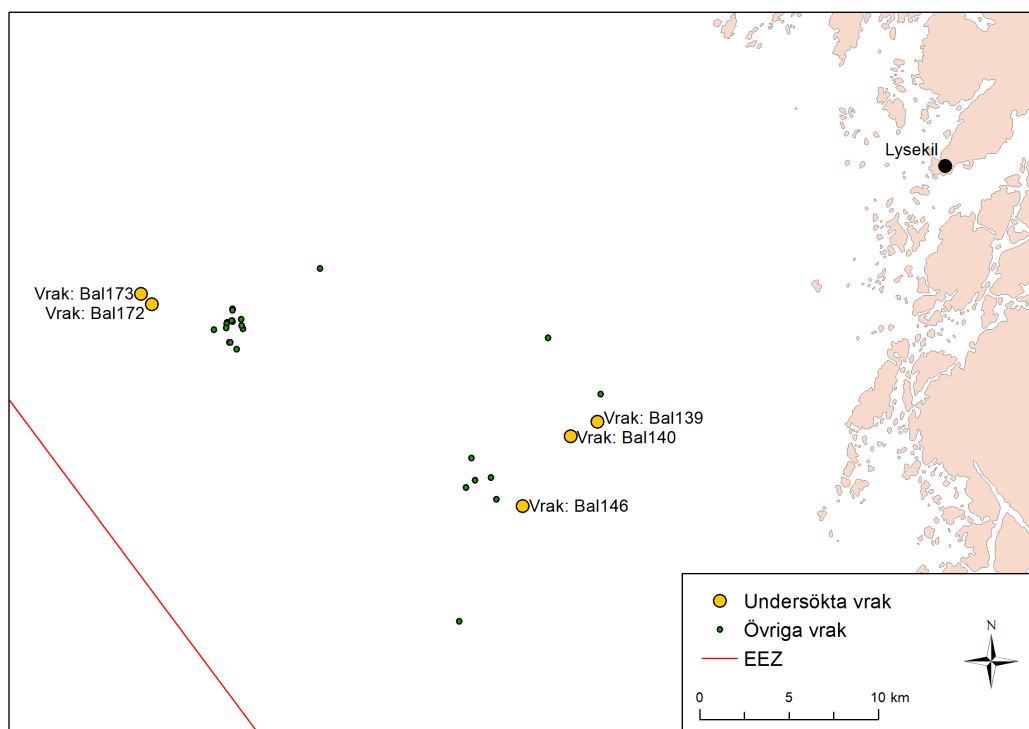


Figur 2. Undersökta målarter 2021. Havskräfta till vänster, nordhavsräka i mitten och pirål till höger.

2 Metodik

Provfiske samt sedimentprovtagning utfördes vid fem vrak (Bal139, Bal140, Bal146, Bal172 och Bal173) i vrakområdet väster om Måseskär 2021 (Figur 3).

Provtagningen har skett så nära vrakens kända position som möjligt, men på grund av riskerna med att fastna eller förlora redskap sker inget fiske direkt på vraken.



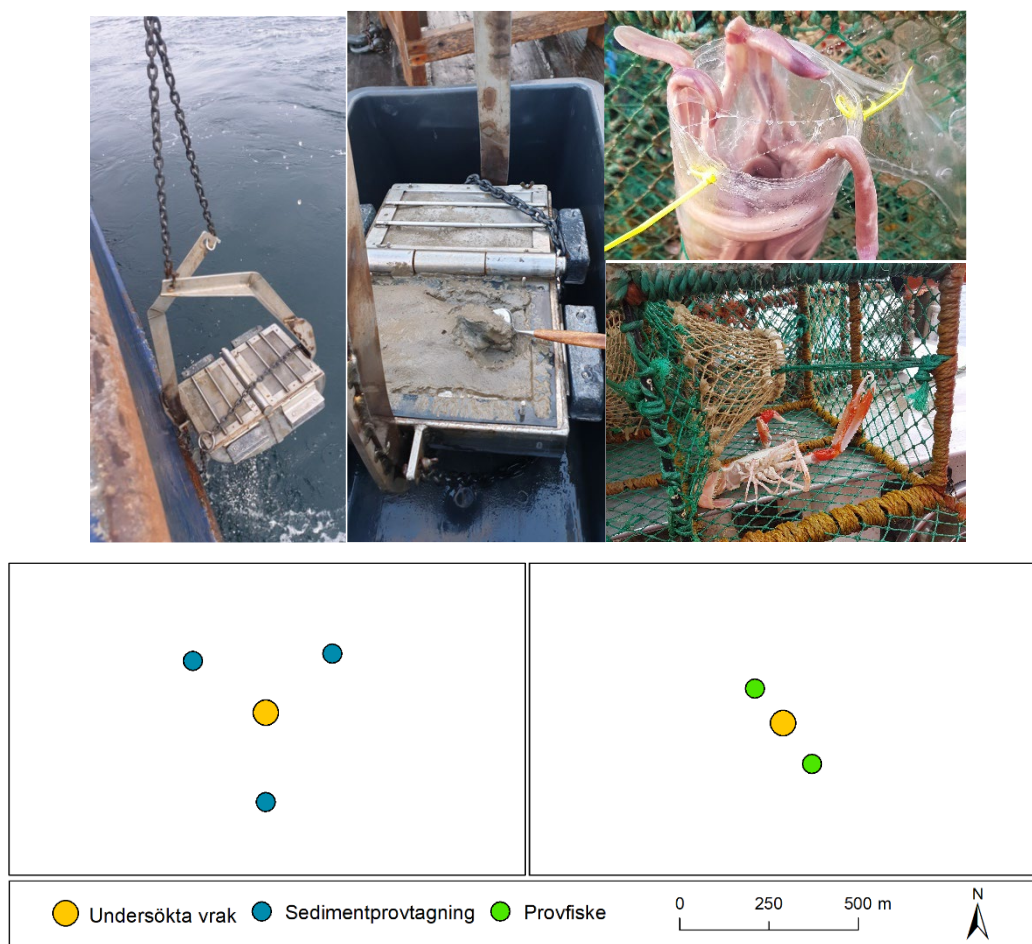
Figur 3. Karta över undersökta vrak 2021 (gula punkter) samt övriga vrak (gröna mindre punkter).

2.1 Provfiske

Fiske efter pirål, havskräfta och nordhavsräka utfördes genom passivt fiske med burar och fällor. Länkar med en uppsättning av sex kräftburar, två räkburar samt olika typer av pirålsfällor sattes vid de fem utpekade vraken. Vid varje vrak placerades en länk nordväst (nedströms) och en länk sydöst (uppströms) om vraket (Figur 4). Två fiskeansträngningar genomfördes vid varje station och fångsten från en position analyserades som ett samlingsprov per art och per station. Referensindivider av arterna pirål och nordhavsräka samlades in från centrala Gullmarsfjorden, medan referensindivider av havskräfta fångades strax väster om Orust.

2.2 Sedimentprovtagning

Provtagning av sediment utfördes från forskningsfartyget R/V Skagerak. Vid varje vrak provtogs tre positioner jämnt fördelade söder, nordväst och nordost om vraket på 200-250 meters avstånd (Figur 4). Sedimentprovtagningen utfördes med en bottenhuggare av typen Van Veen med öppningsbara luckor upptill som möjliggjorde att ytsedimentet (0-5 cm) kunde samla in från varje position. Sedimentet från respektive position paketerades i separata glasburkar och förvarades frysta i väntan på transport till laboratorium för kemisk analys. Inför analys homogeniserades varje sedimentprov och 50 g togs ut för vidare analys.



Figur 4. Översta bilderna visar provtagning av sediment respektive provfiske efter målarterna pirål, havskräfta och nordhavsräka. Den schematiska bilden visar placeringen av fiskeredskap och sedimentprovtagning i förhållande till undersökta vrak.

2.3 Analys

Analys av vävnadsprover och sediment utfördes av VERIFIN (Finnish Institute for Verification of the Chemical Weapons Convention vid Helsingfors Universitet).

Metodik som användes var bland annat LC-MS/MS (liquid chromatography-tandem mass spectrometric) och GC-MS/MS (gas chromatography-tandem mass spectrometric). Vilka kemiska substanser som skulle prioriteras för respektive mållart (vävnadsprover) och sediment valdes ut i samarbete med VERIFIN och FOI (Försvarets forskningsinstitut).

2.3.1 Analys av vävnad från mållarter

Analys av nedbrytningsprodukter av dumpade kemiska stridsmedel i organismer sker med semikvantitativ kemisk analys av målkemikalier. Kemiska stridsmedel som innehåller arsenik (t ex. Adamsit, Clark I och II) och trifenylarsin hydrolyseras och/eller oxideras i den marina miljön och bildar nedbrytningsprodukter och det är dessa ämnen som har analyserats i muskelvävnad från utvalda mållarter från dumpningsområdena, det vill säga:

- Nedbrytningsprodukt av Adamsit; 5,10-Dihydrophenarsazin-10-ol 10-oxid (2O).
- Nedbrytningsprodukt av Clark I/II; difenylarsinoxid (3O).
- Trifenylarsin (4)
- Nedbrytningsprodukt av trifenylarsin; trifenylarsinoxid (4O).

2.3.2 Analys av sediment

Analys av kemiska stridsmedel och deras nedbrytningsprodukter i sedimentet sker med kvantitativa kemiska analyser av aktuella kemiska stridsmedel. De kemiska ämnen som är aktuella för området och som har analyserats är:

- Senapsgas (H)
- Adamsit (DM)
- Clark I (DA)
- Trifenylarsin (TPA)
- α -kloracetofenon (CN)
- Lewisit I (L1) and II (L2)
- Tabun (GA)
- Komponenter av arsinolja, som innehåller TPA och fenyldiklorarsin (PDCA)
- Nedbrytningsprodukter av ovanstående ämnen analyserades också

För mer detaljerad beskrivning av analyserna se rapporten från VERIFIN i Bilaga A.

3 Resultat

Provfisket utfördes genom passivt fiske nordväst respektive sydost om varje vrak vid två tillfällen. Fångsterna per station, sammanslaget för båda ansträngningarna presenteras i Tabell 1 nedan. Även den totala fångsten för varje vrak presenteras. Antal fångade individer av målarterna varierar både inom provtagna vrak samt mellan olika vrak. Generella mönster syns dock för arter beroende på skillnader i djup mellan de olika vrakens position. Grundare liggande vrak så som BAL139, BAL140 och BAL146 har lägre fångster av nordhavsräka som i stället fångas till högre grad vid de djupt liggande vraken BAL172 och BAL173. Motsatt mönster gäller för pirål som är vanligare vid de grunt liggande vraken. Mönstren är väntade utifrån arternas levnadssätt och den tid på säsongen som provtagningen utfördes.

Resultatet från den kemiska analysen av vävnadsprover från fångade målarter samt sediment från området redovisas kort nedan samt utförligt i Bilaga A.

Tabell 1. Fångst vid provfisket 2021. Med "Per vrak" menas total fångst av en art för det vraket.

Vrak	Art	Nordväst	Sydost	Per vrak
BAL139	Pirål	7	1	8
BAL139	Havskräfta	5	10	15
BAL139	Nordhavsräka	0	0	0
BAL140	Pirål	10	0	10
BAL140	Havskräfta	1	1	2
BAL140	Nordhavsräka	1	0	1
BAL146	Pirål	0	2	2
BAL146	Havskräfta	2	0	2
BAL146	Nordhavsräka	1	0	1
BAL172	Pirål	8	0	8
BAL172	Havskräfta	2	1	3
BAL172	Nordhavsräka	14	9	23
BAL173	Pirål	0	0	0
BAL173	Havskräfta	0	2	2
BAL173	Nordhavsräka	8	15	23

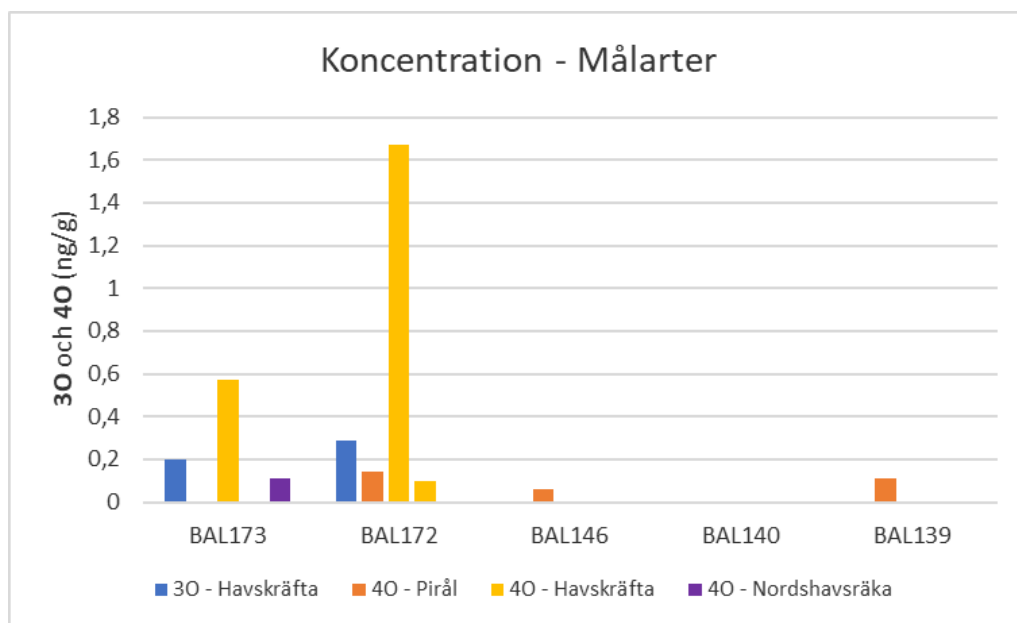
3.1 Målarter

Totalt analyserades 22 vävnadsprover från utvalda målarter, varav tre var referensprover. Proverna innehöll vävnad från enskilda individer eller samlingsprov från flera individer av samma art från samma position.

Utav de 19 proverna från vrakområdet som analyserades var det sju som innehöll kvantifierbara mängder av nedbrytningsprodukt av trifenylarsin (4O) och två som innehöll nedbrytningsprodukt av Clark I/II (3O) (Tabell 2 och Figur 5). Detektion av nedbrytningsprodukterna skedde på samtliga tre målarter. Av 19 prover från området så detekterades CWA i 37%. Vid fyra av de fem undersökta vraken detekterades CWA.

Tabell 2. Resultat från analys av målarter, N.D. (ej detekterad); ei. (enskild individ); sp. (samlingsprov).

Vrak	Art	3O (ng/g)	4O (ng/g)
BAL139 Sydost	Pirål ^{ei.}	N.D.	0,11
BAL146 Sydost	Pirål ^{sp.}	N.D.	0,06
BAL172 Nordväst	Pirål ^{sp}	N.D.	0,14
BAL172 Nordväst	Havskräfta ^{sp}	0,29	1,67
BAL172 Sydost	Havskräfta ^{ei}	N.D.	0,10
BAL173 Nordväst	Nordhavsräka ^{sp}	N.D.	0,11
BAL173 Sydost	Havskräfta ^{sp}	0,20	0,57



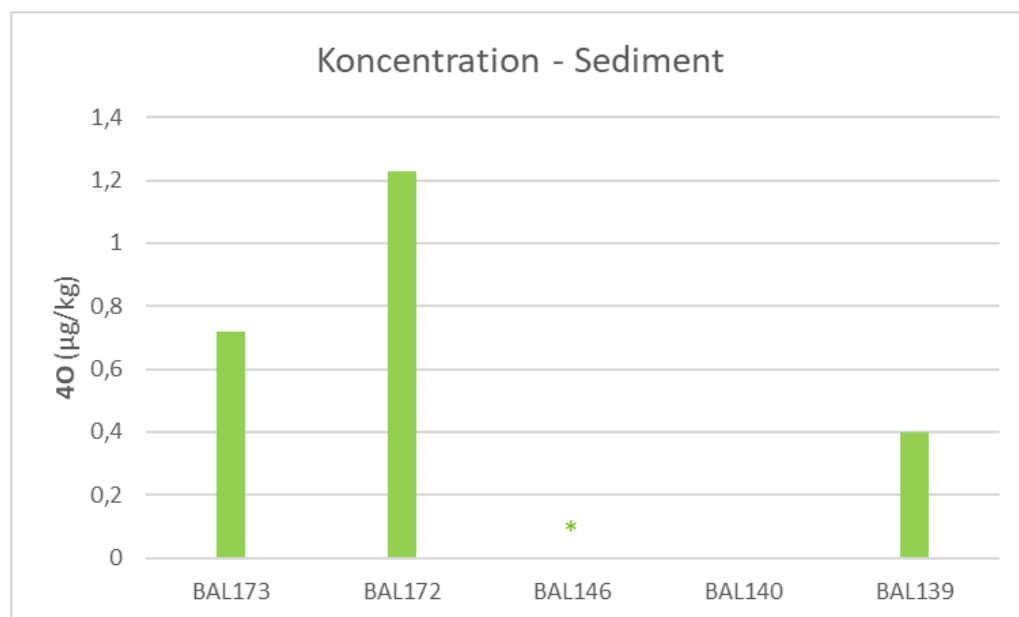
Figur 5. Koncentrationen av 3O (nedbrytningsprodukt av Clark I/II) och 4O (nedbrytningsprodukt av trifenylarsin) vid de olika vraken från vävnadsanalysen.

3.2 Sediment

Totalt analyserades 15 prover av sediment och av dessa var det tre som innehöll kvantifierbara mängder av nedbrytningsprodukt av trifenylarsin (4O) (Tabell 3 och Figur 6). Ett av proven innehöll även viss mängd trifenylarsin (4), men halten gick inte att kvantifiera. Inga referensprover behövde analyseras för sediment, vilket ger att CWA detekterades vid 27 % av provena. Vid fyra av de fem undersökta vraken detekterades CWA.

Tabell 3. Resultaten från analys av sedimentprovena, N.D. (ej detekterad); + (detektion, men ej kvantifierbar).

Vrak	4 (µg/kg)	4O (µg/kg)
BAL139 Syd	N.D.	0,40
BAL146 Nordost	+	N.D.
BAL172 Syd	N.D.	1,23
BAL173 Nordväst	N.D.	0,72

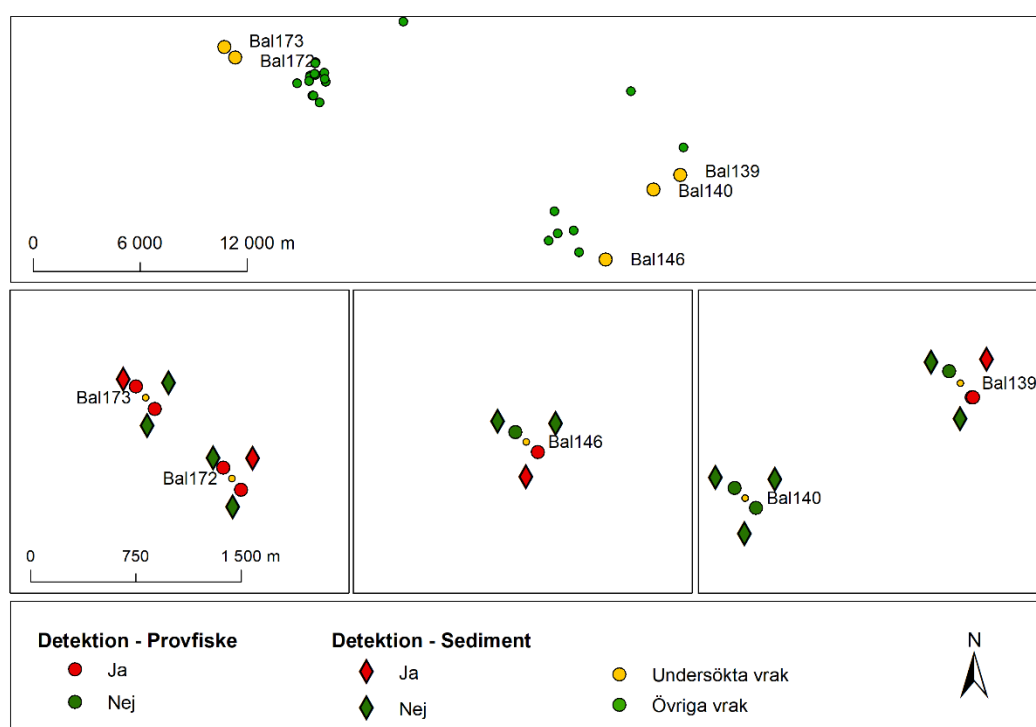


Figur 6. Koncentrationen av 4O (nedbrytningsprodukt av trifenylarsin) vid de olika vraken från sedimentprovtagningen. Grön stjärna symboliserar att 4O inte detekterades men att små men icke kvantifierbara koncentrationer av trifenylarsin (4) detekterades.

3.3 Utbredning av stridsmedel 2021

Vid fyra av de fem undersökta vraken detekterades spår av kemiska stridsmedel. Både nedströms och uppströms vrak BAL173 och BAL172 detekterades spår av kemiska stridsmedel i någon av de undersökta målarterna (Figur 7). Spår av kemiska stridsmedel sågs även uppströms BAL146 och BAL139 och då endast i pirål.

Vid samma fyra vrak detekterades även spår av kemiska stridsmedel i sedimentet. Vid BAL146 finns dock inget kvantitativt värde på koncentrationerna utan endast en närvaro kunde verifieras.



Figur 7. Detektion (röd markering) och ej detektion (grön markering) av kemiska stridsmedel vid de fem vraken från provfisket (punkter) och sedimentprovtagningen (romber).

4 Kemiska stridsmedel i vrakområdet

I området väster om Måseskär har 28 vrak hittats, men det har länge varit osäkert huruvida lasten innehållit kemiska stridsmedel (Sjöfartsverket 2015), detta trots att nedbrytningsprodukter av senapsgas (thiodiglykol) har påvisats i sedimentet vid tidiga undersökningar av området (Sjöfartsverket 1992, HELCOM 1994). Höga arsenikkoncentrationer uppmätta nedströms vraken tyder också på att någon form av arsenikkälla förekommer i området (Sjöfartsverket 2015). 2017 återfanns nedbrytningsprodukter av senapsgas (1,4-oxathiane) vid över hälften av utförda sedimentprovtagningar när interreg-projektet DAIMON undersökte vrakområdets yttre delar (Dahllöf m.fl. 2020). I den nu aktuella undersökningen (2021) upptäcktes nedbrytningsprodukt av trifenylylsin (4O), i tre av de 15 sedimentproverna samt ett prov med icke kvantifierbar halt av trifenylylsin (4).

Även i organismer från vrakområdet har nedbrytningsprodukter av kemiska stridsmedel påträffats. Vid provfisken genomförda 2016, 2017 och 2019 syntes en närvaro av nedbrytningsprodukten 3O från Clark I/II i vävnaden hos rödtunga, pirål, havskräfta samt nordhavsräka (Ahlsén m. fl. 2017, Ahlsén m. fl. 2018, Ahlsén m.fl. 2020). I den nu aktuella undersökningen (2021) hittades 3O i två vävnadsprover från havskräfta men även 4O, nedbrytningsprodukt av trifenylylsin, observerades i vävnadsprover från pirål, havskräfta och nordhavsräka. Spår av trifenylylsin (4) kunde även detekteras i ett av sedimentproverna.

Sammanfattningsvis så har i denna undersökning samt vid tidigare, spår av trifenylylsin (4 och 4O) och Clark I/II (3O) detekterats i sediment och utsedda målarter (Tabell 4). Clark I/II är ett CWA i sig som orsakar näs- och halsirritation, men tillsammans med 4 och 4O ingår Clark I/II som del av den blandning som utgör arsinolja. Arsinolja blandades i den tyska senapsgasen för att säkerställa att den kunde användas även vintertid. Funna nedbrytningsprodukter av senapsgas (Dahllöf m.fl. 2020) samt arsinolja i sedimenten tyder på att det finns kemiska stridsmedel i form av senapsgas i lasten på vrak som dumpades i området.

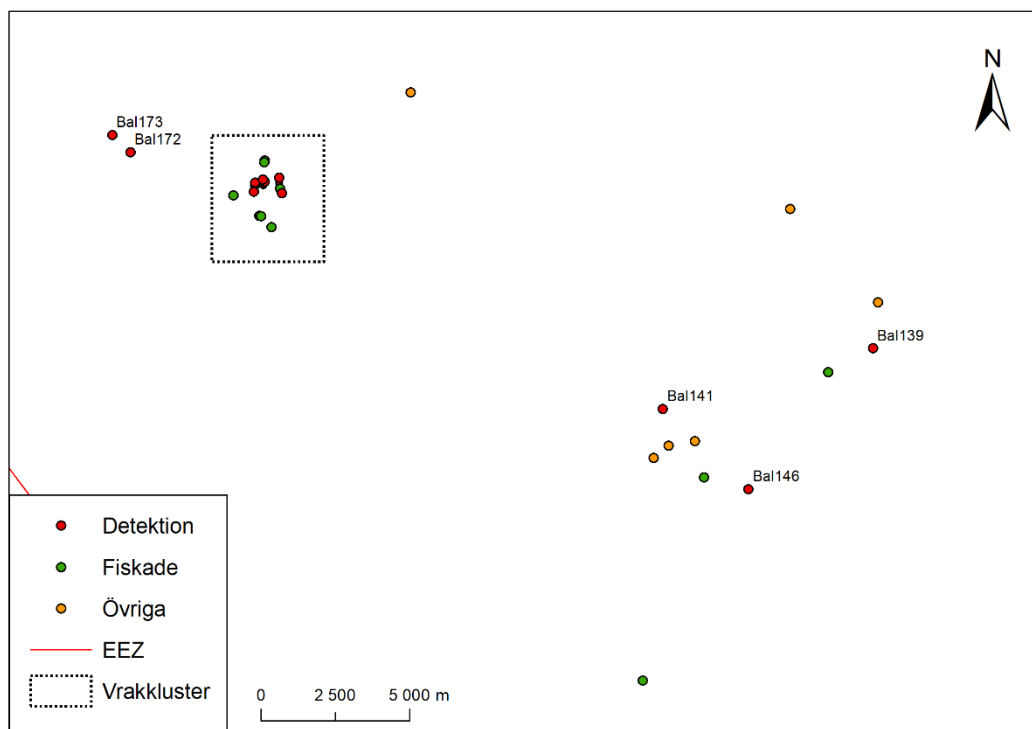
Tabell 4. Resultat från samtliga fyra undersökningar (Ahlsen m. fl. 2017; 2018; 2020 och 2022) inom vrakområdet väster och Måseskär.

År	Närmaste Vrak	Placering	Avstånd (m)	Art	30 (ng/g)	4 (ng/g)	40 (ng/g)
2016	BAL151	SV	150	Havskräfta	+		
2016	BAL149	Transekt	30-200	Rödtunga	+		
2016	BAL150, BAL151, BAL171	Transekt	25-180	Rödtunga	+		
2017	BAL153	SV	250	Nordhavsräka	+		
2017	BAL154	SO	100	Nordhavsräka	+		
2017	BAL152	O	150	Nordhavsräka	+		
	BAL150, BAL171	V	150				
2019	BAL141	NV	100	Pirål	+		
2021	BAL139	SO	100	Pirål			0,11
2021	BAL146	SO	100	Pirål			0,06
2021	BAL172	NV	100	Havskräfta	0,29		1,67
2021	BAL172	NV	100	Pirål			0,14
2021	BAL172	SO	100	Havskräfta			0,10
2021	BAL173	NV	100	Nordhavsräka			0,11
2021	BAL173	SO	100	Havskräfta	0,20		0,57
						4 (µg/kg)	40 (µg/kg)
2021	BAL139	S	200	Sediment			0,4
2021	BAL146	NO	200	Sediment		+	
2021	BAL172	S	200	Sediment			1,23
2021	BAL173	NV	200	Sediment			0,72

+ = detektion, men ej kvantifierbar

4.1 Utbredning av stridsmedel 2016 - 2021

Vrakområdet väster om Måseskär täcker en stor yta och vraken är ojämnt spridda inom området. Större delen av vrakområdet har undersökts gällande biota. De första provfiskeundersökningarna 2016 och 2017 fokuserade på den del av området där flera vrak var tätt liggande (Ahlsén m. fl. 2017, Ahlsén m. fl. 2018). Fiskepositionerna är därför inte tydligt kopplade till enskilda vrak, utan mer närliggande vissa kluster av vrak (streckad ruta, Figur 8). Garnfiske utfört 2016 innebar också sämre precision på var vissa påverkande individer fångats. De senare undersökningarna 2019 och 2021 fokuserade mer på enskilda vrak, med två fisker utförda ned- och uppströms utvalda vrak. År 2021 provtogs även sediment vid undersökta vrak. Det är endast sex vrak som inte direkt eller indirekt undersökts, varav fyra ligger inom 1000-2000 meter från vrak som undersökts. De övriga två vraken ligger längre ifrån tidigare undersökta vrak. Sammantaget får området anses vara relativt väl undersökt och CWA har detekterats i biota alternativt sediment vid mer än hälften av de undersökta vraken.



Figur 8. Detektion från samtliga fyra undersökningar inom vrakområdet väster och Måseskär. Namngivna vrak ingick i den nu aktuella undersökningen dvs 2021. "Detektion" och "Fiskade" är vrak som undersökts genom provfiske där resultatet antingen visade på spår av kemiska stridsmedel eller inte. "Övriga" är vrak vid vilket inget provfiske har genomförts.

5 Diskussion

Enorma mängder kemiska stridsmedel och ammunition dumpades i haven efter andra världskrigets slut. Uppskattningsvis behövdes nästan 300 000 ton göras av med som en del av nedrustningen av Tysklands krigsmaterial (HELCOM 1994). Hälften av det totala materialet dumpades utanför Arendal och Måseskär (HELCOM 1994). Mängderna som faktiskt hamnade i det aktuella området är dock oklart men den allmänna uppfattningen har varit att få av vraken anses innehålla last av kemiska stridsmedel (Waleij 2001). Skicket på vrak och ammunition vid vrakområdet är också oklart men bomber och patroner som legat på botten i ett dumpningsområde i Lilla Bält undersöktes tio år efter dumpning och visades vara sönderrostade och ha förlorat sitt innehåll (HELCOM 1994). I samma skick befann sig ammunition som hämtats upp från dumpningsområdet utanför Arendal. Både vid 1989 års undersökning (cirka 40 år efter dumpning) och 2002 års undersökning (cirka 50 år efter dumpning) var vissa bomber sönder och tomma på innehåll (Tørnes m.fl. 1989, Tørnes m.fl. 2002). Däremot påträffades under båda undersökningarna även ammunition som fortfarande var hel och utan några tecken på att ha förlorat sitt innehåll (Tørnes m.fl. 2002). Det är alltså möjligt att det även väster om Måseskär fortfarande finns ammunition i gott tillstånd med intakt innehåll, som nu cirka 76 år efter dumpningen läcker eller kan börja läcka ut kemiska stridsmedel i omgivningen. Sannolikheten för att ammunitionen korroderat i sådan grad att innehållet läcker ut ökar med tiden, och frigörelsen av kemiska stridsmedel förväntades nå sin absoluta topp under 2010-talet (Sanderson m.fl. 2008). Vraken i Arendalsområdet uppvisade dock fortfarande 2002 förvånansvärt gott skick (Tørnes m.fl. 2002) något som även Sjöfartsverket observerade i vrakområdet väster om Måseskär med generellt intakta vrak (Sjöfartsverket 2015).

Kemiska stridsmedel har detekterats vid flera biota- och sedimentprovtagningar. En koppling mellan biota och sedimentprover var tydlig under 2021 års undersökning, där detektion skett vid närliggande stationer. Även typ av påträffade ämnen stämde överens mellan sediment och biota, där nedbrytningsprodukt av trifenylarsin (40) registrerades både i sedimentprover och biota. Resultaten tyder på en direkt koppling mellan sedimentet och biota, något som även observerats vid dumpningsområdet i Gotlandsdjupet (Ahlsén m.fl. 2019). En viss koppling mellan koncentration av nedbrytningsprodukt av trifenylarsin i sediment och biota uppvisades även i denna undersökning. Högre koncentration i sediment vid exempelvis BAL172 uppvisade även högre koncentration i biota. Men det låga antalet prover och olika arter med eventuellt olika förutsättningar gör att generella slutsatser bör göras med försiktighet.

De arter som ansamlat nedbrytningsprodukter av kemiska stridsmedel har under 2021 års undersökning varit pirål, havskräfta och nordhavsräka. Vid tidigare undersökningar i området har det även registrerats detektion hos rödtunga (Ahlsén m.fl. 2017). Mekanismen bakom upptaget hos respektive art är okänt, men samtliga aktuella arter har ett levnadsätt som innebär nära kontakt med sedimentet och upptaget kan därför ha skett genom direktkontakt. En annan möjlighet är även att

upptaget skett via födan då samtliga målarter i viss mån livnär sig på till exempel havsborstmaskar som vanligtvis lever relativt stationärt i sedimenten. Nedbrytningsprodukterna registrerats hos arter som representerar i stort sett hela näringsväven (förutom de allra lägsta och de allra högsta stegen såsom till exempel havsborstmaskar samt marina däggdjur och fåglar. Sanderson m.fl. (2007) har visat genom modeller att de kemiska stridsmedlen i fråga, och deras nedbrytningsprodukter, har låg benägenhet att bioackumuleras. Däremot har andra studier (Ahlsén m.fl. 2019) detekterat nedbrytningsprodukter av kemiska stridsmedel (3O och 4O) hos torsk, en art som både uppehåller sig nära botten och i den fria vattenmassan, vilket pekar på möjligheten av ackumulering genom födan. Torsk och andra fiskarter från de högre nivåerna i näringsväven har undersökts i det aktuella området, men utan detektion av kemiska stridsmedel (Ahlsén m.fl. 2017).

Sanderson m. fl. (2008) har med hjälp av Bornholmsdjupet som modellområde utvärderat riskerna för fiskesamhället vid olika dumpningsområden. Utifrån strömmätningar, spridningsmodeller och de kemiska stridsmedlens egenskaper har de modellerat fram att de vattenvolymer som har hög risk är <4 m över sedimentet och <58 km nedströms. Modellen, som togs fram innan nedbrytningsprodukter av CWA hittades i marin biota, kom fram till att trifenylarsin har högst riskprofil bland de kemiska stridsmedel som finns närvarande i Bornholmsdjupet, följt av Adamsit, Clark I och Senapsgas. Nedbrytningsprodukter av dessa ämnen har i denna undersökning detekterats hos målarterna i form av 3O (nedbrytningsprodukt av Clark I/II) och 4O (nedbrytningsprodukt av trifenylarsin, komponent i Arsinolja). Angående de kemiska stridsmedlens hälsorisker för mänsklig konsumtion visar Sanderson m.fl. 2009 att störst hälsorisker visades för trifenylarsin, följt av senapsgas och arsenikinnehållande stridsmedel såsom Clark I och Adamsit (Sanderson m.fl. 2009). Trifenylarsin ansågs också medföra störst risk för effekter på fiskesamhället (Sanderson m.fl. 2008).

Det är svårt att dra slutsatser från endast *detektion* och *ej detektion* vad gäller den fullständiga utbredningen av kemiska stridsmedel inom vråkområdet. Tidigare undersökningar (2016, 2017 och 2019) har inte presenterat kvantitativa resultat, utan endast kunnat redovisa detektion bland viss biota. Vid samtliga vråk som fiskats (gröna och röda punkter i Figur 8) har biota analyserats, men endast vid de vråk markerade med rött detekterades spår av kemiska stridsmedel. Icke detektion utesluter dock inte att inga kemiska stridsmedel finns vid de grönmärkade vråken, då en relativt liten yta täcks och få individer testats (Figur 8). Däremot är de ämnen som analyserats obefintliga i opåverkad miljö, vilket innebär att detektion av ämnena garanterar närvaro av kemiska stridsmedel. Analys av biota kan ge ytterligare information jämfört med sedimentprover, i och med att biota kan vara mobil till mindre eller större grad. Samtliga arter som undersökts kan dock räknas som stationära arter. Även rödtunga av de storlekarna som fångats är vid 2-3 års ålder relativt stationär. Det innebär att resultaten från biotaundersökningen relativt väl kan kopplas till närliggande vråk. Vid vråken BAL139, Bal141, BAL146, BAL172, BAL173 och i de centrala delarna av vråklustret markerat med streckad ruta anses det därför finnas en eller flera odefinierade källor av kemiska stridsmedel (Figur 8).

Spår av kemiska stridsmedel bekräftas ytterligare utifrån resultatet av sedimentprovtagningen, där prover från BAL139, BAL146, BAL172 och BAL173 innehöll trifenylarsin samt dess nedbrytningsprodukt 4O (Tabell 2, Figur 6). Resultaten visade också på en relativt god koppling mellan biota och sediment. Samtliga sedimentprover i vilka kemiska stridsmedel detekterades låg i anslutning till positioner där detektion även registrerades i biota (Figur 6). En tvåfaldig konfirmation från olika analyser ger styrka till påståendet att kemiska stridsmedel är närvarande vid specifika vrak. Kopplingen mellan sediment och biota öppnar också upp möjligheten att detektion av kemiska stridsmedel i biota under tidigare undersökningar även inneburit att spår förekommit i sedimentet där provfisket genomfördes. Tidigare sedimentprovtagningar vid vilka små mängder senapsgas har detekterats har skett i mitten av vrakklustret på ungefär samma positioner som 2016 och 2017 års undersökningar (streckad ruta, Figur 7) (Sjöfartsverket 1992).

Unikt för 2021 års undersökning var, förutom att både biota och sediment provtogs, även att analysen gav kvantifierbara värden på detekterade ämnen. Det medför möjligheten att förutom att som tidigare beskriva den generella rumsliga fördelningen av kemiska stridsmedel (Figur 7), även till viss del beskriva koncentrationerna inom vrakområdet. Analys av sedimentproverna visade detektion av spår av kemiska stridsmedel vid fyra av de fem undersökta vraken, men ett av proverna gick inte att kvantifiera. De resterande tre proverna gav koncentrationer av nedbrytningsprodukter av trifenylarsin (4O). Resultatet visar på höga koncentrationer vid vraken BAL173 och BAL172 som uppvisar ungefär dubbelt och tre gånger så höga koncentrationer som det tredje vraket, BAL139 (Figur 8). Samma mönster syns för biotan, där högst koncentration av 4O återfinns vid vrak BAL173 och BAL172 (Figur 9). Viss försiktighet bör dock tas vid jämförelse mellan olika arter då upptagningsförmågan och hur exponerade de tenderar att vara under normala levnadsförhållanden kan skilja dem åt. Antalet arter där ämnena detekterats verkar dock vara högre vid BAL173 och BAL172, vilket pekar på att samtliga arter där varit mer utsatta.

6 Slutsats

- Vid vrakområdet har flera undersökningar visat på spår av kemiska stridsmedel både i sedimentet och hos biota fångad i direkt närhet till utpekade vrak. De aktuella kemiska stridsmedlen har samtliga varit typer som uppvisar låg spridning, vilket antyder att flera delar av det större vrakområdet är kontaminerat.
- Spår av nedbrytningsprodukter har i denna studie detekterats hos räka, havskräfta och pirål. I tidigare studier har även spår hittats i rödtunga från vrakområdet vilket innebär att ämnena förekommer i flera nivåer av näringsväven.
- Bland de fem vrak som undersöktes under 2021 års provfiske visade de yttre vraken, BAL172 och BAL173, på flest arter där ämnena detekterades samt högst koncentrationer av kemiska stridsmedel både i biota och sediment. De yttre delarna av vrakområdet med de högsta koncentrationerna kan därför ses som en källa till kemiska stridsmedel.

7 Referenser

- Ahlsten, J. Bergkvist, J. Magnusson, M. Börjesson, D. Granmo, Å. 2017. Pilotundersökning av biota i anslutning till dumpade fartyg med kemisk ammunition. Havs- och vattenmyndigheten 2017:03.
- Ahlsten, J. Bergkvist, J. Magnusson, M. Granmo, Å. 2018. Undersökning av biota i anslutning till dumpade fartyg med kemisk ammunition. Havs- och vattenmyndigheten 2018:21
- Ahlsten, J. Bergkvist, J. Granmo, Å. 2020. Undersökning av biota i anslutning till dumpningsområden av kemisk ammunition på väst- och östkusten 2019. Havs- och vattenmyndigheten 2020:xx
- Ahvo, A., Lehtonen, K.K., Lastumäki, A., Straumer, K., Kraugerud, M., Feist, S.W., Lang, T., Tørnes, T. 2020. The use of Atlantic hagfish (*Myxine glutinosa*) as a bioindicator species for studies on effects of dumped chemical warfare agents in the Skagerrak. 2. Biochemical biomarkers. *Marine Environmental Research* 162:105097
- CHEMSEA FINDINGS. 2014. Results from the Chemsea project - Chemical Munitions Search And Assessment. CHEMSEA
- Dahllof I, Lindgren JF, Paka V, Hasselov I-M, Tengberg A, Niemikoski H, Kotwicki L, Vanninen P 2020. Skagerrak dump site, concentrations of chemical warfare agents and environmental effects. In prep.
- HELCOM. 1994. Report on chemical munitions dumped in the baltic sea. HELCOM CHEMU
- Höher, N., Turja, R., Brenner, M., Rattfelt Nyholm, J., Östin, A., Leffler, P., Butrimavičienė, J., Baršienė, Halme, M., Karjalainen, M., Niemikoski, H., Vanninen, P., Broeg, K., Lehtonen, K.K., Berglund, R. 2019. Toxic effects of chemical warfare agent mixtures on the mussel *Mytilus trossulus* in the Baltic Sea: A laboratory exposure study. *Marine Environmental Research* 145:112-122.
- Laurin, F. 1991. Scandinavia's underwater time bomb. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 47:11-15.
- Linders, T., Nilsson, P., Wikström, A., Sköld, M. 2018. Distribution and fate of trawling-induced suspension of sediments in a marine protected area. *ICES Journal of Marine Science*, Volume 75, Issue 2, s. 785–795.
- Lunde, G. 1972. The absorption and metabolism of arsenic in fish. *Reports on Technological Research Concerning Norwegian Fish Industry* 5, 12 1.
- Niemikoski, H., Straumer, K., Ahvo, A., Turja, R., Brenner, M., Rautanen, T., Lang, T., Lehtonen, K.K., Vanninen, P. 2020. Detection of chemical warfare agent related phenylarsenic compounds and multibiomarker responses in cod (*Gadus morhua*) from munition dumpsites. *Marine Environmental Research* 162:105160
- NRCC 15391 (1978). Effects of arsenic in the Canadian environment. National Research Council of Canada.
- Norin, H. Och M. Vahter. 1983. Organiska arsenikföreningar i fisk.- jämförelse av organiska arsenikföreningar i oexponerad fisk och fisk som exponerats för oorganisk arsenik. Statens Naturvårdsverk. Kontraktsnr: 5311061-5.
- Rand, G.M. 1995. *Fundamentals of Aquatic Toxicology. Effects, Environmental Fate, and Risk Assessment*. Taylor & Francis. Washington D.C. second Edition. 1125 p.
- Sanderson, H., Fauser, P., Thomsen, M., Sørensen, P.B. 2007. PBT screening profile of chemical warfare agents (CWAs). *Journal of Hazardous Materials*, 148:210-215.

- Sanderson, H., Fauser, P., Thomsen, M., Sørensen, P.B. 2008. Screening level fish community risk assessment of chemical warfare agents in the Baltic Sea. *Journal of Hazardous Materials*, 154:846-857.
- Sanderson, H., Fauser, P., Thomsen, M., Sørensen, P.B. 2009. Human health risk screening due to consumption of fish contaminated with chemical warfare agents in the Baltic Sea. *Journal of Hazardous Materials*, 162:416-422.
- Sanderson, H., Fauser, P., Thomsen, M., Vanninen, P., Söderström, M., Savin, Y., Khalikov, I., Hirvonen, A., Niiranen, S., Missiaen, T., Gress, A., Borodin, P., Medvedeva, N., Polyak, Y., Paka, V., Zhurbas, V., Feller, P. 2010. Environmental Hazards of Sea-Dumped Chemical Weapons. *Environmental Science and Technology* feature. 44:4389-4394.
- Sjöfartsverket. 1992. Rapport om kartläggning av förekomst av dumpade kemiska stridsmedel på den svenska delen av kontinentalsockeln. Serie S 210-36.
- Sjöfartsverket. 2015. Miljörisker sjunkna vrak II – Undersökningsmetoder och miljöaspekter. Dnr. 1399-14-01942-15.
- SLU Artdatabanken 2021. Pirål. <https://artfakta.se/artbestamning/taxon/Myxine%20glutinosa-206192> (hämtad 2021-11-25).
- Spiridonov, M.A., Zhamoida, V.A. 1999. Preliminary report of the results of MEP-98 cruise investigations of environmental conditions within the dumping area of the German chemical weapons in the southern Skagerrack (Swedish zone). All-Russia Geological Institute and Atlantic branch of Institute of oceanology, Russian Academy of Science, Moscow.
- Straumer, K., Kraugerud, M., Feist, S.W., Ahvo, A., Lehtonen, K., Lastumäki, A., Ljønes, M., Tørnes, J.A., Lang, T. 2020. The use of Atlantic hagfish (*Myxine glutinosa*) as a bioindicator species for studies on effects of dumped chemical warfare agents in the Skagerrak. 1: Liver histopathology, *Marine Environmental Research*
- Tørnes, J.A., Blanch, J.H., Wedervang, T.I., Andersen, A.G., Opstad, A.M. 1989: Undersøkelse av skipsvrak inneholdende kjemisk ammunisjon senket i norske farvann etter annen verdenskrig (Investigation of ship wrecks containing chemical ammunition sunk in Norwegian waters after World War II), FFI/RAPPORT-89/6007, Forsvarets forskningsinstitutt.
- Tørnes, J.A., Voie, Ø.A., Ljønes, M., Opstad, A.M., Bjerkeseeth, L.H., Hussain, F. 2002. Investigation and risk assessment of ships loaded with chemical ammunition scuttled in Skagerrak.
- Tørnes, J.A., Voie, Ø.A., Mariussen, E., Lågstad, P. Kjemisk ammunisjon senket utenfor norskekysten etter andre verdenskrig – hva er senket og hvilke effekter har dette på marine organismer? Forsvarets forskningsinstitutt (FFI). FFI-rapport 2015/00925
- Waleij, A. 2001. Dumpade C-stridsmedel i Skagerrak och Östersjön en uppdatering. Totalförsvarets Forskningsinstitut – FOI. FOI-R—0148--SE

Bilaga A:

VERIFINs rapport.

Provfiske väster om Måseskär i anslutning till vrak med dumpade kemiska stridsmedel

Rapport – 2022:10

Vi arbetar för levande hav och vatten

Havs- och vattenmyndigheten, HaV, är en statlig miljömyndighet. Vi arbetar för att lösa viktiga miljöproblem och skapa en hållbar förvaltning av hav, sjöar och vattendrag.

Vi tar ansvar för att hav och sötvatten nyttjas men inte överutnyttjas. Vi utgår från ekosystemens och människans behov nu och i framtiden. Detta gör vi genom att samla kunskap, planera och fatta beslut om insatser för en bättre miljö. För att nå framgång samverkar och förankrar vi vårt arbete med alla berörda, nationellt såväl som internationellt.

**Havs
och Vatten
myndigheten**