

# Bly og kviksølv i rugende ederfuglehunner i Danmark

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 19. november 2020 | 87



AARHUS  
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

# Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Bly og kviksølv i rugende ederfuglehunner i Danmark

Forfattere: Christian Sonne, Thomas Kjær Christensen, Rune Tjørnløv, Jens Søndergaard, Rune Dietz & Ole Roland Therkildsen

Institution: Aarhus Universitet, Institut for Bioscience

Faglig kommentering: Aage Kristian Olsen Alstrup, Institut for Klinisk Medicin, Aarhus Universitet  
Kvalitetssikring, DCE: Jesper Fredshavn

Rekvirent: Miljøstyrelsen

Bedes citeret: Sonne, C., Christensen, T.K., Tjørnløv, R, Søndergaard, J., Dietz, R., & Therkildsen, O.R. 2020. Bly og kviksølv i rugende ederfuglehunner i Danmark. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 15 s. – Fagligt notat nr. 2020|87  
[https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet\\_2020/N2020\\_87.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet_2020/N2020_87.pdf)

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: Christian Sonne

Sideantal: 15

# Indhold

<b>Forord</b>	<b>4</b>
<b>1 Indledning</b>	<b>5</b>
<b>2 Metoder</b>	<b>6</b>
2.1 Feltarbejde og indsamlinger	6
2.2 Analyser	6
<b>3 Resultater og diskussion</b>	<b>8</b>
3.1 Bly	8
3.2 Kviksølv	9
<b>4 Konklusioner og anbefalinger</b>	<b>12</b>
<b>5 Referencer</b>	<b>13</b>

## Forord

Den samlede flyway-bestand af ederfugle, som omfatter ynglefugle fra Baltikum, Sydnorge, Danmark, Tyskland og Holland, er gået kraftigt tilbage med op mod 50 % i perioden 1990-2010 til det nuværende niveau på 930.000 (AEWA 2018). Årsagerne til tilbagegangen er ukendte, men fødemangel pga. lavere næringsstofkoncentrationer, forurening, sygdomsudbrud og prædation fra havørne er blandt de faktorer, der vurderes at have indflydelse på bestandens trivsel. Dette projekt er gennemført som en del af et større internationalt samarbejde finansieret af Miljøstyrelsen, EU, 15. Juni Fonden, Jægerens Naturfond og H2020 BONUS. Analyserne af tungmetaller og modelleringen af relationen til reproduktion i rugeperioden er et væsentligt bidrag til en bedre forståelse af fuglenes biologi og deres følsomhed over for miljøpåvirkninger på dette kritiske tidspunkt af årscyklus.

Tak for hjælp til Jens Jensen, opsynsmand på Hov Røn, for sejlads og praktisk hjælp. Alle de frivillige på Christiansø takkes for det enorme arbejde med at planlægge og udføre indsamlingen af blodprøver og biometri. Ligeledes takkes specialestuderende Maël Charbonneaux, Esteban Iglesias Rivas, post doc Igor Eulaers, Brenley Noori og Molly McPartland for at have hjulpet med laboratorie- og feltarbejde og Åse Krøkje og Syverin Lierhagen for supervision af studenter og ICP-MS analyser. En særlig og meget stor og varm tak går til Peter Lyngs som desværre tabte kampen til kræften før jul. Peter viede det meste af sit liv til Christiansø, herunder ederfuglene, som han fulgte gennem årtier og senest var med til at undersøge sundheden hos. Vi vil alle savne Peter.

# 1 Indledning

Ederfuglen forekommer i Danmark både som ynglefugl, på træk og som overvintrende. Den danske ynglebestand af ederfugle har overordnet set været stabil i perioden fra 1990 til 2010, hvor bestandens størrelse blev anslået til ca. 25.000 par (Christensen & Bregnballe 2011). En bestandsvurdering baseret på en fremskrivning af bestandsstørrelser i 1980, 1990, 2000 og 2010 indikerer dog, at bestanden har været i tilbagegang frem til 2018 (Fredshavn m.fl. 2019). Fordelingen af ynglende ederfugle i Danmark har inden for de seneste 20 år vist markante lokale ændringer med fremgang i nye områder, mens ældre kolonier er gået tilbage. Desuden har der været markante lokale svingninger pga. udbrud af fuglekolera (Christensen & Bregnballe 2011). Særligt ynglebestanden på Christiansø har i de seneste år været udsat for tilbagegang (Buchmann m.fl. 2019).

Den samlede flyway-bestand, som omfatter ynglefugle fra Baltikum, Sydnorge, Danmark, Tyskland og Holland, er gået kraftigt tilbage med op mod 50 % i perioden 1990-2010 til det nuværende niveau på 930.000 i 2018 (AEWA 2018). Andelen af ungfugle og gamle hunner blandt ederfugle nedlagt i Danmark har ligeledes været faldende siden 1990'erne (Lehikoinen m.fl. 2008), hvilket indikerer, at en øget dødelighed blandt hunner og en generelt faldende reproduktion sandsynligvis har været medvirkende årsager til den negative bestandsudvikling.

Årsagerne til den øgede dødelighed blandt hunner har været tilskrevet en række faktorer, herunder stigende prædation fra havørne, sygdomsudbrud samt føde- og næringsstofmangel. Ynglekolonien på Christiansø har som eksempel gennemgået en markant, negativ udvikling igennem de senere år, idet ynglebestanden er halveret fra omkring 3.000 rugende hunner i begyndelsen af 1990erne til 1.525 i 2010 (Christensen & Bregnballe 2011).

I nærværende projekt har vi med finansiering fra Miljøstyrelsen, 15. Juni Fonden og BONUS BaltHealth gennemført analyser af kviksølv og bly i blodet hos ederfuglehunner i de tre kolonier på Hov Røn i Kattegat samt på Agersø ud for Skælskør og Christiansø i Østersøen for at vurdere risikoen for helbredseffekter.

## 2 Metoder

### 2.1 Feltarbejde og indsamlinger

Der blev i 2018 indsamlet blodprøver fra ederfuglehunner fra alle tre kolonier dvs. Hov Røn, Agersø og Christiansø, og desuden blev der indsamlet blodprøver på Christiansø i 2015-17. Blodprøven blev taget i branchial-venen og opsamlet i et 4 mL BD Vacutainer® Lithium Heparin og efterfølgende centrifugeret indenfor 8 timer ved 2500 rpm i ca. 10 min (~839 g). Derefter blev supernatanten (plasma) afpippeteret og overført i sterile Eppendorf® rør. Ca. 0,5 mL blood pellet blev efterfølgende opbevaret i vacutainerne og alt materialet blev nedfrosset til -20 °C indtil kemisk analyse for bly og kviksølv. Hov Røn blev besøgt d. 18.-19. april og 14.-15. maj 2018, mens Christiansø blev besøgt d. 18.-19. april og 14.-15. maj 2018 og tilsvarende tidligt og sent i rugeperioden i 2015-17. Agersø blev besøgt én gang d. 5. maj 2018. Situationen på Christiansø er meget speciel, i og med fuglene kan genfanges flere gange og dermed følges og blodprøves henover hele rugeperioden. På den måde er det muligt at følge fuglenes kropsvægt fra start til slut i rugeperioden samt se på relationen mellem tab i kropsvægt, belastningen med tungmetaller (bly og kviksølv) og reproduktion (ællinger). Fra Hov Røn blev der indsamlet blodprøver og informationer fra 100 fugle først og sidst i rugeperioden (ingen af disse var gengangere) og på Agersø fra 29 fugle midt i rugeperioden, mens der på Christiansø blev indsamlet prøver fra i alt 80 fugle.

### 2.2 Analyser

Blyanalyser af fuldblod blev foretaget på Institut for Bioscience, Aarhus Universitet i Roskilde og på Norges Tekniske Naturvidenskabelige Universitet i Trondheim. Inden analyse blev prøverne optøet og homogeniseret. En prøvemængde på 0,3 g vådvægt (vv) blev afvejet og tilsat 0,6 ml Merck Suprapure HNO<sub>3</sub> og 0,6 ml Milli-Q vand og efterfølgende oplukket i en Anton Paar Multiwave 7000 mikroovn. Efterfølgende blev prøveopløsningerne fortyndet til 10 g med Milli-Q vand og analyseret med en Agilent 7900 ICP-MS. Blindprøver og certificeret referencemateriale (Seronorm Whole Blood L-2; 0,337±0,068 µg/g vv) blev anvendt som kontrol for analysekvaliteten. Koncentrationen i blindprøverne blev fratrukket prøvekoncentrationen. Detektionsgrænsen blev bestemt til 0,0007 µg/g vv som 3 standardafvigelse (SD) på blindprøverne og alle prøver lå over detektionsgrænsen. Genfindingsprocenten (±1 SD) for Seronorm Whole Blood L-2 var 96 ± 6%. Blyanalyser af fuldblod fra 2018 blev foretaget på Institut for Kjemi, NTNU i Trondheim. En prøvemængde på 0,5-1,0 g blev afvejet og tilsat 2 ml Scanpure HNO<sub>3</sub> og oplukket i en Milestone UltraClave mikroovn. Efterfølgende blev prøverne fortyndet til 24-27 ml med Milli-Q vand og analyseret med en Thermo Finnigen Element 2 HR-ICP-MS. Blindprøver og et certificeret referencemateriale, Seronorm L-2, blev anvendt som kontrol for analysekvaliteten.

Kviksølvanalyser af fuldblod blev foretaget på Institut for Bioscience, Aarhus Universitet i Roskilde. Inden analyse blev prøverne optøet og homogeniseret. En prøvemængde på 0,060-0,080 g vv blev afvejet og analyseret for total Hg med en Milestone DMA-80 Direct Mercury Analyzer. Kontrolstandarder (10 ng og 100 ng fremstillet fra 1000 ± 4 mg/l stamopløsning, Sigma-Aldrich) blev analyseret til start og slut og blindprøver blev analyseret for hver 10-15 prøver. Efterfølgende blev prøvekoncentrationer beregnet med korrektioner for

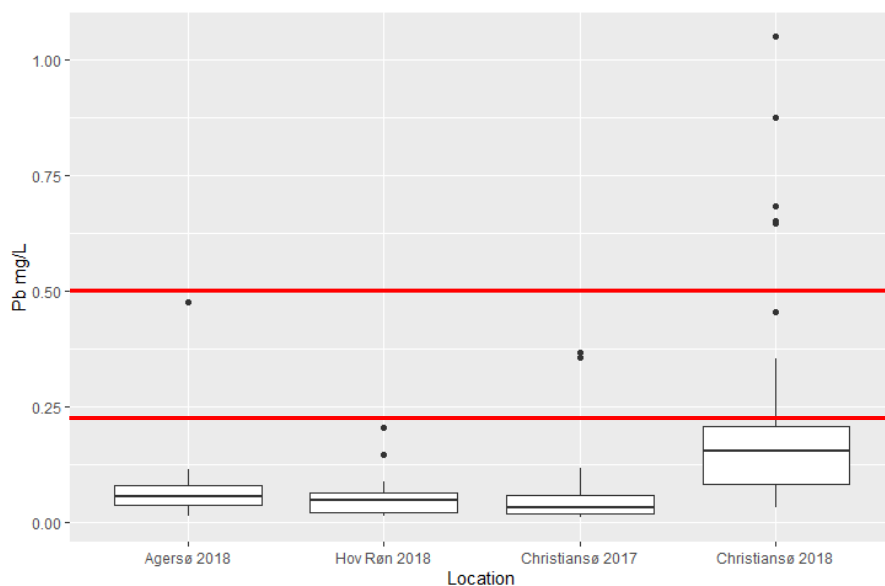
instrumentdrift (baseret på kontrolstandardraderne; <10%) og baggrund (baseret på blindprøverne). Den afvejede prøvemængde svarer til 3-65 ng Hg, hvilket er betydeligt højere end detektionsgrænsen på ca. 0,05 ng Hg. For kontrol af analysekvaliteten blev der løbende foretaget dobbeltbestemmelser af prøver samt analyser af de certificerede referencematerialer Seronorm Whole Blood L-2 og DORM-4. Den relative standardafvigelse (RSD) på dobbeltbestemmelserne var 0,1-2,3 % (n=16). Genfindingsprocenterne på referencematerialerne ( $\pm 1$  SD) var  $96 \pm 6$  % for Seronorm Whole Blood L-2 (n=27; certifikatværdi  $0,0170 \pm 0,0034$   $\mu\text{g/g}$  vv) og  $100 \pm 4$  % for DORM-4 (n=30; certifikatværdi  $0,416 \pm 0,053$   $\mu\text{g/g}$  tørvægt).

### 3 Resultater og diskussion

#### 3.1 Bly

Resultaterne fra blyanalyserne af ederfuglehunnerne er vist i Figur 1. Det ses, at koncentrationerne (middelværdi±SD, min-max) var lavest på Agersø (0,084±0,112 mg/L, 0,47-0,012 mg/L, n=15) og Hov Røn (0,059±0,055 mg/L, 0,203-0,012 mg/L, n=14) samt Christiansø i 2017 (0,049±0,066 mg/L, 0,361-0,010 mg/L, n=27), mens koncentrationerne i fuglene på Christiansø i 2018 (0,218±0,209 mg/L, 0,963-0,049 mg/L, n=23) var højest. Det ses desuden, at der er outliers i alle fire indsamlingsår/kolonier, hvilket tilskrives tilfældigheder grundet blandt andet biologisk variation og punktkilder, som f.eks. kan skyldes, at enkelte fugle i løbet af året får spist f.eks. blyhagl i deres vinterområder. Blyhaglne fanges i kråsen og frigiver løbende bly, som optages i tarmen. Statistiske analyser viste, at niveauerne målt på fugle fra Christiansø i 2018 var højere end de 3 andre målinger dvs. Agersø og Hov Røn i 2018 samt Christiansø i 2017 (alle  $p < 0,02$ ). De to vandrette røde linjer angiver de tærskelværdier (koncentrationer) hvor der ses kroniske effekter på f.eks. reproduktion (0,2 mg/L) og akutte forgiftninger dvs. død (0,5 mg/L). Seksten af fuglene på Christiansø og én på Agersø er i risiko for forgiftninger, der kan påvirke deres ynglesucces, mens fem af fuglene er i risiko for akutte forgiftninger med døden til følge.

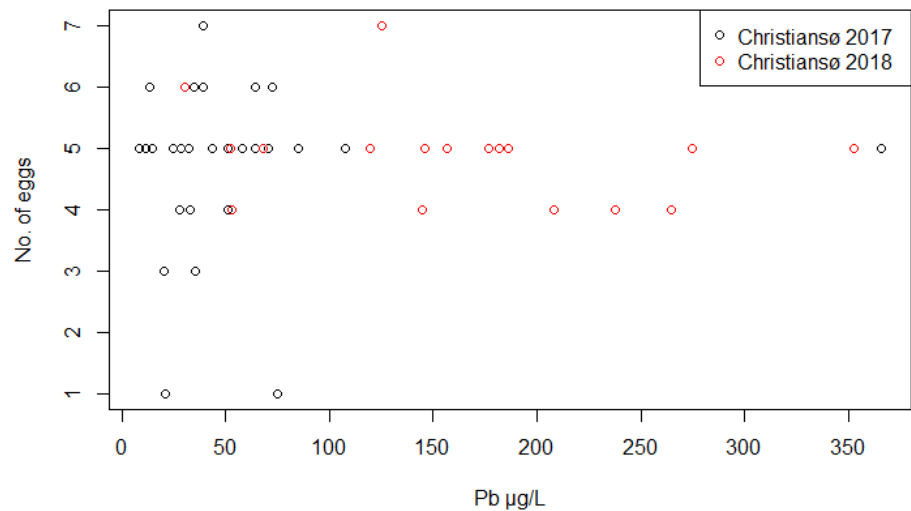
**Figur 1.** Bly i blodprøver fra ederfugle fra Agersø, Hov Røn og Christiansø. Der er analyseret blod fra alle tre kolonier i 2018 og desuden også for Christiansø i 2017. De vandrette røde linjer angiver effekter på reproduktion og akutte forgiftninger.



Analyser af relationen mellem antallet af æg, kropsvægt og blybelastning hos fuglene på Christiansø viser ikke umiddelbart nogen årsagssammenhæng (alle  $p > 0,31$ ) (Figur 2). Det er dermed ikke umiddelbart muligt at se en effekt af forskelle i kropsvægt eller blodkoncentration af bly på antallet af æg. Det kan dog diskuteres, hvorvidt det er forventeligt i og med at Figur 1 tydeligt viser, at fuglene, på nær de relativt få outliers (værdier  $2 \times SD$  fra middelværdien), har sammenlignelige blykoncentrationer i blodet. Der er desuden ikke noget i data som tyder på, at ynglesuccesen var væsentligt ringere i 2018 på trods af de væsentligt højere blykoncentrationer i fuglene, hvor af 21% (5/23) faktisk er over tærskelværdien for akutte dødelige forgiftninger. Dette bør undersøges nærmere, idet nogle af år til år variationerne i ynglesucces og dødsfald måske kan relateres til høje blyeksponeringer.



**Figur 2.** Plot der viser antal æg som funktion af bly koncentrationen i blod.



Generelt er der høje blykoncentrationer i miljøet i Østersøen (Zalewska m.fl., 2015; HELCOM, 2018; 2019). En del af ederfuglene på Christiansø er over grænseværdierne for forgiftninger, skadelige sundhedseffekter og på sigt øget dødelighed (Pain m.fl., 2019a; Lam m.fl., 2020a). Cirka halvdelen af den bly, som findes i Østersøen, stammer fra atmosfærisk transport mens fiskeredskaber og ammunition også bidrager til blyforureningen, ikke blot i Østersøen, men i hele verden (Helander m.fl., 2009; Martinez-Haro m.fl., 2011; Legagneux m.fl., 2014; Berny m.fl., 2015; Madry m.fl., 2015; Pain m.fl., 2019b). Heldigvis er der noget som tyder på at udfasningen af brug af bly i fiskeredskaber og ammunition i enkelte af Østersø-landene har bidraget til et fald i blyeksponeringen af hav- og vandfugle i regionen. Blyforurening er dog stadig et stort problem (HELCOM, 2010; 2018; Mateo & Kanstrup, 2019). Stigningen i bly-blodkoncentrationer på omkring 350% fra 2017 til 2018 tyder på enten lokale kilder omkring ynglekolonien før æglægning og/eller i overvintningsområderne, som for Christiansøs ederfugle er de indre danske farvande og Vadehavet (Noer 1991). Blåmuslinger, der er taget tæt på Christiansø og i Den Finske Bugt, indeholder høje blykoncentrationer, hvilket vidner om en mulig eksponering året rundt (HELCOM, 2019). Disse blykoncentrationer er på et kritisk niveau, da lignende forekomster af stærkt forhøjede bly-blodkoncentrationer tidligere har resulteret i blyforgiftning og dødelighed i Østersøens ederfugle (Hollmén m.fl., 1998; Franson m.fl., 2000). Det er uvist, om forhøjede bly-blodkoncentrationer har bidraget til massedødelighedsbegivenhederne i det hollandske Vadehav i år 2000 (Camphuysen m.fl., 2002) og i 2007 og 2015 på Christiansø (Garbus m.fl., 2018, 2019a). Der blev gennemført obduktion på de døde ederfugle fra Christiansø i 2015, men bly-niveauerne blev ikke analyseret (Garbus m.fl., 2018; 2019). Disse analyser bør have høj prioritet, hvis der igen observeres massedødsfald i kolonierne i ynglesæsonen.

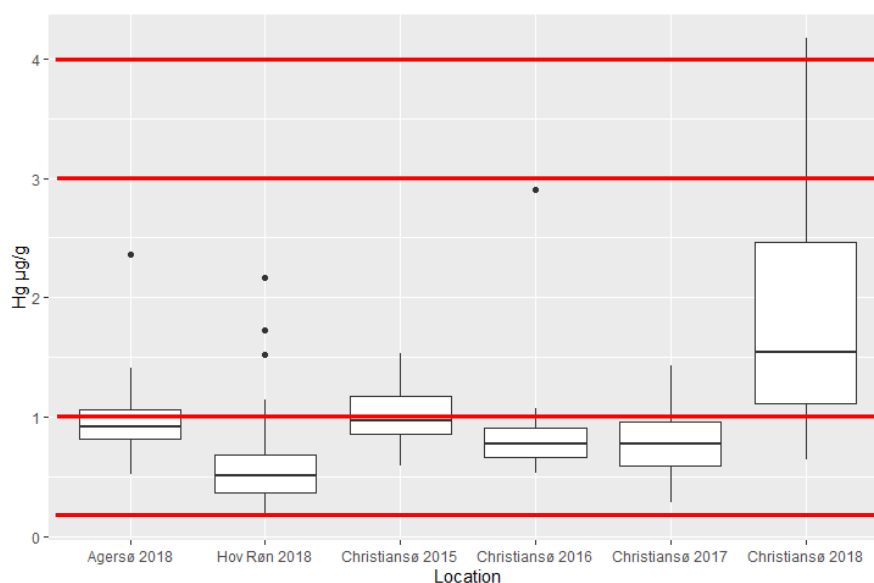
### 3.2 Kviksølv

Figur 3 viser kviksølvkoncentrationerne i ederfuglehunnerne fra de tre kolonier indsamlet i 2015-18. Koncentrationerne stiger fra vest mod øst, dvs. Hov Røn har de laveste koncentrationer ( $0,565 \pm 0,308 \mu\text{g/g}$ ,  $2,166-0,169 \mu\text{g/g}$ ,  $n=100$ ), Agerø intermediære ( $0,976 \pm 0,345 \mu\text{g/g}$ ,  $2,363-0,520 \mu\text{g/g}$ ,  $n=29$ ) og Christiansø de højeste ( $1,151 \pm 0,721 \mu\text{g/g}$ ,  $3,943-0,296 \mu\text{g/g}$ ,  $n=80$ ). Statistiske analyser viser at koncentrationerne, ligesom for bly, er signifikant højere på Christiansø 2018 sammenlignet med de fem andre år/kolonier (alle  $p < 0,001$ ), mens der ingen forskel er mellem Hov Røn, Agerø og Christiansø i 2017 (alle

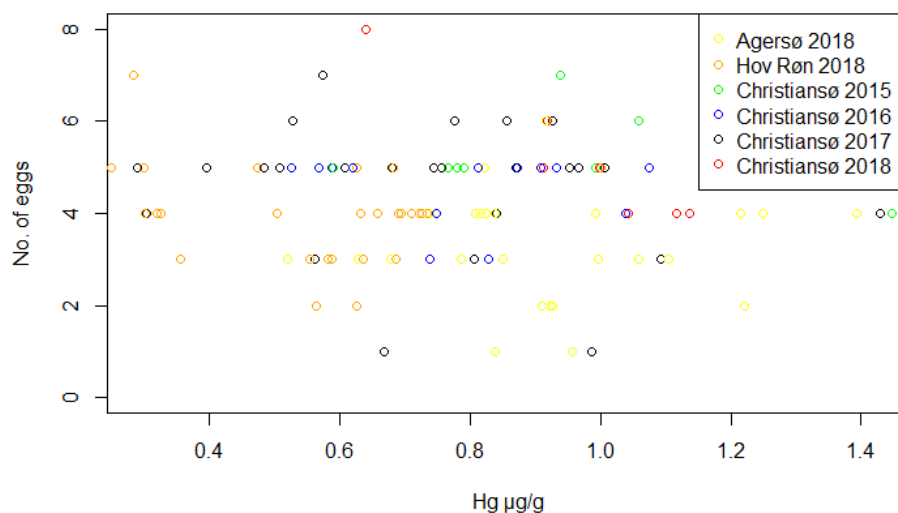
$p > 0,18$ ). Det er interessant at se, hvordan koncentrationerne på Christiansø, ligesom for bly, er højest i 2018. Dette er ikke overraskende, idet Østersøen er kendt for at være et af de mest forurenede farvande i Europa blandt andet med tungmetaller som kviksølv og bly, da mange floder og industriområder støder op til området.

De højeste koncentrationer findes i Østersøen, mens niveauerne er intermediære i indre danske farvande, dvs. på Agersø, og lavest på Hov Røn. På Figur 3 er der indsat fire tærskelværdier (vandrette røde linjer) for effekter på reproduktions- og populationsniveau, dvs. ingen risiko ( $< 0,2 \mu\text{g/g ww}$ ), lav risiko ( $0,2 - < 1,0 \mu\text{g/g ww}$ ), moderat risiko ( $1,0 \text{ to } < 3,0 \mu\text{g/g ww}$ ), høj risiko ( $3 \text{ to } < 4,0 \mu\text{g/g ww}$ ) og alvorlig risiko  $\geq 4,0 \mu\text{g/g ww}$ ). Alle fugle på nær én har koncentrationer som er over "ingen risiko"-koncentrationerne, dvs. i "lav risiko"-gruppen eller højere. Således er 71% af fuglene i "lav risiko"-, 27% i "moderat risiko"-, 1,8% i "høj risiko"- og 0,37% i "alvorlig risiko"-gruppen. Det er desuden meget tydeligt, at de højeste niveauer findes i fuglene på Christiansø, som særligt i 2018 har niveauer, der er kritiske, idet mange af fuglene har niveauer, der er i "moderat risiko"- eller "høj risiko"-gruppen. Disse høje niveauer er sammenfaldende med at netop ederfuglenes sundhed i kolonien på Christiansø tilsyneladende er under særligt pres, jf. bestandens tilbagegang (Garbus og Sonne 2016; Garbus m.fl. 2019b; Lam m.fl. 2020a, 2020b; Ma m.fl. 2020; Sonne m.fl. 2020).

**Figur 3.** Kviksølvkoncentrationer i blod ( $\mu\text{g/g ww}$ ) fra ederfugle-hunner i de tre kolonier. Det ses, at koncentrationerne er lavest hos ederfugle mod vest (Hov Røn) og højest i Østersøen (Christiansø). Desuden er fuglene på Christiansø højest belastede i 2018 ligesom for bly. Tærskelværdier for fra ingen til alvorlig risiko er indsat som vandrette røde linjer.



**Figur 4.** Plot, der viser antal æg som funktion af kviksølvkoncentrationen i blod.



Selvom ingen af de målte koncentrationer ligger over niveauet for kritiske effekter, kan de aktuelle koncentrationer udgøre en stress-faktor, som ederfuglene på Christiansø i højere grad er udsat for, sammenlignet med de andre områder. Dette kan betyde at deres immun- og reproduktionssystem svækkes samt at kviksølv, i samspil med andre miljøgifte som f.eks. PCB (polyklorede bifenyl), kan have effekter på fuglenes arvemateriale (DNA) (Fenstad m.fl. 2016, 2017). At ederfuglebestanden på Christiansø generelt er presset sundhedsmæssigt afspejler sandsynligvis miljøtilstanden i Østersøen, hvilket understøttes af resultaterne af nærværende undersøgelse, og af at Christiansø's ederfugle gennem de seneste år har været kendetegnet ved en ringe ynglesucces.

## 4 Konklusioner og anbefalinger

Der er fundet høje koncentrationer af både bly og kviksølv i rugende ederfugle i alle tre kolonier. Koncentrationerne er særligt høje hos fuglene på Christiansø i det sidste år dvs. 2018, sammenlignet med de foregående år og de andre kolonier. Det bør undersøges nærmere om det er en generel trend, der fortsat er stigende, eller om det blot er et enkelt års variationen. På grund af Covid-19 har det ikke været muligt at gennemføre indsamlinger i 2020 ligesom prøvematerialet på grund af mandefald i 2019 er stærkt begrænset. Det kræver et større studium, hvor disse to giftige tungmetaller monitoreres i de danske ederfuglekolonier, så det kan vurderes om et øget indhold af bly og kviksølv i ederfugle, har en negativ effekt på bestandsudviklingen.

## 5 Referencer

Ackerman JT, Eagles-Smith CA, Herzog MP, Hartman CA, Peterson SH, Evers DC, Jackson AK, Elliott JE, Vander Pol SS, Bryan CE. 2016. Avian mercury exposure and toxicological risk across western North America: A synthesis. *Sci Total Environ* 568, 749-769.

Berny P, Vilagines L, Cugnasse JM, Mastain O, Chollet JY, Joncour G, Razin M. 2015. Vigilance Poison: Illegal poisoning and lead intoxication are the main factors affecting avian scavenger survival in the Pyrenees (France). *Eco-toxicol Environ Safe* 118, 71-82.

Buchmann K, Kofod MT, Lyngs P, Jensen E. 2019. Ederfugletællinger på Christiansø og Bornholm 2012-2018. *Natur på Bornholm* 17, 10-15.

Camphuysen CJ, Berrevoets CM, Cremers HJWM, Dekinga A, Dekker R, Ens BJ, Van der Have TM, Kats RKH, Kuiken T, Leopold MF, van der Meer J, Piersma T. 2002. Mass mortality of common eiders (*Somateria mollissima*) in the Dutch Wadden Sea, winter 1999/2000: Starvation in a commercially exploited wetland of international importance. *Biol Conserv* 106, 303-317.

Christensen TK, Bregnballe T. 2011. Status of the Danish breeding population of eiders *Somateria mollissima* 2010. *Dansk Ornitologisk Forenings Tidsskrift* 105, 195-205.

Fenstad AA, Bustnes JO, Bingham CG, Öst M, Jaatinen K, Moe B, Hanssen SA, Moody AJ, Gabrielsen KM, Herzke D, Lierhagen S, Jenssen BM, Krøkje Å. 2016. DNA double-strand breaks in incubating female common eiders (*Somateria mollissima*): Comparison between a low and a high polluted area. *Environ Res* 151, 297-303.

Fenstad AA, Bustnes JO, Lierhagen S, Gabrielsen KM, Öst M, Jaatinen K, Hanssen SA, Moe B, Jenssen BM, Krøkje Å. 2017. Blood and feather concentrations of toxic elements in a Baltic and an Arctic seabird population. *Mar Pollut Bull* 114, 1152-1158.

Franson JC, Hollmén T, Poppenga RH, Hario M, Kilpi M. 2000. Metals and trace elements in tissues of common eiders (*Somateria mollissima*) from the Finnish archipelago. *Ornis Fennica* 77, 57-63.

Fredshavn JR, Holm TE, Sterup J, Pedersen CL, Nielsen RD, Clausen P, Eskildsen DP & Flensted KN. 2019. Størrelse og udvikling af fuglebestande i Danmark – 2019. Artikel 12-rapportering til Fuglebeskyttelsesdirektivet. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 46 s. – Videnskabelig rapport nr. 363 <http://dce2.au.dk/pub/SR363.pdf>

Garbus SE, Sonne C. 2016. Dansk ederfugleforskning på Christiansø. *Jæger* 11, 6-7.

Garbus SE, Lyngs P, Christensen JP, Buchmann K, Eulaers I, Mosbech A, Dietz R, Gilchrist HG, Sonne-Hansen C. 2018. Common Eider (*Somateria mollissima*) body condition and parasitic load during a mortality event in the Baltic Proper. *Avian Biol Res* 11, 167-172.

Garbus SE, Christensen JP, Buchmann K, Jessen TB, Lyngs P, Jacobsen ML, Garbus G, Lund E, Garbus PG, Madsen JJ, Thorup K, Sonne C. 2019a. Haematology, blood biochemistry, parasites and pathology of common eider (*Somateria mollissima*) males during a mortality event in the Baltic. *Sci Total Environ* 683, 559-567.

Garbus SE, Christensen JP, Lyngs P, Eulaers I, Mosbech A, Dietz R, Garbus PG, Huusmann R, Sonne C. 2019b. Changes in blood biochemistry of incubating Baltic Common Eiders (*Somateria mollissima*). *J Ornithol* 161, 25-33.

Helander B, Axelsson J, Borg H, Holm K, Bignert A. 2009. Ingestion of lead from ammunition and lead concentrations in white-tailed sea eagles (*Haliaeetus albicilla*) in Sweden. *Sci Total Environ* 407, 5555-5563.

HELCOM. 2010. Hazardous substances in the Baltic Sea – an integrated thematic assessment of hazardous substances in the Baltic Sea. *Balt Sea Environ Proc* 120B.

HELCOM. 2018. Inputs of hazardous substances to the Baltic Sea. *Balt Sea Environ. Proc No. PCL6*.

HELCOM. 2019. HELCOM Indicators. HTML: <http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/indicators/metals/results-and-confidence/>.

Hollmén T, Franson JC, Poppenga RH, Hario M, Kilpi M. 1998. Lead poisoning and trace elements in common eiders *Somateria mollissima* from Finland. *Wildlife Biol* 4, 193-203.

Lam SS, McPartland M, Noori B, Garbus SE, Lierhagen S, Lyngs P, Dietz R, Therkildsen OR, Christensen TK, Tjørnløv RS, Kanstrup N, Fox AD, Sørensen IH, Arzel C, Krøkje Å, Sonne C. 2020a. Lead concentrations in blood from incubating common eiders (*Somateria mollissima*) in the Baltic Sea. *Environ Int* 137, 105582.

Lam SS, Tjørnløv RS, Therkildsen OR, Christensen TK, Madsen J, Daugaard-Petersen T, Ortiz JMC, Peng W, Charbonneau M, Rivas EI, Garbus SE, Lyngs P, Siebert U, Dietz R, Maier-Sam K, Lierz M, Tombre IM, Andersen-Ranberg E, Sonne C. 2020b. Seroprevalence of avian influenza in Baltic common eiders (*Somateria mollissima*) and pink-footed geese (*Anser brachyrhynchus*). *Environ Int* 142, 105873.

Legagneux P, Suffice P, Messier JS, Lelievre F, Tremblay JA, Maisonneuve C, Saint-Louis R, Bety J. 2014. High risk of lead contamination for scavengers in an area with high moose hunting success. *Plos One* 9, e111546.

Lehikoinen A, Christensen TK, Öst M, Kilpi M, Saurola P, Vattulainen A. 2008. Large-scale change in the sex-ratio of a declining eider *Somateria mollissima* population. *Wildlife Biol* 14, 288-301.

Ma NL, Hansen M, Therkildsen OR, Christensen TK, Tjørnløv RS, Garbus SE, Lyngs P, Peng W, Lam SS, Krogh AKH, Andersen-Ranberg E, Søndergaard J, Rigét FF, Dietz R, Sonne C. 2020. Body mass, mercury exposure, biochemistry and untargeted metabolomics of incubating common eiders (*Somateria mollissima*) in three Baltic colonies. *Environ Int* 142, 105866.

Madry MM, Kraemer T, Kupper J, Naegeli H, Jenny H, Jenni L, Jenny D. 2015. Excessive lead burden among golden eagles in the Swiss Alps. *Environ Res Lett* 10, 1–9.

Martinez-Haro M, Taggart MA, Martín-Doimeadiós RRC, Green AJ, Mateo R. 2011. Identifying sources of Pb exposure in waterbirds and effects on porphyrin metabolism using noninvasive fecal sampling. *Environ Sci Technol* 45, 6153-6159.

Mateo R, Kanstrup N. 2019. Regulations on lead ammunition adopted in Europe and evidence of compliance. *Ambio* 48, 989–998.

Noer, H., 1991. Distributions and movements of eider (*Somateria mollissima*) populations wintering in Danish waters, analysed from ringing recoveries. *Danish Rev Game Biol* 14, 1–32.

Pain DJ, Mateo R, Green RE. 2019. Effects of lead from ammunition on birds and other wildlife: A review and update. *Ambio*.  
<https://doi.org/10.1007/s13280-019-01159-0>.

Pain DJ, Dickie I, Green RE, Kanstrup N, Cromie R. 2019a. Wildlife, human and environmental costs of using lead ammunition: An economic review and analysis. *Ambio* 48, 969-988.

Sonne C, Siebert U, Gonnsen K, Desforges JP, Eulaers I, Persson S, Roos A, Bäcklin BM, Kauhala K, Olsen MT, Hårding K, Treu G, Galatius A, Andersen-Ranberg E, Gross S, Lakemeyer J, Lehnert K, Lam, SS, Peng W, Dietz R. 2020. Health effects from contaminant exposure in Baltic Sea birds and marine mammals: A review. *Environ Int* 139, 105725.

Zalewska T, Woron J, Danowska B, Suplinska M. 2015. Temporal changes in Hg, Pb, Cd and Zn environmental concentrations in the Southern Baltic Sea sediments dated with <sup>210</sup>Pb method. *Oceanologia* 57:32-43.