

Status for viden om dumpet ammunition/krigsgas fra i Østersøen

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 20/12-2019

Hans Sanderson og Patrik Fauser

Institut for Miljøvidenskab

Rekvirent: Miljøstyrelsen

Antal sider: 19

Faglig kommentering:
Pia Lassen
Kvalitetssikring, centret:
Susanne Boutrup



AARHUS
UNIVERSITET

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tel.: +45 8715 0000
E-mail: dce@au.dk
<http://dce.au.dk>

Indhold

1	Forord	3
2	Formål og baggrund	4
3	Resumé af ny viden 2017-2019	5
3.1	MODUM projektet	5
3.2	DAIMON project	6
3.3	NordStream 2	7
4	Konklusioner og anbefalinger 2019	9
5	Appendiks 1: Videns status 2017	10

1 Forord

Nærværende status for viden om dumpet ammunition/krigsgas er udarbejdet inden for rammeaftalen mellem Miljø- og Fødevareministeriet og Aarhus Universitet om forskningsbaseret myndighedsbetjening.

Miljøstyrelsen har haft et udkast til notatet til kommentering. Kommentarerne og håndteringen heraf kan findes [her](#).

2 Formål og baggrund

Formålet med dette notat er, at bygge videre på vidensnotatet fra 2017 (se appendiks 1). Vi vil give en kort status for den opsamlede viden, fra 2017 og frem til udgangen af 2019, der omhandler ammunition/krigsgasser (CWA), som under 2. verdenskrig blev dumpet i området øst for Bornholm, samt deres nedbrydningsprodukter (metabolitter). Viden og status for dumpet kemisk ammunition er relevant i forhold til opnåelse af god miljøtilstand under Danmarks Havstrategi. I havstrategien er den geografiske udbredelse og miljøpåvirkninger forbundet med dumpet kemisk ammunition blandt de vigtigste 29 presfaktorer, der falder ind under analysen af kumulative menneskelige påvirkninger af de marine økosystemer. En søgning i SciFinder og Google Scholar på ordene: "Chemical weapons; Baltic Sea" fra 2017- til nu returnerer 8 hits hvoraf 3 er relevante i dette notat. Ud over denne analyse undersøgte vi også publikationer fra kendte relevant projekter og deres deltagere.

Analysen forholder sig til den internationale peer-reviewed faglige viden og litteratur, som har dannet grundlag for fremtidige reguleringer. Artikler kommer typisk fra forskningsprojekter, hvor vi også henviser til hjemmesider for disse, hvor dette er relevant. Vi vil beskrive projekternes primære resultater angående miljøgiftighed og -risici. Notatet vil opdatere den status, der blev givet i 2017, bl.a. mht. om der vurderes at være belæg for at ændre den nuværende danske og internationale holdning til risikovurdering og risikohåndtering af den dumpede ammunition i forhold til miljø og den nuværende praksis, i Østersøen.

Kort fortalt omhandler notatet forekomst af CWA og metabolitter i dumpningsområderne, samt den risiko disse udgør for havmiljøet med særligt fokus på fiskesamfundet og opnåelse af god miljøtilstand under Danmarks Havstrategi. Dette notat tager bl.a. udgangspunkt i 2017 notatet (appendiks 1).

3 Resumé af ny viden 2017-2019

3.1 MODUM-projektet

NATO Science for Peace and Security projektet Towards the Monitoring of Dumped Munitions Threat (MODUM) havde til formål, at undersøge de miljø- og sikkerhedsmæssige udfordringer skabt af de historiske CWA dumpinger. Data genereret i projekterne MODUM, CHEMSEA, MERCW og Nord-Stream 1, der beskriver forekomst, giftighed og effekter af CWA for området øst for Bornholm, blev samlet i en semi-kvantitativ *weight-of-evidence* miljørisikoanalyse af dumpet CWA. Grunden til at vi starter her er, at i 2017 kunne vi rapportere konklusionerne, men i 2019 kan vi henvise direkte til den bog, som projektet udgav i 2018¹ i NATO series, og som indeholder alle resultaterne af projektet. Vi fokuserer især på de to kapitler: kap 5 (Storgaard et al., 2018²) omkring giftighed, og kap. 8 omkring risici (Fauser et al., 2018).

Storgaard et al. (2018²) dokumenterede *state-of-the-science* mht. giftighed af CWA-stoffer og deres primære metabolitter, med α -chlororacetophenone (EC₅₀ = 11,2 $\mu\text{g/L}$) som den mest giftige i en MicroTox screening. Der var fokus på nedbrydningsprodukter af sennepsgas, som for nyligt er fundet i sedimentet i dumpingsområdet (se kapitel 4 i NATO series¹). De fandt en NO-EC_{overlevelse} (14-dage zebrafisk test) for sennepsgas nedbrydningsproduktet 1,4,5-oxadithiepane på >1533 $\mu\text{g/L}$. Storgaard et al. undersøgte også andre subletale effekter af stofferne og fandt, at 1,4,5-oxadithiepane påvirkede zebrafisks svømmeadfærd ned til 40,3 (± 2.9 SD) $\mu\text{g/L}$. Endvidere undersøgte projektet cocktaileffekter ved CWA og fandt, at stofferne har additiv effekt, samt at triphenylarsine og dets oxidationsprodukt havde hormonforstyrrende effekter. Endelig beskrev Storgaard et al. de toksikogenomiske effekter af CWAerne i zebrafisk og fandt, at stoffer (PDCAox og CAP) havde receptor- og gen-interaktioner. PDCAox interagerer med HMOX1 genet, som kan forårsage effekter og sygdomme relaterede til metabolisme, nervesystemet og hud. Der er på baggrund af data fra Storgaard et al. stadig et vidensbehov angående kroniske effekter af CWA og deres metabolitter ved miljømæssigt relevante koncentrationer.

I kapitel 6 i MODUM-bogen (2018) konkluderer Lang et al., at de forskelle og effekter de observerer på fisk fra dumpsites i Østersøen ikke har en direkte kausalitet med forekomst af CWA, men at miljøet generelt er stressende for

¹ Beldowski, J., Been, R., Turmus, E.K. (Eds.) (2018). Towards the Monitoring of Dumped Munitions Threat (MODUM), A Study of Chemical Munitions Dumpsites in the Baltic Sea. NATO Science for Peace and Security Series - C:

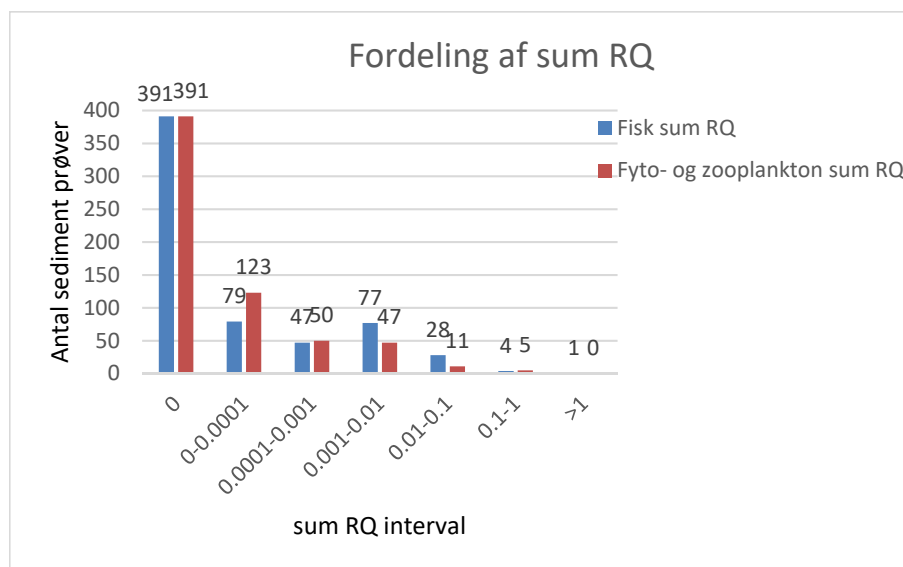
Environmental Security. Springer - Published in Cooperation with NATO Emerging Security Challenges Division. ISBN 978-94-024-1161-4.

² Storgaard MS., Christensen I., Sanderson H. (2018). Environmental toxicity of CWAs and their metabolites. Chapter 5 pages 105-129 in: Beldowski, J., Been, R., Turmus, E.K. (Eds.) (2018). Towards the Monitoring of Dumped Munitions Threat (MODUM), A Study of Chemical Munitions Dumpsites in the Baltic Sea. NATO Science for Peace and Security Series - C: Environmental Security. Springer - Published in Cooperation with NATO Emerging Security Challenges Division. ISBN 978-94-024-1161-4.

fisk på disse steder f.eks. pga. lave iltkoncentrationer, samt at CWA og andre miljøskadelige stoffer tilsammen resulterer i de varierende observationer.

Den primære beskrivende parameter i *weight-of-evidence*-analysen er risikoefficienten; RQ = forekomst af stoffet divideret med stoffets giftighed. Ud af de 627 sedimentprøver der indgik i MODUM-projektet, var der kun én prøve med sum RQ større end 1 (1.45 fundet for fisk i primær dumpningsområdet ved Bornholm). I figur 1 ses det, at knap to ud af tre sedimentprøver (391 ud af 627) ikke havde forekomst af moderstoffer eller metabolitter. Fordelingen af sum RQ er tilnærmelsesvis ens for fisk og for fyto- og zooplankton, hvor forskellene skyldes forskellige værdier for giftighed afhængig af art.

Figur 1. Antal sedimentprøver i sum RQ-intervaller, der angiver summen af RQ for alle stoffer, målt i en sedimentprøve. Bemærk, at der ikke er anvendt sikkerhedsfaktorer for giftigheds-værdierne.



I MERCW og Nordstream-projekterne havde trichloroarsine i fisk en detektionsfrekvens på 1,4%, den højeste RQ (0,84) og middel RQ (0.20) i primær dumpningsområdet ved Bornholm. Samme område havde den højeste RQ (0.48) for phenylarsonic acid, der som det eneste stof blev fundet i alle projekter. En lewisite metabolit (2-chlorovinylarsonic acid) havde den højeste RQ (0.28) for fyto- og zooplankton og blev målt i Gdansk-bugten i CHEMSEA projektet. I primær dumpningsområdet ved Bornholm havde Clark I den højeste RQ (0.17) for fyto- og zooplankton, målt i MERCW projektet.

3.2 DAIMON-projektet

DAIMON-projektet er kort beskrevet i 2017 notatet (Appendiks 1). Det er en opfølgning til CHEMSEA-projektet og ledes af IOPAN instituttet i Polen³. Der ligger en del materiale på hjemmesiden omkring beslutningsstøtte og risikanalyser, hvor hovedparten af materialet ikke er udgivet i peer-reviewed publikationer og derfor ikke behandles videre i denne rapport.

Höher et al (2019)⁴ påviste i laboratorieforsøg, at arseno-CWA oxidationsprodukter samt CAP akkumuleres i blåmuslinger, samt at geno- og cytotoxiske

³ DAIMON: <https://www.daimonproject.com/>

⁴ Höher et al 2019: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014111361830669X>

effekter kunne bestemmes. Eksponeringskoncentrationerne varierede fra under 1 til 11,8 µg/L. Det er ikke klart, hvad disse fund betyder for muslingerne, da der ikke var en tydelig dosis-respons.

Valskiene et al (2018)⁵ viste på baggrund af 739 fisk fanget mellem 2009 og 2017 fra 50 forskellige stationer i Gdansk bugten, at der var en stigning i hyppigheden af geno- og cytotoksiske effekter i fiskene i relation til, hvor de er fanget og afstanden til, hvor der er dumpet konventionelle og kemiske våben.

En anden relevant publikation, som også er omtalt i 2017-notatet, er Czub et al. (2018⁶), som nu er udgivet hos *Science of the Total Environment*. Det blev her vist, at det ikke er muligt at drage nogen kausale forbindelser mellem CWA-niveauer og påvirkning af fauna i et givet område da udsving i iltniveauerne mellem stationerne er den primære årsag til de observerede forskelle i benthos.

Den samme undersøgelse med Czub i spidsen har undersøgt den kroniske giftighed (OECD 202) af en række arseno-CWA stoffer overfor dafnier. De kunne påvise meget store forskelle i giftighed fra NOECs under 0,1 µg/L for PDCA til 99,547 µg/L for PDCAox. Deres artikel er pt under review og forventes udgivet i 2020.

I samarbejde med partnerne i DAIMON planlægger Aarhus Universitet i 2020 at samle alle sediment måledata (810 sediment prøver i alt) fra de nævnte projekter i en samlet analyse af forekomst og risiko. Vi vil anvende en transportmodel for Østersøen, udviklet af IOPAN i DAIMON-projektet, til at simulere spredningen af opløst og partikelbundet CWA og metabolitter i scenarier med i) kontinuerlig udledning af stoffer i målepunkter og ii) momentan udledning af stoffer i målepunkter. I modellen indgår de omtalte giftighedsdata, samt indsamlede parametre for binding (sorption) til partikulært sediment materiale og nedbrydning i den opløste fase. Målte koncentrationer i sedimentet vil blive omregnet til koncentrationer i den opløste fase ud fra steady-state antagelser mellem koncentrationer i sediment og opløst i porevand. Sidstnævnte antages lig med den opløste koncentration umiddelbart over sedimentet, som vil være tilgængelig for fisk, samt fyto- og zooplankton. Denne analyse vil være den mest dækkende kortlægning af forekomst af krigsgasser i Østersøen og risici i forhold til det marine miljø til dato. Resultaterne tænkes udgivet i et peer-reviewed tidsskrift, f.eks. *Marine Pollution Bulletin* i løbet af 2020.

3.3 NordStream 2

I 2018 lavede DCE for Rambøll en risikoanalyse af frigivne CWA stoffer som følge af sedimentforstyrrelser ved rørledningsarbejdet ifm. NordStream 2. Analysen indgår i VVM redegørelsen. I 2019 udgav DCE en videnskabelig rapport (Sanderson and Fauser 2019)⁷, der opsummerer dette arbejde. Rapporten analyserede en ruteføring nord om Bornholm, der følger de metoder anvendt i tidligere analyser af NordStream rørledningsarbejder. To stoffer

⁵ Valskiene et al 2018: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X18303308>

⁶ Czub M., Kotwicki L., Lang T., Sanderson H., Klusek Z., Grabowski M., Szubska M., Jakacki J., Andrzejewski J., Rak D., Beldowski J. (2018). Deep sea habitats in the chemical warfare dumping areas of the Baltic Sea. *Sci Tot Env*, 616-617, 1485-1497.

⁷ Scientific Report form DCE, NordStream 2 CWA Marine Risk Screening, DCE rapport 301 (2019): <https://dce2.au.dk/pub/SR301.pdf>

blev fundet: 1,2,5 trithipane, et sennepsgasnedbrydningsprodukt, samt bis(2-chlorovinyl)arsinic acid, et nedbrydningsprodukt af lewisite. Vi benyttede følgende giftighedsværdier for 1-oxa-4,5-dithiepane, som er et sennepsgasnedbrydningsprodukt i samme kategori som 1,2,5 trithipane: *Allivio fischeri* NOEC = 2,2 mg/L; kronisk algæ 96t = 8,41 mg/L; *Daphnia magna* (kronisk 21 d) = 0,825 mg/L; samt zebrafisk (kronisk 14 d) = 1,5 mg/L. For *D. magna* værdien benyttede vi en usikkerhedsfaktor på 500 (i henhold til TGD 2003⁸) og fandt en Predicted No observed Effect Concentration (PNEC) = 0,00165 mg/L. PNEC for bis(2-chlorovinyl)arsinic acid var 0,29 mg/L. Risikokvotienterne på den tilføjede risiko som følge af sedimentforstyrrelse indikerer lav akut CWA risiko overfor fisk.

⁸ Technical Guidance Document , ECHA (2003) https://echa.europa.eu › documents › tgdpart1_2ed.pdf

4 Konklusioner og anbefalinger 2019

Set i lyset af den publicerede forskning fra perioden 2017-2019 vurderes de overordnede konklusioner i HELCOM MUNI rapporten fra 2013⁹ angående opfattelsen og håndteringen af CWA fortsat at være gældende. Fortsat deltagelse i HELCOM-arbejde på dette område fra dansk side anses for vigtigt og DCE kan bidrage til HELCOM MUNI arbejdet i forbindelse med rådgivning af potentielle effekter af dumpede giftgasser med henblik på sikring af god miljøtilstand under havstrategidirektivet.

Blandt de syv anbefalinger, der blev givet i notatet fra 2017 (Appendiks 1) angående eksponeringsforståelse, arbejdes der på den første: En opdateret desk-top risikoscreening af CWA øst for Bornholm og prioritering af de CWA, der skal undersøges nærmere, jf. ovenfor under DAIMON (kap. 3.2).

Blandt de fire anbefalinger angående giftigheds- og risikoforståelse, arbejdes der på den første med en opdatering af giftighedsdata (jf. Czub ovenfor), samt anbefalingen omkring forbedret analyse af geno- og cytotoxiske effekter. Der er endnu ikke publiceret konklusive og pålidelige artikler i den internationale peer-reviewed litteratur på disse to emner. Resultatet af disse to aktiviteter kan potentielt justere den overordnede konklusion mht. risiko og håndtering, hvis effektkoncentrationerne på baggrund af kroniske og subletale end-points viser sig at være markant lavere end hidtil benyttet.

Status for de øvrige muligheder for at forbedre vidensgrundlaget i emnet er uændrede. Der er en række foreslåede tilgange og værktøjer på DAIMON's hjemmeside, men disse har endnu ikke gennemgået peer-review og er derfor endnu ikke videnskabeligt validerede.

Der er en stigende forskningsmæssig interesse og miljømæssig bekymring angående dumpede konventionelle våben fx i Nordsøen hvor der ligger store mængder¹⁰. Arbejdet med de konventionelle våben i Nordsøen foretages fx via OSPAR arbejdet og DCE kan bidrage til dette arbejde fremadrettet i OSPAR regi. Det vil ligeledes være relevant i forbindelse med rådgivning af potentielle effekter af dumpet ammunition med henblik på sikring af god miljøtilstand under havstrategidirektivet.

⁹ HELCOM MUNI (2013) see: <http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/hazardous-substances/sea-dumped-chemical-munitions/helcom-actions>

¹⁰ DISARM project:

https://www.google.dk/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&ccd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewiKuum95bnmAhXSRMAKHeYDCaAQFjAAegQL-AxAC&url=https%3A%2F%2Fwebgate.ec.europa.eu%2Fmaritimeforum%2Fsites%2Fmaritimeforum%2Ffiles%2Fpresentation_missiaen_final.pdf&usg=AOvVaw2XaNofejDligNA2PPzk41U

5 Appendiks 1: Videns status 2017

Status for viden om dumpet ammunition/krigsgas fra 2. verdenskrig

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 20/12-2017

Hans Sanderson og Patrik Fauser

Institut for Miljøvidenskab

Rekvirent: Ulrik Christian Berggreen

Antal sider: 10

Faglig kommentering:
Pia Lassen
Kvalitetssikring, centret:
Susanne Boutrup



AARHUS
UNIVERSITET

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tel.: +45 8715 0000
E-mail: dce@au.dk
<http://dce.au.dk>

Indhold

5	Appendiks 1: Videns status 2017	10
6	Formål og baggrund	12
7	Resumé af eksisterende viden	13
7.1	HELCOM MUNI rapport 2013	13
7.2	MERCW projektet 2006-2010	13
7.3	CHEMSEA projektet 2011-2014	14
7.4	NordStream review artikel 2014	14
7.5	MODUM projektet 2013-2016	15
7.6	DAIMON projektet 2016-2019	16
7.7	Louis Roche Lecture review artikel 2016	17
8	Konklusion og anbefalinger, 2017	18

6 Formål og baggrund

Formålet med dette notat er at give en kort status for den opsamlede viden om ammunition/krigsgasser og deres nedbrydningsprodukter (CWA), som under 2. verdenskrig blev dumpet i området øst for Bornholm. Analysen forholder sig til den internationale peer-reviewed faglige viden og litteratur, som har dannet grundlag for fremtidige reguleringer. Disse artikler kommer typisk fra forskningsprojekter, som kort beskrives i dette notat mht. deres primære resultater angående risici. Notatet vil undersøge, om der er belæg for at ændre af den nuværende danske og internationale holdning til risikovurderingen og risikohåndtering af den dumpede ammunition i forhold til miljø og nuværende praksis.

Den nuværende praksis i forhold til risikohåndtering er at afgrænse og kortlægge dumpningsområderne, samt at forbyde fiskeri i det primære dumpnings område.

7 Resumé af eksisterende viden

7.1 HELCOM MUNI rapport 2013

I 2013 udkom en opdateret rapport fra HELCOM MUNI¹¹ angående risikotilstanden i Østersøen i forhold til dumpede kemiske kampstoffer og deres nedbrydningsprodukter (CWA). Denne rapport er udgangspunktet for analysen i dette notat, da den repræsenterer det seneste internationale konsensus risiko dokument, som HELCOM medlemslandene har produceret.

Rapporten konkluderer at, CWA forekommer i sedimentet i og omkring dumpnings områderne og er spredt pga. naturlige og menneskelige processer. Der er ikke fundet CWA i vandfasen. Der er i områderne til stadighed risiko for, at fiskere kan fange CWA i deres garn, som klumper og ammunitionsskaler. Rapporten konkluderer også, at der hidtil ikke er foretaget grundige miljø risikovurderinger af forekomsten af CWA i de primære og sekundære dumpningsområder i Østersøen generelt. Det konkluderes i rapporten, at der er behov for at forbedre vidensgrundlag omkring de specifikke effekter, som CWA og nedbrydningsprodukter og blandinger af disse har for marine organismer. Det anbefales i rapporten, at HELCOMs medlemslande støtter den historiske forskning til afdækning af, hvor og hvor meget CWA der er dumpet, at udviklingen af kemiske analyse metoder støttes, at der ydes støtte til stedspecifik risikovurdering af CWA i dumpningsområderne samt at søkortene er opdateret mht. udbredelsen af CWA.

Med hensyn til risikohåndtering anbefales det at fortsætte guidelines til fiskere i området, hvilket betyder, at fiskeri ikke er tilladt det i primære dump site, at CWA ikke opsamles fra havbunden samt at der holdes tal over årlige incidenter med CWA.

7.1 MERCW projektet 2006-2010

MERCW¹² var det første store EU forskningsprojekt under FP6, som belyste miljøaspekter omkring CWA dumpnings områderne ud for Bornholm. Projektet blev ledt af det finske institut FMI og siden af SYKE ligeledes i Finland. Studiet fandt, at en meget konservativ model-baserede risikoanalyse ikke kunne udelukke en mulig miljørisiko i det primære dumpnings område øst for Bornholm. Studiet fandt også, at det bakterielle samfund var påvirket i dette område. Studiet viste desuden, at der er behov for opdatering af den økotoxikologiske viden omkring CWA, samt deres fysisk/kemiske egenskaber på dybt vand. Der er usikkerhed omkring forholdet mellem begravede og muligvis intakte CWA bomber i sedimentet og bomber, der er korroderede – men også at langt hovedparten af bomber, der i de seneste 20 år er blevet fanget af fiskere, har været korroderede. En yderligere afklaring af de faktiske

¹¹ Chemical Munitions dumped in the Baltic Sea, BESP No.142, 2013: <http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/hazardous-substances/sea-dumped-chemical-munitions>.

¹² MERCW: <http://mercw.org/>

risikoforhold i dumpnings områderne kan belyses ved en dedikeret stedspecifik risikoanalyse¹³.

7.2 CHEMSEA projektet 2011-2014

I 2016 udkom den endelige samlede evaluerings rapport af Chemical Munitions Search & Assessment (CHEMSEA) projektet¹⁴. CHEMSEA var et Baltic Sea Region Interreg projekt (2011-2014) ledet af det polske institut IOPAN. Projektet fandt, at CWA forekommer mere spredt end forventet i sedimentet og at de målte CWA var nær deres kilder (bomberne), og at sediment med CWA kunne resuspendere med undervandsstrømme. Det var ikke muligt for projektet at bestemme nogen kausalitet mellem antal og diversitet af fauna og målte CWA koncentrationer, primært pga. lavt iltindhold. Der blev ikke fundet signifikante effekter på fisk (torsk) fanget i dumpnings områder sammenlignet med torsk fanget uden for disse. Projektet konkluderede, at der er behov for yderligere viden med hensyn til analyse af CWA stofferens miljøtoksikologiske virkningsmekanisme¹⁵. Det blev undersøgt om arsen koncentrationer i sedimentet kan benyttes som proxy eller indikator for CWA, men konkluderet at dette ikke er muligt¹⁶.

En grundigere analyse af arsen i Østersøen, samt ved dumpnings områderne viste, at lavt iltindhold (hypoxia) og biologiske processer i høj grad regulerer arsen koncentrationen i vandet. De fandt også, at selv i bundvandsprøver nær CWA var der lave arsen koncentrationer (13,9 nmol/L) sammenlignet med andre mindre marine have¹⁷. Fauser et al. (2013) har tidligere, ligesom Li et al (2018), konkluderet at der ikke er nogen klar korrelation mellem CWA og arsen i Østersøen¹⁸.

7.3 NordStream review artikel 2014

Samtlige analyser fra NordStream 1 projektet, der angår CWA, er publiceret i en review artikel fra 2014¹⁹. Artiklen viser 5 års analyseresultater fra før, under og efter, konstruktionen af gasledningen i det sekundære dumpnings område fra 2008 til 2012 (ledningen ligger uden for det primære dumpnings område). I alt 391 sediment prøver blev indsamlet og analyseret, i 29 prøver blev der

¹³ Sanderson et al. (2010). *Feature: Environmental hazards of sea-dumped chemical weapons*. *Environ Sci & Technol.* **44**, 4389-4394.

¹⁴ CHEMSEA: <http://www.chemsea.eu/>

¹⁵ Beldowski et al. (2016). *Chemical munitions search & Assessment – an evaluation of the dumped munitions problem in the Baltic Sea*. *Deep-Sea, Res II* (**128**) 85-95.

¹⁶ Beldowski et al. (2016). *Arsenic concentrations in Baltic Sea sediment close to chemical munitions dumpsites*. *Deep-Sea, Res II* (**128**) 114-122.

¹⁷ Li et al. (2018). *Revisiting the biogeochemistry of arsenic in the Baltic Sea: Impact of anthropogenic activity*. *Sci Tot Env.* (**613-614**), 557-568.

¹⁸ Fauser et al. (2013). *Occurrence and sorption properties of arsenicals in marine sediments*. *Env Moni Ass.* (**185-6**) 4679-4691.

¹⁹ Sanderson et al. (2014). *Review of environmental exposure concentrations of chemical warfare agent residues and associated the fish community risk following the construction and completion of the Nord Stream gas pipeline between Russia and Germany*. *J. Haz Mat.* **279**, 518-526.

påvist CWA nedbrydningsprodukter. Den højeste CWA sedimentkoncentration var på 327 µg/kg tørvægt. CWA blev primært fundet i de øverste 5 cm af sedimentet. Der blev ikke fundet CWA i vandet. Den samlede akutte risiko for fiskesamfundet var lav (maksimal risikokvotient summeret for alle stoffer var 0,017) og der var ikke signifikant risiko forskelle mellem årene. Re-suspension af CWA-holdigt sediment udgjorde 2% af den samlede CWA baggrundsrisiko. Der var ingen korrelation mellem forekomsten af benthos og CWA risiko.

7.4 MODUM projektet 2013-2016

NATO Science for Peace and Security projektet Towards the Monitoring of Dumped Munitions Threat (MODUM)²⁰ havde til formål, at undersøge de miljø- og sikkerhedsmæssige udfordringer skabt af de historiske CWA dumpinger. Data genereret i MODUM, CHEMSEA, MERCW og NordStream 1, der beskriver forekomst, giftighed og effekter af CWA for området øst for Bornholm, blev samlet i en semi-kvantitativ *weight-of-evidence* miljø risikoanalyse af dumpet CWA. Den primære beskrivende parameter er risiko koefficienten; r_q = forekomst af stoffet divideret med stoffets giftighed. RQ blev beregnet for *higher tier* organismer (fisk) og *lower tier* organismer (f.eks alger og daphnia). Tabel 1 viser den samlede detektions frekvens af CWA (antal prøver med fund/antal prøver).

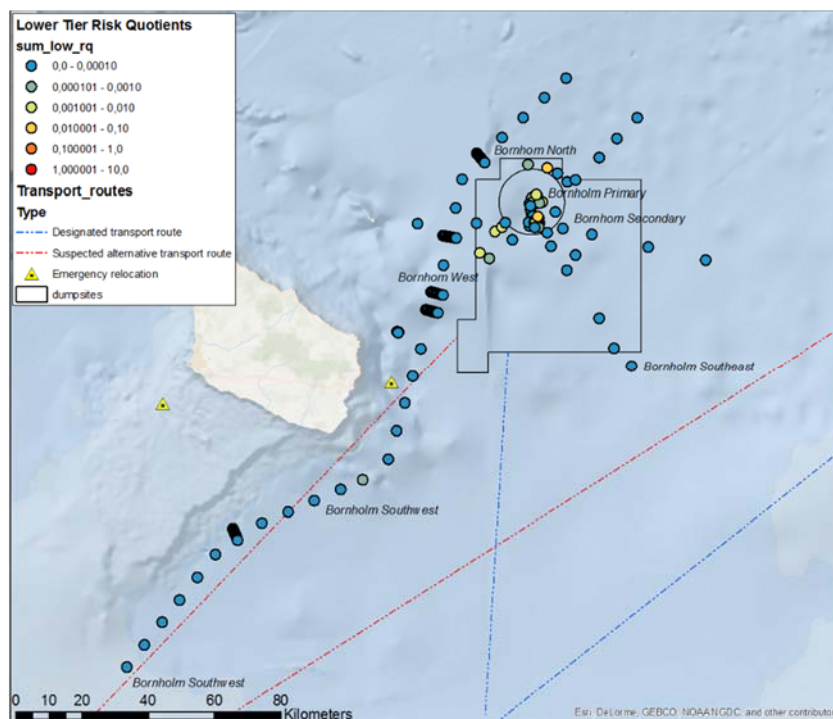
Tabel 1. Antal sediment prøver og detektionsfrekvens for CWA for områder øst for Bornholm.

Prøvetagnings område	Antal prøver	Detektionsfrekvens
Bornholm Nord	63	11%
Bornholm Primær dumpsite	88	91%
Bornholm Sydøst	3	0%
Bornholm Sekundær dumpsite	20	85%
Bornholm Sydvest	118	31%
Bornholm Vest	173	21%
SUM	402	

Figur 1 neden for viser, at summen af risikokoefficienterne for de fundne stoffer er relativt lav - kun én lokalitet har $\text{sum}(r_q) > 1$. Denne ligger i det primære dumpings område. Bemærk, der ikke blev anvendt usikkerhedsfaktorer på giftighedsdata (Predicted No-observed Effect Concentrations PNEC).

²⁰ Edited by Beldowski, J., Been, R., Turmus, E.K. (2017). Towards the Monitoring of Dumped Munitions Threat (MODUM), A Study of Chemical Munitions Dumpsites in the Baltic Sea. NATO Science for Peace and Security Series - C:

Environmental Security. Springer - Published in Cooperation with NATO Emerging Security Challenges Division.



Figur 1. Sum af beregnede risiko koefficienter (rq) for alger og daphnia, for området øst for Bornholm. Hvert punkt angiver en sediment måling. Rødt punkt indikerer mulig risiko, bemærk at det røde punkt ikke fremgår umiddelbart da det ligger i centrum af primær dump site under flere andre punkter på figuren. Blå og gule punkter indikere lav risiko.

Czub et al. (2017) undersøgte korrelationerne mellem fauna og CWA og dokumenterede igen, at de lave iltkoncentrationer i dumpningsområdet øst for Bornholm i dette tilfælde udelukkede muligheden for at drage nogen kausale forbindelser mellem CWA og påvirkning af fauna i området²¹.

7.5 DAIMON projektet 2016-2019

DAIMON projektet er en opfølgning til CHEMSEA projektet (afsnit 1.4) og ledes af IOPAN instituttet i Polen²². Projektet udkommer løbende med artikler, som anvendes som beslutningsstøtte ved stillingtagen til CWA i Østersøen. Tidligere i september 2017 udkom en artikel, som beskrev fund af rester af CWA stoffet Clark I nedbrydningsprodukter i tre fisk fanget ved den svenske kyst (Måseskär). Det er første gang, der er fundet CWA rester i fisk. Det skal dog pointeres, at koncentrationerne var under kvantifikations grænsen på 0,2 ng/g²³ - med andre ord meget lave niveauer (under 0.0002 mg/kg eller mindre end 0.2 ppb (parts per billion) - hvis toksikologiske relevans er meget vanskelig at teste da dosis er ekstremt lav.

²¹ Czub et al. (2017). Deep sea habitats in the chemical warfare dumping areas of the Baltic Sea. *Sci Tot Env. (In Press)*.

²² DAIMON: <https://www.daimonproject.com/>

²³ Niemikoski et al. (2017). Detection of chemical warfare agent-related phenylarsenic compounds in marine biota samples by LC-HESI/MS/MS. *Anal Chem*, **89**, 11129-11134.

7.6 Louis Roche Lecture review artikel 2016

I 2016 udkom en review artikel i tidsskriftet *Clinical Toxicology* af Greenberg et al. omkring dumpede CWA og deres miljørisiko og arbejdsmiljørisiko. Forskerne gennemgik artikler fra 1946 og frem til september 2014, i alt 5515 artikler. Disse blev efter nøjere analyse reduceret til 64 relevante videnskabelige artikler som ligger til grund for deres analyse og konklusioner.

De fandt, at det er meget vanskeligt at modellere og forudsige nedbrydningen af bombernes ydre metal, og dermed hvornår indholdet frigives. At organoarsen CWA og sennepsgas er de mest persistente af CWA'erne. Sennepsgas danner en hård polymerskal, som beskytter stofferne (i op til flere årtier), hvilket vanskeliggør bestemmelse af en nedbrydningstid for disse stoffer i havet. Der er generelt fundet minimale koncentrationer af CWA i sedimentet. Mikrobiota og bakteriesamfund fra dumpningsområderne viser tegn på ændret sammensætning, men det vides ikke hvilken betydning disse har for økosystemet. Langtidseffekterne af ændringer i mikrobiota og bakteriesamfund, samt de lave CWA eksponeringer er hidtil ikke klarlagt. Sediment forstyrrelse i dumpningsområderne udgør en ekstra risiko. Overordnet konkluderes det, at risikoen fra CWA i dumpningsområderne er relativt lav. De rejser ikke indvendinger mod den hidtidige risikohåndtering af de dumpede CWA, herunder beslutning om at lade CWA og dumpningsområder være i fred²⁴.

²⁴ Greenberg et al. (2016). Sea-dumped chemical weapons: environmental risk, occupational hazard. *Clin Toxicol.* **54**, (2) 79-91.

8 Konklusion og anbefalinger, 2017

Det første og primære spørgsmål er, om der med udgangspunkt i de ovenfor beskrevne projekter og aktiviteter er grund til at revidere opfattelsen fra HELCOM MUNI rapporten i 2013?

Det korte svar på baggrund af forskningen fra 2006-2018 er: Nej.

HELCOM MUNI (2013) anbefaler, at vidensgrundlaget med hensyn til miljørisici i dumpings områderne forbedres. Dette behov bekræftes af den efterfølgende forskning. Forskningen viser, at de hyppigste forekomster og højeste koncentrationer af CWA findes i det primære dumpnings område, men at der også kan findes CWA med lavere hyppighed og koncentrationer længere væk fra det primære dumpnings område. Der er stadig ikke foretaget en dedikeret kronisk, sted-specifik, økosystem risikovurdering af kampstofferne og deres nedbrydningsprodukter i det primære dumpnings område øst for Bornholm. Hvad kræves der for at kunne foretage denne? HELCOM MUNI (2013) har en del af svarene. Suppleret med konklusionerne fra de ovenforstående projekter og artikler kan vidensgrundlaget forbedres ved:

Eksponeringsforståelse:

- 1) En opdateret desk-top risikoscreening af CWA øst for Bornholm og prioritering af de CWA, der skal undersøges nærmere
- 2) En opdatering af den historiske analyse af hvad, hvor, hvornår og hvilke CWA, der er dumpet omkring Bornholm
- 3) En kvantificering af forholdet mellem begravede og eksponerede bomber – findes der væsentlige begravede mængder, som stadig kan frigives efter korrosion, når de bliver eksponeret for ilt?
- 4) Hot spots for intakte bomber, der er begravet i sediment kan undersøges yderligere, da de er en potentiel kilde til umiddelbar og kontinuert frigivelse ved aktiviteter eller korrosion
- 5) En forbedret forståelse af CWA's fysiske/kemiske egenskaber på dybt vand (fx mørke, lav iltkoncentration og temperatur) – kan simuleres og undersøges i laboratoriet
- 6) Beskrivelse af sammensætningen af en eller flere af de gas-klumper, der fanges i området – hvad består de af kemisk – samt laboratorieforsøg, som belyser hvilke stoffer klumperne kan emitte
- 7) Beskrivelse af en kvantitativ konceptuel sted-specifik eksponeringsmodel for CWA, samt andre giftige stoffer i området – fx forekomst af organoarsen forbindelser – hvilke kilder er der?

Giftigheds- og risikoforståelse:

- 8) Opdatering af toksicitetsanalyser for samtlige eller prioriterede CWA, der følger OECD guidelines og dækker flere (heriblandt marine) arter og trofiske niveauer (vil reducere usikkerhedsfaktorerne)

- 9) Overveje *in vitro* genotoksicitets forsøg af prioriterede CWA stoffer
- 10) Undersøgelse af biota (fx reduktion af bentos) både mht. biomasse og diversitet på flere lokaliteter med detekterede CWA, sammen med analyse af baggrundsvariable (fx ilt (DO), temperatur, mv.)
- 11) Analyse af økologiske trofiske interaktioner – opstilling af kvantitativ konceptuel økosystem model – sammenholdt med den konceptuelle eksponeringsmodel.

Integration af data fra 1-11 kan danne baggrund for, at en sted-specifik økosystem risikoanalyse kan foretages for dumpnings området øst for Bornholm. Denne analyse vil imødegå anbefalingerne fra HELCOM MUNI (2013), samt udgøre et videnskabeligt fundament til afklaring af den danske position omkring CWA øst for Bornholm.

Der findes teknikker til begrænsning af spredningen af CWA, men disse er forbundet med forskellige økonomiske og miljømæssige omkostninger. Hvis sådanne foranstaltninger skal gennemføres, er det afgørende at afklare, hvilket problem de skal reducere – dvs. der skal udføres en grundig risikovurdering med en tilrettelagt risikominimeringsteknik. Uden dette er der stor risiko for at tiltaget ikke vil være cost-effektivt når resultatet af oprydningen evalueres efterfølgende.

Der vurderes ikke umiddelbart at være grund til at ændre den danske position, da risikoen ved CWA er lav ud fra den viden, vi har. Denne viden kan dog forbedres som beskrevet ovenfor til at bestyrke eller revidere den danske position.