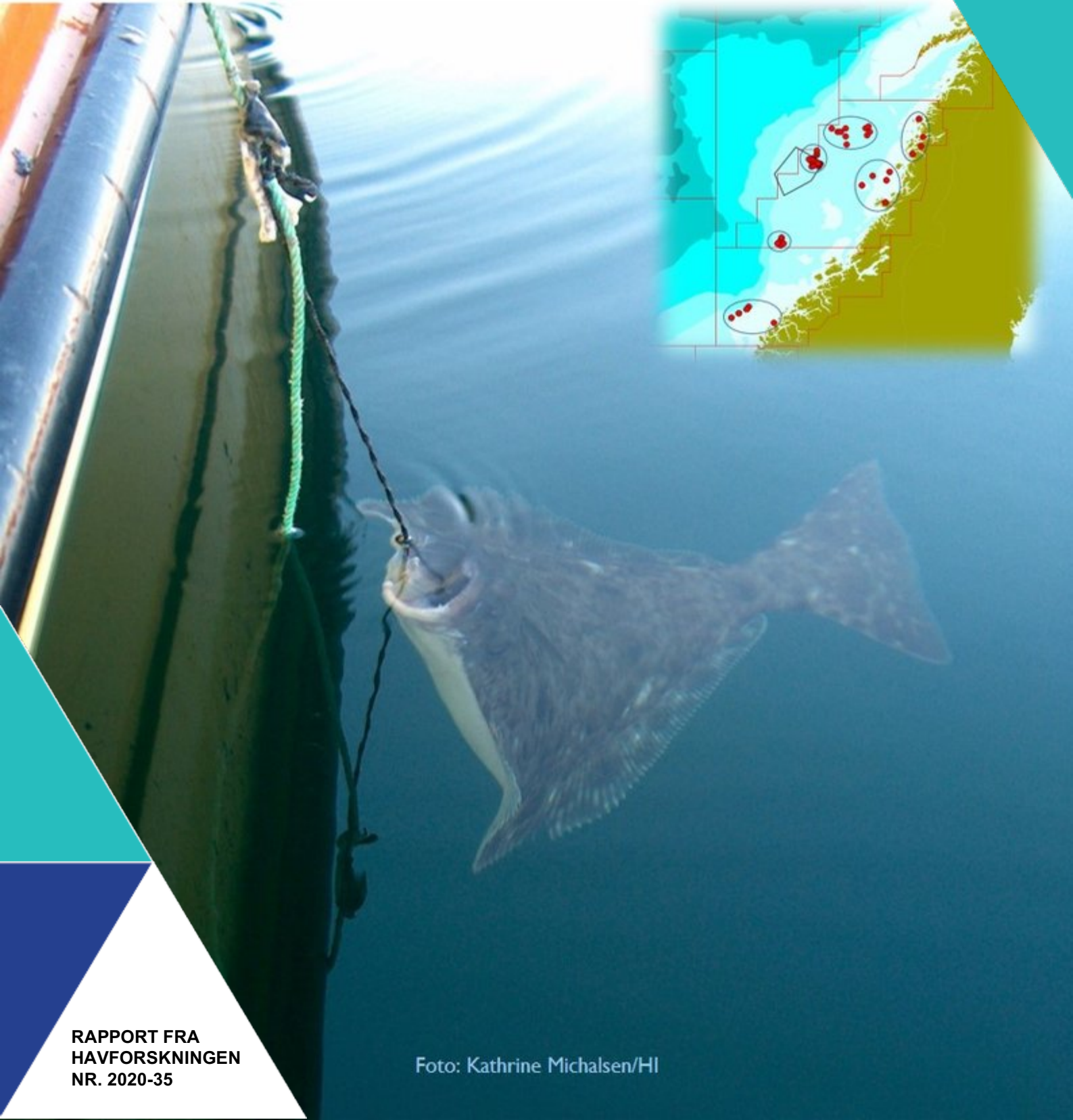




MILJØGIFTER I ATLANTISK KVEITE FRA KYST- OG HAVOMRÅDER I NORSKEHAVET-2019

Oppfølging av kartleggingsundersøkelsen for atlantisk kveite i 2013-2016

Bente Nilsen, Stepan Boitsov, Sylvia Frantzen, Erik Berg og Monica Sanden (HI)



Tittel (norsk og engelsk):

Miljøgifter i atlantisk kveite fra kyst- og havområder i Norskehavet-2019

Contaminants in Atlantic halibut from coastal and open sea areas in the Norwegian Sea-2019

Undertittel (norsk og engelsk):

Oppfølging av kartleggingsundersøkelsen for atlantisk kveite i 2013-2016

Follow-up of the baseline study for Atlantic halibut in 2013-2016

Rapportserie:

Rapport fra Havforskningen 2020-35

ISSN:1893-4536

År - Nr.:

2020-35

Dato:

13.11.2020

Forfatter(e):

Bente Nilsen, Stepan Boitsov, Sylvia Frantzen, Erik Berg og Monica Sanden (HI)

Forskningsgruppelider(e): *Frithjof Moy (Bunnsamfunn)* og *Monica Sanden (Fremmed- og smittestoff (FRES))* Godkjent av: Forskningsdirektør(er): *Gro-Ingunn Hemre* Programleder(e): *Frode Vikebø* og *Livar Frøyland*

Distribusjon:

Åpen

Prosjektnr:

15312-12

Oppdragsgiver(e):

MAREANO

Program:

Trygg og sunn sjømat

Marine prosesser og menneskelig påvirkning

Forskningsgruppe(r):

Fremmed- og smittestoff (FRES)

Antall sider:

31

Sammendrag (norsk):

I en kartleggingsundersøkelse for miljøgifter i atlantisk kveite i 2013-2016 ble det funnet forhøyede nivåer av kvikksølv og enkelte organiske miljøgifter i ytre Sklinnadjupet i Norskehavet. Dette området ble derfor stengt for kveitefiske fra oktober 2017. Videre undersøkelser av bl.a. sedimentprøver indikerte at det kan finnes lokale forurensningskilder for kvikksølv i deler av Sklinnadjupet øst for det stengte fiskefeltet.

For å undersøke om nivåene av miljøgifter i kveite fremdeles er høyere i ytre Sklinnadjupet enn i områdene rundt, og for å skaffe et bedre datagrunnlag for nivåene av miljøgifter i kveite fra Norskehavet, ble det i 2019 samlet inn nye prøver av totalt 93 kveiter fra det stengte fiskefeltet og fem andre områder i åpent hav og ved kysten. Dette inkluderte tre områder som ikke tidligere har vært undersøkt. Resultatene bekreftet funn fra tidligere undersøkelser, og viste at nivåene av både kvikksølv og organiske miljøgifter i kveiter fanget innenfor og så vidt utenfor det stengte fiskefeltet fremdeles var høyere enn i kveiter fra alle andre områder som ble undersøkt. Særlig nivået av kvikksølv var svært høyt, og 53% av kveitene fanget i dette området hadde kvikksølvkonsentrasjoner over grenseverdien for kvikksølv i kveitefilet til humant konsum. Bare én enkelt fisk oversteg grenseverdien for sum dioksiner og dioksinlignende PCB i dette området. Generelt ser det ut til å være en trend at nivåene av miljøgifter i atlantisk kveite er høyest innenfor og rett ved det stengte fiskefeltet og at nivåene avtar jo lenger vekk fra det stengte fiskefeltet fisken er fanget. Resultatene i denne undersøkelsen gir ikke grunnlag for å endre forbudet mot fiske av kveite i det stengte fiskefeltet. Forskjellene i nivå av miljøgifter mellom områdene kunne ikke forklares med forskjeller i fiskens størrelse eller fettinnhold, og det ble ikke påvist noen forskjeller i trofisk posisjon mellom kveiter fra ulike områder som kunne forklare de store forskjellene i nivåer av miljøgifter. Resultatene tyder derfor på at de høye nivåene av miljøgifter i kveite fra det stengte fiskefeltet i ytre Sklinnadjupet skyldes andre, ukjente faktorer.

Sammendrag (engelsk):

In a survey of contaminants in Atlantic halibut in 2013-2016, we found elevated levels of mercury and organic contaminants in the outer part of Sklinnadjupet in the Norwegian Sea. This area was therefore closed for halibut fishing from October 2017. Further investigations of sediment samples indicated that there may be local sources of mercury in parts of Sklinnadjupet east of the closed fishing area.

To investigate if the levels of contaminants in halibut still are higher in the outer part of Sklinnadjupet than in the surrounding areas, and to obtain more data on the levels of contaminants in halibut from the Norwegian Sea, new samples from 93 halibut were collected from the closed area and five other areas in the open sea and along the coast. This included three areas that had not been investigated earlier. The results confirmed findings from previous studies and showed that the levels of both mercury and organic contaminants in halibut caught within and just outside the closed fishing area, were still higher than in halibut from all the other areas investigated. The mercury concentrations were especially high, and 53% of the halibut caught in this area had mercury concentrations above the maximum level for mercury in halibut fillet for human consumption. For dioxins and dioxin-like PCBs, only one single fish in this area exceeded the maximum level. In general, there seems to be a trend that the levels of contaminants in Atlantic halibut are highest within and just outside the closed area, and that the levels decrease the further away from the closed fishing area the fish are caught. Based on the results from this study there is no reason to change the fishing ban for Atlantic halibut in the closed area. The differences in the levels of contaminants between the areas could not be explained by differences in size or fat content of the fish, and no differences between trophic position were detected between halibut from different areas that could explain the large differences in contaminant levels. The results therefore indicate that the elevated levels of contaminants in halibut from the closed fishing area in the outer part of Sklinnadjupet are due to other, unknown factors.

Innhold

1	Innledning	5
2	Materiale og metoder	6
2.1	Innsamling av prøver	6
2.2	Opparbeiding av prøver	7
2.3	Analysemetoder	8
2.3.1	Bestemmelse av metaller med ICPMS (Metode nr. 197)	8
2.3.2	Bestemmelse av totalt fettinnhold med etylacetat-metode (Metode nr. 091)	8
2.3.3	Bestemmelse av dioksiner, furaner, non-orto og mono-orto PCB, PCB6 og PBDE med felles opparbeidelsesmetode (Metode nr. 292)	8
2.3.4	Analyse av stabile nitrogen- og karbonisotoper	9
2.3.5	Compound specific nitrogen isotope analysis of amino acids (CSIA-AA)	9
2.3.6	Statistiske metoder	10
3	Resultater og diskusjon	11
3.1	Fysiske og biologiske parametere	11
3.1.1	Variasjon i størrelse, kondisjon, fettinnhold, $\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ mellom ulike områder	11
3.2	Metaller i muskel	14
3.2.1	Kvikksølv	15
3.3	Organiske miljøgifter i muskel	20
3.3.1	Dioksiner og dioksinlignende PCB	20
3.3.2	Ikke-dioksinlignende PCB (PCB6) og polybromerte flammehemmere (PBDE7)	24
4	Konklusjon	28
5	Referanser	29

1 - Innledning

I en stor kartleggingsundersøkelse av miljøgifter i atlantisk kveite (*Hippoglossus hippoglossus*) gjennomført i perioden 2013-2016, ble det funnet at kveite fanget i et område i ytre Sklinnadjupet mellom 65 og 66°N i Norskehavet, hadde høye nivåer av både kvikksølv og persistente organiske miljøgifter i muskel (Nilsen m.fl., 2016). Nivåene av miljøgifter i kveite fra ytre Sklinnadjupet var betydelig høyere enn i kveite fra alle andre områder som ble undersøkt, og etter anmodning fra Mattilsynet innførte Fiskeridirektoratet forbud mot fiske av atlantisk kveite i dette området fra oktober 2017 (Lovdata, Forskrift om utøvelse av fisket i sjøen, §35b).

De høye nivåene av miljøgifter i kveite fra ytre Sklinnadjupet ble funnet i åpent hav. For kysten i dette området, der det foregår mye kveitefiske, var datagrunnlaget i kartleggingsundersøkelsen mangelfullt. På oppdrag fra Mattilsynet ble det derfor i 2017 og 2018 samlet inn og analysert prøver av 20 ekstra kveiter fra kystområdene øst for det stengte fiskefeltet, dvs utenfor deler av Trøndelag og Nordland. Resultatene fra denne undersøkelsen viste at nivåene av miljøgifter var betydelig lavere i kveite fanget langs kysten enn i kveite fra åpent hav i ytre Sklinnadjupet (Nilsen m.fl., 2019a).

Det er foreløpig ikke kjent hva som er årsaken til de høye nivåene av miljøgifter i kveite fisket i ytre Sklinnadjupet. De høye nivåene kunne ikke forklares ved biologiske faktorer som størrelse eller alder på kveitene (Nilsen m.fl., 2016), og en oppfølgende analyse av stabile isotoper av nitrogen og karbon tydet heller ikke på at de høye nivåene kunne forklares ut fra kveitenes diett eller plassering i næringskjeden i dette området (Nilsen m.fl., 2019b). En videre undersøkelse av sedimentprøver fra ytre Sklinnadjupet og områdene rundt, innsamlet i perioden 1999-2018, ble utført i 2018 og indikerte at det kan finnes lokale forurensningskilder for enkelte metaller, inkludert kvikksølv, i deler av Sklinnadjupet øst for det stengte fiskefeltet (Nilsen m.fl., 2019c). Det ble imidlertid ikke funnet forhøyede nivåer av organiske miljøgifter i sedimenter fra det stengte fiskefeltet eller områdene rundt, og videre undersøkelser vil være nødvendig for å fastslå om det finnes kilder til miljøgifter i ytre Sklinnadjupet.

For å undersøke om nivåene av miljøgifter i kveite fremdeles er høyere i ytre Sklinnadjupet enn i områder lenger nord, sør og øst for Sklinnadjupet, og for å skaffe et bedre datagrunnlag for å kunne vurdere hvordan nivåene av miljøgifter varierer over et større område rundt det stengte fiskefeltet, ble det i 2019 samlet inn nye prøver av kveite. Dette ble gjort som en del av et større prosjekt hvor formålet har vært å undersøke om det kan være mulige kilder for miljøgifter i dette området som kan forklare forhøyet miljøgiftnivå i kveite (Nilsen m.fl., 2019c). Til sammen ble det fisket totalt 93 kveiter i det stengte fiskefeltet og områdene rundt, deriblant fra tre områder som ikke tidligere har vært undersøkt. Prøver av muskel (B-snitt) ble analysert for metaller, dioksiner, dioksinlignende PCB, ikke-dioksinlignende PCB (PCB6) og PBDE7. I tillegg ble prøvene analysert for stabile isotoper av nitrogen og karbon som et mål på trofisk nivå og fødetilgang/diett. Denne rapporten oppsummerer resultatene fra denne undersøkelsen.

2 - Materiale og metoder

2.1 - Innsamling av prøver

Det ble samlet inn prøver av totalt 93 kveiter fanget i åpent hav og langs kysten mellom 62°N og 67°N i perioden mellom mai og november 2019 (figur 1). For fiske av kveite i det stengte fiskefeltet, ble det gitt dispensasjon fra fiskeforbudet fra Fiskeridirektoratet. Prøveinnsamlingen ble gjennomført av fiskere fra Havforskningsinstituttets referanseflåte (MS Nesbakk, MS Ægir), andre kommersielle fiskere (MS Frøyanes senior, MS Leinebris, MS Seir), fiskemottak (Rørvik fisk AS i Rørvik) og fra Havforskningsinstituttets kysttokt høsten 2019 (FF Johan Hjort, FF Kristine Bonnevie). De fleste kveitene ble fanget med line, mens seks fisk fra område 65-66°N kyst ble fanget med garn og syv fisk fra kysttoktet ble fanget med trål.

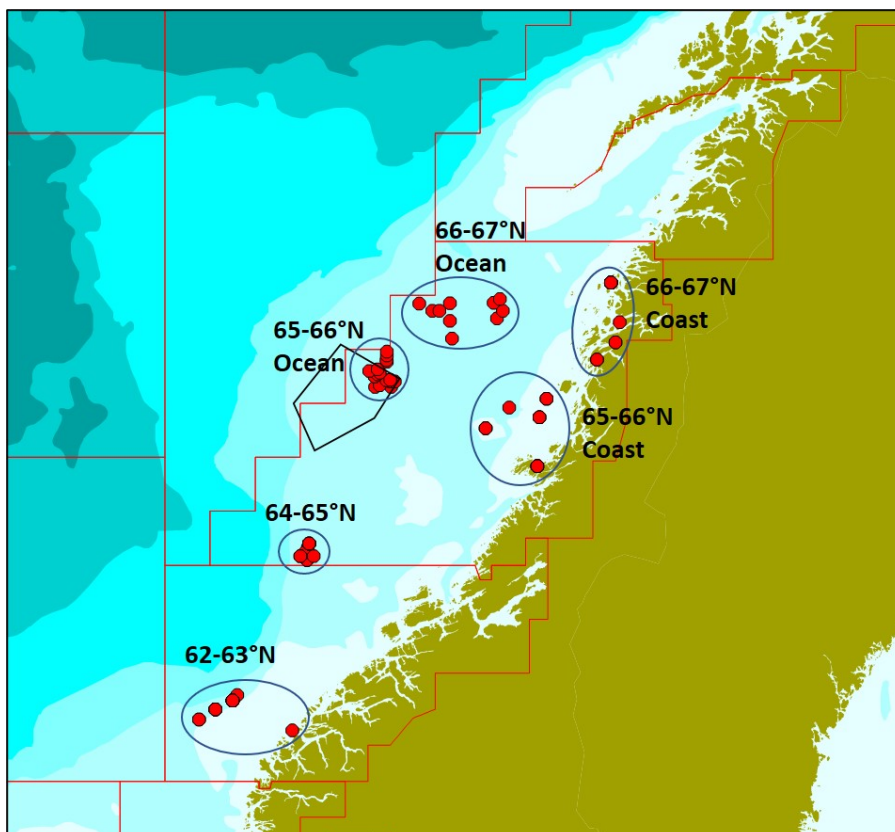


Figure 1. Map showing positions where one or more Atlantic halibut were sampled in this study. The fish were grouped into six geographical areas, area 62-63°N (21 fish), area 64-65°N (14 fish), area 65-66°N Ocean (17 fish), area 65-66°N Coast (16 fish), area 66-67°N Ocean (10 fish) and area 66-67°N Coast (15 fish). The fishing area closed for fishing of Atlantic halibut is indicated with a black polygon. Halibut from area 65-66°N Ocean were collected within (12 fish) and right outside of (5 fish) this area.

Det var planlagt å samle inn 20 fisk fra det stengte fiskefeltet, samt 20 fisk fra hvert av fire områder sør, øst og nord for det stengte fiskefeltet. Etter endt prøvetaking ble det klart at de faktiske prøvetakingsposisjonene fordelte seg mer naturlig innenfor seks ulike områder som vist i figur 1 og tabell 1, med 21 fisk i område 62-63°N, 14 fisk i område 64-65°N, 17 fisk i område 65-66°N hav, 16 fisk i område 65-66°N kyst, 10 fisk i område 66-67°N hav og 15 fisk i område 66-67°N kyst. Blant kveitene fra område 65-66°N hav var 12 kveiter fanget innenfor det stengte fiskefeltet, mens fem kveiter var fanget like utenfor (nord for) det stengte fiskefeltet.

Tre av områdene der det ble fanget kveiter i denne undersøkelsen, område 62-63°N, område 64-65°N og område 66-67°N hav, har ikke tidligere vært undersøkt med hensyn til miljøgifter i kveite. For de resterende områdene har det tidligere vært fanget kveiter innenfor område 65-66°N hav i kartleggingsundersøkelsen (Nilsen m.fl., 2016) og innenfor de to kystområdene 65-66°N kyst og 66-67°N kyst i oppfølgingsundersøkelsen i 2017-2018 (Nilsen m.fl., 2019c).

Table 1. Sampling of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) from areas in the open ocean and along the coast between 62°N and 67°N in the Norwegian Sea in the period May to November 2019. Number of fish (N), range of sampling positions (latitude and longitude), and sampling period are given for each area.

Area	N	Sampling positions Latitude (° N)	Sampling positions Longitude (° E)	Sampling period
62-63°N	21	62.5-62.8	3.8-5.9	23.–26. May and 06. Nov
64-65°N	14	64.1-64.2	6.0-6.3	23. Aug–11. Sep
65-66°N Ocean	17	65.6-66.0	7.5-8.1	21. Aug–09. Sep
65-66°N Coast	16	64.9-65.5	10.1-11.5	20. Jun–04. Jul and 18. Oct–13. Nov
66-67°N Ocean	10	66.1-66.5	8.6-10.5	22.–31. Aug
66-67°N Coast	15	65.9-66.6	12.6-13.1	25. Jul — 02. Aug and 28.–30. Oct

For at resten av fisken skulle kunne omsettes, ble det tatt prøver av fremre del av kveitene (vanligvis inkludert hodet), kappet av bak brystfinnen som vist med rød stiplet linje i figur 2. Ved prøvetaking ble vekt, lengde og kjønn for fisken notert på følgeskjema som ble lagt ved prøven, og prøvene ble frosset ned før levering til Havforskningsinstituttet (HI).

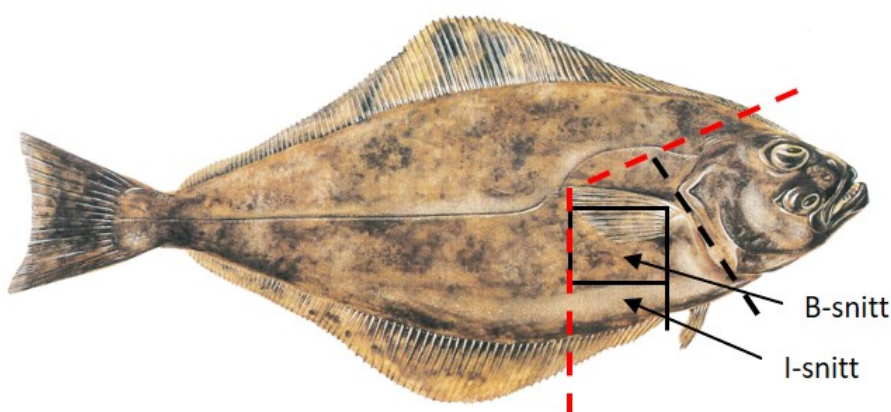


Figure 2. Illustration of cutting lines for Atlantic halibut. The fish were cut along the red, dotted line to give a sample including the head of the fish and two different sections of the fillet behind the head, the more lean part of the fillet (B-cut) and the more oily part of the fillet (I-cut). In some cases, the head was not included in the sample, but was cut off along the black dotted line. The sample was frozen before delivery to HI. (Based on illustration from "Facts about fish", Norwegian Seafood Export Council, Norway).

2.2 - Opparbeiding av prøver

Ved ankomst HI ble prøvene tint og det ble tatt ut B-snitt av fileten (figur 2). Filetprøvene ble homogenisert i en food processor. Vått, homogenisert materiale ble tatt ut og frosset ned i tett emballasje til bestemmelse av fettinnhold. Resten av det homogeniserte materialet ble frysetørket og homogenisert igjen til tørt pulver. Tørrestoffinnholdet ble bestemt, og prøvene ble oppbevart i tett emballasje fram til analyse for metaller og organiske miljøgifter (dioksiner og dioksinlignende PCB, ikke-dioksinlignende PCB (PCB6) og polybromerte flammehemmere (PBDE7)). Noe av det frysetørkede prøvematerialet ble sendt til Institutt for Energiteknikk og til Close Lab, University of Miami for bestemmelse av stabile isotoper av nitrogen og karbon.

2.3 - Analysemetoder

2.3.1 - Bestemmelse av metaller med ICPMS (Metode nr. 197)

Frysetørket prøve fra hver fisk ble veid inn til bestemmelse av metaller. Metaller ble bestemt ved hjelp av plasmamassespektrometer (ICPMS) etter dekomponering i mikrobølgeovn som beskrevet av Julshamn m.fl. (2007). Følgende grunnstoff ble bestemt: arsen, kadmium, kvikksølv, bly, sølv, kobber, jern, kobolt, sink, selen, mangan, vanadium, molybden, krom og nikkel. Metoden er akkreditert i henhold til NS-ISO 17025 for arsen, kadmium, kvikksølv, bly, kobber, sink og selen. Kvantifiseringsgrenser (LOQ) er beregnet på tørr prøve for hvert av grunnstoffene, og LOQ og måleusikkerhet for de akkrediterte stoffene er gitt i tabell 2. Analysekvaliteten overvåkes jevnlig ved deltakelse i ringtester og ved analyse av sertifiserte kontrollprøver.

2.3.2 - Bestemmelse av totalt fettinnhold med etylacetat-metode (Metode nr. 091)

Våte prøver ble ekstrahert med 30 % isopropanol i etylacetat, isopropanol og etylacetat ble dampet av og fett ble veid. Metoden er akkreditert i henhold til NS-ISO 17025, og laboratoriet har deltatt i ringtester med metoden siden 1998. LOQ og måleusikkerhet er gitt i tabell 2.

2.3.3 - Bestemmelse av dioksiner, furaner, non-orto og mono-orto PCB, PCB6 og PBDE med felles opparbeidelsesmetode (Metode nr. 292)

Frysetørkede prøver ble ekstrahert, rensert og analysert for dioksiner og dioksinlignende PCB (PCDD/F+dl-PCB), ikke-dioksinlignende PCB (PCB6) og polybromerte difenyletere (PBDE7) med metode som beskrevet av Julshamn m.fl. (2013), med følgende modifikasjoner: PCDD, PCDF og non-orto PCB ble analysert på HRGC/MS og mono-orto PCB, PCB6 og PBDE7 ble analysert på GC-MSMS. Alle konsentrasjoner ble beregnet ved hjelp av isotopfortynning og intern standard.

For bestemmelse av dioksiner og dioksinlignende PCB (PCDD/F+dl-PCB) ble det kvantifisert syv kongenere av dioksiner (PCDD), ti kongenere av furaner (PCDF), fire kongenere av non-orto PCB (PCB-77, -81, -126 og -169) og åtte kongenere av mono-orto PCB (PCB-105, -114, -118, -123, -156, -157, -167 og -189). Toksiske ekvivalentverdier (TE) ble bestemt ved å multiplisere konsentrasjonene med kongenernes toksiske ekvivalensfaktorer (WHO-TEF 2005). Ved beregning av sum PCDD/F og sum PCDD/F+dl-PCB for vurdering opp mot EUs og Norges grenseverdier ble konsentrasjoner mindre enn kvantifiseringsgrensen (LOQ) satt lik LOQ (upperbound LOQ) slik regelverket for grenseverdier krever (EU, 2020; Forskrift 3. juli 2015 Nr. 870 om visse forurensende stoffer i næringsmidler).

For bestemmelse av ikke-dioksinlignende PCB (PCB6) ble følgende seks kongenere kvantifisert: PCB-28, -52, -101, -138, -153 og -180. Sum PCB6 ble beregnet med upperbound LOQ slik regelverket krever når verdiene skal vurderes opp mot EUs og Norges øvre grenseverdier.

For PBDE ble det kvantifisert 11 ulike kongenere, inkludert syv kongenere som summeres til en "standard sum PBDE7" (PBDE-28, -47, -99, -100, -153, -154 og -183). Sum PBDE7 ble beregnet med upperbound LOQ.

Metoden er akkreditert i henhold til NS-ISO 17025, og LOQ og måleusikkerhet er oppgitt i tabell 2. Analysekvaliteten overvåkes jevnlig ved deltakelse i ringtester og ved analyse av sertifiserte kontrollprøver.

Table 2. Undesirable substances included, analytical methods used, accreditation status of the methods, limit of quantification (LOQ) and measurement uncertainty (MU) for the samples analysed.

Analyte	Method	Accreditation	LOQ	MU (%)
Arsenic	ICP-MS	Yes	0.01 mg/kg d.w.	20 ^{c)}
Cadmium	ICP-MS	Yes	0.005 mg/kg d.w.	20 ^{c)}
Mercury	ICP-MS	Yes	0.005 mg/kg d.w.	25 ^{c)}
Lead	ICP-MS	Yes	0.03 mg/kg d.w.	25 ^{c)}
Copper	ICP-MS	Yes	0.1 mg/kg d.w.	25 ^{c)}
Zinc	ICP-MS	Yes	0.5 mg/kg d.w.	20 ^{c)}
Selenium	ICP-MS	Yes	0.01 mg/kg d.w.	25 ^{c)}
PCDDs and PCDFs	HRGC/HRMS	Yes	0.008-0.4 pg/g w.w. ^{a)}	20-35 ^{d)}
Non-ortho PCBs	HRGC/HRMS	Yes	0.008-0.4 pg/g w.w. ^{a)}	25-40 ^{d)}
Mono-ortho PCBs	GC-MSMS	Yes	10 pg/g w.w. ^{b)}	30-50 ^{a)}
PCB6	GC-MS MS	Yes	0.03 ng/g w.w. ^{b)}	30
PBDE7	GC-MSMS	Yes	0.002-0.013 ng/g w.w. ^{a)}	30-50 ^{a)}
Fat content	Gravimetry-ethyl acetate	Yes	0.1 g/100 g w.w.	5-12 ^{e)}

a) Depending on analyte (congener).

b) For fatty fish.

c) Measurement uncertainty (MU) at concentrations above 10xLOQ. At lower concentrations, MU is higher (70% for mercury and 40% for the other elements).

d) Depending on concentration level (for each congener).

e) Depending on concentration level.

2.3.4 - Analyse av stabile nitrogen- og karbonisotoper

Analyse av $\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ ble gjennomført på Institutt for Energiteknikk ved hjelp av EA-IRMS (Eurovector EA3028 Elemental Analyser og Horizon Isotope Ratio Mass Spectrometer). Stabile isotop-verdier ble beregnet som $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ ved bruk av følgende formel:

$$\delta X = ((R_{\text{prøve}} / R_{\text{standard}}) - 1) * 1000$$

hvor X er ^{13}C eller ^{15}N og R er $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ eller $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ for prøve og standard. Resultatene ble rapportert som promille (‰) i forhold til de internasjonale standardene atmosfærisk N_2 i luft ($\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$) og Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB), $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ for henholdsvis nitrogen og karbon. Nøyaktighet og presisjon for metoden ble bestemt ved bruk av en intern standard (IFE trout) kalibrert mot internasjonale sertifiserte referansematerialer (IAEA-N-1 og IAEA-N-2 for $\delta^{15}\text{N}$ og USGS-24 for $\delta^{13}\text{C}$). Gjennomsnitt ($\pm 1\text{SD}$) for IFE trout var: $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$: 11.6 ‰ ± 0.2 og $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$: -20.2 ‰ ± 0.2 . Gjennomsnitt ($\pm 1\text{SD}$) for 58 analyser av IFE trout standarden analysert sammen med prøven, var: $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$: 11.5 ‰ ± 0.2 og $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$: -20.1 ‰ ± 0.1 .

2.3.5 - Compound specific nitrogen isotope analysis of amino acids (CSIA-AA)

Analyse av stabile nitrogenisotoper i individuelle aminosyrer (CSIA-AA) ble utført ved Close Lab, University of Miami, Florida, USA i samarbeid med Dr. Hilary Close. Analysen ble utført på prøver av 10 kveiter fra område 65-66°N hav og 10 kveiter fra område 65-66°N kyst. Kveitene ble valgt ut slik at fisken fra de to områdene var parvis like store, med et spenn i lengde mellom 85 og 145/147 cm i begge områder.

Frysetørkede prøver ble hydrolysert med saltsyre og frigjorte aminosyrer ble renset og derivatisert til trifluoracetyl/isopropyl-estere som beskrevet av Hannides m.fl. (2009) før analyse. Derivatiserte aminosyrer ble

analysert ved gasskromatografi (Thermo Trace 1310 gasskromatograf, BPX5 kolonne) via en kombinert forbrenning/reduksjonsenhet (Thermo Isolink II, 1000°C) og flytende nitrogen kuldefelle, koblet til Thermo Conflo IV and MAT 253 Plus isotope ratio mass spectrometer. Instrument nøyaktighet ble bestemt ved analyse av standard blandinger av aminosyrer med kjente $\delta^{15}\text{N}$ -verdier, og resultatene ble rapportert som promille (‰) i forhold til den internasjonale standarden atmosfærisk N_2 i luft.

Trofisk posisjon (TP) ble beregnet på grunnlag av vektete middelerverdier av $\delta^{15}\text{N}$ for tre trofiske aminosyrer ($\delta^{15}\text{N}_{\text{TAA}}$) og tre kilde-aminosyrer ($\delta^{15}\text{N}_{\text{SAA}}$) som beskrevet av Bradley m.fl. (2015). De tre trofiske aminosyrene (TAA) var alanin, leucin og glutaminsyre, og de tre kilde-aminosyrene (SAA) var glycin, fenylalanin og lysin. TP ble beregnet fra følgende formel:

$$\text{TP} = 1 + [(\delta^{15}\text{N}_{\text{TAA}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{SAA}} - \beta) / \text{TDF}]$$
 med konstantene $\beta=3,6$ ‰ og $\text{TDF}=5,7$ ‰.

2.3.6 - Statistiske metoder

For å teste om fysiske og biologiske parametere (lengde, vekt, kondisjonsfaktor, fettinnhold, $\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$) var signifikant forskjellige mellom ulike områder benyttet vi enveis variansanalyse (ANOVA) fulgt av Tukey post-hoc test. Før ANOVA ble dataene testet for antagelsen om homogene varianser ved Levenes test og inspeksjon av residualplott. For parameteren vekt var det nødvendig med $\log_{10}$ -transformering av dataene før analysen for å tilfredsstille antagelsen om homogene varianser.

Sammenligning av kvikksølvkonsentrasjoner mellom ulike områder ble foretatt ved kovariansanalyse (ANCOVA) med lengde som kovariat siden kvikksølvkonsentrasjonen økte med økende lengde på fisken i alle områder. Fordi det var svært ulik størrelsesfordeling på fisken mellom noen av områdene, ble kovariansanalysen utført med kun fisk større enn 80 cm. Før ANCOVA ble dataene testet for antagelsen om homogene varianser ved Levenes test og inspeksjon av residualplott. Etter $\log_{10}$ -transformering tilfredsstilte kvikksølvdataene denne antagelsen, og $\log_{10}$ -transformerte data ble derfor benyttet i analysen.

Sammenligning av konsentrasjoner av organiske miljøgifter (sum PCDD/F+dl-PCB, sum PCB6 og sum PBDE7) mellom ulike områder ble foretatt ved enveis ANOVA med Tukey post-hoc test. Konsentrasjoner beregnet på fettvektbasis ble benyttet i analysen for å korrigere for variasjoner i fettinnhold mellom områdene siden våtvektkonsentrasjonene økte med økende fettinnhold i fisken i alle områder. Før ANOVA ble dataene testet for antagelsen om homogene varianser ved Levenes test og inspeksjon av residualplott. Etter $\log_{10}$ -transformering tilfredsstilte dataene for alle de organiske miljøgiftene denne antagelsen, og $\log_{10}$ -transformerte data ble derfor benyttet i analysen.

All statistisk analyse ble utført ved bruk av Statistica™, version 13.5.0.17 (Dell Inc., Round Rock, TX, USA) og statistisk signifikans ble akseptert ved $p < 0,05$.

3 - Resultater og diskusjon

3.1 - Fysiske og biologiske parametere

En oversikt over fysiske og biologiske parametere for de 93 kveitene som ble samlet inn og analysert i denne undersøkelsen, er gitt i tabell 3. Kveitene varierte i lengde fra 52 til 163 cm, med et gjennomsnitt på 99 cm, og i vekt fra 1,5 til 46 kg med et gjennomsnitt på 14,4 kg. Kveitene var i gjennomsnitt noe mindre enn kveitene fra kartleggingsundersøkelsen som hadde en gjennomsnittlig lengde og vekt på 114 cm og 24 kg (Nilsen m.fl., 2016). Lavere gjennomsnittlig størrelse skyldes primært at det ikke ble fanget kveiter større enn 46 kg i denne undersøkelsen, mens 11% av kveitene i kartleggingsundersøkelsen var svært store fisk mellom 46 og 225 kg.

Kondisjon, gitt som K-faktor ($100 \times \text{vekt} / \text{lengde}^3$) og fettinnhold i muskel (B-snitt) ble bestemt for hver enkelt fisk, og resultatene viste at det var stor variasjon både i kondisjon og fettinnhold mellom individene (tabell 3). Fettinnholdet varierte fra 0,59 til 18 g/100 g med et gjennomsnitt på 3,3 g/100 g, som er lavere enn gjennomsnittlig fettinnhold i B-snitt for kveitene fra kartleggingsundersøkelsen (4,6 g/100g; Nilsen m.fl., 2016). Fettinnholdet i kveite øker med økende størrelse på fisken (Nilsen m.fl., 2016), og lavere gjennomsnittlig fettinnhold har derfor trolig sammenheng med at kveitene i denne undersøkelsen i gjennomsnitt var mindre enn i kartleggingsundersøkelsen.

Stabile isotoper av nitrogen og karbon i muskel ble bestemt for hver enkelt fisk og resultatene viste at $\delta^{15}\text{N}$ varierte mellom 11,4 og 14,7 ‰ med et gjennomsnitt på 13,1 ‰, og $\delta^{13}\text{C}$ varierte mellom -21,1 og -18,0 ‰ med et gjennomsnitt på -20,3 ‰ (tabell 3). Gjennomsnittlig $\delta^{15}\text{N}$ var noe lavere og gjennomsnittlig $\delta^{13}\text{C}$ var litt høyere enn i kartleggingsundersøkelsen ($\delta^{15}\text{N}=13,7$ ‰ og $\delta^{13}\text{C}=-21,0$ ‰; Nilsen m.fl., 2019b), noe som igjen kan ha sammenheng med at kveitene var mindre enn i kartleggingsundersøkelsen. Tidligere resultater har vist at $\delta^{15}\text{N}$ ofte øker mens $\delta^{13}\text{C}$ avtar med økende størrelse for atlantisk kveite fra disse områdene (Nilsen m.fl., 2019b).

Kjønn ble bestemt for 57 av kveitene, og blant disse var det en noenlunde jevn kjønnsfordeling med 56 % hunner og 44 % hanner.

Table 3. Overall results for length, weight, K-factor, fat content in muscle (B-cut) and the stable isotopes of nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) from Atlantic halibut collected in the Norwegian Sea in 2019.

	N	Mean $\pm$ SD	Median	Min-max
Length (cm)	93	99 $\pm$ 30	97	52-163
Weight (kg)	93	14.4 $\pm$ 1.3	9.9	1.5-46
K-factor	93	1.13 $\pm$ 0.17	1.1	0.68-2.0
Fat content in B-cut (g/100g)	93	3.3 $\pm$ 3.0	2.2	0.59-18
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	93	13.1 $\pm$ 0.7	13.1	11.4-14.7
$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	93	-20.3 $\pm$ 1.0	-20.1	-21.1 - -18.0

3.1.1 - Variasjon i størrelse, kondisjon, fettinnhold, $\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ mellom ulike områder

Størrelse, kondisjon (målt som K-faktor), fettinnhold, $\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ varierte mellom områdene der fisken var fanget som vist i figur 3.

Det var stor variasjon i gjennomsnittlig størrelse mellom områdene (figur 3A,B). Den største fisken ble fanget i område 65-66°N hav der gjennomsnittlig lengde og vekt var 129 cm og 28,7 kg. Kveitene fra dette området inkluderte 12 fisk fanget innenfor og fem fisk fanget like utenfor det stengte fiskefeltet (se figur 1 for fangstposisjoner). De fleste kveitene i dette området hadde lengde mellom 120 og 145 cm, og ingen fisk under 85 cm ble fanget her. Det var ingen vesentlig forskjell i gjennomsnittlig størrelse på de 12 kveitene fanget innenfor (126 cm, 27 kg) og de fem kveitene fanget like utenfor (136 cm, 32 kg) det stengte fiskefeltet. Kveitene i 65-66°N hav var signifikant større enn kveiter fra alle andre

områder unntatt område 65-66°N kyst (øst for det stengte fiskefeltet) og område 66-67°N hav (nord for det stengte fiskefeltet) (ANOVA, $p < 0,01$). Kveitene i område 65-66°N hav var også i gjennomsnitt noe større enn kveitene fra det tilsvarende området i kartleggingsundersøkelsen (område 06; snitt lengde/vekt: 114 cm/21 kg; Nilsen m.fl. 2016).

Området med de minste kveitene i denne undersøkelsen var det sørligste området (område 62-63°N) der gjennomsnittlig lengde og vekt på fisken var 71 cm og 4,3 kg (figur 3A,B). De fleste fiskene i dette området var svært små (54-78 cm), og kun tre fisk var større enn 80 cm. Dette kan ha sammenheng med at kveiter i det sørlige området generelt er mindre (mye mindre andel større fisk) enn kveiter fra områdene lenger nord, blant annet på grunn av en mindre bestand og større fiskepress. Kveitene i alle de øvrige områdene var av middels størrelse med gjennomsnittlig lengde og vekt på 89-111 cm og 10,7-19,0 kg.

Gjennomsnittlig kondisjon, målt som K-faktor, varierte mellom områdene på tilsvarende måte som størrelse (figur 3C). Fettinnholdet varierte også stort sett på samme måte som størrelse mellom områdene, med høyest fettinnhold i områder der fisken var størst og lavest fettinnhold der fisken var minst. Et unntak var område 65-66°N kyst, der kveitene hadde et forholdsvis lavt fettinnhold selv om fisken var forholdsvis stor (figur 3D). Den eneste statistisk signifikante forskjellen i fettinnhold mellom områdene var at fettinnholdet i område 65-66°N kyst var signifikant lavere enn i område 65-66°N hav (ANOVA, $p < 0,05$).

Kveitene i denne undersøkelsen ble også analysert for stabile isotoper av nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) som et mål på trofisk nivå (Post 2002, Borgå m.fl. 2012) og stabile isotoper av karbon ($\delta^{13}\text{C}$) som kan brukes til å skille mellom næringsnett med ulike primære karbonkilder (Hobson m.fl. 2002, Hoekstra m.fl. 2003). Resultatene viste at $\delta^{13}\text{C}$ varierte lite mellom områdene. Område 65-66°N hav hadde noe lavere $\delta^{13}\text{C}$ enn område 65-66°N kyst, men forskjellen var ikke statistisk signifikant og det var heller ingen andre signifikante forskjeller i $\delta^{13}\text{C}$ mellom områdene (figur 3F).

For $\delta^{15}\text{N}$ var det større variasjon mellom områdene. De laveste verdiene for $\delta^{15}\text{N}$ ble funnet i område 62-63°N med et gjennomsnitt på 12,2 ‰, signifikant lavere enn i alle andre områder som ble undersøkt. Område 66-67°N hav hadde også forholdsvis lav $\delta^{15}\text{N}$ (12,9 ‰), mens alle de øvrige områdene hadde verdier mellom 13,2 og 13,7 ‰. Kveite fra område 65-66°N hav, som inkluderte kveiter fra det stengte fiskefeltet, hadde signifikant høyere $\delta^{15}\text{N}$ enn de to områdene med lavest $\delta^{15}\text{N}$ -verdier (62-63°N og 66-67°N hav, ANOVA, $p < 0,05$), men var ikke signifikant forskjellig fra $\delta^{15}\text{N}$ i de øvrige områdene som ble undersøkt (figur 3E). Dette tyder på at kveiter fra område 65-66°N hav beiter på et høyere nivå i næringskjeden (høyere trofisk nivå) enn kveiter fra område 62-63°N og 66-67°N hav, men ikke på et høyere trofisk nivå enn kveiter fra de øvrige områdene. Det er tidligere vist $\delta^{15}\text{N}$ ofte øker med økende størrelse for atlantisk kveite fra disse områdene (Nilsen m.fl., 2019b), og det er derfor mulig at variasjonen i $\delta^{15}\text{N}$ mellom områdene i hvert fall delvis er knyttet til variasjon i fiskens størrelse. Særlig den store forskjellen i $\delta^{15}\text{N}$ mellom kveiter fra område 65-66°N hav og område 62-63°N kan trolig for en stor del forklares ved stor forskjell i størrelse mellom fisken fra disse områdene.

En svakhet med den tradisjonelle metoden som er benyttet for å bestemme $\delta^{15}\text{N}$ i figur 3E, er at $\delta^{15}\text{N}$ -nivået i kveitene ikke bare er avhengig av kveitenes trofiske posisjon, men også av $\delta^{15}\text{N}$ på bunnen av næringskjeden som kan variere mellom de ulike områdene. For et lite utvalg av kveitene ble det derfor i tillegg benyttet en alternativ ny metode der stabile nitrogenisotoper ble bestemt i individuelle aminosyrer (compound specific isotope analysis of amino acids; CSIA-AA) som gjør det mulig å bestemme trofisk posisjon for en bestemt organisme mer nøyaktig. Metoden benytter seg av at noen aminosyrer, kalt trofiske aminosyrer (f.eks. Glu, Ala og Leu), viser tydelig økning i $\delta^{15}\text{N}$ med økende trofisk nivå, mens andre aminosyrer, kalt kilde-aminosyrer (f.eks. Phe, Lys og Gly), viser liten eller ingen økning i $\delta^{15}\text{N}$ oppover i næringskjeden. Ved å måle $\delta^{15}\text{N}$ i en eller flere trofiske aminosyrer i forhold til $\delta^{15}\text{N}$ i en eller flere kilde-aminosyrer kan trofisk posisjon bestemmes mer uavhengig av variasjoner i $\delta^{15}\text{N}$ -verdien på bunnen av næringskjeden (Won m.fl., 2018, Bradley m.fl., 2015). Ti kveiter fra område 65-66°N hav og ti kveiter med tilsvarende størrelser fra område 65-66°N kyst ble analysert med CSIA-AA, og resultatene viste at trofisk posisjon for kveitene fra disse to områdene var svært like, med estimert trofisk posisjon 4,0 for område 65-66°N hav og 4,1 for område 65-66°N kyst (figur 7). Dette bekrefter resultatene fra figur 3E, og viser at selv når det blir tatt hensyn til mulige forskjeller i $\delta^{15}\text{N}$ på bunnen av næringskjeden, er det liten eller ingen forskjell i trofisk posisjon for kveite fra disse to områdene.

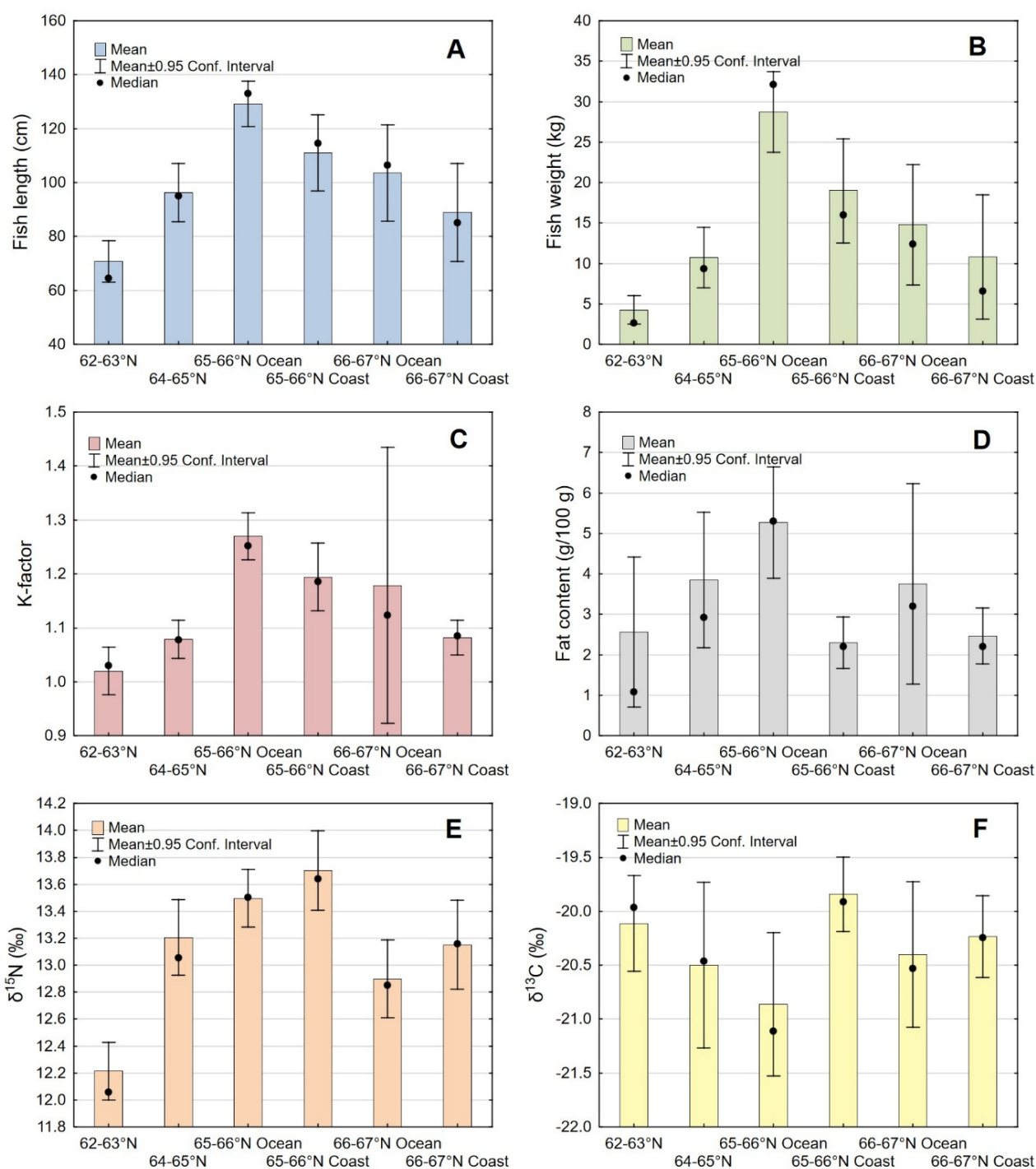


Figure 3. A) Fish length (cm), B) weight (kg), C) K-factor (weight*100/length³), D) fat content (g/100g), E) $\delta^{15}\text{N}$ and F) $\delta^{13}\text{C}$ of Atlantic halibut collected in different areas in the Norwegian Sea in 2019 (see figure 1 for geographical location of the different areas). Halibut from area 65-66°N Ocean were collected within (12 fish) and right outside of (5 fish) the area closed for halibut fishing. Columns and error bars indicate mean values $\pm$ 95% confidence intervals and black dots mark median values.

3.2 - Metaller i muskel

Konsentrasjonen av 15 ulike grunnstoffer bestemt i muskel av kveite er gitt i tabell 4. Resultatene for kvikksølv er av størst interesse i dette arbeidet og presenteres mer i detalj under kapittel 3.2.1, mens det her gis en kort oppsummering for de øvrige metallene.

Table 4. Concentrations of 15 different elements in muscle from Atlantic halibut collected in the Norwegian Sea in 2019. Mean, standard deviation (SD), median, minimum and maximum values and number of fish with concentrations below the limit of quantification (LOQ) are given. EU maximum levels for mercury, cadmium and lead in muscle meat from Atlantic halibut are shown in a separate column.

Element (mg/kg ww)	N	Mean*	SD*	Median	Min	Max	# < LOQ	EU max level
Mercury (Hg)	93	0.40	0.49	0.19	0.031	2.0	0	1.0
Cadmium (Cd)	93			<0.001	<0.0008	0.034	70	0.05
Lead (Pb)	93			<0.005	<0.004	<0.008	93	0.3
Arsenic (As)	93	10.4	8.0	7.7	0.88	38	0	-
Selenium (Se)	93	0.50	0.14	0.47	0.29	0.93	0	-
Copper (Cu)	93	0.16	0.038	0.15	0.10	0.35	0	-
Zinc (Zn)	93	4.0	0.84	3.7	2.8	6.6	0	-
Iron (Fe)	93	0.79	0.24	0.73	0.48	1.7	0	-
Manganese (Mn)	93	0.095	0.029	0.092	0.042	0.21	0	-
Silver (Ag)	93			<0.002	<0.002	<0.003	93	-
Molybdenum (Mo)	93			<0.02	<0.02	<0.03	93	-
Cobalt (Co)	93			<0.005	<0.004	<0.008	93	-
Vanadium (V)	93			<0.001	<0.0008	0.0020	82	-
Chromium (Cr)	93			<0.004	<0.004	0.19	56	-
Nickel (Ni)	93			<0.06	<0.05	<0.09	93	-

*Mean and standard deviation (SD) were only determined for elements where more than half the number of fish had concentrations above the limit of quantification (LOQ).

Konsentrasjonene av bly i kveitemuskel (B-snitt) var svært lave og lå under kvantifiseringsgrensene for alle kveitene i denne undersøkelsen (tabell 3). Kadmium var et av metallene som var forhøyet i sedimentene i området øst for det stengte fiskefeltet (Nilsen m.fl., 2019c), men konsentrasjonene av kadmium i kveitemuskel var lave, med verdier under kvantifiseringsgrensen for de aller fleste kveitene. Dette stemmer godt overens med resultatene fra kartleggingsundersøkelsen (Nilsen m.fl., 2016) og den oppfølgende undersøkelsen av kveite fra kysten av Trøndelag og Nordland (Nilsen m.fl., 2019a). Ingen av kveitene hadde konsentrasjoner av disse metallene over EUs og Norges grenseverdier på 0,05 mg/kg våtvekt og 0,3 mg/kg våtvekt som gjelder for henholdsvis kadmium og bly i filet av de fleste fiskearter (EU 2020, *Forskrift om visse forurensende stoffer i næringsmidler*).

Arsen og de essensielle metallene selen, kobber, sink, jern og mangan var til stede i målbare konsentrasjoner i alle kveitene, mens metallene sølv, molybden, kobolt, vanadium, nikkel og krom var enten under kvantifiseringsgrensen eller til stede i svært lave konsentrasjoner i alle eller de fleste kveitene. Nivåene av alle disse elementene stemte godt overens med nivåene som er funnet i de to tidligere undersøkelsene av atlantisk kveite (Nilsen m.fl., 2016, Nilsen m.fl., 2019a). Kobber var et av metallene som var forhøyet i sedimentene øst for det stengte fiskefeltet, men konsentrasjonen av kobber i kveitemuskel i denne undersøkelsen var på samme nivå som kobberkonsentrasjonene i kveitemuskel fra de fleste områder i kartleggingsundersøkelsen (Nilsen m.fl., 2016).

3.2.1 - Kvikksølv

Konsentrasjonene av kvikksølv i kveitemuskel (B-snitt) fra de seks ulike områdene undersøkt i dette arbeidet er oppsummert i tabell 5 og figur 5.

Resultatene viste at kveiter fra område 65-66°N hav (figur 1), hadde en gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon på 1,1 mg/kg våtvekt (vv), like over grenseverdien for kvikksølv i filet av atlantisk kveite på 1,0 mg/kg vv. Område 65-66°N hav inkluderte både det stengte fiskefeltet (12 fisk) og et område like utenfor (5 fisk, se figur 1), og gjennomsnittskonsentrasjonen her var betydelig høyere enn i alle de andre områdene som ble undersøkt (tabell 5). Ni av de 17 kveitene fra dette området (53%) oversteg grenseverdien, med verdier mellom 1,1 og 1,9 mg/kg vv. Dette var seks kveiter fanget innenfor og tre kveiter fanget like utenfor det stengte fiskefeltet. Område 66-67°N hav, nord for det stengte fiskefeltet, som ikke tidligere har vært undersøkt, hadde også en forholdsvis høy gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon på 0,59 mg/kg vv, og én enkeltfisk i dette området oversteg grenseverdien med en konsentrasjon på 2,0 mg/kg vv (tabell 5). I området rett sør for det stengte fiskefeltet, område 64-65°N, som heller ikke har vært undersøkt tidligere, var det to enkeltfisk med kvikksølvkonsentrasjoner like over grenseverdien. Resten av fisken i dette området hadde imidlertid betydelig lavere konsentrasjoner og gjennomsnittet for området var 0,35 mg/kg vv. De tre siste områdene, område 62-63°N (som ikke har vært undersøkt før), og de to kystområdene øst og nordøst for det stengte fiskefeltet (område 65-66°N kyst og 66-67°N kyst) hadde lavere gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon, mellom 0,10 og 0,24 mg/kg vv, og ingen enkeltfisk i disse områdene oversteg grenseverdien (tabell 5).

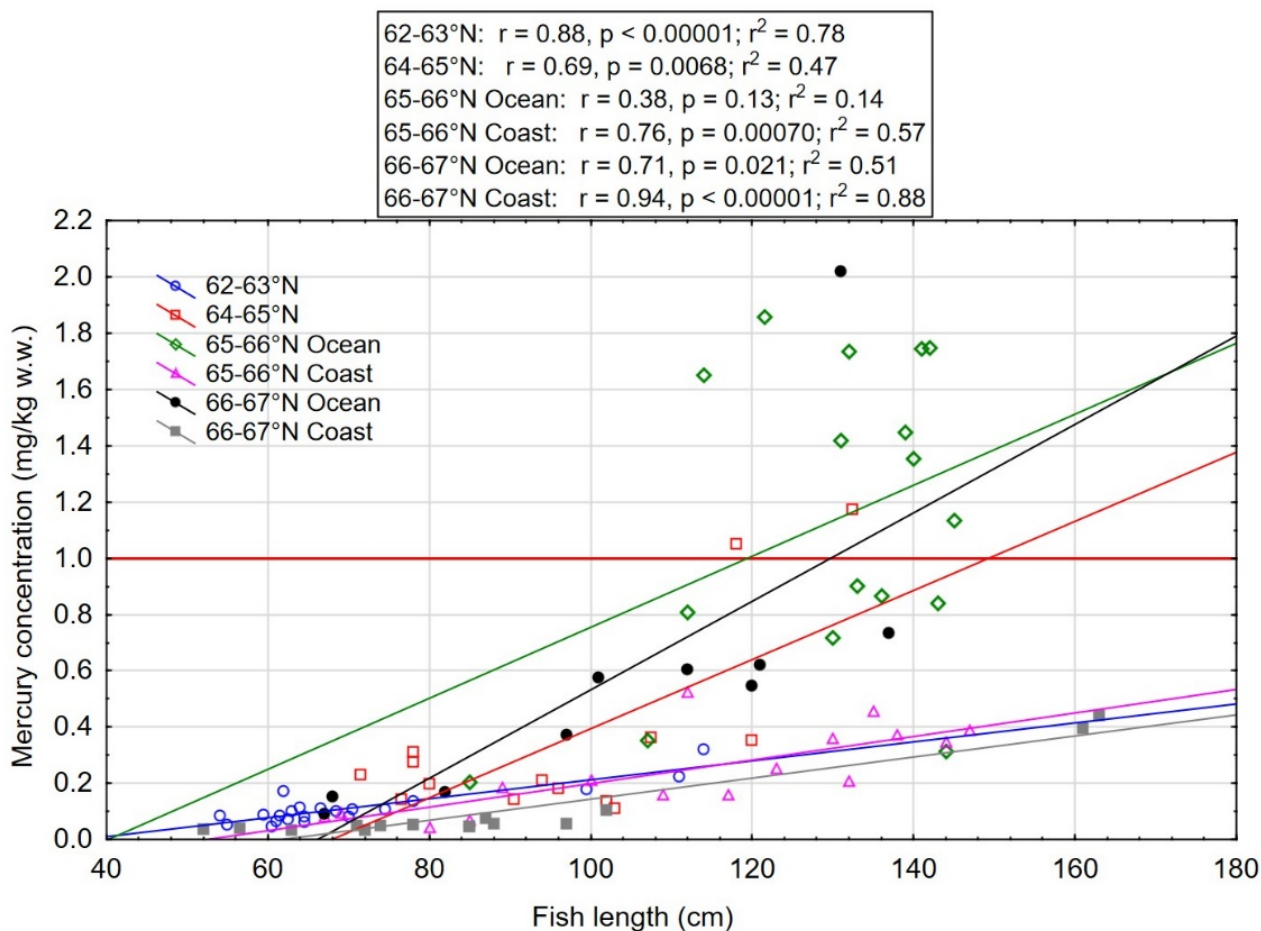
Table 5. Concentrations of mercury (mg/kg wet weight) in B-cut of muscle from Atlantic halibut collected in different areas in the Norwegian Sea in 2019 (see figure 1 for geographical location of the different areas). Mean±standard deviation (SD), median, minimum-maximum values and number (percentage) of fish with concentrations above the EU maximum level (#>EU max level) within each area are given. Values above the maximum level are indicated with red numbers.

Area	N	Mean ± SD	Median	Min-Max	# >EU max level*
62-63°N	21	0.11 ± 0.06	0.10	0.044 – 0.32	0
64-65°N	14	0.35 ± 0.33	0.22	0.11 – 1.2	2 (14%)
65-66°N Ocean	17**	1.1 ± 0.55	1.1	0.20 – 1.9	9 (53%)
65-66°N Coast	16	0.24 ± 0.15	0.21	0.043 – 0.52	0
66-67°N Ocean	10	0.59 ± 0.55	0.56	0.090 – 2.0	1 (10%)
66-67°N Coast	15	0.10 ± 0.13	0.049	0.031 – 0.44	0

* EU maximum level for mercury in muscle of Atlantic halibut is 1.0 mg/kg wet weight (EU, 2020).

**12 fish were sampled within the area closed for fishing of Atlantic halibut and 5 fish were sampled immediately outside this area.

Det er tidligere vist at kvikksølvnivået i atlantisk kveite øker med økende størrelse på fisken (Nilsen m.fl., 2016), og også i dette arbeidet ble det funnet en signifikant positiv sammenheng mellom kvikksølv og lengde på fisken i fem av de seks områdene som ble undersøkt (figur 4). Kun i område 65-66°N hav var det ingen signifikant sammenheng mellom kvikksølvkonsentrasjon og størrelse, men når kvikksølvkonsentrasjonen ble log-transformert for å bedre normalfordelingen av dataene ble det funnet en moderat positiv sammenheng med lengde også for dette området ($p=0,038$, $r=0,51$).



Figur 4. Linear regression between mercury concentration in muscle (B-cut; mg/kg wet weight) and fish length (cm) for Atlantic halibut collected in different areas in the Norwegian Sea in 2019 (see figure 1 for geographical location of the different areas). Halibut from area 65-66°N Ocean were collected within (12 fish) and right outside of (5 fish) the area closed for halibut fishing. The red horizontal line indicates the EU and Norway's maximum level for mercury in muscle meat of Atlantic halibut for human consumption. Results of Pearson's linear correlation for each area are given above the graph.

Siden kvikksølvnivået økte med økende størrelse på fisken, var det nødvendig å undersøke om variasjonen i kvikksølvkonsentrasjon mellom de ulike områdene kunne skyldes forskjeller i fiskens størrelse. For å sammenligne kvikksølvkonsentrasjoner mellom de ulike områdene ble derfor log-transformert kvikksølvkonsentrasjon sammenlignet ved kovariansanalyse med lengde som kovariat. Det var imidlertid en svært ulik størrelsesfordeling på kveite mellom de ulike områdene, med mange små fisk under 80 cm i enkelte områder (område 62-63°N og 66-67°N kyst) og ingen eller svært få små fisk i andre områder (65-66°N hav og 66-67°N hav) (figur 4). For å oppnå en mer lik størrelsesfordeling i de ulike områdene, ble kovariansanalysen derfor foretatt med en undergruppe av fisken med lengde over 80 cm (ca. 6 kg). Figur 5 viser kvikksølvkonsentrasjonen i de ulike områdene når alle kveiter er inkludert (venstre panel) og når kun kveiter over 80 cm er tatt med (høyre panel). Som forventet var gjennomsnittlig kvikksølvkonsentrasjon i alle områder noe høyere når kun kveiter over 80 cm ble tatt med, med unntak av område 65-66°N hav som ikke hadde noen fisk under 80 cm.

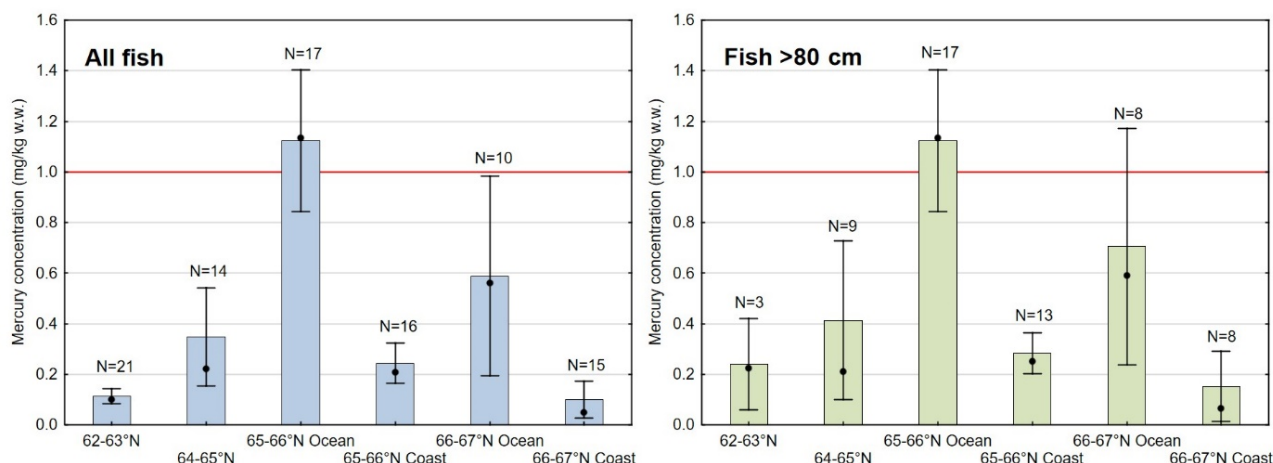


Figure 5. Concentration of mercury in B-cut of muscle (mg/kg wet weight) from Atlantic halibut collected in different areas in the Norwegian Sea in 2019 (see figure 1 for geographical location of the different areas). The left panel shows the results for all fish in the study, and the right panel shows results for fish with length above 80 cm. Mean $\pm$ 95% confidence intervals and median (black dots) are given. The red horizontal line indicates the EU and Norway's maximum level for mercury in muscle meat of Atlantic halibut for human consumption.

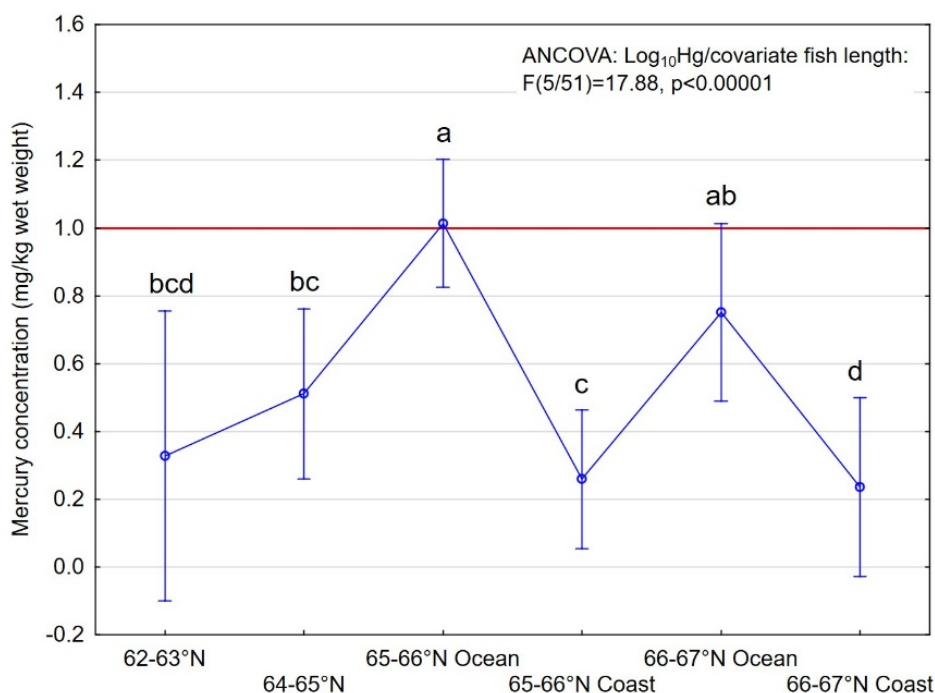


Figure 6. Length-adjusted mercury concentration in B-cut of muscle (mg/kg wet weight) from Atlantic halibut collected in different areas in the Norwegian Sea in 2019. The mercury concentrations were adjusted for length using ANCOVA, and only fish with length above 80 cm were included in the analysis. Least square mean $\pm$ 95% confidence interval is shown for each area. Results of ANCOVA are shown in the graph. Letters above the graph indicate significant or non-significant differences between the areas, i.e. different letters indicate significant difference between the areas, while one or more identical letter(s) indicate no significant difference between the areas. ANCOVA was performed on $\log_{10}$ -transformed Hg-concentrations and raw data are presented in the graph. The red horizontal line indicates the EU and Norway's maximum level for mercury in muscle meat of Atlantic halibut for human consumption.

Resultatene fra kovariansanalysen av lengdejusterte kvikksølvkonsentrasjoner for fisk over 80 cm (figur 6) viste at kvikksølvkonsentrasjonen i kveite fra område 66-67°N hav var signifikant høyere enn kvikksølvkonsentrasjonen i begge

områdene sør for det stengte fiskefeltet (område 62-63°N og 64-65°N) og begge kystområdene øst og nordøst for det stengte fiskefeltet (område 65-66°N kyst og 66-67°N kyst), men ikke signifikant høyere enn kvikksølvkonsentrasjonen i havområdet nord for det stengte fiskefeltet (område 66-67°N hav). Område 66-67°N hav hadde imidlertid et lavt antall fisk over 80 cm (8 fisk) og én enkelt fisk med svært høy kvikksølvkonsentrasjon (se figur 4). Når den ene fisken med høy kvikksølvkonsentrasjon ble ekskludert fra datasettet, viste kovariansanalysen at også område 66-67°N hav hadde signifikant lavere kvikksølvkonsentrasjon enn område 65-66°N hav ($p=0,021$). Resultatene viste videre at kveiter fra kystområdet 66-67°N kyst hadde signifikant lavere kvikksølvkonsentrasjon enn kveiter fra alle andre områder unntatt det sørligste området (62-63°N, figur 6). Det ble ikke funnet noen signifikant forskjell mellom kvikksølvkonsentrasjonen i kveiter fra de to sørligste områdene (område 62-63°N og 64-65°N) og kveiter fra kystområdet øst for det stengte fiskefeltet (65-66°N kyst) eller kveiter fra havområdet nord for det stengte fiskefeltet (66-67°N hav) (figur 6). Siden det sørligste området (62-63°N) hadde så mange små fisk og kun tre fisk over 80 cm, er det ikke mulig å trekke noen klar konklusjon med hensyn til nivået av kvikksølv i kveite fra dette området, bortsett fra at nivået er lavt i de små kveitene som faktisk er fanget her.

Resultatene for de lengdejusterte kvikksølvkonsentrasjonene bekrefter at nivåene av kvikksølv i kveiter fanget innenfor og like utenfor det stengte fiskefeltet i ytre Sklinnadupet (område 65-66°N hav) er høyere enn i områder lenger nord, sør og øst for dette området (figur 6), en forskjell som er statistisk signifikant for alle områder unntatt havområdet nord for det stengte fiskefeltet. Selv om ikke alle forskjeller mellom områdene var statistisk signifikante, viser resultatene tydelig at kvikksølvkonsentrasjonen er høyest i kveite fanget innenfor og like utenfor det stengte fiskefeltet, noe lavere i havområdet nord for det stengte fiskefeltet, enda lavere i havområdet sør for det stengte fiskefeltet, og aller lavest i det sørligste området og de to kystområdene mellom 65 og 67°N. De lave nivåene i det sørligste området og de to kystområdene mellom 65 og 67°N stemte godt overens med nivåer i tilstøtende kyst- og havområder lenger sør og nord som ble undersøkt i kartleggingsundersøkelsen (Nilsen m.fl., 2016).

Mellom 65 og 67°N var det en tydelig signifikant forskjell i kvikksølvkonsentrasjonen mellom kveiter fanget i havområdene innenfor og nord for det stengte fiskefeltet (område 65-66°N hav og 66-67°N hav) og kveiter fanget nærmere kysten (område 65-66°N kyst og 66-67°N kyst), en forskjell som ikke skyldtes forskjeller i fiskens lengde (figur 6). En annen mulig forklaring på forskjellene mellom disse områdene kunne være at kveiter fra områdene med høyest kvikksølvkonsentrasjon beitet på et høyere nivå i næringskjeden (høyere trofisk nivå) enn kveiter fra områder med lavere kvikksølvkonsentrasjon. Resultatene fra analyser av stabile isotoper av nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$), tyder imidlertid på at dette ikke er tilfelle, siden verdiene for $\delta^{15}\text{N}$ i de to havområdene enten var lik eller *lavere* enn $\delta^{15}\text{N}$ -verdiene i de to kystområdene (figur 3E). Dette tyder på at kveiter fra de to havområdene beiter på samme nivå eller *lavere* i næringskjeden enn kveitene fra kystområdene. En svakhet med den tradisjonelle metoden som er benyttet for å bestemme $\delta^{15}\text{N}$ i figur 3E, er imidlertid at $\delta^{15}\text{N}$ -nivået i kveitene ikke bare er avhengig av kveitenes trofiske posisjon, men også av $\delta^{15}\text{N}$ på bunnen av næringskjeden som kan variere mellom de ulike områdene. For et lite utvalg av kveitene ble det derfor i tillegg benyttet en alternativ metode der stabile nitrogenisotoper ble bestemt i individuelle aminosyrer (compound specific isotope analysis of amino acids; CSIA-AA) som gjør det mulig å bestemme trofisk posisjon for en bestemt organisme mer nøyaktig og mer uavhengig av variasjoner i $\delta^{15}\text{N}$ -verdien på bunnen av næringskjeden (Won m.fl., 2018, Bradley m.fl., 2015). Ti kveiter fra område 65-66°N hav og ti kveiter med tilsvarende størrelser fra område 65-66°N kyst ble analysert med denne metoden, og resultatene viste at trofisk nivå for kveitene fra disse to områdene var svært like, med estimert trofisk nivå 4,0 for område 65-66°N hav og 4,1 for område 65-66°N kyst (figur 7). Forskjeller i trofisk nivå kan dermed trolig ikke forklare den store forskjellen i kvikksølvkonsentrasjon mellom disse to områdene. Resultatene fra analyser av stabile isotoper av karbon ($\delta^{13}\text{C}$) som kan brukes til å skille mellom næringsnett med ulike primære karbonkilder (Hobson m.fl., 2002, Hoekstra m.fl., 2003), viste dessuten at $\delta^{13}\text{C}$ varierte lite mellom områdene (figur 3F). Område 65-66°N hav hadde riktignok noe lavere $\delta^{13}\text{C}$ enn område 65-66°N kyst, noe som kan bety at kveitene fra område 65-66°N kyst beiter noe mer bentisk eller kystnært (mer terrestrisk karbon) enn kveiter fra område 65-66°N hav. Det er grunn til å tro at kveiter fra havområdene spiser mer fisk og mindre bentiske organismer enn kveiter fra kystområdene, men siden forskjellen i $\delta^{13}\text{C}$ var liten og ikke statistisk signifikant, er det lite trolig at dette alene kan forklare forskjellen i kvikksølvkonsentrasjon mellom områdene.

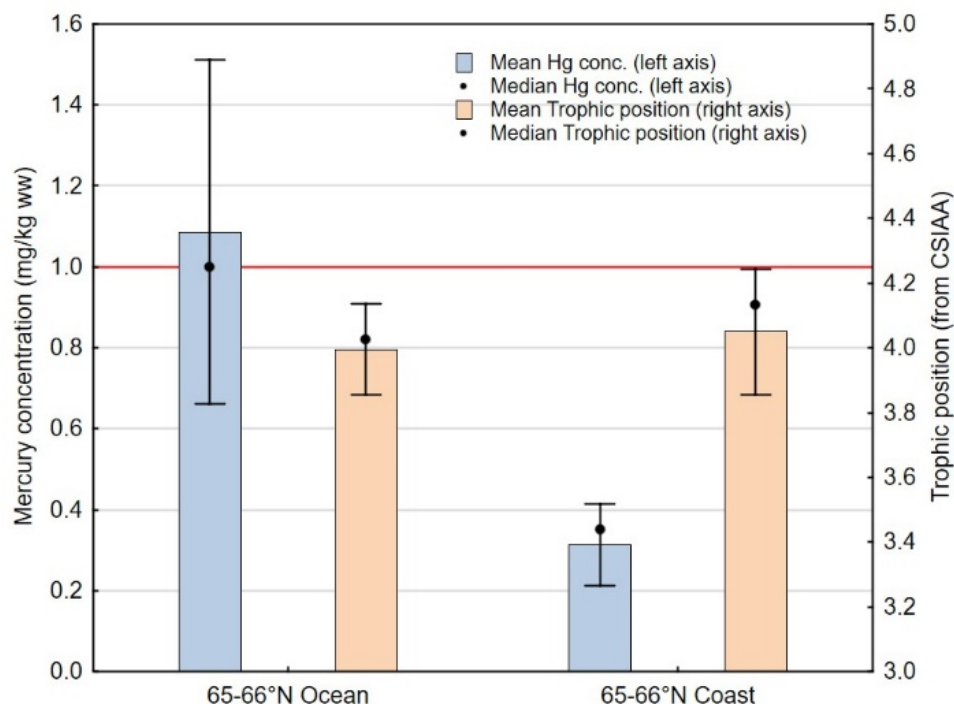


Figure 7. Mercury concentration in muscle (mg/kg wet weight, left axis) and trophic position (right axis) of Atlantic halibut collected in two different areas in the Norwegian Sea in 2019 (see figure 1 for geographical location of the different areas). Trophic position was determined by compound specific isotope analysis of amino acids (CSIAA), and ten fish of pairwise identical length were included from each area. Halibut from area 65-66°N Ocean were collected within (8 fish) and right outside of (2 fish) the area closed for halibut fishing. Mean $\pm$ 95% confidence intervals and median (black dots) are given. The red horizontal line indicates the EU and Norway's maximum level for mercury in muscle meat of Atlantic halibut for human consumption.

Kvikksølvkonsentrasjonen i kveiter fanget innenfor og rett utenfor det stengte fiskefeltet i denne undersøkelsen (snitt 1,1 mg/kg vv) var høyere enn i kveiter fanget innenfor det nå stengte fiskefeltet i kartleggingsundersøkelsen gjennomført i 2013-2016 (snitt 0,66 mg/kg vv). Dette kan ha sammenheng med at kveitene fra dette området var større i denne undersøkelsen (129 cm, 29 kg) enn i kartleggingsundersøkelsen (117 cm, 23 kg). Det var også en forskjell mellom de to undersøkelsene med hensyn til hvor fisken ble fanget innenfor det stengte fiskefeltet. Mens kveitene i denne undersøkelsen ble fanget kun i den nordøstlige delen av det stengte fiskefeltet (samt rett utenfor, nord for det stengte fiskefeltet), ble kveitene i kartleggingsundersøkelsen fanget innenfor hele det nå stengte fiskefeltet. Dette har sannsynligvis liten betydning med hensyn til forskjellene i kvikksølvkonsentrasjon mellom de to undersøkelsene, da det ikke ble funnet noen signifikant forskjell på konsentrasjonene av kvikksølv i kveite fra nordlig og sørlig del av det stengte fiskefeltet i kartleggingsundersøkelsen (ANOVA, $p=0,23$).

3.3 - Organiske miljøgifter i muskel

3.3.1 - Dioksiner og dioksinlignende PCB

Konsentrasjonene av sum dioksiner og furaner (sum PCDD/F) og sum dioksiner og dioksinlignende PCB (sum PCDD/F+dl-PCB) i kveitemuskel (B-snitt) fra de seks ulike områdene undersøkt i dette arbeidet er oppsummert i tabell 6.

Resultatene viste at kveiter fra område 65-66°N hav (inkludert 12 kveiter fanget innenfor og fem kveiter fanget like utenfor det stengte fiskefeltet (figur 1), hadde gjennomsnittlige konsentrasjoner av sum PCDD/F og sum PCDD/F+dl-PCB på henholdsvis 1,5 og 3,7 ng TE/kg vv. Dette var betydelig høyere enn i alle de andre områdene som ble undersøkt, men likevel klart under grenseverdiene for sum PCDD/F og sum PCDD/F+dl-PCB i fiskefilet til human konsum (tabell 6). Kun én av de 17 kveitene fra område 65-66°N hav (5.9 %) oversteg grenseverdien for sum PCDD/F+dl-PCB på 6,5 ng TE/ kg vv, med en verdi på 7,1 ng TE/ kg vv. Dette var en av de fem kveitene som ble fanget like utenfor det stengte fiskefeltet. De to havområdene rett sør og nord for det stengte fiskefeltet (område 64-65°N og 66-67°N hav) hadde også forholdsvis høye nivåer av sum PCDD/F og sum PCDD/F+dl-PCB, med gjennomsnittskonsentrasjoner på 0,58-0,59 ng TE/kg vv for sum PCDD/F og 1,7-1,8 ng TE/kg vv for sum PCDD/F+dl-PCB (tabell 6). Disse to områdene har ikke vært undersøkt tidligere. Én enkeltfisk i område 64-65°N oversteg grenseverdien for sum PCDD/F+dl-PCB med en verdi på 9,3 ng TE/kg vv (tabell 6), men de fleste andre fisk i dette området hadde mye lavere konsentrasjoner mellom 0,18 og 2,0 ng TE/kg vv. De tre siste områdene, område 62-63°N (som ikke har vært undersøkt før), og de to kystområdene øst og nordøst for det stengte fiskefeltet hadde lave gjennomsnittskonsentrasjoner (tabell 6). Ingen enkeltfisk i disse områdene oversteg grenseverdiene for disse forbindelsene.

Table 6. Concentrations (ng TEQ/kg wet weight) of sum dioxins and furans (sum PCDD/F) and sum dioxins, furans and dioxin-like PCBs (sum PCDD/F+dl-PCB) in B-cut of muscle from Atlantic halibut collected in different areas in the Norwegian Sea in 2019 (see figure 1 for geographical location of the different areas). Mean±standard deviation (SD), median, minimum-maximum values and number (percentage) of fish with concentrations above the EU maximum level (#>EU max level) within each area are given. Values above the maximum level are indicated with red numbers.

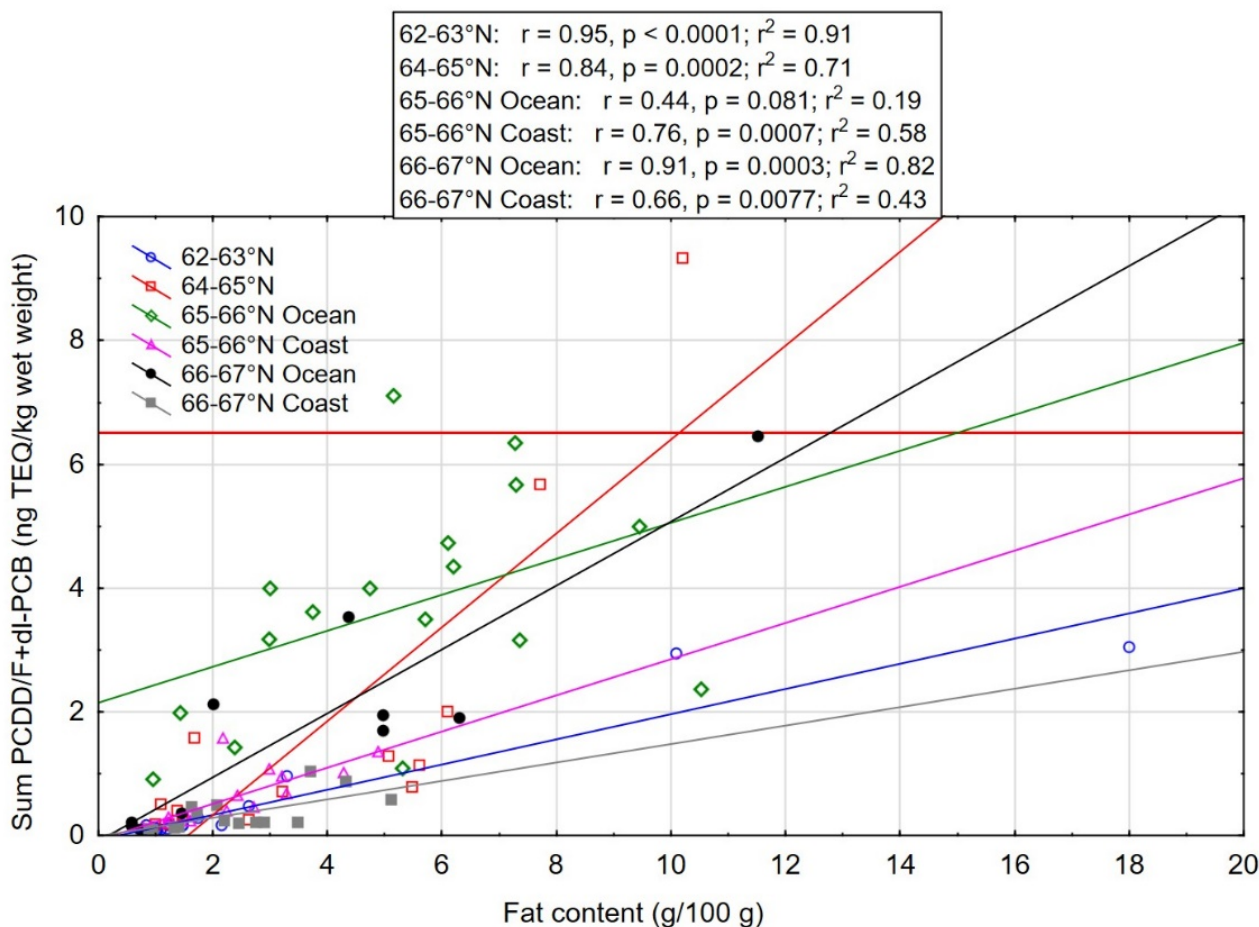
Area	N	Sum PCDD/F			Sum PCDD/F+dl-PCB		
		Mean±SD (Median)	Min-Max	#>EU max level ^a	Mean±SD (Median)	Min-Max	#>EU max level ^b
62-63°N	21	0.17±0.28 (0.065)	0.026-1.1	0	0.45±0.87 (0.14)	0.052-3.0	0
64-65°N	14	0.59±0.78 (0.30)	0.099-2.7	0	1.7±2.6 (0.75)	0.18- 9.3	1 (7.1%)
65-66°N Ocean	17 ^c	1.5±0.91 (0.86)	0.40-3.5	0	3.7±1.8 (3.6)	0.92- 7.1	1 (5.9%)
65-66°N Coast	16	0.20±0.12 (0.19)	0.046-0.42	0	0.60±0.46 (0.43)	0.14-1.6	0
66-67°N Ocean	10	0.58±0.51 (0.56)	0.065-1.7	0	1.8±2.0 (1.8)	0.10-6.5	0
66-67°N Coast	15	0.19±0.11 (0.16)	0.066-0.44	0	0.35±0.29 (0.21)	0.090-1.0	0

^a The EU maximum level for sum PCDD/F in muscle meat of fish is 3.5 ng TEQ/kg wet weight.

^b The EU maximum level for sum PCDD/F+dl-PCB in muscle meat of fish is 6.5 ng TEQ/kg wet weight.

^c 12 fish were sampled within the area closed for fishing of Atlantic halibut and 5 fish were sampled immediately outside this area.

Dioksiner og dioksinlignende PCB er fettløselige forbindelser, og det er tidligere vist at konsentrasjonen av sum PCDD/F+dl-PCB i atlantisk kveite øker med økende fettinnhold i fileten (Nilsen m.fl., 2016). Også i dette arbeidet fant vi en sterk signifikant positiv sammenheng mellom sum PCDD/F+dl-PCB og fettinnhold i fisken i fem av de seks områdene som ble undersøkt (figur 8). For område 65-66°N hav var det ingen signifikant sammenheng mellom sum PCDD/F+dl-PCB og fettinnhold, men når konsentrasjonen av sum PCDD/F+dl-PCB ble log-transformert for å bedre normalfordelingen av dataene var det en moderat positiv sammenheng med fettinnhold som var nær signifikant også i dette området (p=0,055, r=0,47).



Figur 8. Linear regression between concentration of sum PCDD/F+dl-PCB (ng TEQ/kg wet weight) and fat content (cm) in muscle (B-cut) of Atlantic halibut collected in different areas in the Norwegian Sea in 2019 (see figure 1 for geographical location of the different areas). Halibut from area 65-66°N Ocean were collected within (12 fish) and right outside of (5 fish) the area closed for halibut fishing. The red horizontal line indicates the EU and Norway's maximum level for sum PCDD/F+dl-PCB in muscle meat of Atlantic halibut for human consumption. Results of Pearson's linear correlation for each area are given above the graph.

I de to sørligste områdene samt i område 65-66°N hav fant vi også en signifikant positiv sammenheng mellom sum PCDD/F+dl-PCB og fiskens lengde når konsentrasjonene ble beregnet på våtvektbasis (figur 9A). Denne effekten av lengde henger imidlertid sammen med at fettinnholdet i kveite øker med økende lengde på fisken (Nilsen m.fl., 2016). Når konsentrasjonen av sum PCDD/F+dl-PCB ble beregnet på fettvektbasis, var det ingen signifikant sammenheng mellom sum PCDD/F+dl-PCB og fiskens lengde i noen av områdene, med unntak av det sørligste området (område 62-63°N, figur 9B). Dette tyder på at variasjonen i konsentrasjon av sum PCDD/F+dl-PCB mellom områdene ikke kan forklares med forskjeller i fiskens lengde.

Siden konsentrasjonen av sum PCDD/F+dl-PCB (beregnet på våtvekt) økte med økende fettinnhold i fisken i alle områder, samtidig som fettinnholdet varierte mellom områdene omtrent på samme måte som konsentrasjonen av sum PCDD/F+dl-PCB (jf. figur 3D og figur 10A), var det mulig at variasjonen i konsentrasjonen av sum PCDD/F+dl-PCB mellom områdene kunne skyldes variasjon i fiskens fettinnhold. Når konsentrasjonene av sum PCDD/F+dl-PCB i de ulike områdene ble beregnet på fettvektbasis for å korrigere for effekten av fettinnhold, fant vi imidlertid at konsentrasjonen av sum PCDD/F+dl-PCB varierte mellom områdene på omtrent tilsvarende måte som når konsentrasjonene ble beregnet på våtvektbasis (figur 10). Variasjonen mellom områdene kunne derfor ikke forklares med forskjeller i fettinnhold alene.

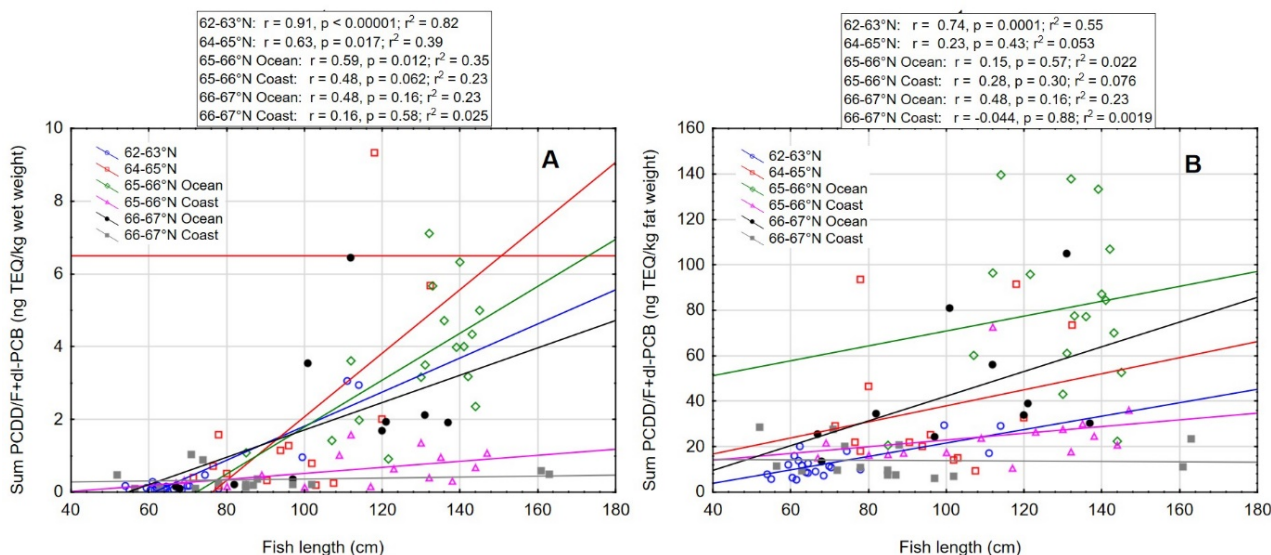


Figure 9. Linear regression between concentration of sum PCDD/F+dl-PCB on **A) wet weight basis** (ng TEQ/kg wet weight) or **B) fat weight basis** (ng TEQ/kg fat weight) and fish length (cm) for Atlantic halibut collected in different areas in the Norwegian Sea in 2019 (see figure 1 for geographical location of the different areas). Halibut from area 65-66°N Ocean were collected within (12 fish) and right outside of (5 fish) the area closed for halibut fishing. The red horizontal line in (A) indicates the EU and Norway's maximum level for sum PCDD/F+dl-PCB in muscle meat of Atlantic halibut for human consumption. Results of Pearson's linear correlation for each area are given above the graph.

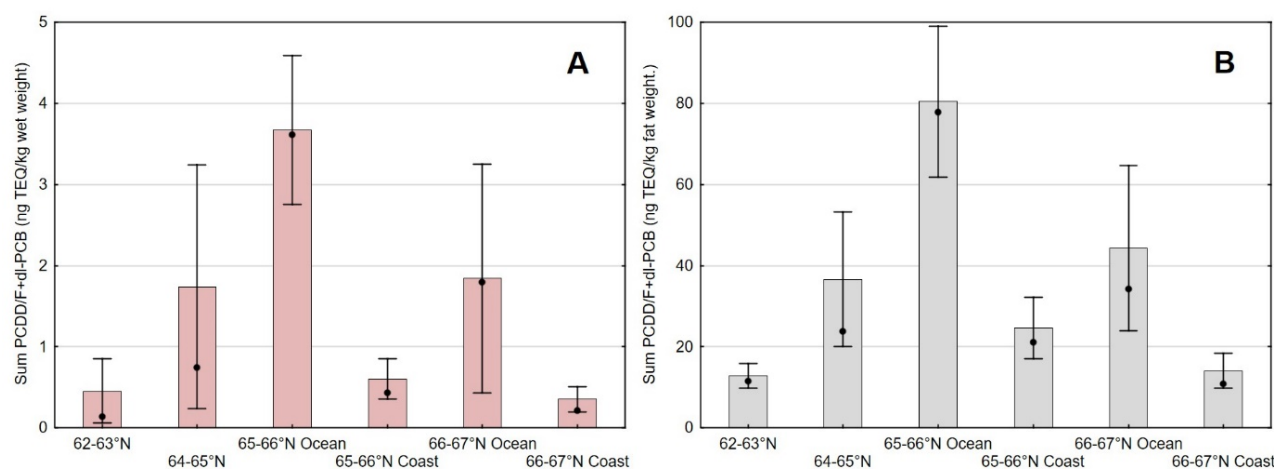


Figure 10. Concentration of sum PCDD/F+dl-PCB on **A) wet weight basis** (ng TEQ/kg wet weight) or **B) fat weight basis** (ng TEQ/kg fat weight) in B-cut of muscle from Atlantic halibut collected in different areas in the Norwegian Sea in 2019 (see figure 1 for geographical location of the different areas). Mean $\pm$ 95% confidence intervals and median (black dots) are given.

Sammenligning av områdene ved enveis ANOVA av log-transformerte konsentrasjoner av sum PCDD/F+dl-PCB beregnet på fettvekt, viste at konsentrasjonen av sum PCDD/F+dl-PCB i kveite fra område 65-66°N hav, var signifikant høyere enn konsentrasjonen av sum PCDD/F+dl-PCB i alle andre områder som ble undersøkt (figur 11). Denne forskjellen var tydelig signifikant for alle områder ($p < 0,0005$) med unntak av havområdet rett nord for det stengte fiskefeltet (66-67°N hav) som var bare så vidt signifikant forskjellig ved signifikansnivå 0,05 ($p = 0,047$). Resultatene viste videre at kveiter fisket i det sørligste området (62-63°N) og området lengst nord langs kysten (66-67°N kyst) hadde signifikant lavere konsentrasjoner av sum PCDD/F+dl-PCB enn kveiter fra alle de andre områdene (figur 11).

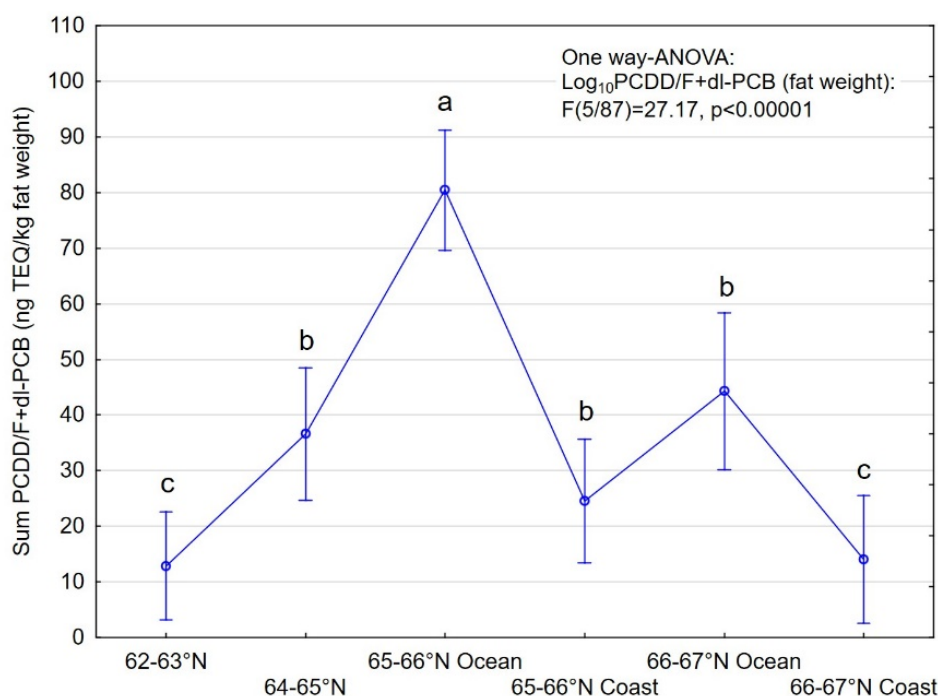


Figure 11. Concentrations of sum PCDD/F+dl-PCB on fat weight basis (ng TEQ/kg fat weight) in muscle (B-cut) of Atlantic halibut collected in different areas in the Norwegian Sea in 2019. Least square mean $\pm$ 95% confidence interval is shown for each area. Results of ANOVA are shown in the graph. Letters above the graph indicate significant or non-significant differences between the areas, i.e. different letters indicate significant difference between the areas, while identical letters indicate no significant difference between the areas. ANOVA was performed on $\log_{10}$ -transformed concentrations and raw data are presented in the graph.

På samme måte som for kvikksølv bekrefter resultatene for sum PCDD/F+dl-PCB at nivået av disse organiske miljøgiftene er høyere i kveiter fanget innenfor og like utenfor det stengte fiskefeltet i ytre Sklinnadupet (område 65-66°N hav) enn i områder lenger nord, sør og øst for dette området. De fettkorrigerte konsentrasjonene er høyest i kveite fanget innenfor og like utenfor det stengte fiskefeltet, noe lavere i havområdet nord for det stengte fiskefeltet, enda lavere i havområdet sør for det stengte fiskefeltet og kystområdet øst for det stengte fiskefeltet, og aller lavest i det sørligste området og kystområdet nordøst for det stengte fiskefeltet. Denne forskjellen mellom områdene er uavhengig av fettinnhold i fisken, og siden det generelt var dårlig sammenheng mellom konsentrasjon av sum PCDD/F+dl-PCB på fettvektbasis og fiskens størrelse (figur 9B), kan forskjellene i nivået av sum PCDD/F+dl-PCB mellom områdene trolig heller ikke forklares ved forskjeller i fiskens størrelse. Som diskutert for kvikksølv under kapittel 3.2.1, ble det heller ikke påvist noen forskjeller i trofisk posisjon mellom kveiter fra ulike områder som kunne forklare de store forskjellene i nivåer av miljøgifter.

Konsentrasjonen av sum PCDD/F+dl-PCB i kveiter fanget innenfor og rett utenfor det stengte fiskefeltet i denne undersøkelsen (snitt 3,7 ng TE/kg vv) var noe høyere enn i kveiter fanget innenfor det nå stengte fiskefeltet i kartleggingsundersøkelsen gjennomført i 2013-2016 (snitt 2,5 mg/kg vv), men forskjellen var liten og kan skyldes tilfeldige variasjoner. Forskjellen kan ikke forklares ved forskjeller i fettinnhold, da kveitene fanget i dette området i 2019 hadde samme fettinnhold (5,3 g/100 g) som kveitene fra det tilsvarende området i kartleggingsundersøkelsen (5,4 g/100 g; Nilsen m.fl., 2016).

3.3.2 - Ikke-dioksinlignende PCB (PCB6) og polybromerte flammehemmere (PBDE7)

Konsentrasjonene av ikke-dioksinlignende PCB (sum PCB6) og polybromerte flammehemmere (polybromerte difenyletere; PBDE7) i kveitemuskel (B-snitt) fra de seks ulike områdene undersøkt i dette arbeidet er oppsummert i tabell 7.

Resultatene viste at kveiter fra område 65-66°N hav, hadde en gjennomsnittlig konsentrasjon av sum PCB6 på 14 µg/kg vv. Dette var høyere enn i alle de andre områdene som ble undersøkt, men likevel langt under grenseverdien for sum PCB6 i fiskefilet til humant konsum på 75 µg/kg vv (tabell 7). Det var heller ingen enkeltfisk i denne undersøkelsen som oversteg grenseverdien for PCB6. De to havområdene rett sør og nord for det stengte fiskefeltet (område 64-65°N og 66-67°N hav) hadde litt lavere gjennomsnittskonsentrasjoner av sum PCB6 på henholdsvis 9,7 og 9,0 µg/kg vv (tabell 7). Området lengst sør (62-63°N) og de to kystområdene øst og nordøst for det stengte fiskefeltet (område 65-66°N kyst og 66-67°N kyst) hadde betydelig lavere gjennomsnittskonsentrasjoner, mellom 1,0 og 3,2 µg/kg vv.

Også for sum PBDE7 hadde kveiter fisket i område 65-66°N hav høyest gjennomsnittskonsentrasjon (1,4 µg/kg vv), men konsentrasjonene var nesten like høye i de to havområdene rett sør for og nord for det stengte fiskefeltet med gjennomsnitt på 1,0 µg/kg vv i begge områder (tabell 7). Området lengst sør, og de to kystområdene øst og nordøst for det stengte fiskefeltet hadde betydelig lavere gjennomsnittskonsentrasjoner av PBDE7, mellom 0,11 og 0,30 µg/kg vv (tabell 7).

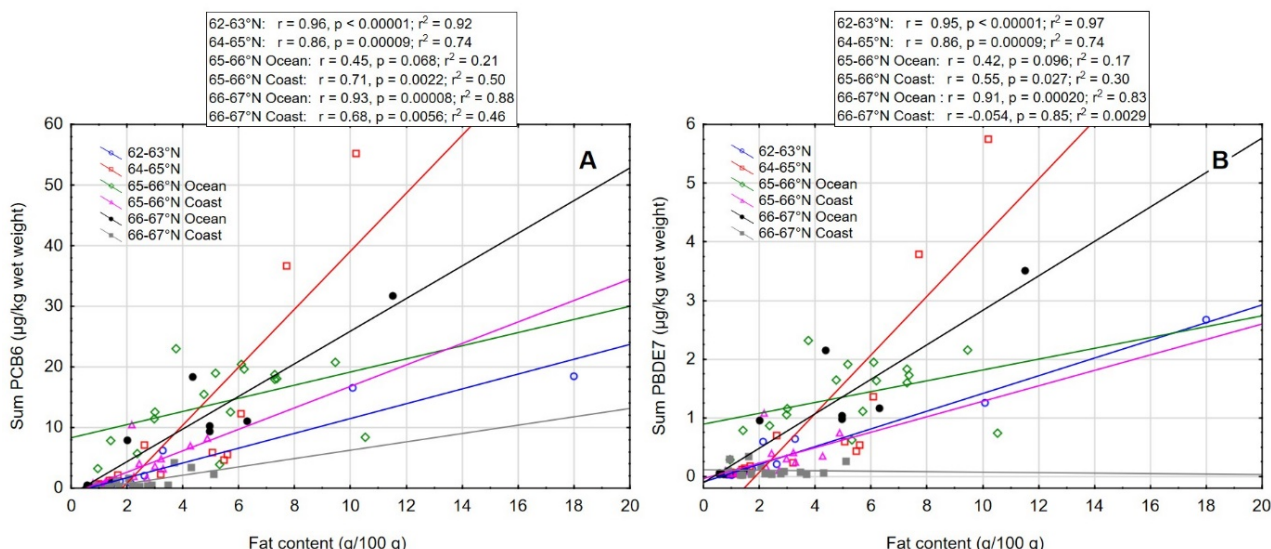
Table 7. Concentrations (µg/kg wet weight) of sum non-dioxinlike PCBs (sum PCB6) and sum polybrominated flame retardants (sum PBDE7) in B-cut of muscle from Atlantic halibut collected in different areas in the Norwegian Sea in 2019 (see figure 1 for geographical location of the different areas). Mean±standard deviation (SD), median, minimum-maximum values and number (percentage) of fish with concentrations above the EU maximum level (#>EU max level) within each area are given.

Area	N	Sum PCB6			Sum PBDE7	
		Mean±SD (Median)	Min-Max	#>EU max level ^a	Mean±SD (Median)	Min-Max
62-63°N	21	2.4±5.2 (0.50)	0.15-18	0	0.30±0.62 (0.056)	0.025-2.7
64-65°N	14	9.7±16.1 (3.5)	0.42-55	0	1.0±1.7 (0.33)	0.048-5.8
65-66°N Ocean	17 ^b	14.1±6.4 (15)	3.2-23	0	1.4±0.59 (1.6)	0.29-2.3
65-66°N Coast	16	3.2±3.0 (1.8)	0.49-10	0	0.27±0.29 (0.14)	0.047-1.1
66-67°N Ocean	10	9.0±10.0 (8.6)	0.20-32	0	1.0±1.1 (0.96)	0.033-3.5
66-67°N Coast	15	1.0±1.3 (0.38)	0.10-4.2	0	0.11±0.10 (0.056)	0.024-0.33

^a The EU maximum level for sum PCB6 in muscle meat of fish is 75 µg/kg wet weight.

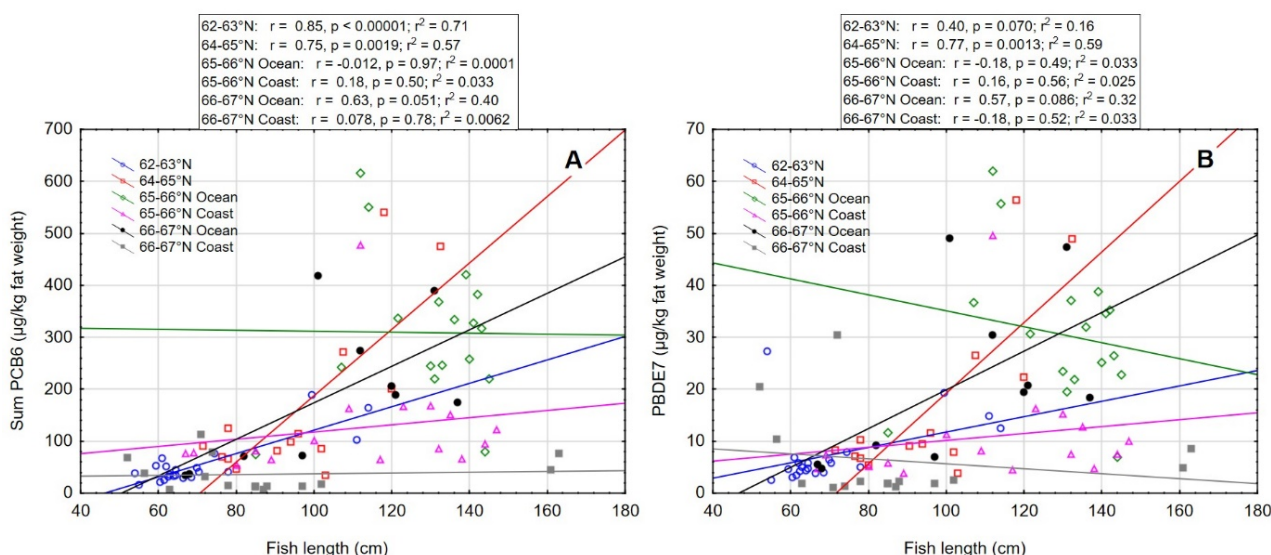
^b 12 fish were sampled within the area closed for fishing of Atlantic halibut and 5 fish were sampled immediately outside this area.

Som i kartleggingsundersøkelsen, og på samme måte som for sum PCCD/F+dl-PCB, fant vi også for sum PCB6 og sum PBDE7 en sterkt signifikant positiv korrelasjon mellom konsentrasjonen av disse forbindelsene i filet og fettinnhold i fisken i de fleste områdene som ble undersøkt (figur 12). For område 65-66°N hav var det ikke signifikant sammenheng mellom sum PCB6 eller sum PBDE7 og fettinnhold, men det var likevel en tendens til at konsentrasjonene økte med økende fettinnhold også i dette området (figur 12).



Figur 12. Linear regression between concentration of **A) sum PCB6** and **B) sum PBDE7** on wet weight basis (µg/kg wet weight) and fat content (g/100 g) for Atlantic halibut collected in different areas in the Norwegian Sea in 2019 (see figure 1 for geographical location of the different areas). Halibut from area 65-66°N Ocean were collected within (12 fish) and right outside of (5 fish) the area closed for halibut fishing. Results of Pearson's linear correlation for each area are given above the graph.

I de to sørligste områdene og i område 65-66°N hav fant vi en signifikant positiv korrelasjon mellom sum PCB6 og fiskens lengde når konsentrasjonene ble beregnet på våtvektbasis ($r=0,51-0,91$, $p<0,00001-0,037$). Når konsentrasjonen av sum PCB6 ble beregnet på fettvektbasis, var det fremdeles en signifikant korrelasjon med lengde i de to sørligste områdene (område 62-63°N og 64-65°N), men i resten av områdene var det ingen signifikant korrelasjon med fiskens lengde (figur 13). For sum PBDE7 beregnet på fettvektbasis viste resultatene en signifikant korrelasjon med lengde for område 64-65°N, men for resten av områdene var det ingen signifikant sammenheng med lengde (figur 13).



Figur 13. Linear regression between concentration of **A) sum PCB6** and **B) sum PBDE7** on fat weight basis (µg/kg fat weight) and fish length (cm) for Atlantic halibut collected in different areas in the Norwegian Sea in 2019 (see figure 1 for geographical location of the different areas). Halibut from area 65-66°N Ocean were collected within (12 fish) and right outside of (5 fish) the area closed for halibut fishing. Results of Pearson's linear correlation for each area are given above the graph.

Siden konsentrasjonene av sum PCB6 og sum PBDE7 (beregnet på våtvekt) økte med økende fettinnhold i fisken i alle områder, samtidig som fettinnholdet varierte mellom områdene omtrent på samme måte som konsentrasjonen av disse forbindelsene (jf. figur 3D og tabell 7), var det mulig at variasjonen i konsentrasjonen av sum PCB6 og sum PBDE7 mellom områdene kunne skyldes variasjon i fiskens fettinnhold. Når konsentrasjonene av disse forbindelsene i de ulike områdene ble beregnet på fettvektbasis for å korrigere for effekten av fettinnhold, fant vi imidlertid at konsentrasjonen av sum PCB6 og sum PBDE7 på fettvektbasis (figur 14 A,B) varierte mellom områdene på lignende måte som når konsentrasjonene ble beregnet på våtvektbasis (tabell 7). Variasjonen mellom områdene kunne altså ikke forklares med forskjeller i fettinnhold alene.

Sammenligning av områdene ved enveis ANOVA med log-transformerte konsentrasjoner av sum PCB6 beregnet på fettvekt, viste at konsentrasjonen av sum PCB6 i kveite fra område 65-66°N hav, var signifikant høyere enn konsentrasjonen av sum PCB6 i alle andre områder unntatt havområdet litt lenger nord (66-67°N hav). Resultatene viste videre at kveiter fisket i det sørligste området (62-63°N) og området lengst nord langs kysten (66-67°N kyst) hadde signifikant lavere konsentrasjoner av sum PCB6 enn kveiter fra alle de andre områdene (figur 14A). Sammenligning av konsentrasjonene av PBDE7 beregnet på fettvekt mellom de ulike områdene viste de samme signifikante forskjellene som for sum PCB6 bortsett fra at konsentrasjonen i kveiter fra det sørligste området (62-63°N) *ikke* var signifikant forskjellig fra konsentrasjonen av sum PBDE7 i kveiter fra de tre områdene 64-65°N, 66-67°N hav eller 65-66°N kyst (figur 14B).

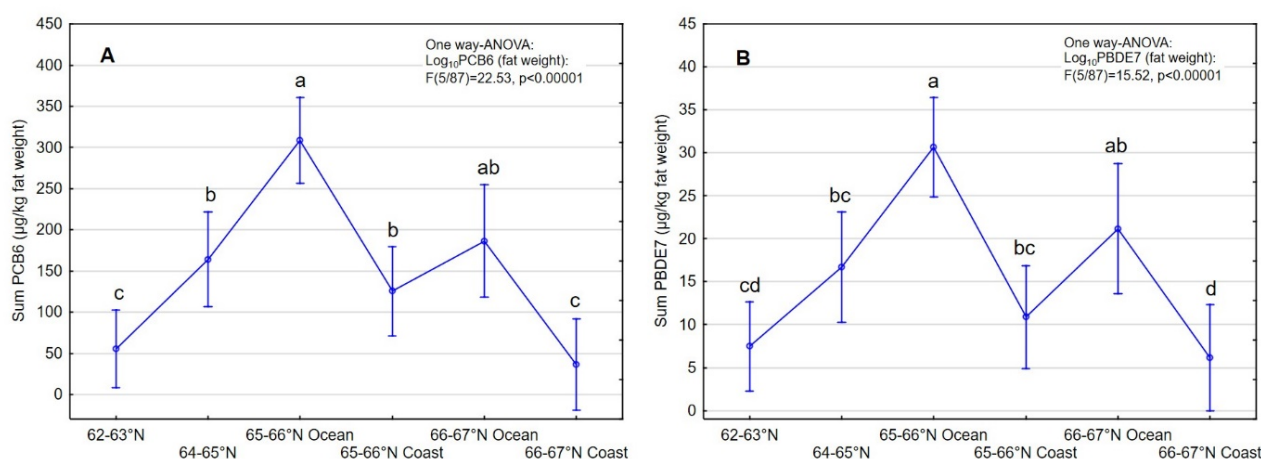


Figure 14. Concentrations of **A) sum PCB6** and **B) sum PBDE7** on fat weight basis ($\mu\text{g/kg fat weight}$) in muscle (B-cut) of Atlantic halibut collected in different areas in the Norwegian Sea in 2019. Least square mean $\pm$ 95% confidence interval is shown for each area. Results of ANOVA are shown in the graph. Letters above the graph indicate significant or non-significant differences between the areas, i.e. different letters indicate significant difference between the areas, while one or more identical letters indicate no significant difference between the areas. ANOVA was performed on $\log_{10}$ -transformed concentrations and raw data are presented in the graph.

Resultatene for sum PCB6 og sum PBDE7 stemte godt overens med resultatene for sum PCDD/F+dl-PCB, og bekrefter at nivåene av organiske miljøgifter i atlantisk kveite fanget innenfor og like utenfor det stengte fiskefeltet i ytre Sklinnadjupet (område 65-66°N hav) er høyere enn i områder lenger nord, sør og øst for dette området, en forskjell som er statistisk signifikant for alle områder unntatt for PCB6 og PBDE7 i havområdet nord for det stengte fiskefeltet (66-67°N hav). Selv om ikke alle forskjeller mellom områdene var statistisk signifikante, tyder resultatene på at konsentrasjonene av organiske miljøgifter er høyest i kveite fanget innenfor og like utenfor det stengte fiskefeltet, lavere i de to havområdene rett nord og sør for det stengte fiskefeltet, enda lavere i kystområdet øst for det stengte fiskefeltet, og aller lavest i det sørligste området (62-63°N) og kystområdet nordøst for det stengte fiskefeltet. Som diskutert for sum PCDD/F+dl-PCB i kapittel 3.3.1 kan disse forskjellene ikke forklares ved forskjeller i fettinnhold, størrelse eller trofisk posisjon for fisken i de ulike områdene.

Konsentrasjonen av sum PCB6 og PBDE7 i kveiter fanget innenfor og rett utenfor det stengte fiskefeltet i 2019 (snitt PCB6: 14 µg/kg våtvekt og snitt PBDE7: 1,4 µg/kg våtvekt) var omtrent lik eller noe lavere enn i kveiter fanget innenfor det nå stengte fiskefeltet i kartleggingsundersøkelsen gjennomført i 2013-2016 (snitt PCB6: 20 µg/kg vv og snitt PBDE7: 1,5 µg/kg våtvekt).

4 - Konklusjon

- **Resultatene i denne undersøkelsen bekrefter funn fra tidligere undersøkelser**, og viste at nivåene av både kvikksølv og organiske miljøgifter i kveiter fanget innenfor og like utenfor det stengte fiskefeltet fortsatt var høyere enn i kveiter fisket lenger sør, nord og øst. Særlig nivået av kvikksølv var svært høyt i dette området, med 53% av kveitene over grenseverdien for kvikksølv i kveitefilet på 1,0 mg/kg våtvekt. Også nivåene av organiske miljøgifter (dioksiner, dioksinlignende PCB, ikke-dioksinlignende PCB og polybromerte flammehemmere) var klart høyere i kveite fra området med det stengte fiskefeltet enn i de andre områdene som ble undersøkt. Gjennomsnittsnivåene av de organiske miljøgiftene lå likevel klart under grenseverdiene for disse forbindelsene, og kun én enkelt fisk fra dette området oversteg grenseverdien for sum dioksiner og dioksinlignende PCB.
- **Det ser ut til å være en trend at nivåene av miljøgifter i atlantisk kveite er høyest innenfor og rett ved det stengte fiskefeltet og at nivåene avtar jo lenger vekk fra det stengte fiskefeltet fisken er fanget.** Området med høyest nivå utenfor det stengte fiskefeltet var havområdet nord for det stengte fiskefeltet, fulgt av havområdet et stykke lenger sør for og kystområdet øst for det stengte fiskefeltet, mens det aller sørligste området og kystområdet lengst nord hadde de laveste nivåene av miljøgifter. I området mellom 65 og 67°N (som innbefatter det stengte fiskefeltet) var det også en svært tydelig forskjell mellom hav og kyst med betydelig høyere nivåer av miljøgifter i kveiter fra de to havområdene enn i kveiter fra de to kystområdene øst for disse.
- **Resultatene i denne undersøkelsen gir ikke grunnlag for å endre forbudet mot fiske av kveite i det stengte fiskefeltet**, siden nivåene av kvikksølv i kveite fra dette området fremdeles er svært høyt og en stor andel av fisken fanget i området fremdeles overstiger grenseverdien for kvikksølv.
- **Det kan imidlertid være grunnlag for å vurdere om grensene for det stengte fiskefeltet bør justeres.** Dette fordi område 65-66°N hav som hadde det høyeste nivået av miljøgifter i denne undersøkelsen innbefattet 12 kveiter fanget innenfor og fem kveiter fanget like utenfor det stengte fiskefeltet. De fem kveitene som var fanget like utenfor det stengte fiskefeltet hadde like høye konsentrasjoner av miljøgifter som kveitene fanget innenfor, og tre av de fem kveitene fanget like utenfor det stengte fiskefeltet hadde kvikksølvkonsentrasjoner betydelig høyere enn grenseverdien.
- **Det er fortsatt uklart hvorfor nivåene av miljøgifter i kveite er høyere i kveiter fra det stengte fiskefeltet enn i alle andre områder som er undersøkt.** Forskjellene i nivå av miljøgifter mellom områdene kunne ikke forklares med forskjeller i fiskens størrelse eller fettinnhold, og det ble heller ikke påvist noen forskjeller i trofisk posisjon mellom kveiter fra ulike områder som kunne forklare de store forskjellene i nivåer av miljøgifter. **Resultatene tyder derfor på at de høye nivåene av miljøgifter i kveite fra det stengte fiskefeltet i ytre Sklinnadjupet skyldes andre, ukjente faktorer.** Denne konklusjonen støttes av tidligere analyse av sedimentprøver innsamlet i 1999 og 2018, som har påvist et forhøyet nivå av kvikksølv i deler av Sklinnadjupet øst for det stengte fiskefeltet, med lokale forurensningskilder som en mulig forklaring (Nilsen m.fl., 2019c). Disse funnene skal undersøkes videre med nye sedimentprøver innsamlet i området på siste MAREANO-tokt i juli 2020. Resultater av denne undersøkelsen forventes rapportert i desember 2021.

5 - Referanser

- Borgå, K., Kidd, K.A., Muir, D.C.G., Berglund, O., Conder, J.M., Gobas, F.A.P.C., Kucklick, J., Malm, O., Powell, D.E. (2012). Trophic Magnification Factors: Considerations of ecology, ecosystems, and study design. *Integr. Environ. Assess. Manag.* 8, 64-84.
- Bradley, C.J., Wallsgrove, N.J., Choy, C.A., Drazen, J.C., Hetherington, E.D., Hoen, D.K., Popp, B.N. (2015). Trophic position estimates of marine teleosts using amino acid compound specific isotopic analysis. *Limnol. Oceanogr. Methods* 13(9), 476-493.
- EU (2020). Commission regulation (EC) No. 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union. Consolidated version 01.07.20. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1881-20200701&from=EN>
- FOR-2015-07-03-870: Forskrift om visse forurensende stoffer i næringsmidler, § 3 Gjennomføring av forordning (EF) nr. 1881/2006. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-07-03-870>
- Hannides, C.C., Popp, B.N., Landry, M.R., and Graham, B.S. (2009). Quantification of zooplankton trophic position in the North Pacific Subtropical Gyre using stable nitrogen isotopes. *Limnol. Oceanogr.* 54(1), 50-61.
- Hobson, K.A., Fisk, A., Karnovsky, N., Holst, M., Gagnon, J.M., Fortier, M. (2002). A stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) model for the North Water food web: implications for evaluating trophodynamics and the flow of energy and contaminants. *Deep Sea Res. II* 49, 5131–5150.
- Hoekstra, P.F., O'Hara, T.M., Fisk, A.T., Borgå, K., Solomon, K.R., Muir, D.C.G. (2003). Trophic transfer of persistent organochlorine contaminants (OCs) within an Arctic marine food web from the Southern Beaufort – Chukchi Seas. *Environ. Pollut.* 124, 509–522.
- Julshamn, K., Måge, A., Skaar Norli, H., Grobecker, K., Jorhem, L. og Fecher, P. (2007). Determination of arsenic, cadmium, mercury and lead by ICP-MS in foods after pressure digestion: NMKL Collaborative study. *J AOAC International*, 90, 844-856.
- Julshamn, K., Duinker, A., Berntssen, M., Nilsen, B.M., Frantzen, S., Nedreaas, K. og Maage, A. (2013). A baseline study on levels of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans, non-ortho and mono-ortho PCBs, non-dioxin-like PCBs and polybrominated diphenyl ethers in Northeast Arctic cod (*Gadus morhua*) from different parts of the Barents Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 75, 250-258.
- Nilsen, B.M., Kjell Nedreaas og Måge, A. (2016). Kartlegging av fremmedstoffer i Atlantisk kveite (*Hippoglossus hippoglossus*). Sluttrapport for programmet «Miljøgifter i fisk og fiskevarer» 2013-2015. NIFES-rapport (ISBN: 978-82-91065-43-4), 81 sider.
- Nilsen, B.M., Frantzen, S. og Sanden, M. (2019a) Undersøkelse av miljøgifter i atlantisk kveite fra kysten av Trøndelag og Nordland. Sammenligning med resultater fra kartleggingsundersøkelsen for atlantisk kveite i 2013-2016. Rapport fra Havforskningen (ISSN:1893-4536) Nr. 2019-49.
- Nilsen, B.M., Bank, M.S. og Sanden, M. (2019b). Kvikksølv og organiske miljøgifter i atlantisk kveite – Ny innsikt fra stabile isotoper av nitrogen og karbon. Rapport fra Havforskningen (ISSN:1893-4536) Nr. 2019-20.
- Nilsen, B.M., Boitsov, S., Holte, B., Jensen, H.K.B. og Thorsnes, T. (2019c). Kildesporing av miljøgifter i kveite fra ytre Sklinnadjupet. Analyser av miljøgifter i sediment og rødpølser, oppsummering av eksisterende kunnskap og anbefalinger videre. Rapport fra Havforskningen (ISSN:1893-4536) Nr. 2019-23.
- Post, D.M. (2002). Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, method, and assumptions. *Ecology*, 83

(3), 703-718.

Won, E.-J., Choi, B., Hong, S., Khim, J.S. og Shi, K.-H. (2018). Importance of accurate trophic level determination by nitrogen isotope of amino acids for trophic magnification studies: A review. Environ. Pollut. 238, 677-690.



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes

5817 Bergen

E-post: post@hi.no

www.hi.no