

Vekstmønsteret til havsil  
(*Ammodytes marinus*, Raitt 1934) og  
variasjoner mellom årsklasser og områder i  
Nordsjøen



Celina Eriksson Bjånes

Masteroppgave i marinbiologi

Institutt for biovitenskap,

Universitetet i Bergen

November 2019



Veiledere:

Espen Johnsen

Arild Folkvord

## FORORD

Dette arbeidet er en masteroppgave avlagt ved institutt for biovitenskap UiB. Den ble utført i perioden januar 2019-november 2019. Jeg vil først og fremst rette min takknemlighet til veilederne mine Dr. Espen Johnsen (Havforskningsinstituttet) og prof. Arild Folkvord (Universitetet i Bergen) som har vist interesse for oppgaven min. Takk for god veiledning og hjelp. En spesiell takk til Åse Husebø for hjelp til billedtaking og morfologiske målinger på laboratoriet, samt god støtte og veiledning. Bunnfiskavdelingen på Havforskningsinstituttet og mine kollegaer har gitt meg svært hyggelige arbeidsforhold dette året. Takk til Anders Thorsen for gode råd og praktisk hjelp med bildebehandlingsprogram. Jeg ønsker å rette en stor takk til mannskapet på Eros som gjorde tobistoktet til en læringsrik og kjekk opplevelse. Sist, men ikke minst, takk til min familie, nære venner og medstudenter for god støtte gjennom hele prosessen.

Bergen, 20.november 2019

Celina Eriksson Bjånes

## SAMMENDRAG

På sandbanker i Nordsjøen lever en unik, liten og sølvblank fisk som er viktig for produksjon av fiskemel og fiskeolje og som spiller en avgjørende rolle i sitt økosystem. Rekrutteringen av havsilbestanden varierer fra år til år og bestandsstørrelsen på ulike forvaltningsområder er stadig i endring. Ulik lengde ved alder og mengde per årsklasse mellom de ulike forvaltningsområdene tyder på at de bunnslette individene ikke migrerer, men det er fremdeles et uavklart spørsmål om havsil alltid holder seg innenfor ett forvaltningsområde. I denne oppgaven ble forskjeller i otolittene mellom tre ulike forvaltningsområder studert for å undersøke om otolittveksten var forskjellig. Aldersbestemmelse av havsil gjøres ved tolkning av dens årssoner i øresteinene og morfologiske målinger av otolittstørrelser ble brukt til å tilbakeberegne lengder ved tidligere alder. Tre forvaltningsområder i norsk sone i Nordsjøen, 1, 2&3 og 4, og to årsklasser, 2009 og 2016, ble sammenlignet. Forvaltningsområde 4 dominerte med de størst fiskelengdene og de størst otolittlengdene, og en god grunn til størst lengdevekst kan være varmere sjøvann og bedre mattilgang. Individuer fra årsklassen 2009 var større ved alder sammenlignet med 2016-årsklassen. To tilbakeberegningmetoder ble brukt og resultatet ble sammenlignet med de observerte lengdene til individer i de ulike aldersgruppene. Body proportional hypothesis var metoden som viste estimerte lengder nærmest de observerte lengdene. Havsilen er en stasjonær art som ikke forflytter seg og de store forskjellene i lengdevekst mellom forvaltningsområdene støtter dette. Likevel kan det være interessant å undersøke nærmere, for å se om migrasjon mellom enkelte sandbanker kan være tilstede.

## INNHold

<b>FORORD</b>	<b>2</b>
<b>SAMMENDRAG</b>	<b>3</b>
<b>1. INNLEDNING</b>	<b>5</b>
<b>2. MATERIALE OG METODE</b>	<b>9</b>
2.1 Områdebeskrivelse	9
2.2 Innsamling på tokt og fangstredskaper	11
2.3 Opparbeiding av prøver	12
2.3.1 Aldersstruktur og otolitter	12
2.3.2 Billedtaking og morfologiske målinger	15
2.4 Databehandling og statistikk	17
2.4.1 Tilbakeberegning av fiskelengde	18
2.4.2 Scale porportional hypothesis	18
2.4.3 Body Proportional hypothesis	19
2.5 Statistiske tester	19
<b>3. RESULTATER</b>	<b>20</b>
3.1 Lengdefordeling fra observasjoner	20
3.2 «Scale-body-relationship»	23
3.3 «Body-scale-relationship»	24
3.4 Tilbakebregnede- og observert lengde til 1-åringer	25
3.4.1 SPH metode for tilbakeberegning	26
3.4.2 BPH metoden for tilbakeberegning	30
3.5 Tilbakebregnede- og observert lengde til 2-åringer	34
3.5.1 SPH metoden for tilbakeberegning til 2-åringer	34
3.2.3.BPH metoden for tilbakeberegning til 2-åringer	37
<b>4. DISKUSJON</b>	<b>42</b>
<b>4.KONKLUSJON</b>	<b>48</b>
<b>6. REFERANSER</b>	<b>48</b>
<b>7. APPENDIKS</b>	<b>52</b>

## 1. INNLEDNING

Havsilen, *Ammodytes marinus*, (Raitt 1934) er den mest utbredte av de fem silene i Nordsjøen. Kommersielt blir silene (*Ammodytidae*) utnyttet som en samlet ressurs og blir da kalt for “tobis”. Havsilen er en relativt liten, smal og åleformet sølvblank stimfisk (Figur 1.1) uten svømmeblære som hovedsakelig beiter på dyreplankton. Den spiser hovedsakelig copepoder, som næringsrike calanus, også kalt «raudåte» (Direktoratet for naturforvaltning 2011). Havsilen blir sjeldent eldre enn 10 år, da veier den ca 100 gram og kan være litt over 20 cm lang (Johannessen 2009).

Havsilen er et viktig bytte for torsk, flyndre, makrell, sjøpattedyr, sjøfugl og da spesielt for lundefugl, og bidrar dermed til et viktig ledd i næringsnettet og blir sett på som en nøkkelart i økosystemet i Nordsjøen (Direktoratet for naturforvaltning 2011; Pethon 2019).



**Figur 1.1** – Havsil (Bilde: Ine Mokness)

Den unike fisken har en fascinerende livssyklus hvor den tilbringer store deler av livet nedgravd i sedimentet (smågrus og sand) på sandbanker, som er deres habitat. Den er dermed en relativt stasjonær art på grunn av avhengigheten til sandbankene (Wright et al., 2000; Jensen et al. 2011). Havsilen migrerer sjeldent vekk fra sandbankene, selv om den mangler mat. Fra desember til januar gyter havsilen, og eggene blir befruktet og kleber seg til sjøbunnen og blir i sedimentet til de klekkes fra februar til mai (Bergstad et al. 2001; Macer 1966; Wright and Bailey 1996). Grunnen til at klekkingstiden strekker seg over så mange måneder, kan muligens skyldes bunnstrømmer som kan dekke eggene med sand. Dermed kan eggenes utvikling forsinkes (Pethon 2019).

Ifølge ICES bestandsberegninger antar man at individene blir kjønnsmodne ved 2 år, likevel kan dette variere da man vet havsilen har en dynamisk vekst og at det er varierende

rekruttering på ulike sandbanker mellom år. Man kan forvente en viss konkurranse mellom havsilindividene om de unike habitatene, som blir brukt til både gyteplass og gjemsel mot predatorer, sidene kvaliteten på habitatene kan variere. Havsilen er i en dvalelignende tilstand store deler av vinterhalvåret og sparer da energi. De har da store næringsreserver som de har bygget opp ved å spise plankton i sommersesongen. Disse reservene blir brukt til å produsere rogn og melke til gytingen om vinteren (Direktoratet for naturforvaltning 2011).

Før 1970 var fisket etter havsil lite, men dette har økt, og kan til dels sees i sammenheng med at silde- og makrellbestandene har hatt en nedgang (Pethon 2019). I 2006 ble havsilen registrert som sårbar (Vu) i Norsk rødliste, men situasjonen ble bedre og den ble tatt ut fra rødlisten i 2010 (Direktoratet for naturforvaltning 2011). I 2010 innførte Norge en nasjonal områdebasert forvaltning av havsil hvor hovedmålet var å øke gytebiomassen på tobisfeltene i norsk økonomisk sone. Havsil er en viktig industrifisk og den brukes stort sett til for produksjon av fiskeolje og fiskemel (Engelhard et al. 2014). Det norske tobisfiske varierer fra år til år (Tabell 1.2), og kvoteråd blir satt av Havforskningsinstituttet med utgangspunkt i situasjonen til fjorårets bestand, sammen med blant annet individvekst og kondisjonen til individer fra årets bestand (Johnsen 2019).

**Tabell 1.2** – Oversikt over kvoteråd for havsil satt i mai hvert år i Norsk Økonomisk Sone (NØS), de årene som er undersøkt i denne oppgaven.

År	Kvoteråd (tonn)
2010	50 000
2011	90 000
2012	40 000
2017	120 000
2018	70 000
2019	125 000

De årene rekrutteringen av havsil er sterk samtidig som tidligere årsklasser er svake må man ta ekstra hensyn til 1-åringene for å kunne beregne den totale størrelsen til bestanden, da 1-åringer vil utgjøre mesteparten av bestanden. Årsklassen 2016 viste en god rekruttering av

havsil, og det ble derfor et relativt høyt kvoteråd i 2017 (Tabell 1.2). På den andre siden var rekrutteringen i 2017 lav, og dermed ble det satt et lavere kvoteråd i 2018 (Johnsen 2019). En god forvaltning av bestanden er viktig for å fortsette å opprettholde et bærekraftig økosystem.

Hos mange arter kan man lese alderen ved å undersøke ulike bein, gjellelokk eller otolitter (ørestein). Otolittene, sagitta, bli brukt for å aldersbestemme havsil, og kan i tillegg brukes til å finne klekkedatoen for å se på veksten og overlevelsen til arten (Wright and Bailey 1996). Tilbakeberegning av fiskestørrelse har blitt gjort helt siden 1910, da Lea og kollegaer brukte vekstmønstre i sildeskjell til å bestemme vekstraten til sild (Lea 1910).

I denne oppgaven kommer diameteren til årssoner i otolitten til havsilen til å bli brukt som mål. Likevel for å kunne bruke målene i otolitten sammen med lengden for å gjøre tilbakeberegninger er det noen antagelser som må tas (Francis 1990):

1. Størrelsen/diameteren til otolitten er den samme størrelsen som ved den tiden den ble dannet (ingen nedbrytning)
2. Det antatte dannelsesstidspunktet er korrekt
3. Tilbakeberegningsformelen relaterer nøyaktig somatisk størrelse til otolittstørrelse for hver fisk

Opp igjennom tidene har det blitt lagd flere ulike prosedyrer for tilbakeberegning som er basert på fiskelengde og otolittstørrelse. Selv om teknikkene er bredt brukt, er de ikke helt forstått enda (Francis 1990). Man vil ofte få kortere tilbakeberegnet fisk fra 3-åring til 1-åring sammenlignet med fra 2-åring til 1-åring. To relativt vanlige formler er «Linear Scale proportional hypothesis» (SPH) og «Linear Body proportional hypothesis» (BPH), som tar utgangspunkt i at forholdet til fiskelengden og otolittlengden er proporsjonalt. I dette studiet vil begge metodene bli brukt, og senere vil resultatene bli sammenlignet og diskutert. Siden havsilen har en slik dynamisk vekst, hadde det vært ypperlig å kunne estimere lengdevæksten fra tidligere leveår og tilbakeberegne hvor lang fisken har vært ved en gitt alder.

Hovedmålet med denne oppgaven er å finne ut om man kan bruke otolittmålinger til å tilbakeberegne fiskelengde ved tidligere alder ved hjelp av SPH og BPH metodene. Om det viser seg å være mulig å estimere fiskelengde ved tidligere alder basert på otolittvekst, er det et mål å analysere forskjeller mellom årsklasser og forvaltningsområder i Nordsjøen. En slik

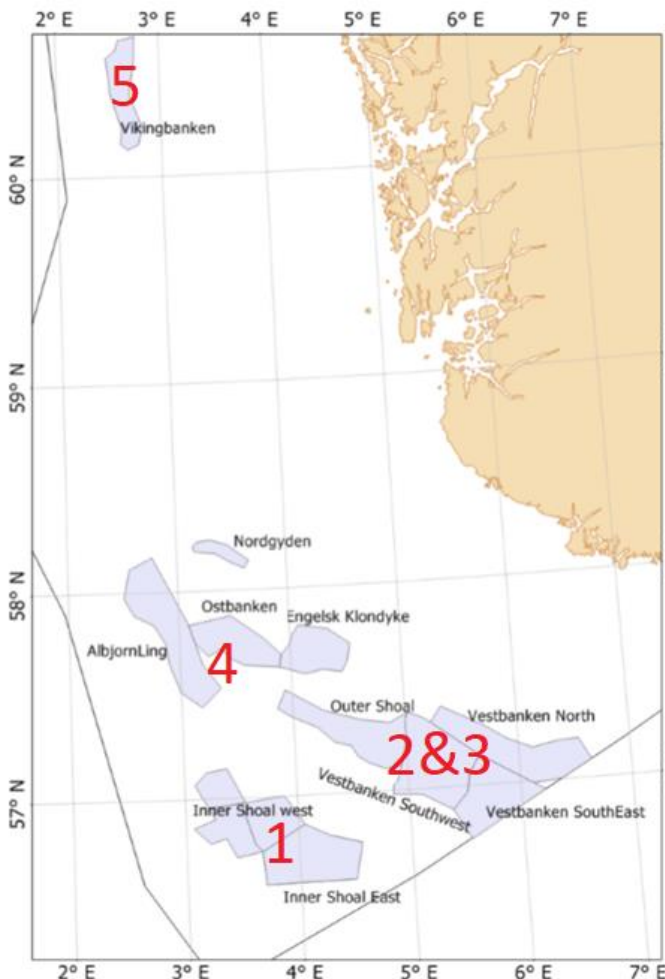


metode vil styrke rådgivningen og mulighetene for å overvåke om havsil migrerer mellom forvaltningsområder, og i oppgaven diskuteres det kort hvordan denne metode kan brukes til å forbedre den områdebaserte forvaltningen av havsil i Nordsjøen.

## 2.MATERIALE OG METODE

### 2.1 Områdebeskrivelse

Hvert år i månedsskiftet april/mai utfører Havforskningsinstituttet tobistokt på sandbanker i Nordsjøen. På toktene hentes viktig informasjon om bestandsstørrelse, geografisk utbredelse og aldersfordeling av havsilbestanden. I norsk økonomisk sone (NØS) i Nordsjøen finnes 5 forvaltningsområder. Innenfor disse forvaltningsområdene kan det være opptil flere tobisfelt, eller *sandbanker*, det tråles på. Forvaltningsområdene blir oppdatert hvert år siden utbredelsen av bestanden kan forandre seg geografisk. Forvaltningsområde 1 består av «Inner shoal east» og «Inner shoal west», forvaltningsområde 2&3 består av «Outer shoal» og «Vestbanken». Disse forvaltningsområdene er slått i sammen i denne oppgaven på grunn av at de ligger så nære hverandre geografisk (Figur 2.1). Forvaltningsområde 4 består av «Albjørn-Ling»,



«Østbanken» og «Engelsk Klondyke». Forvaltningsområde 5 består av «Vikingbanken» som ligger relativt for seg selv lengre nord enn de andre. Dette området ble ikke tatt med i studiet på grunn av for lav tetthet av havsil.

**Figur 2.1** – Kart som viser de fem forvaltningsområdene (røde sifre) og tilhørende tobisfelt i NØS i Nordsjøen, sett i avstand fra norskekysten. (Johnsen, 2019)

Tre forvaltningsområder ble sett på i denne oppgaven. Disse var 1, 2&3 og 4 (Figur 2.1). Innenfor disse forvaltningsområdene er det flere tobisfelt, hvor tråling har foregått på toktene. I forvaltningsområde 4, er alle prøvene hentet fra Østbanken + Engelsk Klondyke bortsett fra ettåringer i 2010 som, i dette studiet, ble hentet fra Albjørn-Ling feltet grunnet manglende prøvemateriale for ettåringer på Østbanken + Engelsk Klondyke.

To årsklasser, eller kohorter, av havsil ble undersøkt over tre år. Siden havsilbestanden er dynamisk og rekrutteringen varierer, ble årsklassene fra år hvor bestanden var tallrike valgt; 2009 og 2016. Det var da i tillegg større mulighet for å finne igjen eldre individer i alle forvaltningsområdene. Individer fra årene 2010, 2011 og 2012 blir i studiet omtalt som «årsklasse 2009» (eller årsklasse 1) og individer fra årene 2017, 2018 og 2019 ble omtalt som «årsklasse 2016» (eller årsklasse 2). Fra hvert år ble det undersøkt ca. 150 individer. Totalt i denne oppgaven ble 932 individer av havsil undersøkt og tatt prøver av (Tabell 2.1).

**Tabell 2.1** – Oversikt over antall individer som det ble tatt prøve av på de tre forvaltningsområdene i begge årsklassene 2009 og 2016.

	Årsklasse 2009 (1)			Årsklasse 2016 (2)			sum
	2010 1-åringer	2011 2-åringer	2012 3-åringer	2017 1-åringer	2018 2-åringer	2019 3-åringer	
Østbanken + Klondyke Albjørn-Ling i bare 2010 (4)	48	33	58	36	68	56	299
Outer Shoal + Vestbanken (2&3)	57	57	64	56	67	62	363
Inner Shoal (1)	49	50	48	54	23	46	270
sum	154	140	170	146	158	164	<b>932</b>

## 2.2 Innsamling på tokt og fangstredskaper

Forskningsfartøy eid av Havforskningsinstituttet eller leiefartøy ble brukt til de årlige tobistoktene. I årene 2010 og 2011 var det F/F Johan Hjort, mens M/S Brennholm ble brukt i 2012. I årene 2017, 2018 og 2019 ble leiefartøyet M/S «EROS» brukt (Tabell 2.2).

**Tabell 2.2** – Oversikt over fartøy som er brukt i de årlige tobistoktene og hvilke datoer toktene er blitt gjennomført.

År	Dato	Fartøy
2010	20.april-9.mai	F/F Johan Hjort
2011	23.april-11.mai	F/F Johan Hjort
2012	24.april – 12.mai	M/S Brennholm
2017	25. april-15. mai	M/S EROS
2018	24. april-14. mai	M/S EROS
2019	23. april-13. mai	M/S EROS

Tobistokt er såkalte *akustiske* tokt, med bruk av avansert ekkoloddteknologi. Størrelsen på havsilstimen ble estimert og analysert av personale fra Havforskningsinstituttet i programmet Large Scale Survey System (LSSS, Korneliussen et al. 2016). Her så man blant annet på utbredelsen av stimen og frekvensresponsen. En havsilstim skiller seg nemlig fra andre arter, og har en spesiell frekvensrespons (Johnsen et al. 2009). De analyserte dataene ble så lagret i en database. Siden toktet er akustisk har man ikke faste trålestasjoner, derimot går fartøyet i et sikksakk- eller parallelt mønster over alle forvaltningsområdene i NØS. Slike mønstre kalles transekter. Tråling langs transektene er nødvendig for å være sikker på artsidentifisering og beregning av fangsten, samt for å sikre de biologiske prøvene som blant annet otolitter.

En bunntål, av typen Campelen 1800, med tobissekk, ble brukt til tråling om dagen, mens en skrape/slede om natten da havsilen var nedgravd i sanden. Distansen på tauet til bunntålen

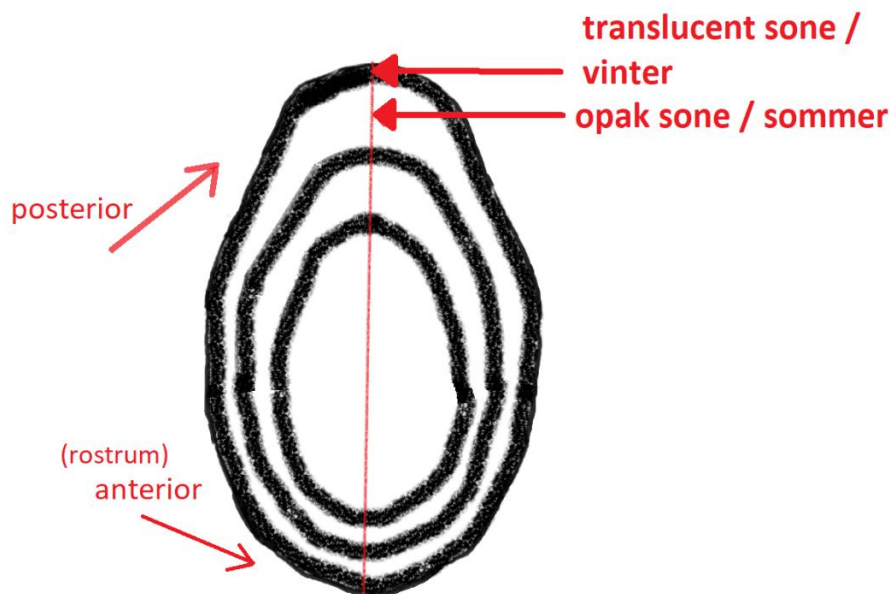
varierte fra hal til hal og avhang om man trålte mot eller med strømmen. Bunntrålen har rockhoppers og posisjonen til trålen ble registrert da trålen var i bunn og da den forlot bunnen (Havforskningsinstituttet 2018). Felt med stor tetthet av havsil og høy varians ble dekket to ganger med noen dagers mellomrom. I denne oppgaven ble bare otolitter fra havsil fanget med bunntrål brukt, ikke skrape/slede, dette for å ha et standardisert utvalg.

### 2.3 Opparbeiding av prøver

Opparbeiding av fangstene foregikk i fiskelaboratoriet om bord på fartøyene av prøvetakere fra Havforskningsinstituttet. En «subsample» var nødvendig om fangstene var store. En prøve på 100 tilfeldige individer havsil fra hver fangst ble tatt for videre undersøkelser. Biologiske parametere slik som individlengde (fra snute til halerot) og individvekt ble registrert for de 100 individene. Fra 25 av disse individene ble det tatt otolitter av for senere aldersbestemmelse og morfologiske målinger. Disse ble i tillegg magefyllingsbestemt på en skala fra 1-4 (fra tom til fylt mage).

#### *2.3.1 Aldersstruktur og otolitter*

For å kunne beregne aldersstrukturen i bestanden ble fiskealderen lest fra otolittene til havsilen. Alle beinfisk har tre par otolitter bestående av kalsiumkarbonat og proteiner i hodet; sagitta, asteriscus og lapillus. Det er hovedsakelig det største otolittparet, sagitta, som blir brukt til aldersbestemmelser hos de fleste fisk, også hos havsil (Kristoffersen 2019). Otolittens årringer kan sammenlignes med årringene til et tre eller en løk. De består av opake soner og translucent soner. Translucent soner legges om vinteren og er soner som lar mer lys trenge gjennom enn opak sone. Likevel ettersom de ble sett på med reflektert lys vil den opake sonen se lys ut og den translucent sonen se mørk ut. Otolitter har en posterior ende og en anterior ende. Rostrum er alltid ved den anterior enden av otolitten, og for havsil er dette den enden som er mest avrundet (Secor 1995), (Figur 2.1).



**Figur 2.1** – Viser otolitten til en treåring med markerte translucente og opake soner. Mørke ringer viser vinterveksten mens lyse ringer viser sommerveksten. Rostrum er i anteriorenden, og som ser mest avrundet ut (Illustrasjon: Bjånes, 2019).

Otolittene vokser i takt med fisken og man ser ofte tykkere soner om sommeren da fisken som oftest har bedre vekst enn om vinteren (Kristoffersen 2019). Èn opak- sammen med èn translucent sone regnes som ett år i fiskens liv. I alderslesing av fisk tar man utgangspunkt i at all fisk på den nordlige halvkule fyller år 1.januar. Det er også gjort i denne oppgaven siden det er en usikkerhet i klekkingsdatoen til havsilen. Fangstdatoene til havsilen i dette studiet strakk seg fra midten av april til midten av mai (Tabell 2.1). Noen ganger hender det at en såkalt «tilvekst» av begynnende hvit/opak sommersoner vises rundt i ytterkanten av otolitten (Figur 2.1).

Kvalifiserte alderslesere på Havforskningsinstituttet aldersbestemte havsilen og i tillegg til alder ble det notert lesbarhet, ut fra en lesbarhetsskala (1-6). I dette studiet ble bare de otolittene som hadde lesbarhet 1 brukt, altså da sonene kunne telles og måles med sikkerhet (Mjanger et al., 2019). For å ta ut otolittene til havsil er den enkleste måten å holde fisken dorsalt med den ene hånden og fjerne underkjeven/gjellene ved hjelp av en pinsett. Otolittene er relativt små, men ligger synlig, som to hvite steiner, ved siden av hverandre under hjernen til fisken (Figur 2.2.a og b).



**Figur 2.2.a og b** – Bilder av hvordan otolitter blir tatt ut av hodet på havsilen. Prøvetaker holder havsilen dorsalt og en pinsett brukes for å fjerne gjellene og underkjeven. Otolittparet ligger tydelig som to hvite steiner (Bilde: Bjånes 2019).

Otolittene som ble tatt ut av fisken ble lagt ned i et større otolittbrett med nummererte hull fylt med ferskvann. Deretter ble de montert på et mindre otolittbrett plass til 25 otolittpar. Otolittene ble lagt på brettet med sulcus, en loddrett sprekk på den ene siden av otolitten, vendt ned mot brettet for å lettere kunne tyde årssonene. En lupe og en tynn pensel var nødvendig i denne prosessen da sulcus ikke kan sees uten lupe. De ble lagt med anteriorenden (rostrum) ned og posterior-enden opp (Figur 2.1). Otolittene lå deretter og tørket i noen timer.

Innstøpningsstoffet «entellan» ble dryppet med en pipette direkte på otolittene da de var tørre. Entellan er et hurtig monteringsmedium som blir brukt i mikroskopi. Støpning av otolittene gjorde det lettere å lese av soner i otolittene og når otolittene er fast montert er de bedre egnet for lagring. De innstøpte otolittene lå i avtrekkskap i 3 dager, for avdunsting, etter de ble dryppet og deretter lest i lupe under avtrekk. Avtrekk og hansker var nødvendig i prosessen med bruk av entellan fordi det var brannfarlig og farlig ved innånding og hudkontakt.

Til dette studiet ble prøver fra 3-åringene i 2019 hentet på tokt der jeg selv deltok på i perioden 23.april-13.mai 2019. Otolitter fra tidligere tobistokt som brukes i dette studiet var allerede samlet inn årene før og støpt på otolittbrett og lagret på Havforskningsinstituttet.

### *2.3.2 Billedtaking og morforologiske målinger*

Fra hvert av de tre forvaltningsområdene ble ca. 50 otolitter fra alle årene i begge årsklassene tatt bilde av. De ble tatt bilde av med et Nikon DS-Fi2 digitalt kamera. Til sammen ble tre ulike lupen og to forskjellige programmer anvendt til billedtakingen, dette grunnet ulike laboratorium og arbeid på tokt om bord på forskningsfartøyet M/S «Eros» i 2019. Programmene brukt til billedtakingen var softwaren SPOT 5.6 og NIX. Lupene som ble brukt på land var Nikon SMZ25 og S2X10\_no2.

Om bord på M/S «Eros» ble lupen Olympus S2X16\_1X-ob brukt. Alle otolittene ble tatt bilde av med påfallende lys av såkalt «svane-hals» lyspunkter fra hver side. Lysstyrken ble stilt inn slik at skillet fra opak til translusent sone kom godt frem og ytterkanten rundt otolitten var godt synlig. Dette ble gjort for at lengdemålene i otolitten skulle være så nøyaktige som mulig.

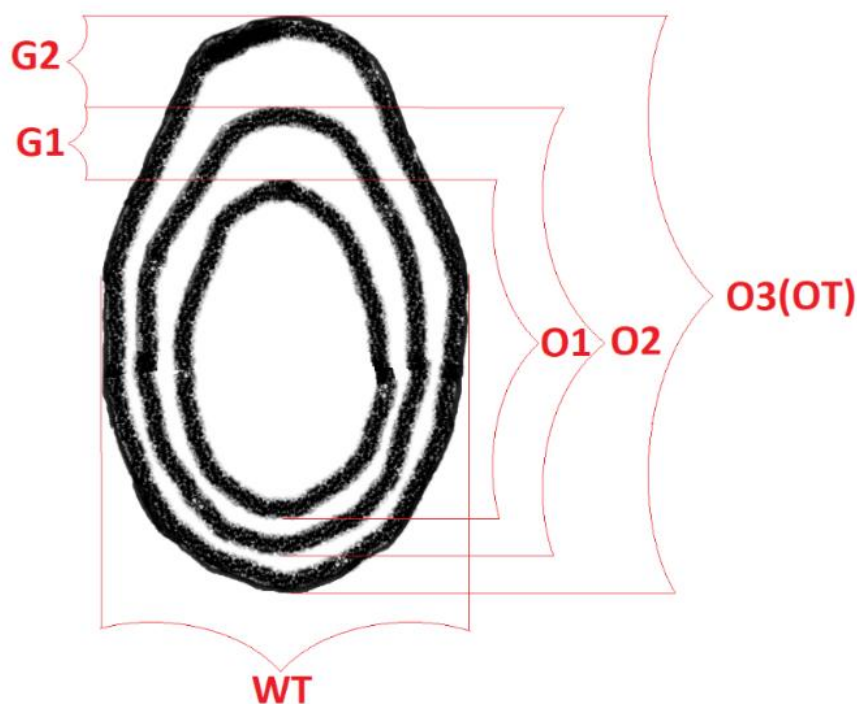
For hver målelengde ble det laget en forenklet tosifret kode for at plottingen av de elektroniske målingene i Excel skulle være mer oversiktlig (Tabell 2.2). For å måle veksten mellom hvert år ble lengden fra ytterste kant første vintersone til neste ytterste kant av neste vintersone målt. I dette studiet ble otolittens diameter brukt, ikke radius. Dette grunnet at posisjonen av kjernen ikke var kjent.

De elektroniske målingene ble gjort med programmet Image Pro-Plus® versjon 7.0 (Media Cybernetics, USA). Otolittbildene ble lastet opp i programmet, og kalibreringene ble lagt til ut ifra hvilke lupen de hadde blitt tatt med. Den totale otolittstørrelsen (OT) og de ulike målene på årssonene (O1, O2 og O3) ble målt fra posterior til anteriorenden, altså diameter til hele otolitten eller årssonene (Figur 2.3). Den totale otolittbredden (WT) ble målt horisontalt hvor otolitten var bredest. Otolittveksten (G1, G2) er veksten fra ytterste vintersone til neste vintersone året etter, bare i posteriorenden (Figur 2.3).



**Tabell 2.2** – Tabell som viser de ulike lengdene som er målt elektronisk på otolittene og kodene for hver enkelt av målene med en beskrivelse til. (O1=OT for 1-åringer, O2=OT for 2 åringer og O3=OT for 3-åringer).

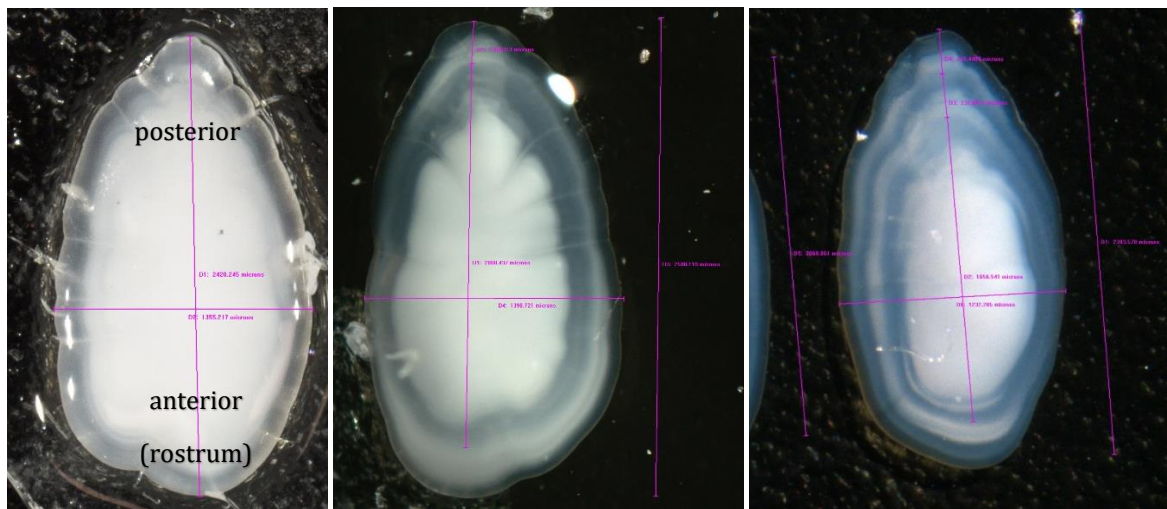
	Beskrivelse	Kodet
Total otolittlengde	total diameter fra ytterste vintersone (posterior ende) og loddrett ned til ytterste kant (anterior ende)	OT
Otolittlengde 1åringer	diameter fra ytterste kant av første vintersone	O1
Otolittlengde 2åringer	diameter fra ytterste kant av andre vintersone	O2
Otolittlengde 3åringer	diameter fra ytterste kant av tredje vintersone	O3
Total otolittbredde	målet hvor otolitten er bredest	WT
Vekst fra år 1 til år 2	mål fra ytterste vintersone første året til ytterste vintersone andre året	G1
Vekst fra år 2 til år 3	mål fra ytterste vintersone andre året til ytterste vintersone tredje året	G2



**Figur 2.3**

– Viser otolitten til en treåring og hvordan treåring og hvordan årringene blir målt. Årssonene O1, O2 og O3, total bredde (WT) samt veksten (G1 og G2) fra første året til andre året, og fra andre året til tredje året. (Illustrasjon: Bjånes, 2019)

For ettåringene ble det gjort to målinger; total otolittlengde og total otolittbredde. For toåringene ble det gjort fire målinger; total otolittlengde, otolittlengde 1-årssone, total otolittbredde og otolittvekst fra første til andre vintersone. For treåringene ble det gjort seks målinger; total otolittlengde, otolittlengde 1-årssone, otolittlengde 2-årssone, total otolittbredde og otolittvekst fra første til andre vintersone og otolittvekst fra andre til tredje vintersone. (Figur 2.5.a.b.c)



**Figur 2.5.a.b.c.** – Bilder og elektroniske målinger av en 1-åring (a), en 2-åring (b) og en 3-åring (c). Måling av årssonene er diameteren fra ytterste kant av den translucente sonen (vinter). Posteriorenden og anteriorenden av otolitten er merket på første bildet. På de to siste bildene er de rosa målestrekene flyttet til siden etter måling for å lettere kunne lese av lengden (Bilder: Bjånes, 2019).

## 2.4 Databehandling og statistikk

Data fra tobistoktene fra alle seks årene ble hentet fra programmet Sea2Data og lagt sammen i en felles fil i Microsoft Excel for Office 365. Disse inkluderer blant annet fiskelengde og alder til fisk da den ble fanget (inkludert lesbarhet). De elektroniske målingene for hvert individ ble fylt inn i samme fil sammen med en oversikt over hvilke forvaltningsområder og årsklassene de ulike trålstasjonene hørte til. De statistiske analysene ble kjørt i dataprogrammet R - Versjon 3.5.3 (11/3-2019).

#### 2.4.1 Tilbakeberegning av fiskelengde

Total otolittstørrelse og den somatiske lengden til fisken ble brukt i en regresjonsligning for å finne relasjonen mellom de to variablene. Forholdet mellom somatisk lengde og otolittlengde («body-scale-relationship») er vesentlig i tilbakeberegning, og for å kunne bruke formlene for tilbakeberegning må en anta en *sammenheng* mellom disse. To regresjonsligninger ble laget for to ulike tilbakeberegningemetoder. Ligningen  $f(L) = a + bL$ , der  $f(L)$  er den gjennomsnittlige otolitt diameter for fisk med lengde  $L$  (regresjonen av  $S$  på  $L$ .) Den andre ligningen er  $g(S) = c + dS$ , der  $g(S)$  er den gjennomsnittlig somatisk lengde for fisk ved otolittlengde  $S$  (regresjonen av  $L$  på  $S$ ) (Francis 1990).

For å kunne gjennomføre tilbakeberegninger ble fiskelengden da fisken ble fanget ( $L_c$ ), otolittstørrelsen da fisken ble fanget ( $S_c$ ) og otolitt diameter målt for tidligere årssoner ( $S_i$ ) brukt. Tidligere fiskelengde ( $L_i$ ) ble estimert av disse variablene, sammen med skjæringspunkt ( $a$  eller  $c$ ) og stigningstall ( $b$  eller  $d$ ) fra regresjonsligningene over, ut ifra hvilken metode som ble brukt.

#### 2.4.2 Scale porportional hypothesis

Den første tilbakeberegningemetoden som ble brukt var Scale Porportional Hypothesis (SPH). Denne metoden tar utgangspunkt i regresjonen av otolittstørrelse på somatisk lengde ( $S$  på  $L$ ) fra regresjonsligningen  $f(L) = a + bL$ , (Francis 1990)

SPH-formelen:

$$L_i = -(a/b) + (L_c + (a/b) * (S_i/S_c))$$

$L_i$  = fiskelengde (år «i»)

$L_c$  = fiskelengde når den er fanget

$a$  = skjæringspunkt (intercept) fra  $f(L) = a + bL$

$b$  = stigningstallet (slope) fra  $f(L) = a + bL$

$S_i$  = Otolittlengde (år «i»)

$S_c$  = Otolittlengde når fisken er fanget

### 2.4.3 Body Proportional hypothesis

Den andre tilbakeberegningemetoden som ble brukt var Body Proportional Hypothesis (BPH). Denne metoden tar utgangspunkt i regresjonen av somatisk lengde på otolittstørrelse ( $L$  på  $S$ ) fra regresjonsligningen  $g(S) = c + dS$ , (Francis 1990)

BPH-formelen:

$$L_i = [(c+dS_i) / (c + dS_c)] L_c$$

$L_i$  = fiskelengde (år «i»)

$L_c$  = fiskelengde når den er fanget

$c$  = skjæringspunkt (intercept) fra  $g(S) = c + dS$

$d$  = stigningstallet (slope) fra  $g(S) = c + dS$

$S_i$  = Otolittlengde (år «i»)

$S_c$  = Otolittlengde når fisken er fanget

For å vise resultatene ble det brukt lineære regresjonsmodeller og boxplot. Et boxplot er en relativt enkel måte å vise oversikten over både gjennomsnitt, median, hvor de aller fleste verdiene ligger og om man har noen outliers. Den tykke streken i boksen definerer medianen, mens et kryss viser gjennomsnittet. Toppen og bunnen av selve boksen viser første og tredje kvartil av data, som vil si 50% av all samlet data. «Whiskers» er strekene som går ut fra boksen og er et mål på minimum og maksimums verdier, om man ikke har outliers (vises som prikker utenfor).

### 2.5 Statistiske tester

For å teste resultatene er det i dette studiet brukt to ulike generelle lineære metoder avhengig av hvilke typer prediktorvariabler man har. Først og fremst var det ønskelig å teste om det var forskjeller i lengdevekst i områder og årsklasser. I tillegg ble resultater fra de to tilbakeberegningemetodene sammenlignet. Ved bruk av en Two-Way-ANOVA (analyse av varians) har man en kontinuerlig responsvariabel og to kategoriske prediktorvariabler. Ved bruk av en ANCOVA (analyse av kovarians) har man også en kontinuerlig responsvariabel,

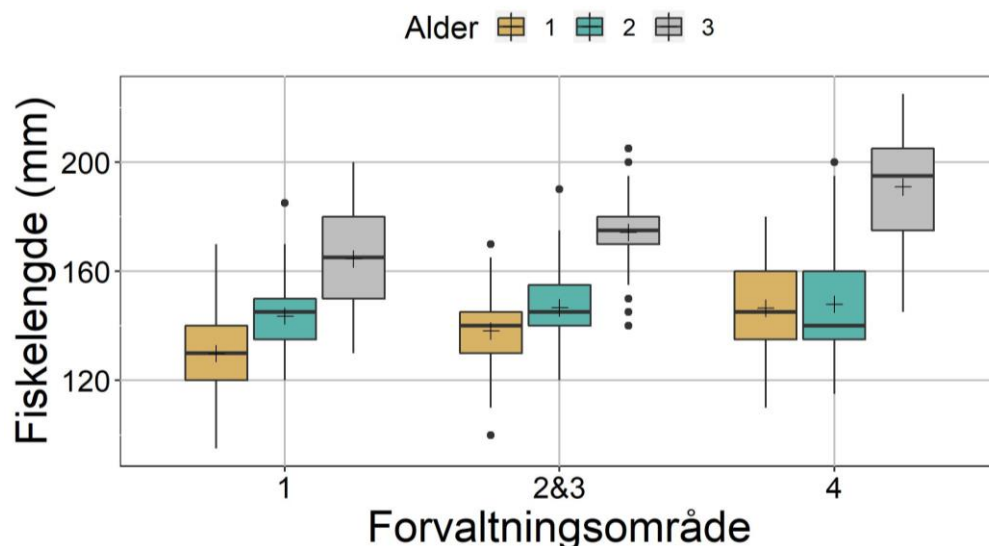
men da både kategoriske og kontinuerlige prediktorvariabler. Da vil man teste om stigningen eller nivået forandrer seg mellom regresjonslinjene (Jensen, 2008).

Alle testresultater som er gjort er inkludert i Appendiks tabell 7.1-7.31.

### 3. RESULTATER

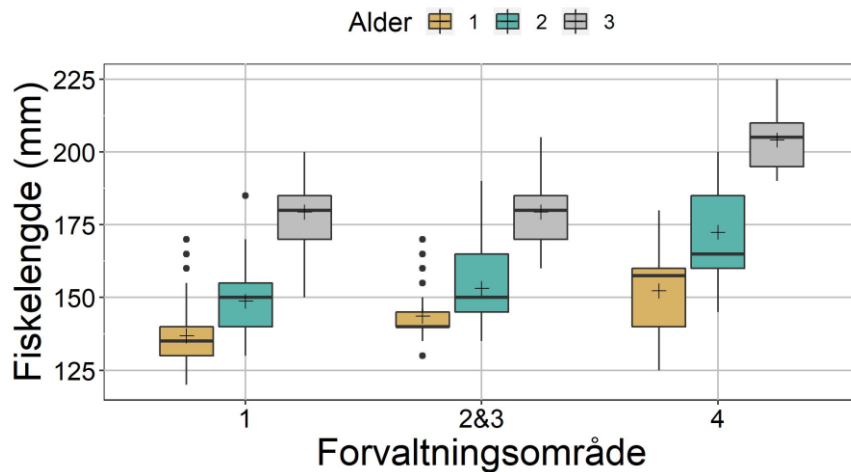
#### 3.1 Lengdefordeling fra observasjoner

I dette studiet ble data fra 932 individer brukt i de statistiske analysene og testene. De observerte fiskelengdene ved alder til alle individene, varierte fra 95-180mm (for 1-åring), 115-200mm (for 2-åring) og 130-225mm (for 3-åring).



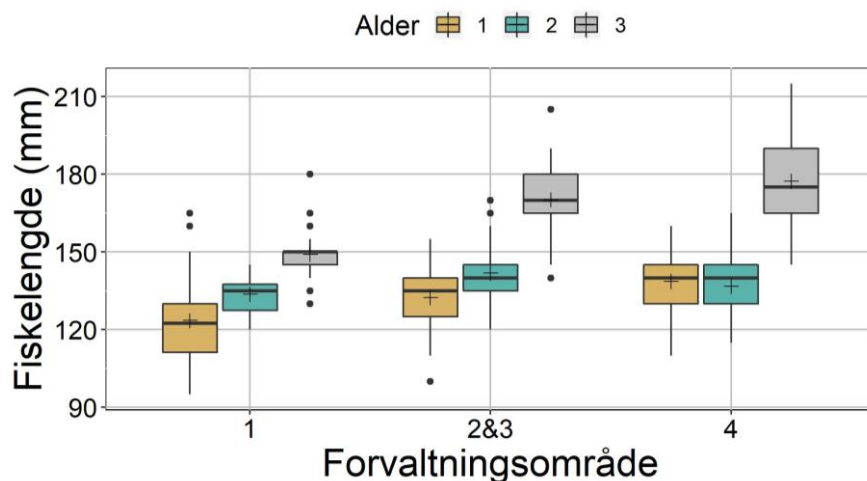
**Figur 3.1.a** – Observerte fiskelengder (mm) i de tre forvaltningsområdene (1, 2&3 og 4) ved alder. 1-åringene (gult), 2-åringene (grønn) og 3-åringene (grått). Den tykke svarte streken i boxplot viser medianen mens et svart kryss viser gjennomsnittet.

Generelt var fiskelengden større ved økende alder, men forskjellen varierte i ulike områder. Fiskelengden økte ved alder i forvaltningsområde 1 og 2&3 (Figur 3.1.a). Likevel var 2-åringene i forvaltningsområde 4 relativt lik i størrelsen som 1-åringene og avviker dermed fra denne trenden. Fiskelengden i de ulike aldersgruppene avhang av forvaltningsområde, og hadde ikke samme trend med hensyn til alder, og viste en signifikant interaksjon (GLM interaksjon, p-verdi  $\ll 0,001$ ). Fiskelengdene til 3-åringene i område 2&3 hadde flest outliers. Alle testresultater til figur 3.1.a er inkludert i Appendiks tabell 7.1.a.



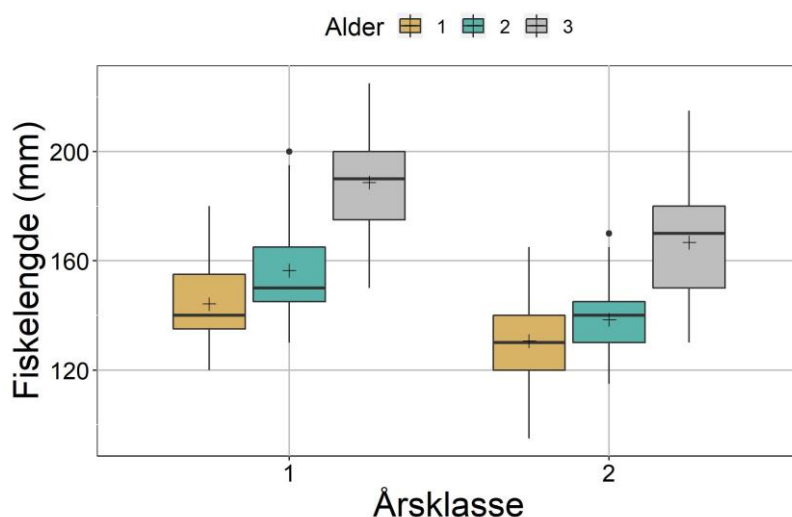
**Figur 3.1.b** – Observerte fiskelengder (mm) ved alder i årsklassen 2009. 1-årringer (gult), 2-årringer (grønn) og 3-årringer (grått) i de tre forvaltningsområdene (1, 2&3 og 4).

Som i figur 3.1.a, økte generelt fiskelengden til årsklassen 2009 ved økende alder. Det var en trend i økt fiskelengde med økt alder i alle områdene (Figur 3.1.b). Forvaltningsområde 4 hadde generelt større fiskelengde sammenlignet med forvaltningsområde 1 og 2&3. Likevel var ikke 3-årringer fra område 2&3 større enn 3-åringene fra forvaltningsområde 1, slik som de andre aldersgruppene når man sammenligner forvaltningsområde 1 og 2&3. Det betyr at effekten av alder varierer med forvaltningsområde (GLM, p-verdi  $\ll 0,001$ ). De observerte fiskelengdene ved alder til individene fra årsklassen 2009 varierte fra 120-180mm (for 1-årringer), 130-200mm (for 2-årringer) og 150-225mm (for 3-årringer). Lengden til 1-åringene i forvaltningsområde 2&3 hadde flest outliers. Alle testresultater til figur 3.1.b er inkludert i Appendiks tabell 7.1.b.



**Figur 3.1.c** – Observerte fiskelengder (mm) ved alder i årsklassen 2016. 1-årringer (gult), 2-årringer (grønn) og 3-årringer (grått) i de tre forvaltningsområdene (1, 2&3 og 4).

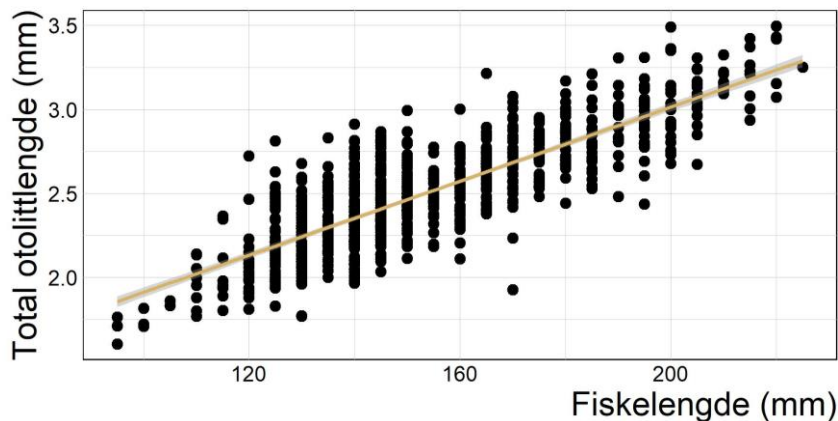
Fiskelengden til individer i årsklassen 2016 var større ved økende alder i forvaltningsområde 1 og 2&3 (Figur 3.1.c), men i forvaltningsområde 4 var de gjennomsnittlige 1-årringer større enn 2-årringer. Det betyr at effekten av alder varierte med områder (GLM interaksjon, p-verdi  $\ll 0,001$ ). Sammenlignet med årsklassen 2009 er det et større sprik mellom lengden til 2-årringer og 3-årringer i forvaltningsområde 2&3 og 4. De observerte fiskelengdene ved alder til individene fra årsklassen 2016 varierte fra 95-165mm (for 1-årringer), 115-170mm (for 2-årringer) og 130-215mm (for 3-årringer). Alle testresultater til figur 3.1.c er inkludert i Appendiks tabell 7.1.c.



**Figur 3.1.d** – Observerte fiskelengder (mm) i de to årsklassene 2009 (1) og 2016 (2) ved alder, 1-årringer (gult), 2-årringer (grønn) og 3-årringer (grått). Den tykke svarte streken i boxplot viser medianen mens et svart kryss viser gjennomsnittet.

Generelt var fiskelengden større ved økende alder, og i alle tre aldersgruppene var det 2009-årsklassen som hadde størst lengder (Figur 3.1.d). Fiskelengden var signifikant forskjellig ved ulik alder i de ulike årsklassene (GLM interaksjon, p-verdi = 0.002). Alle testresultater til figur 3.1.d er inkludert i Appendiks tabell 7.1.d.

### 3.2 «Scale-body-relationship»

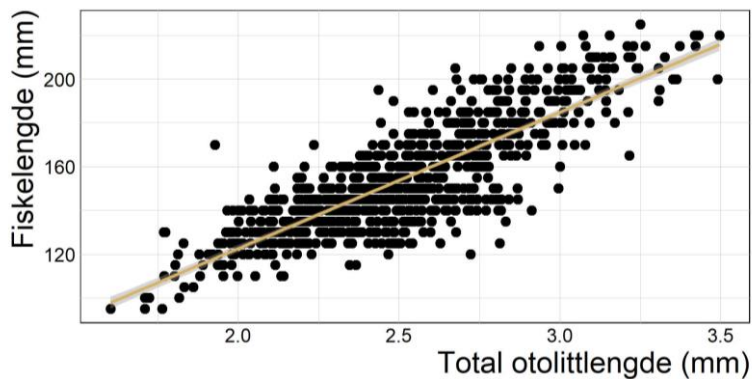


**Figur 3.2** – Scatterplot som viser otolittlengde(mm) ved gitt fiskelengde(mm) til alle individer i de tre forvaltningsområdene og begge årsklassene. Den gule linjen er regressjonslinjen  $y = 0.809 + 0.011 \cdot x$  som viser sammenhengen mellom den total otolittlengde (mm) og fiskelengden (mm).

Generelt var det en relasjon mellom den totale otolittlengden (mm) ved gitt fiskelengde (mm) ( $r^2=0.6865$ ). Den totale otolittlengden (mm) økte med økt fiskelengde (mm). Som følge av denne sammenhengen kunne tilbakeberegningssformelen SPH, som tar utgangspunkt i denne regresjonen, bli brukt for å estimere tidligere fiskelengder. Alle testresultater til figur 3.2 er inkludert i Appendiks tabell 7.2.

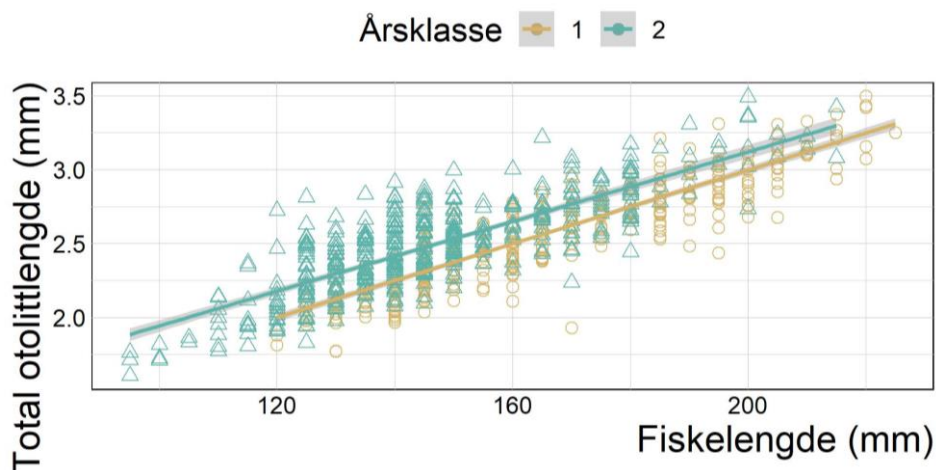


### 3.3 «Body-scale-relationship»



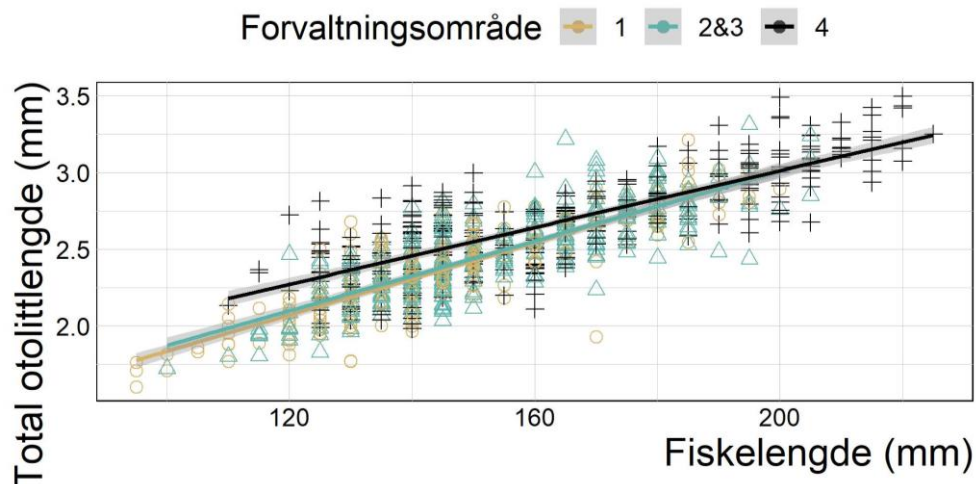
**Figur 3.3** - Scatterplot som viser fiskelengde(mm) ved gitt total otolittlengde (mm) til alle individer i de tre forvaltningsområdene og begge årsklassene. Den gule linjen er regressjonslinjen  $y = -1.969 + 62.279*x$  som viser sammenheng mellom fiskelengden (mm) og den totale otolittlengden (mm).

Generelt var det en sammenheng mellom fiskelengde (mm) og total otolittlengde (mm) ( $r^2=0.6865$ ). Den totale otolittlengden (mm) økte med økt fiskelengde (mm). Som følge av denne sammenhengen kunne tilbakeberegningsformelen BPH, som tar utgangspunkt i denne regresjonen, bli brukt for å estimere tidligere fiskelengder. Alle testresultater til figur 3.3 er inkludert i Appendiks tabell 7.3.



**Figur 3.4** – Scatterplot som viser den totale otolittlengden(mm) ved gitt fiskelengde(mm) til alle individer i de tre forvaltningsområdene fordelt på de to årsklassene 2009 (1) og 2016 (2). Den gule regressjonslinjen representerer individer fra årsklassen 2009, den grønne regressjonslinjen er individer fra årsklassen 2016. Konfidensintervallområdet vises som skravert grått rundt regresjonslinjene.

Generelt hadde årsklassen 2016 større total otolittlengde (mm) ved gitt fiskelengde (mm) (Figur 3.4). Skjæringspunktene til regresjonslinjene er signifikant forskjellig mellom årsklassene (GLM, p-verdi  $\ll 0,001$ ), og viste at otolittstørrelser ikke uten videre er et egnet mål på fiskelengde. Stigningen til regresjonslinjene var ikke ulike, og de kan betraktes som parallelle (GLM, p-verdi=0.152). Otolittstørrelsene til årsklassen 2016 vil i praksis være større enn otolittstørrelsene til årsklassen 2009 ved alle fiskelengder. Alle testresultater til figur 3.4 er inkludert i Appendiks tabell 7.4.



**Figur 3.5** - Scatterplot som viser total otolittlengde (mm) ved gitt fiskelengde (mm) til alle individer fordelt på de tre forvaltningsområdene. Forvaltningsområde 1 vises med gule punkter og regresjonslinje, forvaltningsområde 2&3 vises med grønne trekante og regresjonslinje og forvaltningsområde 4 vises med svarte kryss og regresjonslinje.

Størrelsen på otolittene ved gitt fiskelengde kommer an på hvilket forvaltningsområde individet er fra. De tre forvaltningsområdene hadde ulik stigning og ulike nivå og dermed en signifikant interaksjon (GLM, p-verdi  $\ll 0,001$ ). I forvaltningsområde 4 har individer som er mindre enn 180 mm størst otolittlengde ved gitt fiskelengde (Figur 3.5) Alle testresultater til figur 3.5 er inkludert i Appendiks tabell 7.5.

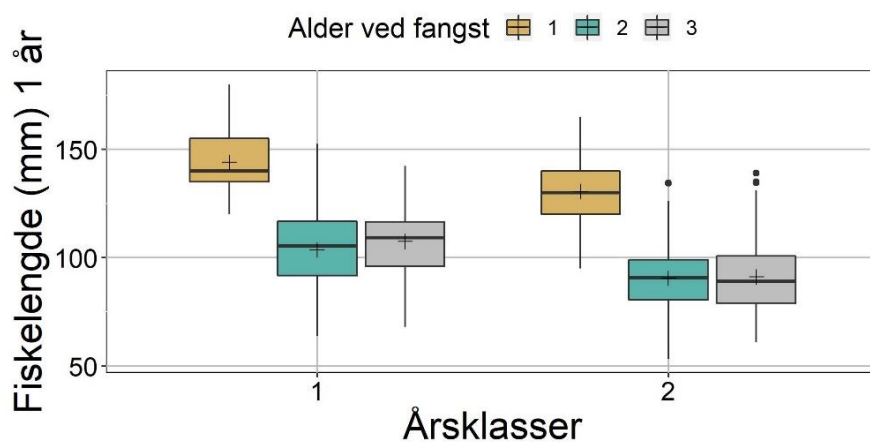
### 3.4 Tilbakeberegnete- og observert lengde til 1-åringer

En antagelse for å kunne bruke SPH og BPH som formler for tilbakeberegning til tidligere fiskelengder var at det måtte være korrelasjon mellom otolittlengde og fiskelengde. Siden resultatene viste det var sammenheng mellom variablene i både «Scale-Body-Relationship»

og «Body-Scale-Relationship», kunne disse to formlene brukes til å estimere tidligere fiskelengde.

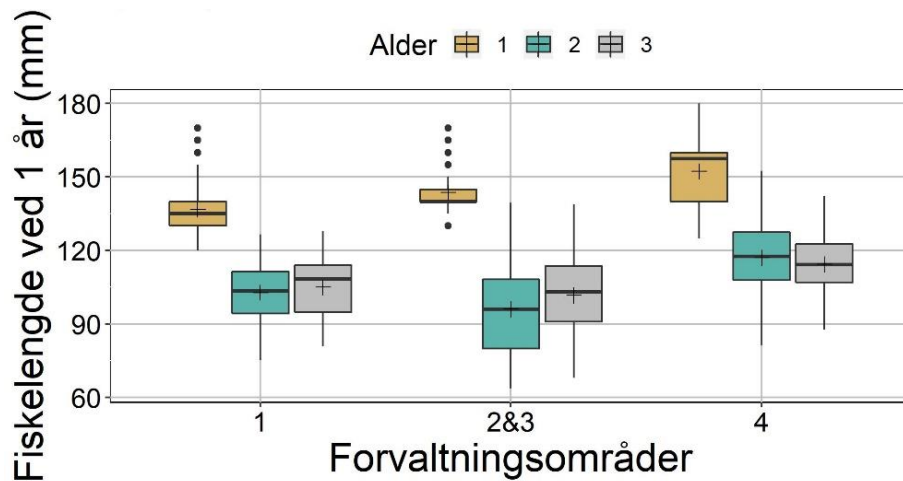
### 3.4.1 SPH metode for tilbakeberegning

For SPH-metoden brukes stigningstallet(a) og skjæringspunktet(b) i regresjonsligningen  $y = 0.809 + 0.011 * x$  (Figur 3.2), sammen med fiskelengden ved fangst ( $L_c$ ), otolittlengden ved fangst ( $S_c$ ) og otolittlengden ved året som skal tilbakeberegnes til ( $S_i$ ). Resultatet til de tilbakeberegnete lengdene ved 1-åringer er sammenlignet med de faktisk observerte lengdene til 1-åringer målt i de ulike årsklassene.



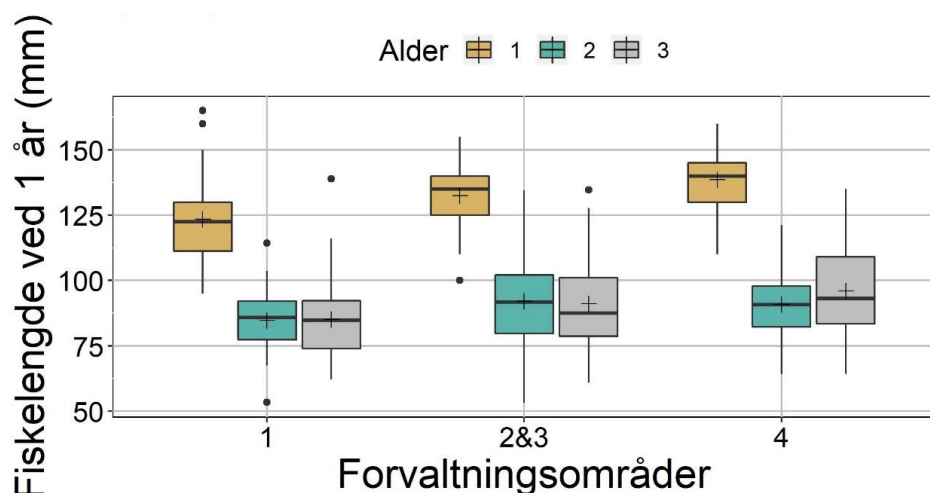
**Figur 3.6** – Gruppert boxplot som viser fiskelengde (mm) ved 1 år for de ulike årsklassene 2009 (1) og 2016(2). De faktisk observerte fiskelengdene til 1-åringer er de gule boksene. For 2-åringene (grønn) og 3-åringene (grå) vises de tilbakeberegnete fiskelengdene ved bruk av SPH formelen.

Mellom de to årsklassene var det de faktisk observerte fiskelengdene til 1-åringene fra 2009 som viste seg å være størst. Generelt viser plottet at både observerte og tilbakeberegnete lengder fra årsklasse 2009 er større sammenlignet med lengdene i årsklassen 2016, dermed er årsklassene signifikant forskjellig (GLM, p-verdi  $\ll 0,001$ ). Innad i begge årsklassene var de observerte 1-åringene var størst, og i 2009-årsklassen viste de tilbakeberegnete lengdene fra 2-åringene de minst størrelsene (Figur 3.6). Det var ingen signifikant interaksjon (GLM, p-verdi=0.372). Alle testresultater til figur 3.6 er inkludert i Appendiks tabell 7.6.



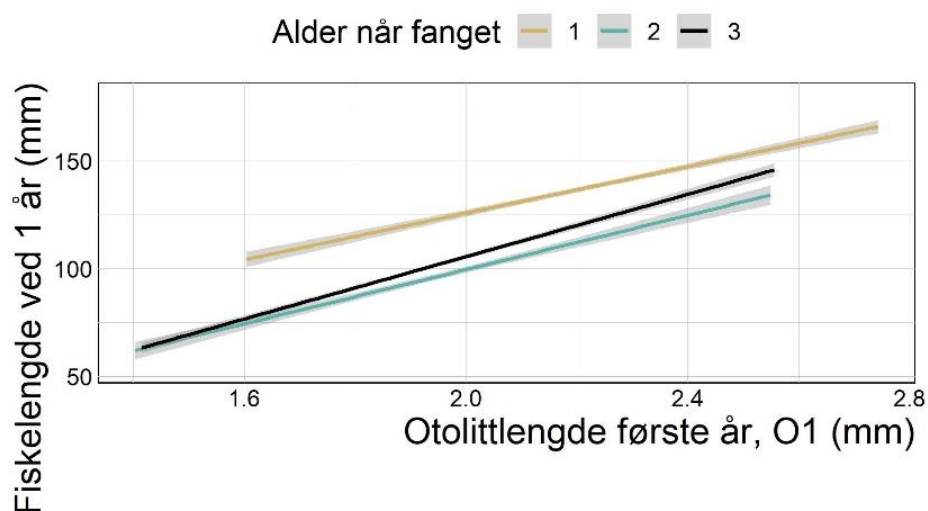
**Figur 3.7** – Gruppert boxplot som viser fiskelengde (mm) ved 1 år for årsklassen 2009 i de ulike forvaltningsområdene (1, 2&3 og 4). De faktisk observerte fiskelengdene for 1-åringene er de gule boksene. For 2-åringene (grønn) og 3-åringene (grå) vises de tilbakeberegnete fiskelengdene ved bruk av SPH formelen.

Forvaltningsområde 4 viser de største lengdene for alle aldersgruppene i 2009-årsklassen. Forvaltningsområde 2&3 viste de minste fiskelengdene for tilbakeberegnete lengder fra 2- og 3-åringene. Samtidig viser område 1 de minste observerte 1-åringene (Figur 3.7). Fiskelengdene varierte dermed ved ulik alder mellom de tre forvaltningsområdene i årsklassen 2009 og viste en signifikant interaksjon (GLM interaksjon, p-verdi =0,002). Dessuten viste også dette plottet at fiskelengde tilbakeberegnet fra 2-åringene hadde de minste lengde i forvaltningsområdene 1 og 2&3, og de faktisk observerte lengdene til 1-åringene størst i alle forvaltningsområdene (Figur 3.7) Alle testresultater til figur 3.7 er inkludert i Appendiks tabell 7.7



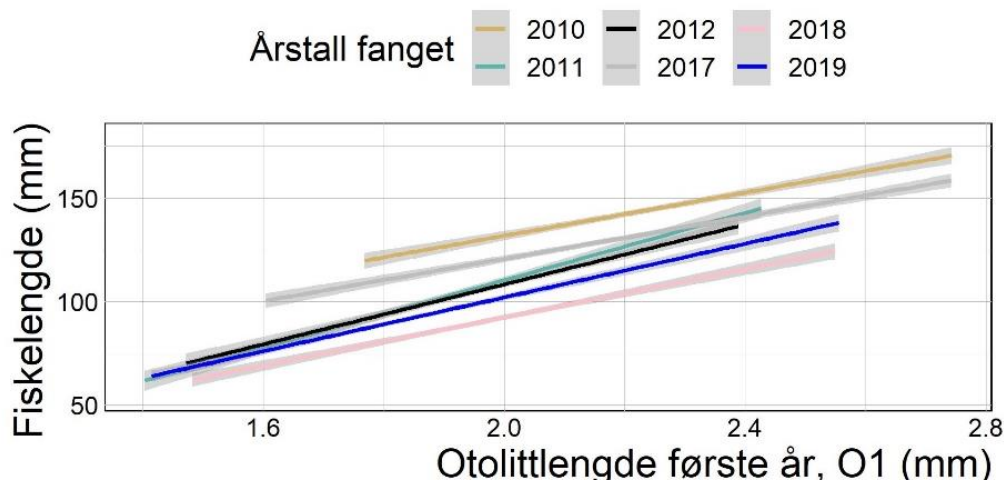
**Figur 3.8** – Gruppert boxplot som viser fiskelengde (mm) ved 1 år for årsklassen 2016 i de ulike forvaltningsområdene (1, 2&3 og 4). De faktisk observerte fiskelengdene for 1-åringene er de gule boksene. For 2-åringene (grønn) og 3-åringene (grå) vises de tilbakeberegnete fiskelengdene ved bruk av SPH formelen.

Også i 2016-årsklassen viste de faktisk observerte fiskelengdene til 1-åringene de største lengdene (Figur 3.8). Fiskelengdene ved alder varierte ikke mellom forvaltningsområdene, og viste ikke en signifikant interaksjon (GLM,  $p$ -verdi=0,208). Alle testresultater til figur 3.8 er inkludert i Appendiks tabell 7.8.



**Figur 3.9** – Scatterplot som viser fiskelengde (mm) ved gitt otolittlengde (mm) for observerte og tilbakeberegnete størrelser til 1-åringene. Observerte fiskelengder til 1-åringene vises med gul regresjonslinje, tilbakeberegnete lengder fra 2-åringene (grønn) og tilbakeberegnete lengder fra 3-åringene (svart) med bruk av SPH metoden.

Både de tilbakeberegnete lengdene fra 3-åringene og 2-åringene viser relativt mindre lengder enn de observerte (Figur 3.9). Lengdene fra 2-åringene viste de minste fiskelengdene ved otolittlengdene 2.6 mm-1.6 mm. Siden regresjonslinjene hadde ulik stigning viste de en signifikant interaksjon (GLM interaksjon,  $p$ -verdi  $\ll 0.001$ ). Det er en statistisk forskjell på observerte lengder og tilbakeberegnete lengder til 1-åringer ved bruk av SPH metoden. De tilbakeberegnete lengdene fra 3-åringene har en brattere stigning enn de observerte 1-åringene (Figur 3.9). Alle testresultater til figur 3.9 er inkludert i Appendiks tabell 7.9.

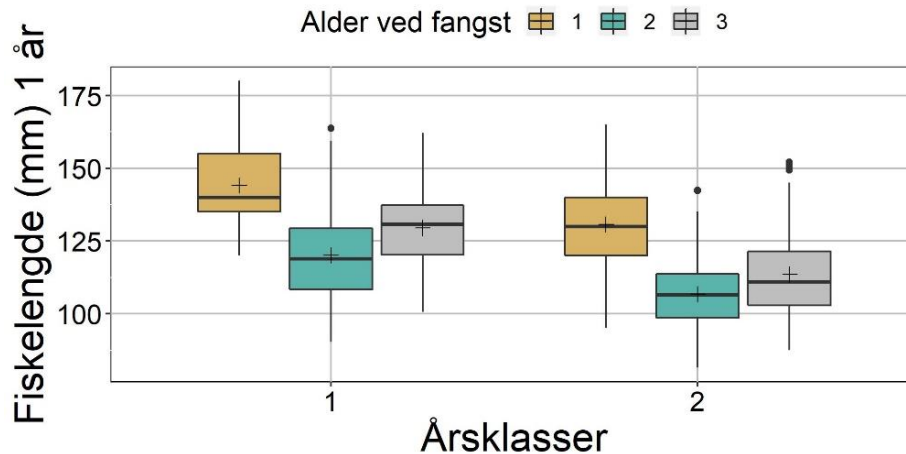


**Figur 3.10** – Scatterplot som viser fiskelengde (mm) ved gitt otolittlengde (mm) for observerte og tilbakeberegnete størrelser til 1-åringer for alle årene i begge årsklassene. Observerte lengder til 1-åringer vises med gul og grå regresjonslinjer, tilbakeberegnete lengdene fra 2-åringer vises med grønn og blå regresjonslinjer og tilbakeberegnete lengdene fra 3-åringer vises med svart og blå regresjonslinjer. Tilbakeberegningemetoden brukt er SPH.

Resultatene fra de tilbakeberegnete lengdene fra 2-åringer i 2018 var den linjen som viste de korteste fiskelengdene ved gitt otolittlengde. De observerte lengdene til 1-åringene fra 2010 og 2017 viste generelt de største fiskelengdene ved gitt otolittlengde. Likevel viste de tilbakeberegnete lengdene fra 2-åringene i 2011 relativt like fiskelengder som 1-åringene i 2017 ved en otolittstørrelse på 2.3 mm-2.4 mm (Figur 3.10). Regresjonslinjene hadde ulik stigning og nivå som vil si at det var signifikant interaksjon (GLM,  $p$ -verdi  $\ll 0.001$ ). Det er altså en statistisk forskjell på observerte lengder og tilbakeberegnete lengder til 1-åringer ved bruk av SPH metoden. Alle testresultater til figur 3.10 er inkludert i Appendiks tabell 7.10

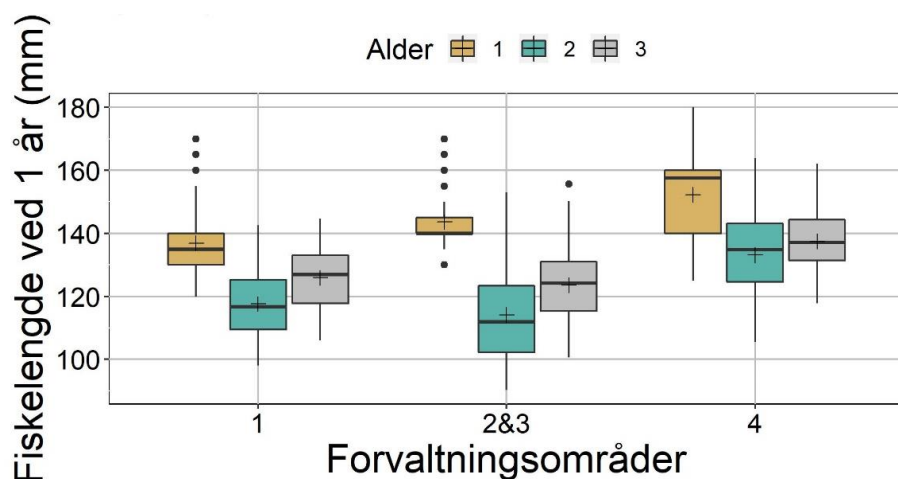
### 3.4.2 BPH metoden for tilbakeberegning

For BPH-metoden brukes stigningstallet(c) og skjæringspunktet(d) i regresjonsligningen  $y = -1.969 + 62.279 * x$ , sammen med fiskelengden ved fangst ( $L_c$ ), otolittlengden ved fangst ( $Sc$ ) og otolittlengden ved året som skal tilbakeberegnes til ( $S_i$ ). Resultatet til de tilbakeberegnete lengdene ved 1-åringer er sammenlignet med de faktisk observerte lengdene til 1-åringer i de ulike årsklassene.



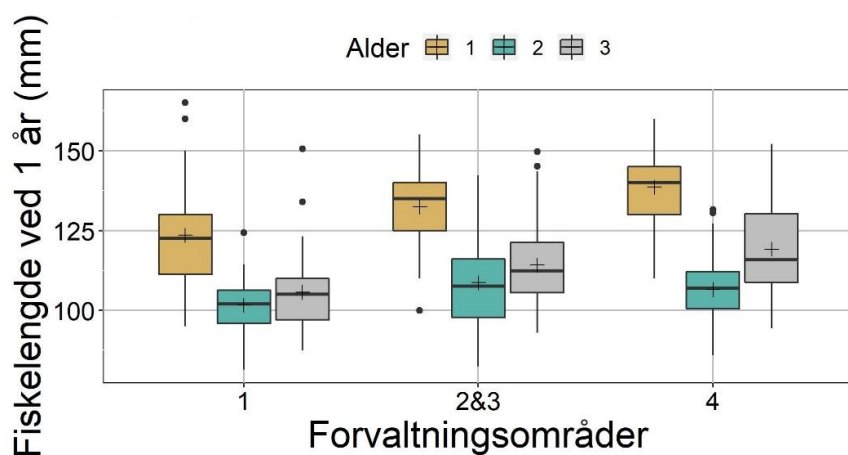
**Figur 3.11** – Gruppert boxplot som viser fiskelengde (mm) ved 1 år for de ulike årsklassene 2009 (1) og 2016 (2). De faktisk observerte fiskelengdene til 1-åringer er de gule boksene. For 2-åringene (grønn) og 3-åringene (grå) vises de tilbakeberegnete fiskelengdene ved bruk av BPH formelen.

Lengdene som er observert viser gjennomsnittlig større 1-åringer sammenlignet med de tilbakeberegnete lengdene i begge årsklassene. De tilbakeberegnete lengdene fra treåringene gir lengre resultat enn lengdene tilbakeberegnet fra 2-åringer i begge årsklassene (Figur 3.11). Som ved bruk av SPH metoden viste også BPH metoden at årsklassen 2009 generelt hadde størst fiskelengder i alle aldersgrupper. Det var relativt likt mønster mellom årsklassene. Alle testresultater til figur 3.11 er inkludert i Appendiks tabell 7.11.



**Figur 3.12** – Gruppert boxplot som viser fiskelengde (mm) ved 1 år for årsklassen 2009 i de ulike forvaltningsområdene (1, 2&3 og 4). De faktisk observerte fiskelengdene for 1-åringene er de gule boksene. For 2-åringene (grønn) og 3-åringene (grå) vises de tilbakeberegnete fiskelengdene ved bruk av BPH formelen.

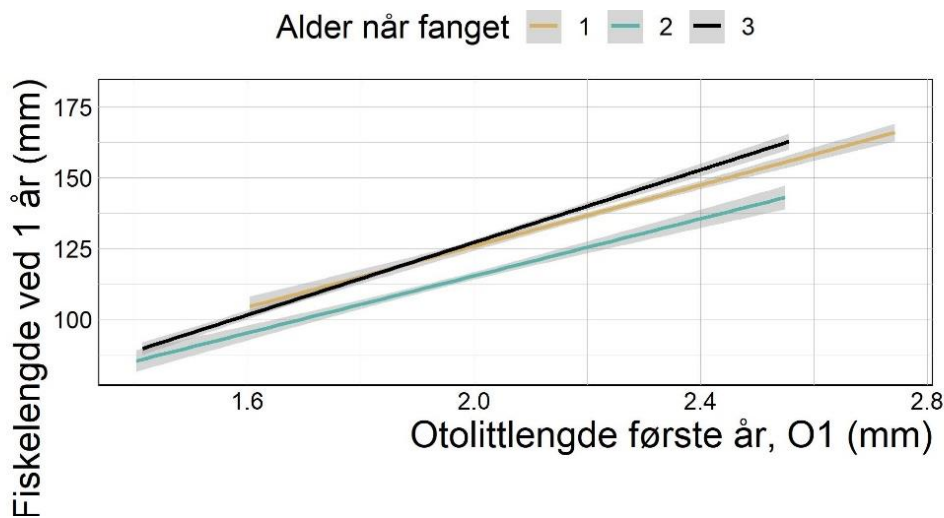
Lengdene som er observert viser gjennomsnittlig større 1-åring sammenlignet med de tilbakeberegnete lengdene i samtlige områder. De tilbakeberegnete lengdene fra 3-åringene viser lengre resultat enn lengdene tilbakeberegnet fra 2-åringene i samtlige områder (Figur 3.12). Det var signifikant interaksjon som indikerer ulik fiskelengde ved ulik alder i de ulike forvaltningsområdene (GLM interaksjon, p-verdi=0.007). Alle testresultater til figur 3.12 er inkludert i Appendiks tabell 7.12.



**Figur 3.13** – Gruppert boxplot som viser fiskelengde (mm) ved 1 år for årsklassen 2016 i de ulike forvaltningsområdene (1, 2&3 og 4). De faktisk observerte fiskelengdene for 1-åringene er de gule boksene. For 2-åringene (grønn) og 3-åringene (grå) vises de tilbakeberegnete fiskelengdene ved bruk av BPH formelen.

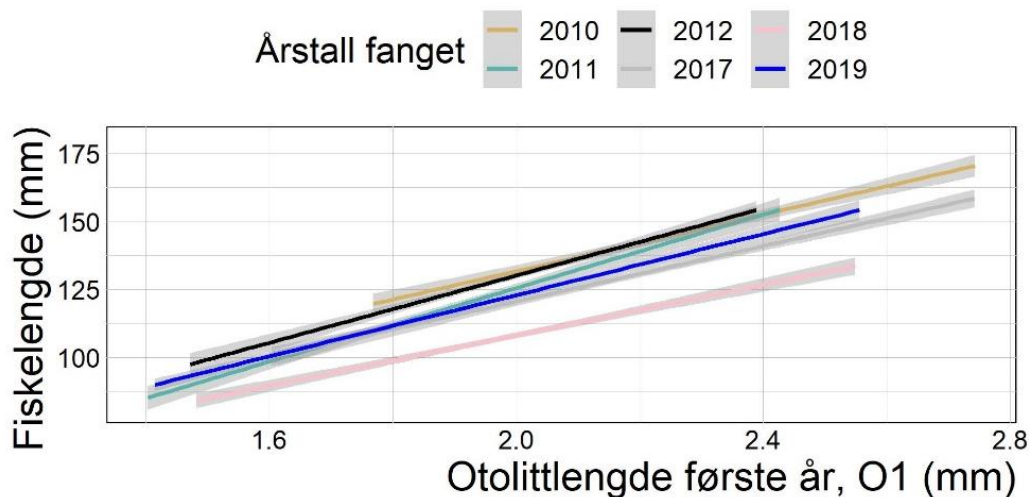


Lengdene som er observert viste gjennomsnittlig større 1-åringer sammenlignet med de tilbakeberegnete lengdene i områdene. Generelt viste de tilbakeberegnete lengdene fra 2-åringene de korteste lengdene i samtlige områder (Figur 3.13). Som for årsklassen 2009, viste også årsklassen 2016 en marginal signifikant interaksjon som vil si ulik fiskelengde ved ulik alder i de ulike forvaltningsområdene (GLM interaksjon, p-verdi=0.042). Alle testresultater til figur 3.13 er inkludert i Appendiks tabell 7.13.



**Figur 3.14** – Scatterplot som viser fiskelengde (mm) ved gitt otolittlengde (mm) for observerte og tilbakeberegnete størrelser til 1-åringer. Observerte fiskelengder til 1-åringer vises med gul regresjonslinje, tilbakeberegnete lengder fra 2-åringer (grønn) og tilbakeberegnete lengder fra 3-åringer (svart) med bruk av BPH metoden.

De tilbakeberegnete 2-åringene viste en relativt parallell regresjonslinje sammenlignet med de observerte 1-åringene ved gitt total otolittlengde. De tilbakeberegnete lengdene fra 3-åringene hadde en brattere stigning, og fra otolittlengde på 2.0 mm til 2.5 mm viste de lik eller større fiskelengder enn de observerte (Figur 3.14). Siden alle regresjonslinjene hadde ulik stigning og nivå var det en signifikant interaksjon (GLM, p-verdi<<0.001). Alle testresultater til figur 3.14 er inkludert i Appendiks tabell 7.14.

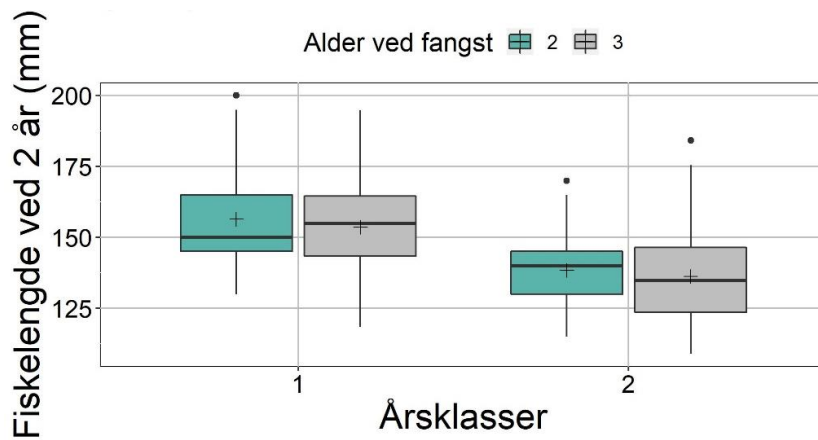


**Figur 3.15** – Scatterplot som viser fiskelengde (mm) ved gitt otolittlengde (mm) for observerte og tilbakeberegnete størrelser til 1-åringer for alle årene i begge årsklassene. Observerte lengder til 1-åringer vises med gul og grå regressjonslinjer, tilbakeberegnete lengdene fra 2-åringer vises med grønn og blå regresjonslinjer og tilbakeberegnete lengdene fra 3-åringer vises med svart og blå regressjonslinjer. Tilbakeberegningemetoden brukt er BPH.

De tilbakeberegnete lengdene fra 2-åringer i 2018 viser de minste fiskelengdene ved gitt otolittlengde. Fra otolittlengdene 1.8 mm–2.4 mm viser de tilbakeberegnete lengdene fra 3-åringer i 2012 relativt like fiskelengder som de observerte lengdene i 2010. I tillegg viser de tilbakeberegnete 3-åringene fra 2019 relativt like fiskelengder som de observerte i 2017 ved otolittstørrelse mellom 1.6 mm-2.4mm (Figur 3.15). Regresjonslinjene har ulik stigning og nivå som betyr at det finnes en signifikant interaksjon (GLM, interaksjon p-verdi $\ll$ 0.001). Det er altså en statistisk forskjell i lengder ved gitt otolittlengde i de ulike årene. Alle testresultater til figur 3.15 er inkludert i Appendiks tabell 7.15.

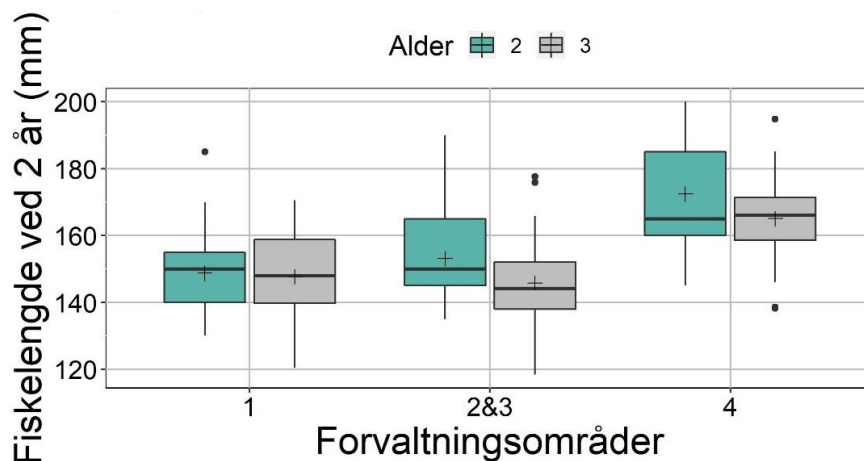
### 3.5 Tilbakeberegnete- og observert lengde til 2-åringer

#### 3.5.1 SPH metoden for tilbakeberegning til 2-åringer



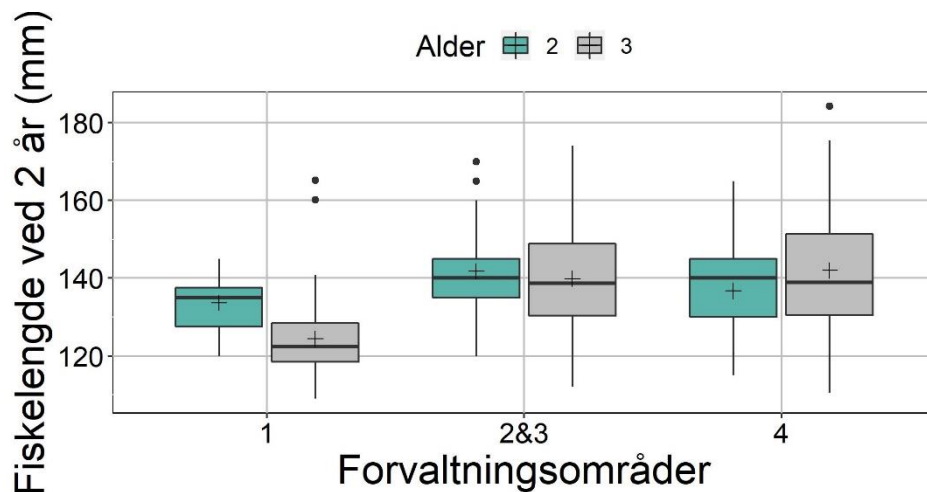
**Figur 3.16** – Gruppert boxplot som viser fiskelengde (mm) ved 2 år for de ulike årsklassene 2009 (1) og 2016 (2). De faktisk observerte fiskelengdene til 2-åringer er de grønne boksene. 3-åringene (grå) viser de tilbakeberegnete fiskelengdene ved bruk av SPH formelen.

Lengdene som er observert viser gjennomsnittlig større 2-åringer sammenlignet med de tilbakeberegnete lengdene ved bruk av SPH metoden. Årsklassen 2009 viste generelt størst individer fra både de observerte og de tilbakeberegnete fiskelengdene (Figur 3.16). Det var ikke en statistisk interaksjon (GLM,  $p$ -verdi=0.806). Alle testresultater til figur 3.16 er inkludert i Appendiks tabell 7.16.



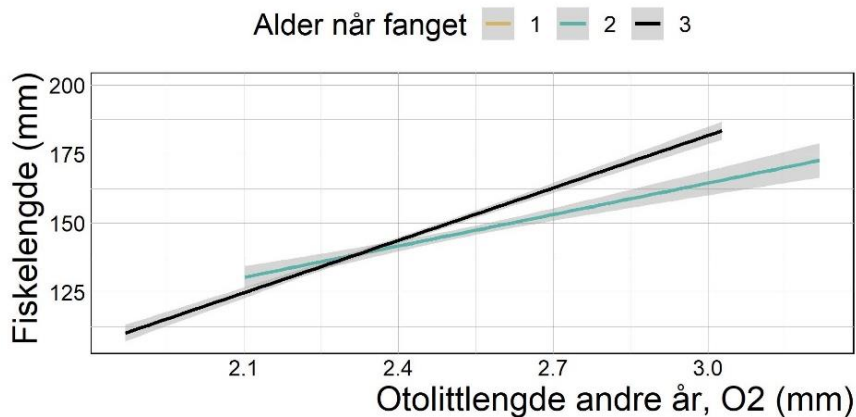
**Figur 3.17** – Gruppert boxplot som viser fiskelengde (mm) ved 2 år i årsklassen 2009 i de ulike forvaltningsområdene (1, 2&3 og 4). De faktisk observerte fiskelengdene til 2-åringer er de grønne boksene. 3-åringene (grå) viser de tilbakeberegnete fiskelengdene ved bruk av SPH formelen.

Lengdene som er observert viser gjennomsnittlig større 2-åringer sammenlignet med de tilbakeberegnete lengdene i samtlige områder (Figur 3.18). Fiskelengdene i områdene er signifikant forskjellig (GLM, p-verdi $\ll$ 0,001), og alderseffekten er signifikant (GLM, p-verdi=0,0005), og ingen signifikant interaksjon (GLM, p-verdi=0.139). Alle testresultater til figur 3.17 er inkludert i Appendiks tabell 7.17.



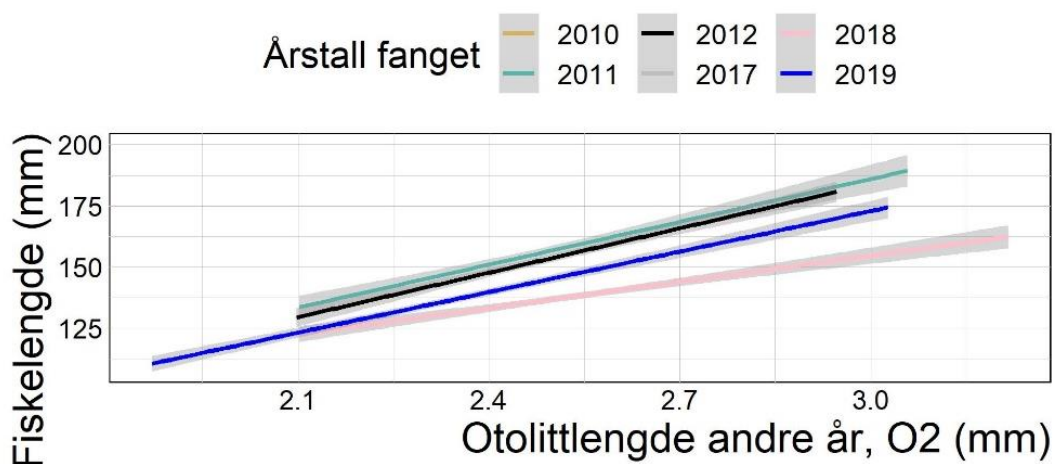
**Figur 3.18** – Gruppert boxplot som viser fiskelengde (mm) ved 2 år i årsklassen 2016 i de ulike forvaltningsområdene (1, 2&3 og 4). De faktisk observerte fiskelengdene til 2-åringer er de grønne boksene. 3-åringene (grå) viser de tilbakeberegnete fiskelengdene ved bruk av SPH formelen.

De observerte lengdene som er gjennomsnittlig større sammenlignet med de tilbakeberegnete lengdene i forvaltningsområde 1 og forvaltningsområde 2&3. I forvaltningsområde 4 var de observerte 2-åringene mindre enn de tilbakeberegnete lengdene fra 3-åringer (Figur 3.18). Det var en signifikant interaksjon som indikerte ulik fiskelengde ved ulik alder i de ulike områdene (GLM interaksjon, p-verdi=0,001). Alle testresultater til figur 3.18 er inkludert i Appendiks tabell 7.18.



**Figur 3.19** – Scatterplot som viser fiskelengde (mm) ved gitt otolittlengde (mm) ved 2 år for observerte 2-åringer og tilbakeberegnete lengder fra 3-åringer. Observerte fiskelengder til 2-åringer vises med grønn regresjonslinje, tilbakeberegnete lengder, med bruk av SPH metoden, fra 3-åringer vises med svart regresjonslinje.

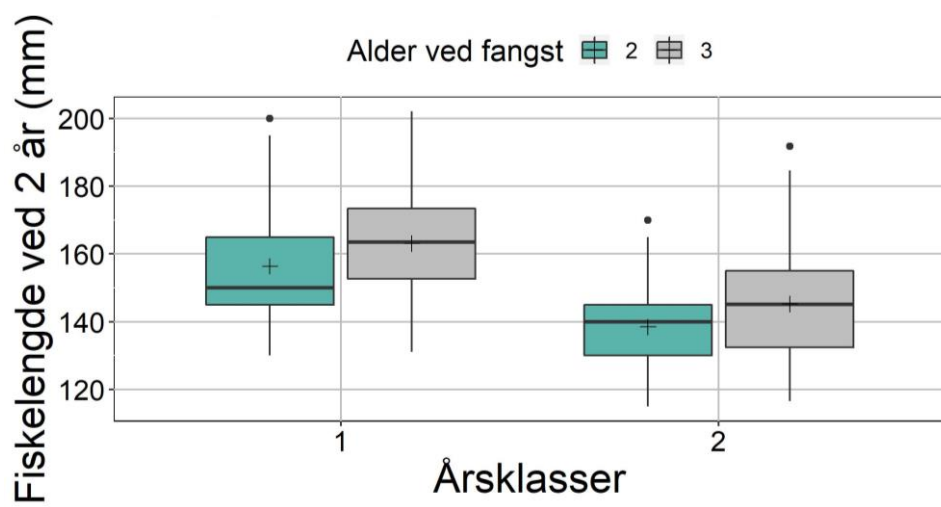
De tilbakeberegnete lengdene viste brattere stigning enn de observerte lengdene (Figur 3.19), og forskjellen i nivå avhang av fiskelenge. Likevel var ikke forskjell i fiskelengde ved en otolittstørrelse på ca. 2.2mm, men forskjell ved økende otolittstørrelse. Regresjonslinjene hadde ulik stigning og dermed en signifikant interaksjon (GLM, p-verdi << 0,001). Alle testresultater til figur 3.19 er inkludert i Appendiks tabell 7.19.



**Figur 3.20** – Scatterplot som viser fiskelengde (mm) ved gitt otolittlengde (mm) ved 2 år for observerte 2-åringer og tilbakeberegnete lengder fra 3-åringer for alle år. Observerte fiskelengder til 2-åringer vises med grønn (2011) og rosa (2018), tilbakeberegnete lengder, med bruk av SPH metoden, fra 3-åringer vises med svart (2012) og blå (2019).

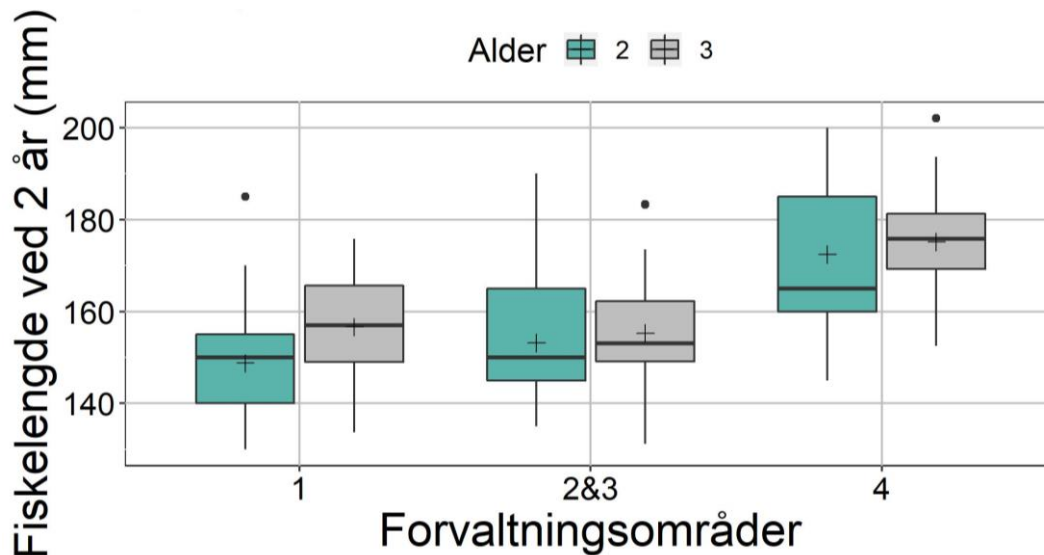
De observerte 2-åringene fra 2018 viste de minste fiskelengdene ved gitt otolittlengde. De tilbakeberegnete lengdene fra 2-åringer i 2011 viser de største fiskelengdene ved gitt otolittlengde (Figur 3.20). Det var minst forskjell i fiskelengde mellom årene ved en otolittlengde på 2.1 mm. Det var en signifikant interaksjon med både ulike nivå og ulike stigninger og indikerer ulik lengde ved otolittlengde i de ulike årene (GLM interaksjon, p-verdi  $\ll 0,001$ ). Alle testresultater til figur 3.20 er inkludert i Appendiks tabell 7.20.

### 3.2.3. BPH metoden for tilbakeberegning til 2-åringer



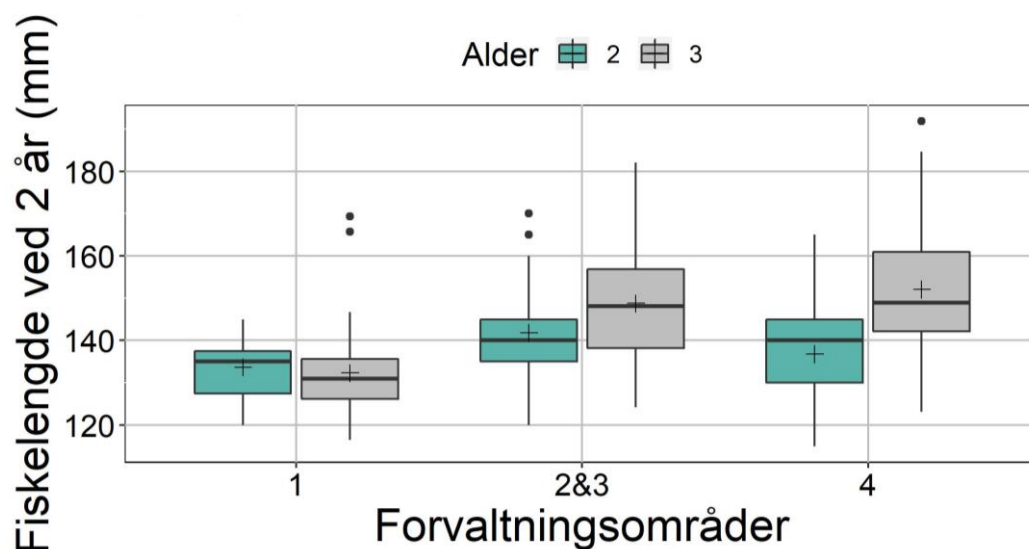
**Figur 3.21** – Gruppert boxplot som viser fiskelengde (mm) ved 2 år for de ulike årsklassene 2009 (1) og 2016 (2). De faktisk observerte fiskelengdene til 2-åringer er de grønne boksene. 3-åringene (grå) viser de tilbakeberegnete fiskelengdene ved bruk av BPH formelen.

Lengdene som er observert viser gjennomsnittlig større 2-åringer sammenlignet med de tilbakeberegnde lengdene. Generelt ser man at individer fra årsklasse 2009 (1) er lengre enn individer fra årsklasse 2016 (2) ved alder, både for observerte og tilbakeregnete lengder. Det var de tilbakeberegnete lengdene fra 3-åringene som viste de største lengdene for begge årsklasser (Figur 3.21). Årsklassene var signifikant forskjellig (GLM, p-verdi  $\ll 0,001$ ), sammen med lengdene ved alder (GLM, p-verdi  $\ll 0,001$ ). Alle testresultater til figur 3.21 er inkludert i Appendiks tabell 7.21.



**Figur 3.22** – Gruppert boxplot som viser i fiskelengde (mm) ved 2 år i årsklassen 2009 i de ulike forvaltningsområdene (1, 2&3 og 4). De faktisk observerte fiskelengdene til 2-åringene er de grønne boksene. 3-åringene (grå) viser de tilbakeberegnete fiskelengdene ved bruk av BPH formelen.

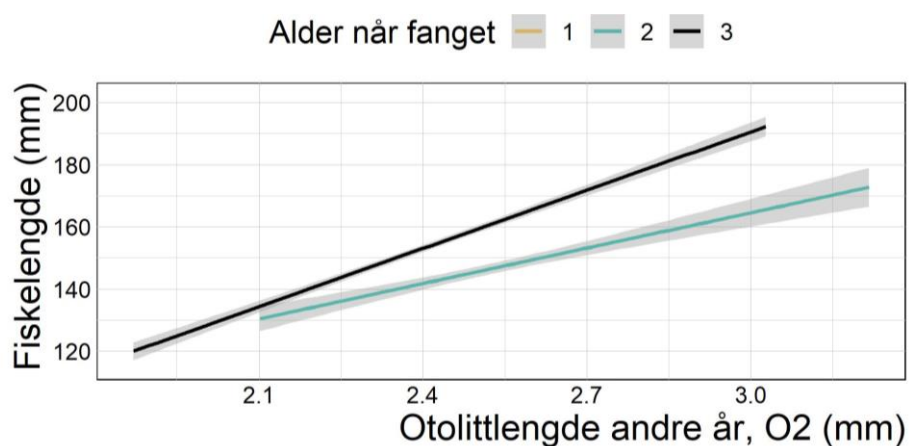
De observerte fiskelengdene viste gjennomsnittlig større 2-åringene sammenlignet med de tilbakeberegnete lengdene fra 3-åringene i samtlige forvaltningsområder. De korteste observerte 2-åringene var i forvaltningsområde 1, mens de lengste i område 4. For de tilbakeberegnete lengdene fra 3-åringene var de minste i forvaltningsområde 2&3 og de største i forvaltningsområde 4. Det var ikke ulik fiskelengde ved ulik alder i de ulike områdene. Alle testresultater til figur 3.22 er inkludert i Appendiks tabell 7.22.



**Figur 3.23** – Gruppert boxplot som viser i fiskelengde ved 2 år i årsklassen 2016 i de ulike forvaltningsområdene (1, 2&3 og 4). De faktisk observerte fiskelengdene til 2-åringene er de grønne boksene. 3-åringene (grå) viser de tilbakeberegnete fiskelengdene ved bruk av BPH formelen.

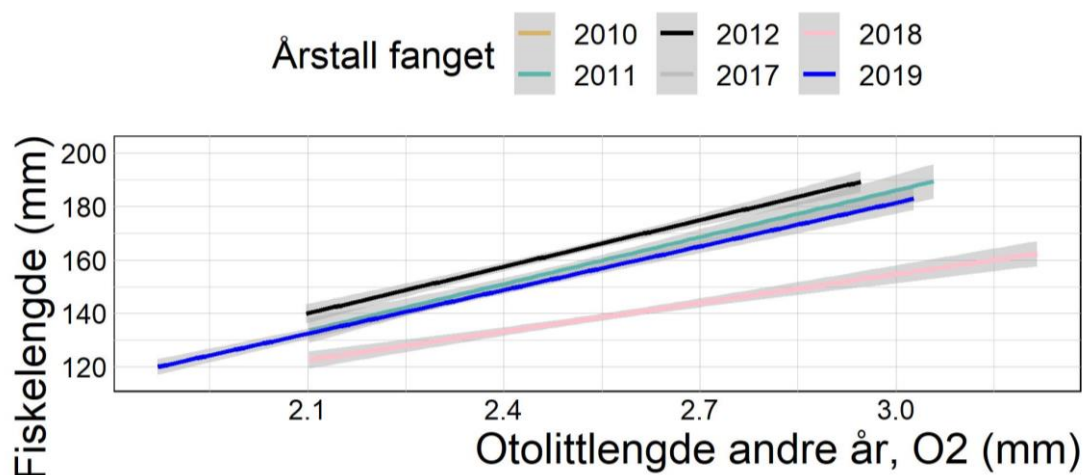
Lengdene som er observert viser gjennomsnittlig kortere 2-åringene sammenlignet med de tilbakeberegnete lengdene i forvaltningsområde 2&3 og 4. I forvaltningsområde 2&3 var de største observerte 2-åringene og de minste var i område 1. For de tilbakeberegnete lengdene var de største i forvaltningsområde 4 og de minste i forvaltningsområde 1 (Figur 3.23). Fiskelengdene i områdene er signifikant forskjellig (GLM,  $p$ -verdi  $\ll 0.001$ ) i tillegg til alderseffekten GLM,  $p$ -verdi  $\ll 0.001$ ). Det var ulik fiskelengde ved ulik alder i de ulike områdene som vil si statistisk interaksjon (GLM interaksjon,  $p$ -verdi  $\ll 0.001$ ). Alle testresultater til figur 3.23 er inkludert i Appendiks tabell 7.23





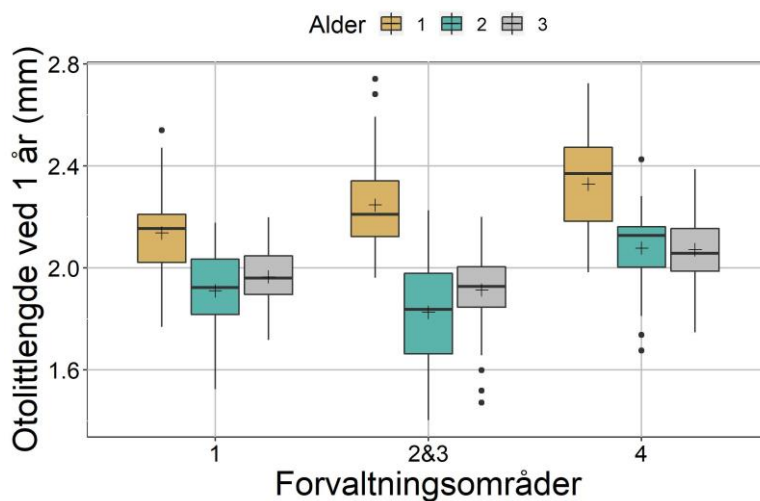
**Figur 3.24** – Scatterplot som viser fiskelengde(mm) ved gitt total otolittlengde (mm) ved 2 år for observerte 2-åringer og tilbakeberegnete lengder fra 3-åringer. Observerte fiskelengder til 2-åringer vises med grønn regresjonslinje, tilbakeberegnete lengder, med bruk av BPH metoden, fra 3-åringer vises med svart regresjonslinje.

De tilbakeberegnete lengdene fra 3-åringene viste brattere stigning enn de observerte lengdene fra 2-åringene (Figur 3.24). De hadde ulik stigning og signifikant interaksjon (GLM interaksjon,  $p$ -verdi  $\ll 0.001$ ). Forskjellen i nivå avhenger av fiskelengden ved gitt otolittlengde. Det var minst forskjell i fiskelengde ved en otolittlengde på 2.1 mm, og økende forskjell i fiskelengde med økende otolittlengde. Alle testresultater til figur 3.24 er inkludert i Appendiks tabell 7.24



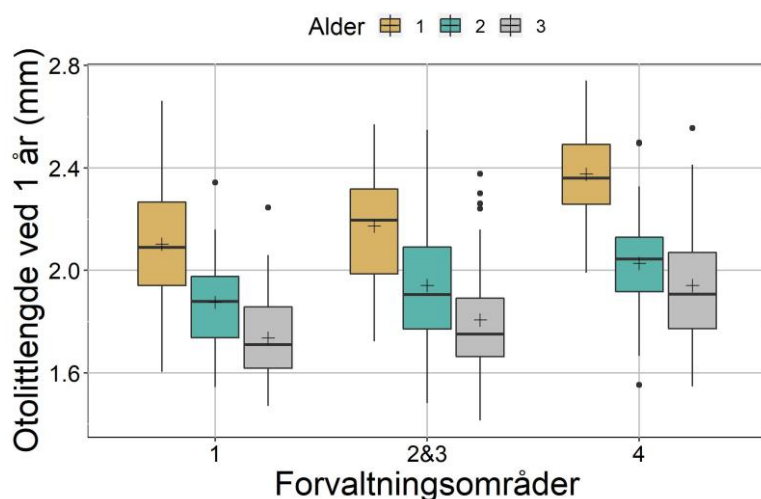
**Figur 3.25** – Scatterplot som viser fiskelengde (mm) ved gitt total otolittlengde (mm) ved 2 år for observerte 2-åringer og tilbakeberegnete lengder fra 3-åringer for alle år. Observerte fiskelengder til 2-åringer vises med grønn (2011) og rosa (2018), tilbakeberegnete lengder, med bruk av BPH metoden, fra 3-åringer vises med svart (2012) og blå (2019).

De observerte lengdene til 2-åringene fra 2018 hadde den minste størrelse til gitt otolittlengde. De største fiskelengdene ved gitt otolittstørrelse var lengdene tilbakeberegnet fra 2012. Generelt var det størst forskjell mellom observert og tilbakeberegnete lengder for årsklassen 2016, altså mellom år 2018 og 2019(Figur 3.25). Ulike nivå og ulik stigning i dette plottet betyr en signifikant interaksjon mellom fiskelengder ved otolittstørrelser ved ulike år (GLM interaksjon, p-verdi $\ll$ 0.001). Alle testresultater til figur 3.25 er inkludert i Appendiks tabell 7.25



**Figur 3.26** - Gruppert boxplot som viser otolittlengde (mm) ved 1 år i årsklassen 2009 i de ulike forvaltningsområdene (1, 2&3 og 4). For 1-åringene vises den totale otolittstørrelsen, for 2- og 3-åringene vises første årssone i otolitten (O1).

I 2009-årsklassen viste otolittlengdene ved 1 år de største lengdene målt fra 1-åringene i alle forvaltningsområdene, hvor de største av 1-åringene var fra område 4 mens de minste var fra område 1. For 2- og 3-åringene var også de største otolittlengdene i område 4, derimot fant man de korteste otolittlengdene i forvaltningsområde 2&3. Generelt var otolittlengdene til 3-åringene størst sammenlignet med 2-åringene, bortsett fra i område 4, der de hadde relativt lik gjennomsnittslengde på første årssone i otolitten (Figur 3.26). Det var dermed signifikant forskjellige otolittlengder ved ulike aldersgrupper i de forskjellige forvaltningsområdene (GLM interaksjon, p-verdi $\ll$ 0.001). Alle testresultater til figur 3.26 er inkludert i Appendiks tabell 7.26.



**Figur 3.27** - Gruppert boxplot som viser otolittlengde (mm) ved 1 år i årsklassen 2016 i de ulike forvaltningsområdene (1, 2&3 og 4). For 1-åringene vises den totale otolittstørrelsen, for 2- og 3-åringene vises første årssone i otolitten (O1).

I 2016-årsklassen viste også her at otolittlengdene ved 1 år de største lengdene målt fra 1-åringene i alle forvaltningsområdene, hvor de største av 1-åringene var fra forvaltningsområde 4 mens de minste var fra forvaltningsområde 1. For 2- og 3-åringene var også de største otolittlengdene i område 4, og de minste lengdene i forvaltningsområde 1. Generelt var otolittlengdene til 2-åringene størst sammenlignet med 3-åringene i samtlige områder (Figur 3.27). Det var signifikante forskjellig otolittlengder mellom alder (GLM,  $p$ -verdi  $\ll 0.001$ ), og områdeeffekten var signifikant (GLM,  $p$ -verdi  $\ll 0.001$ ). Alle testresultater til figur 3.27 er inkludert i Appendiks tabell 7.27.

#### 4. DISKUSJON

Otolitten til havsilen vokser mest mellom april og august, og den opake sonen (sommersonen) blir lagt i april og mai. Det er generelt i denne perioden at lengdeveksten til havsilen er på det meste (Reay 1972). Dermed kan man si at havsilens somatiske lengde vokser som otolitten med alderen til fisken. En sterk relasjon mellom otolittlengde og fiskelengde ble funnet, som gjorde det mulig å bruke tilbakeberegningsformler for å estimere tidligere lengder ved alder. Tilbakeberegningsformlene SPH og BPH viste relativt ulike tilbakeberegnete lengder. Generelt fant man de største havsilene ved alder i forvaltningsområde 4. Årsklassen fra 2009 dominerte i forvaltningsområde 4 for alle aldersgrupper, mens 2016 årsklassen dominerte i forvaltningsområde 4 for både 1-åringene og 3-åringene, men ikke for 2-åringene. De største 2-

åringene fra 2016 årsklassen fant man i forvaltningsområde 2&3. Dette betyr at havsil fra forvaltningsområde 1 var gjennomsnittlig de minste individene i alle aldersgrupper undersøkt i dette studiet. Havsil fra årsklassen 2016 hadde størst otolitter ved gitt fiskelengde sammenlignet med 2009, og viste at otolittlengder ikke uten videre er et egnet mål på fiskelengde.

Selv om det er kvalifiserte otolittlesere fra Havforskningsinstituttet som aldersbestemmer individene fanget på tokt, er dette en komplisert prosedyre. Falske soner oppstår til tider og kan være vanskelig å tyde. Alderslesing er basert på erfaring, kunnskap og gjenkjenning av mønster i otolittene. Feiltolkning av alder kan forplante seg videre til veksten av bestanden og det er dermed nødvendig med god kvalitetskontroll (Morison et al. 2005). Derfor ble det til dette studiet bare valgt individer hvor lesbarheten til otolittene var sikker, altså merket med «1» på lesbarhetsskalaen. Likevel, på noen av de eldste otolittene fra 2010 og 2011 var innstøpningsmiddelet, entellan, blitt krakelert. Dette gjorde det til tider vanskelig å skille årssonene da de morfologiske målingene skulle gjøres. Enkelte otolitter måtte derfor ekskluderes. Når det gjelder billedtaking av otolittene, ble det brukt tre forskjellige lupur og to ulike programmer. Dette kan bidra til enkelte forskjeller i de senere målingene på grunn av eventuelle arbeidsforhold, lysinnstillinger og ulik fokusering ved bruk av lupene, i tillegg var man da også nød til å ta hensyn til flere kalibreringer. For senere studie vil det anbefales å bruke samme lupur, programmer og innstillinger, for bedre nøyaktighet.

Hovedmålingene på otolittene til dette studiet var diameterne for hver årssone. Det ble også diskutert om radius til otolitten skulle brukes. Dette ville blitt en mer tidkrevende prosess, som ville inkludere sliping av otolitten for å finne kjernen som utgangspunkt for målet på otolitradius. Presisjonen og praktiske problemer kan variere ut ifra hvilken type mål i otolitten man velger, likevel er teorien om tilbakeberegning den samme for alle dimensjoner (Francis 1990). Hadde man valgt å slipe en viss mengde otolitter i hver årsklasse og målt avstanden fra anteriorenden og posteriorenden inn til kjernen kunne man laget en formel på denne avstanden og brukt det videre i de andre otolittene som et mål på kjernen. Annen viktig informasjon ville en også fått ved å slipe otolittene, nemlig klekkedato.

Alle otolittprøvene fra tobistoktene er tatt i månedsskifte april/mai. For enkelte år vil noen otolitter ha en begynnende opak sone (sommervekst) på gang allerede da. Denne veksten kan være vanskelig å se, og kan dermed bli tatt med i målet for første årssone i otolitten. Dette kan

være en grunn til at total lengden til 1-åringer, i dette studiet, ofte kan være relativt mye større enn den første sonen i otolitten til 2- og 3-åringer. Man ser tydeligere forskjeller på opak og translucent soner til eldre fisk og vet hvor man skal måle fra og til. Eksempler på dette er analysene hvor den totale otolittlengden til 1-åringer og første sonen i otolitten til 2- og 3-åringene (O1) ble sammenlignet. Da var det for begge årsklassene og i alle forvaltningsområdene tydelig større otolittlengder for 1-åringene. Dette kan ha vært med å påvirke og eventuelt begrense resultatene for diameter til noen av de observerte 1-åringene. På en annen side viser en tidligere studie (Reay 1972) at det er lite eller ingen vekst i otolitten helt i begynnelsen av perioden når den opake sonen blir lagt. Det ser ut til at den begynnende sonedannelsen av opakmateriale blir inkludert i den translucente sonen.

Analysere av otolittmålingene G1 og G2, som står for otolittveksten fra år til år målt bare i posteroenden av otolitten ble gjennomført, men ikke tatt med i resultatdelen (se Appendiks tabell 7.29-7.31).

Det var en nødvendighet å anta at forholdet mellom fiskelengden og otolittlengden var den samme gjennom livet til individet for at man kunne bruke tilbakeberegningemetodene. Likevel vil ikke alltid disse antagelsene være riktige. Otolitten kan vokse i perioder hvor fisken ikke vokser somatisk. Når alder ikke blir tatt med som en prediktor, som gjort i dette studiet med SPH- og BPH-metodene, vil man overestimere tidligere vekstrate for saktevoksende fisk (Morita & Marsuishi 2001).

Med en tilbakeberegningemetode som inkluderer alder som en prediktor i formelen, vil man for eksempel ta hensyn til at otolittstørrelsen øker kontinuerlig i perioder uten lengdevekst. En slik formel antar altså konstant økning i otolittstørrelse for alle aldersgrupper. Denne type tilbakeberegningemetode ble utformet av Morita og Marsuishi (2001) og viser mindre bias enn tradisjonell tilbakeberegning og er testet på røye. En tilbakeberegningemetode som inkluderer alder kunne vært interessant å prøve på havsil. Likevel er havsil en relativt hurtigvoksende art som ikke blir eldre enn 10 år, og man finner oftest unge individer. Derfor ble det ikke for havsil brukt en tilbakeberegningemetode som inkluderer alder som en prediktorvariabel i denne oppgaven.

Resultatene fra mine analyser med bruk av SPH og BPH metodene viste forskjellige estimater av fiskelengde ved tidligere alder. Ut ifra resultatene for fiskelengder til 1-åringer så det ut til

at BPH metoden var den som tilbakeberegnet fiskelengder som var mest lik de observerte lengdene til 1-åringer for begge årsklasser. Dette kom også frem i analysene da man så på tilbakeberegnete og observerte fiskelengder ved gitt otolittlengde. Bare sett sammen med de observerte lengdene vil man skulle tro at det er BPH metoden som viser seg å være beste metoden å bruke i dette tilfelle, men dette kan man ikke si med sikkerhet. Resultatene ved bruk av de to tilbakeberegningemetodene for 2-åringene viste ikke like store forskjeller. BPH kalkulerte generelt større lengder enn SPH metoden. Det var bare i forvaltningsområde 1 i 2016-årsklassen at de faktisk observerte 2-åringene var lengre enn de tilbakeberegnete lengdene ved bruk av BPH.

Estimering av tidligere lengde ved alder er vanlige prosedyrer, men selv om de er mye brukt, viser det seg at det ikke alltid er like godt forstått. I tidligere studier av tilbakeberegningemetoder kommer det frem at det enda ikke er gitt hvilke metoder som er mest nøyaktig, heller ikke hvilke som burde inkludere alder (Francis 1990). For mer nøyaktig tilbakeberegning må en kanskje utvikle enda mer komplekse prosedyrer.

En annen ting som er viktig å merke seg, er at tilbakeberegningemetodene er teoretiske metoder som ikke tar hensyn til for eksempel naturlig dødelighet. Definisjonen på naturlig dødelighet for havsil er de individene som dør mellom de årlige tobistoktene. Man antar at 50% dør, men denne antakelse kan i noen tilfeller være for stor for eldre tobis. Fra toktrapporten i 2019, kan det se ut som at det var større dødelighet fra 2- til 3-åringer, enn fra 1- til 2-åringer (Johnsen 2019).

En fordel med å bruke to ulike metoder er å se på forskjellen mellom disse. Den tilbakeberegnete lengdeforskjellen kan brukes som et minimumsmål på feilkilde ved bruk av metodene (Francis 1990). For eksempel vil en tilbakeberegnet lengde ved bruk av SPH som er 130 mm og en tilbakeberegnet lengde ved bruk av BPH som er 150 mm gi et minimumsmål på feilkilde på 20 mm (=150mm-130mm). Dette var ikke brukt i dette studiet, men kunne vært interessant å undersøke nærmere.

Havsilen er avhengig av sandbankene i forvaltningsområdene, og er derfor stasjonære og migrasjon mellom sandbanker er ikke kjent. Men det kan være større tilstedeværelse av havsil i den ene delen av et område og manglende tilstedeværelse i den andre delen (Wright et al., 2000; Jensen et al. 2011). Fra mine analyser så man gjennomgående forskjeller i fiskelengde

på de ulike forvaltningsområdene. Dette kan være et resultat av en manglende miksing av havsil mellom områdene. Generelt var det i forvaltningsområde 4 havsil med størst fiskelengde ved alder for begge årsklassene, etterfulgt av forvaltningsområde 2&3. Forvaltningsområde 1 viste derimot de minste individene ved alder.

Forholdet mellom lengdevekst og otolittvekst ser ut til å følge hverandre gjennom året. Den viser en nedgang om våren etterfulgt av en økning i både lengdevekst og otolittvekst i løpet av sommerhalvåret. Etter sommeren kommer en periode med liten lengdevekst når den translucent sonen legges i vinterhalvåret (Reay 1972). Resultatene mine tyder på at otolittstørrelsen ved alder 1 varierer mellom områder og mellom årsklasser når de er fanget som 1-åringer. Hvis otolittlengden første året (O1) også er forskjellig mellom områder når individene fanges som 2- eller 3-åringer så tyder dette på at fisken ikke migrerer betydelig mellom områder etter at den har bunnslått. Derimot viser ikke mine data entydig et slik resultat. For 2009-årsklassen viste ikke otolittlengdene samme vekst som lengdeveksten i forvaltningsområde 2&3 for 2- og 3-åringer. Dette er noe som anbefales å undersøke nærmere.

Grunner til ulik størrelse ved samme alder kan være påvirket av flere faktorer, som for eksempel temperatur og mattilgang. Gjennomsnittslengde til havsil øker i de sentrale- og nordøstliggende forvaltningsområdene i Nordsjøen. Her er det generelt høyere temperatur og havsilen vokser da raskere fordi det vil være større tilstedeværelse av dyreplankton ved varmere sjøtemperatur (Rindorf et al. 2016). Forvaltningsområde 1 ligger lengst sør av de tre områdene som er sammenlignet i dette studiet, og her fant man også de minste individene i begge årsklassene. Andre faktorer som fiskeri og interspesifikk konkurranse er ikke tatt med i diskusjonen i denne oppgaven, men kunne vært nyttig å undersøke videre.

Fra mine resultater var det forskjeller i fiskelengden ved alder mellom årsklassene 2009 og 2016. Generelt var det større individer ved alder i 2009-årsklassen. I begge årsklassene var det generelt bedre lengdevekst fra 2- til 3-år, sammenlignet med veksten fra 1- til 2-år. En grunn til at 2-åringene hadde dårligere lengdevekst kan være mattilgangen de årene. På tobistoktet i 2019 var temperaturen i sjøen høyere enn i 2018. I 2018 var nemlig temperaturen 3°C lavere enn det den vanligvis er på den tiden, i tillegg var det lite tilgang på dyreplankton. Det blir tatt planktonprøver med håv på tobistoktene, for å måle tilstedeværelse av dyreplankton på

forvaltningsområdene. Mattilgangen kan også forklares med hvor full havsilen er i magen og kondisjonen hvor (vekt i forhold til lengde), som var bedre i 2019 sammenlignet med 2018.

På en annen side viste biologiske prøver som var samlet inn fra fiskeriet at veksten og kondisjonen bedret seg utover i mai i 2018 etter at tobistøktet var avsluttet (Johnsen 2019). Havsilen sin kondisjon kan nemlig øke med opptil 150 % gjennom sesongen fra tidlig vår til juni (Rindorf et al. 2016). Det er derfor viktig å ta hensyn til at veksten kan være «forsinket» noen år, på grunn av blant annet temperatur og mattilgang om våren.

Selv om det var 2009-årsklassen som hadde de største fiskelengdene, var det 2016-årsklassen som hadde størst otolitter ved gitt fiskelengde. Dette indikerte at otolittstørrelse i seg selv ikke kan være et egnet mål på fiskelengde. Det kan være en begrensning i otolittvekst, og den klarer ikke holde tritt med en hurtig lengdevekst, som for eksempel 2009-årsklassen. En kan derfor si at otolittveksten er en funksjon av både alder og lengdevekst.

Som skrevet tidligere var det ikke tatt hensyn til klekkeperioden til individene i denne oppgaven. En skulle tro at en av årsak til variabilitet lengdevekst mellom årsklassene kan være klekkeperioden til havsilen. Wright and Bailey, (1996) viste i en studie at klekking i årene 1990 og 1992 foregikk tidligere enn gjennomsnittlig klekktid. Likevel oppnådde de fleste individer fra 1991 årsklassen faktisk en større størrelse i juli sammenlignet med de fra andre årsklasser, selv om 1991-klassen klekket senere. Videre viste Wright and Bailey, (1996) at sannsynligheten for sammenhengen mellom klekkingsperioden og perioden da sekundærproduksjonen begynner kan være en viktig faktor for ulikheter mellom årsklasser.

Variasjonen i individuelle vekstrater både i aldersgrupper og mellom årsklasser viser at vekst er sesongbasert. Tidligere studier (Jensen et al. 2011) har brukt fiskelengde ved alder mellom forvaltningsområder for å undersøke migrasjon mellom områder. I mine analyser har jeg brukt otolitten som en ferdsskriver for å se om otolittlengden er forskjellig mellom områder innenfor en årsklasse. På tross av at det er relativt store forskjeller i fiskelengde ved alder mellom områder så er ikke forskjellen like tydelig for otolittstørrelsen (O1) for 2- og 3-åringer. Noe som kan indikere en utveksling av individer mellom områder, men det finnes en del metodiske utfordringer før man kan konkludere dette. Havsilen er ikke bare en viktig ressurs for industrielt fiske, men både fisk og fugl er avhengig av havsil som bytte. Det er en



kompleks næringskjede og endringer i fiskeriet samt naturlige svingninger i havsilbestanden kan ha potensielt store og uventede konsekvenser for økosystemet (Engelhard et al. 2014).

## 4. Konklusjon

Havsilen har en unik livssyklus og en dynamisk vekst som er sesongbasert og varierer fra år til år. Den er en nøkkelart i økosystemet og blir sett på som en verdifull industrifisk. Grunnet variasjoner i havsilbestanden er det nødvendig med god overvåkning for å opprettholde et bærekraftig fiske på denne arten. Tilbakeberegning av tidligere fiskelengde ved bruk av størrelser i otolitten til havsilen ble undersøkt. Det viste seg at man til tider ikke alltid vil se likt forhold mellom fiskelengde og otolittlengde, den kan for eksempel være forsinket på grunn av dårlig mattilgang.

Ut ifra analysene viste det seg at BPH metoden passet best sammenlignet med de observerte lengdene for den aktuelle alderen. Noe som kan være med å styrke estimeringen av tilbakeberegnete lengder er å bruke lengdeforskjellen mellom lengdene fra SPH og BPH som et minimumsmål på feilkilde. Likevel er det noen metodiske utfordringer når det gjelder otolittmåling som kan begrense målingene, som for eksempel tilvekst hos 1-åringer som kan være vanskelig å se. Det viste seg å være forskjeller i lengdevest mellom forvaltningsområder i Nordsjøen og forskjeller mellom årsklasser. Og dette tyder på lite migrasjon mellom områdene. I videre undersøkelser hadde det vært interessant å slippe otolitter for å finne kjernen til bruk av radiusmål og da også finne dato for klekking. Dette kan være med å bedre forståelsen for den dynamiske veksten til havsil, og styrke forvaltningen av denne viktige arten i Nordsjøen.

## 6. REFERANSER

Bergstad O.A., Hoines A.S. and Kruger J.E.M. (2001). Spawning time, age and size at maturity, and fecundity of sandeel, *Ammodytes marinus*, in the north-eastern North Sea and in unfished coastal waters off Norway. *Aquatic Living Resources*. 14(5), 293-301.

Direktoratet for naturforvaltning (2011). *Utredning om havsil, med særlig fokus på dens betydning i økosystemet og behov for tverrsektorielle tiltak*. Tilgjengelig fra:

[https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/dirnat2/attachment/2757/havsildn-rapport-1-2011\\_nett.pdf](https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/dirnat2/attachment/2757/havsildn-rapport-1-2011_nett.pdf) (Hentet: 15 oktober.2019)

Engelhard, G.H., Peck, M.A., Rindorf, A., Smout, S.C., van Deurs, M., Raab, K., Andersen, K.H., Garthe, S., Lauerburg, R., Scott, F., Brunel, T., Aarts, G., van Kooten, T., Dickey-Collas, M., (2014). Forage fish, their fisheries, and their predators: who drives whom? *ICES JOURNAL OF MARINE SCIENCE*, Volume 71, Issue 1, 90–104.

Francis, R.I.C.C. (1990). Back-calculation of fish length: a critical review. *J. Fish. Biol.* 36.883-902.

Havforskningsinstituttet (2018) *Prosedyre for rigging og bruk av Campelen 1800 under «North Sea NOR shrimp NDSK cruise in Jan. – Nov.* Tilgjengelig fra: [https://www.imr.no/om\\_havforskningsinstituttet/rederi/sms\\_systemet/nb-no/pub/docs/6004.pdf](https://www.imr.no/om_havforskningsinstituttet/rederi/sms_systemet/nb-no/pub/docs/6004.pdf). (Hentet: 14. oktober 2019)

Jensen, K.H., (2008) *A key to univariate statistics (version 0.3)*. Tilgjengelig fra: <https://folk.uib.no/nzlkj/statkey/> (Hentet 18.november 2019)

Jensen, H., Rindorf, A., Wright, P.J., Mosegaard, H., (2011). Inferring the location and scale of mixing between habitat areas of lesser sandeel through information from the fishery. *JOURNAL OF MARINE SCIENCE*, Volume 68, Issue 1, January 2011, Pages 43–51

Johnsen, E., Pedersen, R., & Ona, E. (2009). Size-dependent frequency response of sandeel schools. *ICES Journal of Marine Science*, 66(6), 1100-1105.

Johannessen, T. (2009). Havsil, kap 3.5.5, 133-134. Havets ressurser og miljø 2009. Havforskningsinstituttet, Bergen. *Fisken og havet*. Red. Gjøsæter H., Dommasnes. A, Falkenhaus, T., Hauge, M., Johannesen, E., Erik Olsen, E. og Skagseth Ø.

Johnsen, E. (2012) *Råd for tobisfiske i norsk sone i 2012 Tobistokt i Nordsjøen*. Tilgjengelig fra: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:iA-03qBXNLsJ:www.imr.no/filarkiv/toktrappport\\_og\\_rad\\_tobis.pdf/nb-no+&cd=1&hl=no&ct=clnk&gl=no](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:iA-03qBXNLsJ:www.imr.no/filarkiv/toktrappport_og_rad_tobis.pdf/nb-no+&cd=1&hl=no&ct=clnk&gl=no) (Hentet 20.oktober 2019)

Johnsen, E. (2017). *Råd for tobisfiske i norsk sone 2017*. Tilgjengelig fra:

[https://www.imr.no/nyhetsarkiv/2017/mai/rekordmange\\_ettaringer\\_gir\\_hoyt\\_tobisrad/les\\_hel\\_e\\_radet\\_her/toktrappport\\_2017843\\_og\\_rad\\_final.pdf/nb-no](https://www.imr.no/nyhetsarkiv/2017/mai/rekordmange_ettaringer_gir_hoyt_tobisrad/les_hel_e_radet_her/toktrappport_2017843_og_rad_final.pdf/nb-no) (Hentet: 18.oktober 2019)

Johnsen, E. (2019). *Råd for tobisfiskeriet i norsk sone for 2019*. Tilgjengelig fra: [https://www.imr.no/resources/images/nyheter/Toktrappport\\_2019847Final\\_20190512.pdf](https://www.imr.no/resources/images/nyheter/Toktrappport_2019847Final_20190512.pdf) (Hentet: 14.oktober 2019)

Korneliussen, R. J., Heggelund, Y., Macaulay, G. J., Patel, D., Johnsen, E., & Eliassen, I. K. (2016). Acoustic identification of marine species using a feature library. *Methods in Oceanography*, 17, 187-205

Kristoffersen, J.B. (2019). *Otolitter*. Tilgjengelig fra:

<https://www.miljolare.no/tema/planterogdyr/artikler/marint/otolittar.php>. (Hentet: 17.oktober 2019)

Lea, E. (1910) On the methods used in the herring investigations. *Publ Circ Cons Perm Int Explor Mer*, 53, 7–25.

Macer C.T. (1966). Sand eels (Ammodytidae) in the south -western North Sea; their biology and fishery. Fishery Investigations. Series 2. Great Britain Ministry of Agriculture, *Fisheries and Food*. 24, 1-55.

Mjanger, H., Svendsen, B.V., Senneset, H., Fotland, Å., Fuglebakk, E., Skage, M.L. og Diaz, J. (2019) HÅNDBOK FOR PRØVETAKING AV FISK, KREPSDYR OG ANDRE EVERTEBRATER Versjon 5.0, *Havforskningsinstituttets kvalitetssystem*.

Morison, A., Burnett, J., McCurdy, W. and Moksness, E. (2005). Quality issues in the use of otoliths for fish age estimation. *Marine and Freshwater Research*, 56(5), 773.

Pethon, P. (2019). *Aschehougs store fiskebok*. Oslo: Aschehoug, 394-396.

Raitt, D.S. (1934) A Preliminary Account of the Sandeels of Scottish Waters, *ICES JOURNAL OF MARINE SCIENCE*, Volume 9, Issue 3, 365–372

Reay, P.J. (1972). Seasonal pattern of otolith growth and its application to back-calculation studies in *Ammodytes tobianus* L. J., *ICES JOURNAL OF MARINE SCIENCE*, Volume 34, Issue 3, 485–504.

Rindorf, A., Wright, P., Jensen, H. and Maar, M. (2016). Spatial differences in growth of lesser sandeel in the North Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 479, 9-19.

Secor, D.H., Dean, J.M., Campana, S.E., 1995). Recent Developments in Fish Otolith Research. *The Belle W. Brauch Library in Marine Science*. Number 19. 724-729

Wright P.J. and Bailey M.C. (1996). Timing of hatching in *Ammodytes marinus* from Shetland waters and its significance to early growth and survivorship. *Marine Biology*. 126, 143-152.

Wright, P.J., Jensen, H., Tuck, I., (2000). The influence of sediment type on the distribution of the lesser sandeel, *Ammodytes marinus*. *Journal of Sea Research*. 44, 243–256.

## 7. APPENDIKS

### **Appendiks tabell 7.1.a**

Testresultat fra analyse av fiskelengde (mm) i aldergruppene innad i de tre forvaltningsområdene.

Two-way-ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df\$length

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$omrade	2	48398	24199	97.310	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$age	2	260736	130368	524.246	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$omrade:OtoTil.df\$age	4	12304	3076	12.369	8.564e-10 ***
Residuals	889	221074	249		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.1.b**

Testresultat fra analyse av fiskelengde (mm) i aldergruppene innad i de tre forvaltningsområdene for 2009-årsklassen.

Two-way-ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df2\$length

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df2\$omrade	2	46950	23475	173.3306	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df2\$age	2	150456	75228	555.4522	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df2\$omrade:OtoTil.df2\$age	4	3560	890	6.5716	3.875e-05 ***
Residuals	424	57425	135		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.1.c**

Testresultat fra analyse av fiskelengde (mm) i aldergruppene innad i de tre forvaltningsområdene for 2016-årsklassen.

Two-way-ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df2\$length

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df2\$omrade	2	20739	10369	64.584	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df2\$age	2	112001	56001	348.788	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df2\$omrade:OtoTil.df2\$age	4	8017	2004	12.482	1.209e-09 ***
Residuals	456	73214	161		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.1.d**

Testresultat fra analyse av fiskelengde (mm) i aldergruppene ved årsklassene 2009 og 2016.

Response: OtoTil.df\$length

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$kohort	1	70149	70149	316.2775	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$age	2	271745	135873	612.6023	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$kohort:OtoTil.df\$age	2	2774	1387	6.2534	0.002009 **
Residuals	892	197842	222		

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.2**

Testresultater fra analyse av otolittlengde (mm) ved gitt fiskelengde (mm). Stigningstall og

skjæringspunkt fra testresultatene er brukt i tilbakeberegningsformelen SPH.

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.75535	-0.13440	-0.01508	0.11262	0.62546

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.8090256	0.0389151	20.79	<2e-16 ***
OtoTil.df\$length	0.0110229	0.0002489	44.29	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1833 on 896 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.6865, Adjusted R-squared: 0.6861

F-statistic: 1962 on 1 and 896 DF, p-value: < 2.2e-16

### **Appendiks tabell 7.3**

Testresultater fra analyse av fiskelengde (mm) ved gitt otolittlengde (mm). Stigningstall og skjæringspunkt fra testresultatene er brukt i tilbakeberegningsformelen BPH.

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-48.180	-7.901	0.747	8.888	51.923

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-1.969	3.561	-0.553	0.58

OtoTil.df\$OT 62.279 1.406 44.294 <2e-16 \*\*\*

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 13.78 on 896 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.6865, Adjusted R-squared: 0.6861

F-statistic: 1962 on 1 and 896 DF, p-value: < 2.2e-16

#### **Appendiks tabell 7.4**

Testresultat fra analyse av total otolittlengde (mm) ved gitt fiskelengde (mm), hvor årsklassene 2009 og 2016 sammenlignes. ANCOVA: Analysis of Covariance Table

Response: OtoTil.df\$OT

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$length	1	65.918	65.918	2323.982	<2e-16 ***
OtoTil.df\$kohort	1	4.688	4.688	165.262	<2e-16 ***
OtoTil.df\$length:OtoTil.df\$kohort	1	0.058	0.058	2.052	0.1524
Residuals	894	25.358	0.028		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

#### **Appendiks tabell 7.5**

Testresultat fra analyse av total otolittlengde (mm) ved gitt fiskelengde (mm), hvor de tre forvaltningsområdene sammenlignes. ANCOVA Analysis of Covariance Table

Response: OtoTil.df\$OT

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
--	----	--------	---------	---------	--------



OtoTil.df\$length	1	65.918	65.918	2135.729	< 2.2e-16	***
OtoTil.df\$omrade	2	1.903	0.951	30.823	1.138e-13	***
OtoTil.df\$length:OtoTil.df\$omrade	2	0.670	0.335	10.849	2.212e-05	***
Residuals	892	27.531	0.031			

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.6**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 1 i de to årsklassene 2009 og 2016. De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 2 og 3, hvor SPH metoden er brukt.

Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table:

Response: OtoTil.df\$LiS1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$kohort	1	58874	58874	251.0548	<2e-16 ***
OtoTil.df\$age	2	305458	152729	651.2727	<2e-16 ***
OtoTil.df\$kohort:OtoTil.df\$age	2	464	232	0.9898	0.372
Residuals	892	209182	235		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.7**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 1 i alle forvaltningsområdene for årsklassen 2009. De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 2 og 3, hvor SPH metoden er brukt.

Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df2\$LiS1

Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
----	--------	---------	---------	--------

OtoTil.df2\$omrade	2	15718	7859	40.5688	< 2.2e-16	***
OtoTil.df2\$age	2	147344	73672	380.3035	< 2.2e-16	***
OtoTil.df2\$omrade:OtoTil.df2\$age	4	3189	797	4.1152	0.002778	**
Residuals	424	82137	194			

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.8**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 1 i alle forvaltningsområdene for årsklassen 2016. De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 2 og 3, hvor SPH metoden er brukt.

Two-way ANOVA Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df2\$LiS1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df2\$omrade	2	307	154	0.7080	0.4931
OtoTil.df2\$age	2	166240	83120	383.2941	<2e-16 ***
OtoTil.df2\$omrade:OtoTil.df2\$age	4	1281	320	1.4768	0.2081
Residuals	456	98887	217		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.9**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 1 ved gitt otolittlengde (O1) (mm). De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 2 og 3, hvor SPH metoden er brukt.

ANCOVA: Analysis of Covariance Table

Response: OtoTil.df\$LiS1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$O1	1	405118	405118	3716.695	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$age	2	69302	34651	317.902	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$O1:OtoTil.df\$age	2	2331	1165	10.693	2.577e-05 ***
Residuals	892	97227	109		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.10**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 1 ved gitt otolittlengde (O1) (mm), for begge årsklassene, som viser hvilket år de er fanget. De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 2 og 3, fanget i 2011, 2012 og 2018, 2019. Her var SPH metoden er brukt.

ANCOVA: Analysis of Covariance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$O1	1	405118	405118	5528.998	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$m.startyear	5	100116	20023	273.275	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$O1:OtoTil.df\$m.startyear	5	3826	765	10.443	9.423e-10 ***
Residuals	886	64918	73		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.11**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 1 i de to årsklassene 2009 og 2016. De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 2 og 3, hvor BPH metoden er brukt.

Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$kohort	1	53486	53486	286.6564	<2e-16 ***
OtoTil.df\$age	2	86503	43252	231.8038	<2e-16 ***
OtoTil.df\$kohort:OtoTil.df\$age	2	326	163	0.8736	0.4178
Residuals	892	166435	187		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.12**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 1 i alle forvaltningsområdene for årsklassen 2009. De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 2 og 3, hvor BPH metoden er brukt.

Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df2\$LiB1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df2\$omrade	2	18762	9380.8	64.1331	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df2\$age	2	39643	19821.7	135.5134	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df2\$omrade:OtoTil.df2\$age	4	2061	515.3	3.5232	0.007634 **
Residuals	424	62019	146.3		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.13**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 1 i alle forvaltningsområdene for årsklassen 2016. De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 2 og 3, hvor BPH metoden er brukt.

Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df2\$LiB1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df2\$omrade	2	2435	1217.6	7.4457	0.0006577 ***
OtoTil.df2\$age	2	52138	26068.9	159.4104	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df2\$omrade:OtoTil.df2\$age	4	1634	408.6	2.4986	0.0420033 *
Residuals	456	74571	163.5		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

#### **Appendiks tabell 7.14**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 1 ved gitt otolittlengde (O1) (mm). De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 2 og 3, hvor BPH metoden er brukt.

ANCOVA: Analysis of Covariance Table

Response: OtoTil.df\$LiS1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$O1	1	405118	405118	3716.695	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$age	2	69302	34651	317.902	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$O1:OtoTil.df\$age	2	2331	1165	10.693	2.577e-05 ***
Residuals	892	97227	109		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

#### **Appendiks tabell 7.15**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 1 ved gitt otolittlengde (O1) (mm), for begge årsklassene, som viser hvilket år de er fanget. De

tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 2 og 3, fanget i 2011, 2012 og 2018, 2019. Her var BPH metoden er brukt.

ANCOVA: Analysis of Covariance Table

Response: OtoTil.df\$LiB1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$O1	1	199485	199485	3271.9104	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$m.startyear	5	51655	10331	169.4479	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$O1:OtoTil.df\$m.startyear	5	1592	318	5.2217	9.868e-05 ***
Residuals	886	54019	61		

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.16**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 2 i de to årsklassene 2009 og 2016. De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 3, hvor SPH metoden er brukt.

Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df\$LiS2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$kohort	1	45885	45885	217.5086	< 2e-16 ***
OtoTil.df\$age	1	912	912	4.3209	0.03808 *
OtoTil.df\$kohort:OtoTil.df\$age	1	13	13	0.0598	0.80691
Residuals	595	125519	211		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.17**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 2 i alle forvaltningsområdene for årsklassen 2009. De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 3, hvor SPH metoden er brukt.

Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df2\$LiS2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df2\$omrade	2	21475	10737.4	71.6981	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df2\$age	1	1826	1825.9	12.1921	0.0005596 ***
OtoTil.df2\$omrade:OtoTil.df2\$age	2	595	297.6	1.9875	0.1390187
Residuals	273	40884	149.8		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.18**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 2 i alle forvaltningsområdene for årsklassen 2016. De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 3, hvor SPH metoden er brukt.

Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df2\$LiS2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df2\$omrade	2	8672	4335.9	26.8503	1.719e-11 ***
OtoTil.df2\$age	1	24	24.5	0.1515	0.697375
OtoTil.df2\$omrade:OtoTil.df2\$age	2	2260	1130.2	6.9988	0.001062 **
Residuals	314	50706	161.5		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.19**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 2 ved gitt otolittlengde (O2) (mm). De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 3, hvor SPH metoden er brukt.

ANCOVA: Analysis of Covariance Table

Response: OtoTil.df\$LiS2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$O2	1	76003	76003	503.178	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$age	1	2341	2341	15.497	9.241e-05 ***
OtoTil.df\$O2:OtoTil.df\$age	1	4110	4110	27.211	2.522e-07 ***
Residuals	595	89873	151		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.20**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 2 ved gitt otolittlengde (O2) (mm), for begge årsklassene, som viser hvilket år de er fanget. De tilbakeberegnete lengdene fra fisk fanget ved alder 3 var fanget i 2012 og 2019. Her var SPH metoden er brukt.

ANCOVA: Analysis of Covariance Table

Response: OtoTil.df\$LiS2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$O2	1	76003	76003	805.1469	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$m.startyear	3	38319	12773	135.3098	< 2.2e-16 ***



OtoTil.df\$O2:OtoTil.df\$m.startyear	3	2217	739	7.8272	3.949e-05	***
--------------------------------------	---	------	-----	--------	-----------	-----

Residuals	591	55789	94			
-----------	-----	-------	----	--	--	--

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.21**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 2 i de to årsklassene 2009 og 2016. De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 3, hvor BPH metoden er brukt.

Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df\$LiB2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$kohort	1	49559	49559	246.3603	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$age	1	6825	6825	33.9262	9.375e-09 ***
OtoTil.df\$kohort:OtoTil.df\$age	1	0	0	0.0016	0.9681
Residuals	595	119692	201		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.22**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 2 i alle forvaltningsområdene for årsklassen 2009. De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 3, hvor BPH metoden er brukt.

Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df2\$LiB2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df2\$omrade	2	25872	12935.9	97.3040	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df2\$age	1	1225	1225.4	9.2176	0.002629 **

OtoTil.df2\$omrade:OtoTil.df2\$age	2	459	229.6	1.7273	0.179703
Residuals	273	36294	132.9		

Signif. codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.23**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 2 i alle forvaltningsområdene for årsklassen 2016. De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 3, hvor BPH metoden er brukt.

Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df2\$LiB2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df2\$omrade	2	7476	3737.8	25.268	6.681e-11 ***
OtoTil.df2\$age	1	5751	5751.0	38.876	1.455e-09 ***
OtoTil.df2\$omrade:OtoTil.df2\$age	2	2991	1495.3	10.108	5.567e-05 ***
Residuals	314	46450	147.9		

Signif. codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### **Appendiks tabell 7.24**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 2 ved gitt otolittlengde (O2) (mm). De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 3, hvor BPH metoden er brukt.

ANCOVA: Analysis of Covariance Table

Response: OtoTil.df\$LiB2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$O2	1	60263	60263	411.178	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$age	1	24768	24768	168.993	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$O2:OtoTil.df\$age	1	3840	3840	26.202	4.156e-07 ***
Residuals	595	87205	147		

Signif. codes: 0 ‘\*\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*\*’ 0.01 ‘\*\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

### **Appendiks tabell 7.25**

Testresultat fra analyse av observerte og tilbakeberegnete fiskelengder (mm) for alder 2 ved gitt otolittlengde (O2) (mm), for begge årsklassene, som viser hvilket år de er fanget. De tilbakeberegnete lengdene er fra fisk fanget ved alder 3, fanget i 2012 og 2019. Her var BPH metoden er brukt.

ANCOVA: Analysis of Covariance Table

Response: OtoTil.df\$LiB2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$O2	1	60263	60263	680.7282	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$m.startyear	3	61511	20504	231.6069	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$O2:OtoTil.df\$m.startyear	3	1982	661	7.4646	6.528e-05 ***
Residuals	591	52320	89		

Signif. codes: 0 ‘\*\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*\*’ 0.01 ‘\*\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

### **Appendiks tabell 7.26**

Testresultat fra analyse av otolittlengde ved 1år (mm) ved aldersgruppene, i forvaltningsområdene i årsklassen 2009. For 1-åringer er dette O1=OT, for 2- og 3-åringer er otolittlengden O1. Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df2\$O1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df2\$omrade	2	2.2493	1.1246	42.4132	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df2\$age	2	8.0162	4.0081	151.1582	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df2\$omrade:OtoTil.df2\$age	4	0.6522	0.1631	6.1496	8.109e-05 ***
Residuals	424	11.2428	0.0265		

Signif. codes: 0 ‘\*\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*\*’ 0.01 ‘\*\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

### Appendiks tabell 7.27

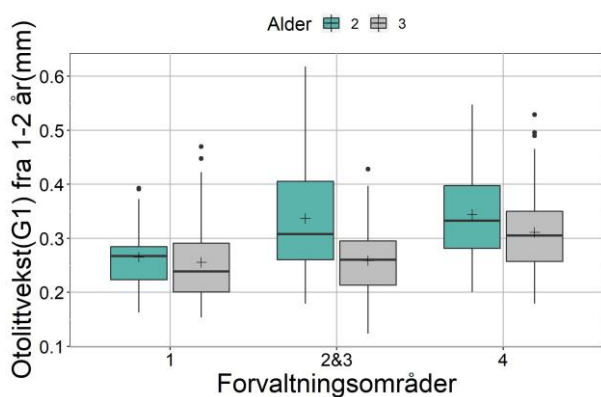
Testresultat fra analyse av otolittlende ved 1 år (mm) ved aldersgruppene, i forvaltningsområdene i årsklassen 2016. For 1-åringer er dette O1=OT, for 2- og 3-åringer er otolittlengden O1. Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df2\$O1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df2\$omrade	2	1.8257	0.9129	21.2179	1.545e-09 ***
OtoTil.df2\$age	2	11.5522	5.7761	134.2550	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df2\$omrade:OtoTil.df2\$age	4	0.2176	0.0544	1.2644	0.2831
Residuals	456	19.6187	0.0430		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### Appendiks tabell 7.28



Testresultat fra analyse av otolittvekst (G1) (mm) ved aldersgruppene 2 og 3, i forvaltningsområdene i 2009 årsklassen.

Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df2\$G1

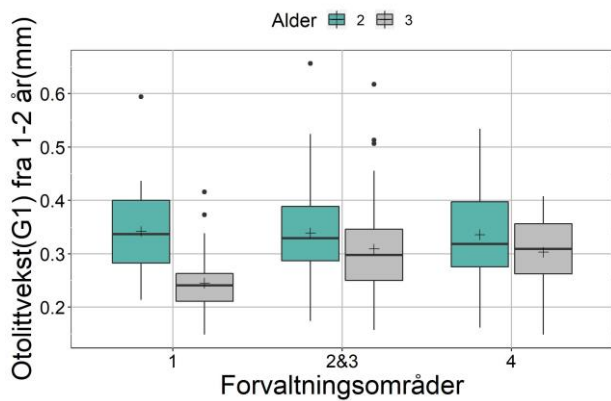
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df2\$omrade	2	0.17916	0.089580	14.4037	1.130e-06 ***
OtoTil.df2\$age	1	0.11623	0.116234	18.6895	2.158e-05 ***

OtoTil.df2\$omrade:OtoTil.df2\$age 2 0.05746 0.028728 4.6192 0.01064 \*

Residuals 273 1.69785 0.006219

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**Appendiks tabell 7.29**



Testresultat fra analyse av otolittvekst (G1) (mm) ved aldersgruppene 2 og 3, i forvaltningsområdene i 2016 årsklassen.

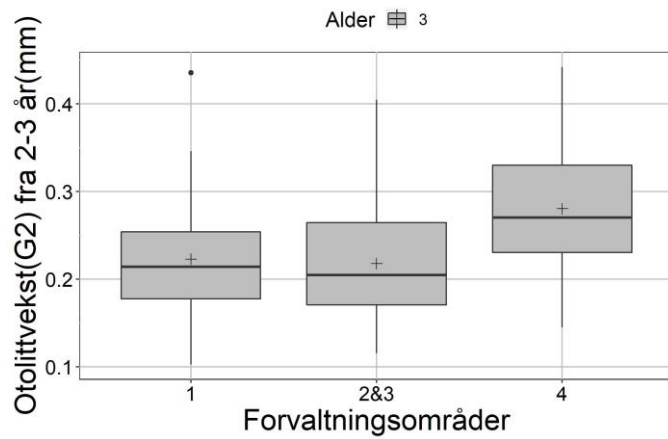
Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df2\$G1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df2\$omrade	2	0.11158	0.055788	9.2966	0.0001196 ***
OtoTil.df2\$age	1	0.15194	0.151937	25.3189	8.195e-07 ***
OtoTil.df2\$omrade:OtoTil.df2\$age	2	0.05297	0.026486	4.4137	0.0128708 *
Residuals	314	1.88429	0.006001		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

**Appendiks tabell 7.30**



Testresultat fra analyse av otolittvekst (G2) (mm) ved alder 3, i forvaltningsområdene i 2009 årsklassen.

Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

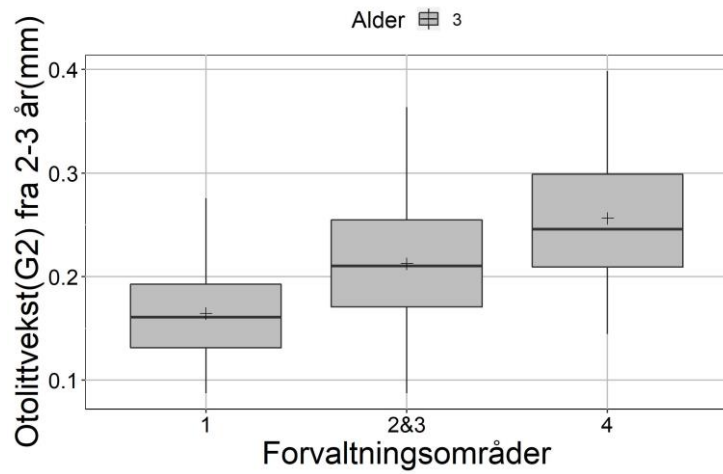
Response: OtoTil.df2\$G1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df2\$omrade	2	0.11158	0.055788	9.2966	0.0001196 ***
OtoTil.df2\$age	1	0.15194	0.151937	25.3189	8.195e-07 ***
OtoTil.df2\$omrade:OtoTil.df2\$age	2	0.05297	0.026486	4.4137	0.0128708 *
Residuals	314	1.88429	0.006001		

Signif. codes: 0 ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

**Appendiks tabell 7.31**

Testresultat fra analyse av otolittvekst (G2) (mm) ved alder 3, i forvaltningsområdene i 2016 årsklassen.



Two-way ANOVA: Analysis of Variance Table

Response: OtoTil.df\$length

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
OtoTil.df\$kohort	1	70149	70149	316.2775	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$age	2	271745	135873	612.6023	< 2.2e-16 ***
OtoTil.df\$kohort:OtoTil.df\$age	2	2774	1387	6.2534	0.002009 **
Residuals	892	197842	222		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1