

Betydningen av lufttemperatur og snømengde for årlig tilvekst hos røye (*Salvelinus alpinus* (L.)) på Svalbard

av

Eigil Tofte Bjørvik



Mastergradsoppgave i Arktisk natur- og landbruk
studieretning vassdrag
(60 stp)

Institutt for akvatisk biologi
Norges fiskerihøgskole
Universitetet i Tromsø
Juni 2009

Forord

Denne masteroppgaven er gjennomført som en del av prosjektet: Historical relationships between climate factors and life history parameters of High Arctic freshwater fish; predicting consequences of climate change, finansiert gjennom Norges Forskningsråd (prosjektnummer 172148/V10) og ledet av seniorforsker Martin-A. Svenning (NINA-Tromsø og NFH/UiTø) .

En takk går ut til hele prosjektgruppa ved: Reidar Borgstrøm, Jack Kohler, Eirik Førland, J. Brian Dempson (Canada), Michael Power (Canada), Johan Hammar (Sverige) og spesielt til min veileder, Martin-A. Svenning som har vært til stor hjelp gjennom hele arbeidsprosessen med oppgaven, og som gjorde det mulig for meg å få to feltsesonger ved Diesetvatna med innsamlinger av den flotte Svalbardrøya. Den unge, og meget lovende stipendiat Jane A. Godiksen (NINA-Tromsø) fortjener også en stor takk for hyggelig selskap i felt, og for tålmodig og god hjelp med både laboratoriearbeid og skrivning.

Nils Gullestad og Johan Hammar takkes for at de har stilt et svært verdifullt otolittmateriale til disposisjon. Videre vil jeg få takke forsker Bård-Jørgen Bårdsen og forsker Knut Langeland (begge NINA-Tromsø) for sårt trengt hjelp med å forstå statistikkens mystiske verden. Takk til Nalân Koç, som lot oss haike med R/V Lance opp til Mitrahalvøya begge feltsesongene.

Jeg vil også takke mine medstudenter, både ved Universitetet i Tromsø og Universitetscenteret på Svalbard, for fem fine år som student. Ferskvannsgruppa ved Norges Fiskerihøgskole fortjener også en stor takk for å inkludere oss studenter i deres forskerverden, både faglig og sosialt.

Til sist må jeg få takke Ragnhild Røsseland for korrekturlesning av denne oppgaven, og ikke minst for en vellykka jakt sesong i Dividalen med et rikelig kjøttutbytte.

Tromsø, juni 2009

Eigil Tofte Bjørvik

Sammenheng

Hovedmålsettingen med denne masteroppgaven var å påvise hvordan årlige variasjoner i klima (lufttemperatur og snømengde) påvirker årlig tilvekst hos ung røye i tre innsjøer på Svalbard. Årlig tilvekst hos røya ble tilbakeberegnet ved hjelp av otolitter fra røye fanget i perioden 1968 til 2008, mens historiske klimadata ble hentet ut fra meteorologiske stasjoner lokalisert nært vassdraga. Akkumulert snømengde ble beregnet ut fra massebalansemålinger på Lovénbreen ved Ny-Ålesund.

Innsjøer på Svalbard kjennetegnes med generelt kort isfri periode og lav sommervanntemperatur. De tre vassdraga som inngår i denne masteroppgaven, utgjør en sør-nord gradient. Linné- (78°N) og Diesetvassdraget (79°N) har rimelig lik lufttemperatur, men Linné- har om lag 30 % mer årlig nedbør enn Diesetvassdraget. Arkvatna (80°N) ligger i et relativt nedbørsfattig område, hvor lufttemperaturen om sommeren og vinteren er henholdsvis 3-4°C og 4-7°C lavere enn ved Linné- og Diesetvassdraget. Årlig lengdevekst, definert som bredden på de 5 første sommersonene i otolittene hos røye (*Salvelinus alpinus*) fra de tre vassdraga (n = 1 248), ble sammenholdt med månedlig gjennomsnittlig lufttemperatur og akkumulert snødybde i april/mai for perioden 1948 til 2008.

Det ble funnet en positiv korrelasjon mellom lufttemperatur (både vinter og sommer) og tilvekst hos røya. Dette skyldes trolig at høy vintertemperatur gir tynnere is og dermed tidligere isgang og lengre vekstsesong for fisken, mens høy sommertemperatur gir høyere vanntemperatur i innsjøene sommerstid og dermed høyere metabolisme og bedre vekst. Vi fant en vesentlig sterkere korrelasjon mellom temperatur og røyas vekst i Dieset-, enn i Linnévassdraget, trolig fordi fødetilbudet er mer begrenset i Linnévassdraget. Det ble funnet en negativ korrelasjon mellom akkumulert snømengde og røyas tilvekst. Dette skyldes trolig at økt snømengde gir senere isgang og dermed kortere vekstsesong for fisken. Denne effekten var sterkest i Linnévassdraget, trolig på grunn av mer nedbør (snø) i dette området. Årlig tilvekst var vesentlig lavere hos røya i Arkvatn enn hos røya i de andre to innsjøene. Dette skyldes trolig lavere lufttemperatur og mindre nedbør i områdene rundt Arkvatna. Resultatene indikerer at framtidige klimaendringer med økende lufttemperatur gir økt vekst hos Svalbardrøya. Økt nedbør i form av snø vil imidlertid kompensere noe for den positive effekten av økt lufttemperatur.

Nøkkelord: Otolitter, lengdevekst, temperatur, snødybde, Svalbardrøye (*Salvelinus alpinus*)

Innholdsfortegnelse

1. Introduksjon	3
2. Områdebeskrivelse og metoder	8
2.1 Svalbard; område og klima	8
2.2 Innsjøer og vassdrag som inngår i masterstudiet	9
2.2.1 Linnévatnet.....	10
2.2.2 Dieset.....	11
2.2.3 Arkvatna	12
2.3 Meteorologiske observasjoner på Svalbard.....	14
2.3.1 Lufttemperatur.....	14
2.3.2 Nedbør.....	17
2.4 Fiskemateriale	19
2.5 Utvalg av vekstsoner og bearbeiding av materialet	22
2.5.1 Fotografering og måling av otolitter	23
2.5.2 Korrelasjon mellom otolitt- og fiskelengde	25
2.6 Statistikk.....	26
3. Resultater.....	27
3.1. Lengde ved alder	27
3.2 Bredde på sommersona i otolittene	28
3.3 Månedlig lufttemperatur og tilvekst i sommersonene hos røyeotolittene	29
3.4 Vinter- og sommerlufttemperatur korrelert med bredde på sommersonene i røyeotolittene.....	33
3.5 Massebalanse/snømengde mot bredde på sommersonene	34
4. Diskusjon.....	37
4.1 Lufttemperatures betydning for lengdevekst hos røya.....	37
4.2 Forholdet mellom snø og lengdevekst	39
4.3 Vekstforskjeller hos Svalbardrøye ved ulike breddegrader	40
4.4 Mulige framtidige utviklingstrekk for fiskesamfunnene på Svalbard.....	41
5. Konklusjon	43
6. Referanser.....	44

1. Introduksjon

Røya (*Salvelinus alpinus*) har en sirkumpolar utbredelse, og er den eneste ferskvannsfisken som lever i høyarktiske strøk som på Svalbard (Gullestad, 1975). Den omtales ofte som en kaldtvannsspesialist som vokser og reproduserer ved vesentlig lavere vanntemperaturer enn andre arter av ferskvannsfisk (Jobling, 1983). I den arktiske delen av utbredelsesområdet til røya er det likevel store forskjeller mellom røyesjøene når det gjelder temperatur, varigheten på isdekket, næringsinnhold, produksjon, artsrikhet osv. (Hammar, 1982). Hvis man sammenligner røyesjøer på Svalbard og i Troms/Nord-Norge (nært kysten og like høyt over havet), vil vanntemperaturen i den isdekte perioden være rimelig lik, men isdekket strekker seg flere måneder lengre på Svalbard, samt at sommervanntemperaturen er vesentlig lavere (Klemetsen et al., 2003, Svenning et al., 2007). De store forskjellene i lengden på isdekke og vanntemperatur, skyldes i første rekke at gjennomsnittlig lufttemperatur sommerstid i Troms ligger 8-10°C høyere enn på Svalbard (Nordli et al., 1996, Hanssen-Bauer et al., 2003). På Svalbard varierer også varigheten av isdekket på innsjøene fra om lag 9 måneder på SV-Spitsbergen (Isfjorden) til 11-12 måneder på Nordaustlandet (Svenning, 2001). I tillegg til den korte isfrie perioden i innsjøer på Svalbard sammenlignet med for eksempel innsjøer i Nord-Norge, vil den lave lufttemperaturen sommerstid føre til at vanntemperaturene sjelden blir høyere enn 6-7°C (Bøyum og Kjensmo, 1978, Lund, 1983). Takvatn, en subarktisk innsjø med røye i Troms (Nord-Norge) som ligger mer enn 200 m o.h., er til sammenligning vanligvis isfri 6 måneder i året, og sommerstid kan vanntemperaturen komme opp i mer enn 15°C i flere uker. Dette bidrar til at Takvatn gir røya en vesentlig lengre periode med gode vekstforhold sammenlignet med røye som lever i innsjøer på Svalbard (Primicerio, 2000, Klemetsen et al., 2003). Den korte isfrie sommersesongen med lav vanntemperatur, gjør at røya på Svalbard både vokser langsomt og kjønnsmodnes seint (Gullestad, 1975, Jobling, 1983).

Siden fisk er eksoterme dyr, er røyas livshistorie (vekst og kjønnsmodning) bl.a. styrt av omgivelsestemperaturen (Kristensen et al., 2006). Gjennom karforsøk er det vist at kroppsveksten hos røye øker kraftig selv ved små temperaturøkninger (1-2°C) i vanntemperaturer tilsvarende de man finner på Svalbard sommerstid (4-8°C) (Jobling, 1983). Dette indikerer at selv små økninger i lufttemperaturen om sommeren, som igjen fører til en liten økning av vanntemperaturen, kan gi en betydelig økt kroppsvekst hos røye i innsjøer på Svalbard. I Øvre Heimdalsvatn hadde lufttemperaturen i juni stor betydning for veksten hos

aure (*Salmo trutta*); en økning på 1°C i lufttemperaturen ga en vekstøkning på 10 % (Jensen, 1977). I et studie på Vest-Grønland (Kristensen et al., 2006) ble røye fra to nærliggende innsjøer sammenligna over en 14-års periode. Selv om vanntemperaturen økte i begge innsjøene, økte kroppsveksten hos røya bare i den ene av innsjøene, mens veksten avtok i den andre bestanden (Kristensen et al., 2006). Dette skyldtes trolig at i denne innsjøen var fødetilbudet såpass begrensende at den økte forbrenningen hos røya, på grunn av økt vanntemperatur, likevel ikke ga økt kroppsvekst hos fisken (Kristensen et al., 2006). I røyebestander på Svalbard, spesielt i innsjøer med anadrom fisk og relativt lave bestandstettheter, må en forvente at høyere vanntemperatur faktisk vil bidra til å øke kroppsveksten hos fisken.

Det globale klimaet har vist store variasjoner de siste 50-60 åra, og særlig i de siste 10-15 åra har det vært en markant økning i både temperatur og nedbør, med den kraftigste økningen i Arktis (Hanssen-Bauer, 2005). Basert på en rekke klimamodeller vil denne økningen fortsette i framtida, og sterkest er den venta å bli i arktiske strøk (Kattsov et al., 2005). Ved høye breddegrader og i høyfjellsområdene, vil mye av den økte nedbøren trolig komme som snø, noe som vil gi større mengder akkumulert snø utover våren enn tidligere (Borgstrøm, 2001). Klimaendringenes eventuelle effekt på dyrelivet vil trolig observeres først i arktiske områder siden de største endringene er venta der. Dette gjør Svalbardrøya til en velegna modellart dersom en ønsker å studere hvordan fisk i ferskvann responderer på klimaendringene. Økt lufttemperatur og økt nedbør påvirker vassdrag på flere måter. En effekt av høyere lufttemperatur er at isen blir liggende i kortere tid. Dette er påvist i Canada, der perioden med isdekke på en rekke innsjøer har blitt vesentlig kortere de siste 50 åra, i takt med høyere lufttemperaturer (Duguay et al., 2006). Høyere lufttemperatur vinterstid gir ventelig tynnere is og dermed tidligere isgang på våren (Fang og Stefan, 1998). På Svalbard er det også påvist at høy lufttemperatur i juni gir tidligere isgang (Svenning og Gullestad, 2002). Med lengre isfri sesong, forlenges også perioden hvor innsjøene kan varmes opp via (økende) lufttemperatur, og både gjennomsnittlig vanntemperatur og den totale varmesummen gjennom et år blir dermed høyere (Stefan et al., 1998, Christoffersen et al., 2008). Økte snømengder derimot, kan ha en motsatt virkning på isdekket enn økt lufttemperatur. Når store snømengder ligger akkumulert på isen om våren, vil isen bli liggende lengre fordi snøen opp på isen reflekterer solinnstrålingen, ofte omtalt som "albedoeffekten", og dermed utsette issmeltingen og gi kortere isfri periode (Vavrus et al., 1996). Dette er påvist i innsjøer både på Øst-Grønland

(Christoffersen et al., 2008) og på Hardangervidda (Borgstrøm, 2001). I studiene i Litlosvatnet på Hardangervidda påviste Borgstrøm (2001) en klar negativ sammenheng mellom akkumulert snømengde i mars og tidspunktet for isgang, og i de snørike årene med kort isfri periode, vokste ørretungene vesentlig dårligere. Dette betyr trolig at selv om et varmere klima bidrar til høyere vanntemperatur og dermed potensielt sett høyere tilvekst hos fisken, kan dette kompenseres dersom den kommende økte nedbøren de neste årene i stor grad kommer som snø.

For å kunne studere hvordan nedbør og temperatur påvirker naturen, er det viktig med lange tidsserier på både klima og biologiske data som fanger opp både varme og kalde tidsperioder (Wrona et al., 2006). Fra Svalbard eksisterer det langtidsserier på klima fra en rekke meteorologiske observasjonsstasjoner rundt omkring på øygruppa (Nordli et al., 1996). Det er også samla inn fiskeprøver (bl.a. otolitter (ørestein)) fra en rekke innsjøer igjennom flere tiår (Hammar, 1982, Svenning og Gullestad, 2002, Svenning et al., 2007, Hegseth, 2007). Dette innebærer at det eksisterer relativt lange tidsserier på både klima og fisk, som omfatter både kalde og varme perioder på Svalbard fra begynnelsen av 1950-tallet til i dag. I dette masterstudiet har jeg benytta otolitter fra røye for å kunne tilbakeberegne lengdeveksten hos ungfisk, og dermed forsøkt å påvise eventuelle årlige sammenhenger mellom klima (lufttemperatur og nedbør i form av snø) og kroppsvekst hos røye i noen innsjøer på Svalbard. Otolitter er kalkholdige strukturer som ligger i fiskens indre øre, tilknyttet både hørsel og balanse (Campana, 1999). Disse vokser kontinuerlig igjennom hele fiskens livsløp (Borgstrøm, 2000). I otolittene dannes det årlige vekstringer, tilsvarende årringene som dannes i et tre. Dersom otolitten belyses ovenfra, framtrer vintersonene smale og mørke, mens sommersonene blir bredere og lysere, som skyldes at fisken vokser vesentlig bedre om sommeren (Borgstrøm, 2000). Otolitter har derfor i lang tid blitt brukt til aldersbestemmelse av fisk (Nordeng, 1961). Hos fisk som vokser langsomt vinterstid, som på Svalbard, blir vekstsonene tydelige og aldersbestemmelsen blir svært presis, selv for gamle individer (Nordeng, 1961). Bredden på sonene kan også fortelle hvor god veksten har vært det året de ble danna, og ved å måle otolittens vekstsoner, kan fiskens lengdevekst tilbakeregnes (Svenning, 1993). For å kunne korrelere den årlige lengdeveksten med årlige klimatiske data, basert på gamle individer, er det viktig at aldersbestemmelsen er svært presis. Dette betyr at Svalbardrøya er godt egna for å studere eventuelle effekter av klima fordi: 1) det eksisterer langtidsserier på både klima og fisk som inkluderer både varme og kalde perioder, 2) røya blir

gammel og dermed kan en tilbakeberegne veksten flere tiår tilbake i tid og 3) otolittene har svært tydelige soner som gir nøyaktig aldersavlesning og presise målinger.

Fra sør til nord på Svalbard er det store klimatiske forskjeller, blant annet når det gjelder vanntemperatur og lengde på isfri sesong i innsjøene (Bøyum og Kjensmo, 1978, Hisdal, 1998, Svenning, 2001, Svenning og Gullestad, 2002). Vekstsesongen om sommeren er derfor vesentlig kortere og kaldere i innsjøer på Nordaustlandet enn i innsjøer på sørvestkysten av Spitsbergen, noe som sannsynligvis vil gi relativt mye lavere tilvekst hos røye i de nordlige innsjøene på Svalbard.

I dette masterstudiet har jeg valgt å undersøke tilveksten hos røye fra tre innsjøer/vassdrag som er lokalisert i Isfjordområdet (Linnévatnet; 78°N), Mitrahalvøya (Diesetvatna; 79°N) og på Nordaustlandet (Arkvatnet; 80°N). De to sørligste innsjøene, ligger i områder med relativt lik årlig lufttemperatur, men med et vesentlig mildere klima enn Arkvatn (Hisdal, 1998). Årlig nedbør er vesentlig høyere i Isfjordområdet enn på Mitrahalvøya, mens registreringene av nedbør på Nordaustlandet er svært usikre (Førland et al., 2009). Alle vassdraga har både stasjonære og anadrome bestander av røye (Hammar, 1985, Hansen og Overrein, 2000, Svenning og Gullestad, 2002), og ligger forholdsvis nærme meteorologiske observasjonsstasjoner (Linnévatn ved Isfjord radio, Svalbard lufthavn og Longyearbyen, Diesetvatna ved Ny-Ålesund og Arkvatna ved Phippsøya). Dette innebærer at det foreligger brukbar klimastatistikk i rimelig nærhet til alle de tre innsjøene. Hovedmålet med dette studiet er først og fremst å påvise eventuelle historiske sammenhenger mellom klimavariabel og livshistorieparametre hos røya på Svalbard. Forhåpentligvis kan dette benyttes til å forutsi hvordan ulike klimascenarier vil påvirke røyebestandene på Svalbard og i andre arktiske områder i framtida.

Jeg har satt opp følgende hypoteser:

- varme vintre gir bedre tilvekst hos røya fordi de gir tynnere is og dermed tidligere isgang og lengre vekstsesong
- somre med høy lufttemperatur vil gi høyere vanntemperatur og bedre lengdevekst hos fisken
- tilveksten hos røya i Arkvatnet vil være lavere enn i Linné- og Diesetvatna fordi lufttemperaturen er lavere lenger nord på Svalbard

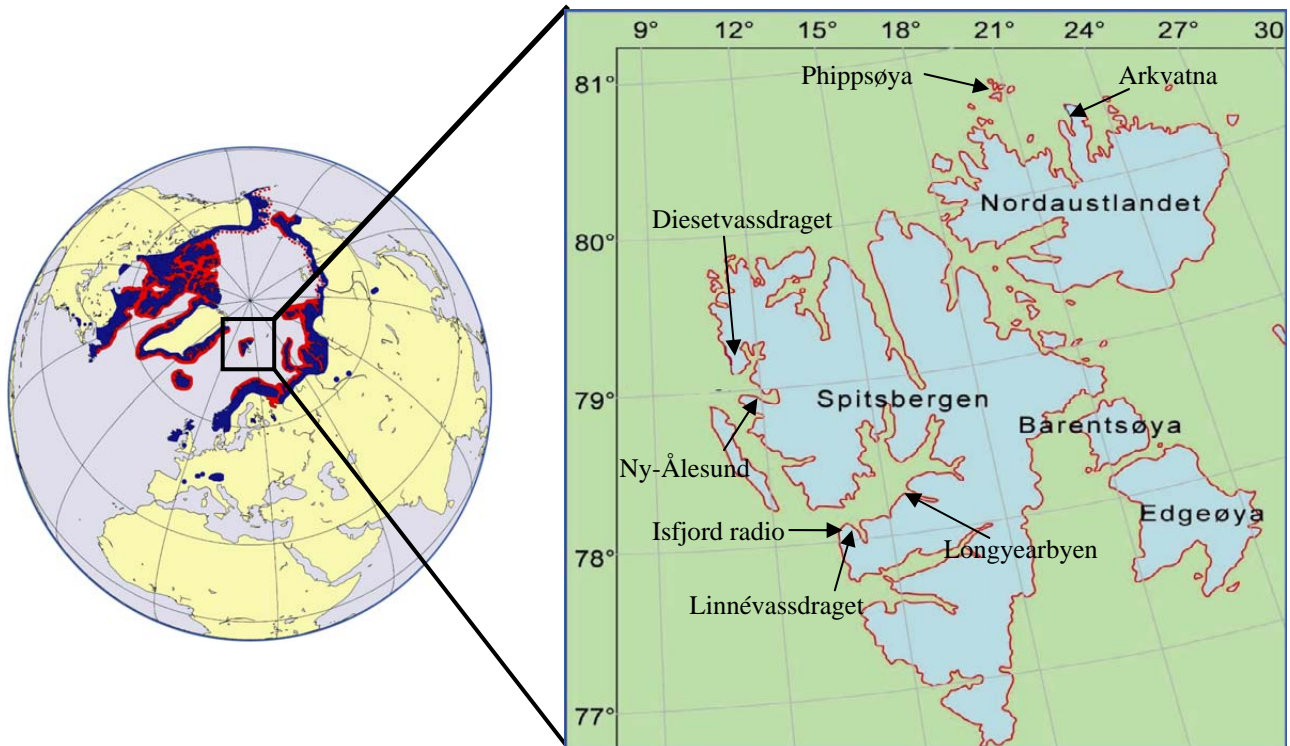
- år med mye akkumulert snø på våren vil gi lavere tilvekst hos røya fordi mye snø gir senere isgang og dermed kortere og kaldere vekstsesong for fisken
- effektene av akkumulert snø vil ha størst effekt i Linnévatnet siden det faller mest snø der

2. Områdebeskrivelse og metoder

2.1 Svalbard; område og klima

Svalbard er ei arktisk øygruppe som ligger mellom 74-81°N og 10-35°Ø (Figur 1). Øyriket består av de fire store øyene Spitsbergen, Nordaustlandet, Barentsøya og Edgeøya, samt en rekke mindre øyer, holmer og skjær (Hisdal, 1998). Klimaet på Svalbard er arktisk, dvs. at gjennomsnittstemperaturen i juli aldri stiger over 10°C (Hammar, 1989). På vestkysten av Spitsbergen ligger snittemperaturen i juli vanligvis mellom 4 og 5°C, mens på Nordaustlandet er temperaturen vanligvis 2-3°C kaldere på samme tid (Hisdal, 1998). Denne forskjellen skyldes at vest- og nordkysten av Spitsbergen er sterkt påvirket av varme marine vannmasser som føres med Golfstrømmen, mens Nordaustlandet og de østlige delene Spitsbergen er mer påvirket av kalde, østlige luftmasser (Hisdal, 1998).

Svalbard er nedbørsfattig, det faller bare om lag 300-400 mm nedbør årlig, og mesteparten av nedbøren kommer som snø (Hisdal, 1998). Det kan likevel være stor forskjell på mengden nedbør mellom relativt nære områder. Blant annet faller det vesentlig mer nedbør ved Isfjord Radio enn i Ny-Ålesund, selv om lufttemperaturen gjennom året er svært lik i de to områdene (Førland et al. 2009). Det generelt kalde klimaet gjør at innsjøene på Svalbard har en kort isfri periode, men dette varierer også sterkt mellom de sørlige og de nordlige områdene på øygruppen. Innsjøer som Linnévatnet i Isfjorden og Diesetvatna på Mitrahøya er isdekte i 9-10 måneder, mens isen på Arkvatnet på Nordaustlandet til sammenlikning, smelter ikke hvert år (Svenning 2001). Alle innsjøene langs vest- og nordsiden av Spitsbergen og Nordaustlandet som ligger under den marine grense (50-60 m), som ikke bunnfryser, har trolig bestander av røye (Svenning, 1992a). Det finnes røye i om lag 200 innsjøer på Svalbard, hvorav noen titalls vassdrag har anadrom fisk (Svenning et al., 2008).



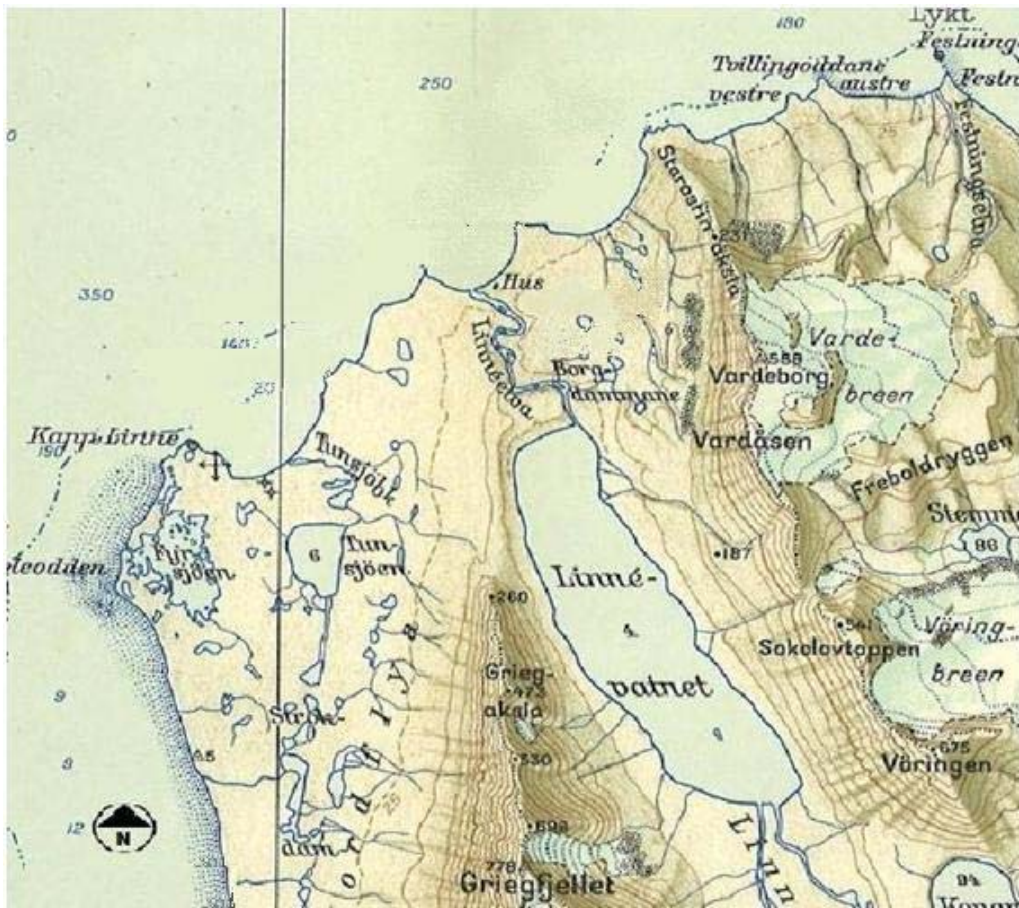
Figur 1 Oversiktskart (venstre) som viser den sirkumpolare utbredelsen til røye, og der blå og rød farge viser utbredelsen til henholdsvis ferskvannsstadjonær og anadrom røye. Kartet til høyre viser lokaliseringen av de tre innsjøene hvor fiskematerialet er samlet inn, samt plasseringen av de meteorologiske stasjonene som klimadata er hentet fra. Alle tre innsjøene/vassdragene ligger relativt nært de meteorologiske stasjonene (Linnévassdraget; 4 km øst for Isfjord radio, Diesetvassdraget; 35 km nordvest for Ny-Ålesund og Arkvatna; 50 km sørøst for Phippsøya) (kart av Martin-A. Svenning, NINA).

2.2 Innsjøer og vassdrag som inngår i masterstudiet

I dette masterstudiet har jeg valgt ut tre vassdrag; Linnévatnet ytterst i Isfjorden, Diesetvatna på Mitrahalvøya og Arkvatna på Nordaustlandet (figur 2, 3 og 4). De tre innsjøsystemene er relativt store (2-4 km²) og alle har betydelige bestander med anadrom fisk (Hammar, 1985, Hammar, 1991, Svenning, 2001, Svenning og Gullestad, 2002, Svenning et al., 2007). I tillegg ligger alle innsjøene relativt nær værobservasjonsstasjoner, der blant annet lufttemperatur og nedbør har vært registrert i mange 10-år (Nordli et al., 1996). Det har også vært foretatt flere innsamlinger av fiskeprøver igjennom flere tiår fra innsjøene, der blant annet otolitter har blitt konserverte (Hammar, 1982, Svenning og Gullestad, 2002, Svenning et al., 2007). Det eksisterer derfor gode langtidsserier av klimatiske så vel som fiskebiologiske parametre fra alle de tre ovennevnte områdene eller innsjøsystemene.

2.2.1 Linnévatnet

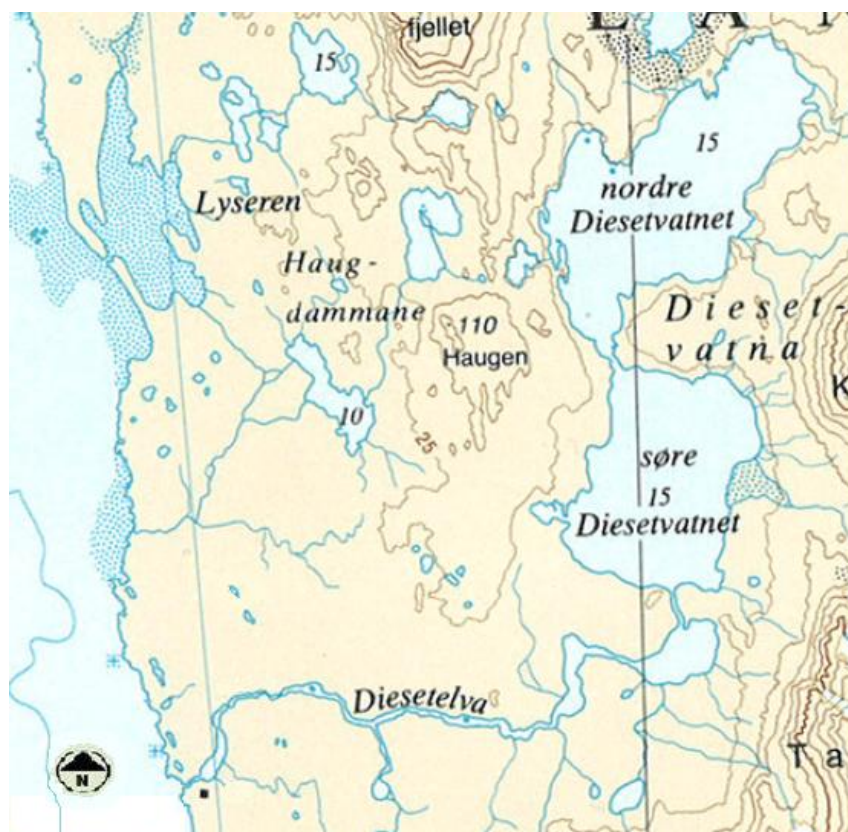
Linnévatn er den sørligste innsjøen i studiet og ligger ytterst i Isfjorden på vestkysten av Spitsbergen (figur 2). Med en lengde på 4,7 km og et areal på 4,6 km², er dette den nest største innsjøen på Svalbard (Svenning et al., 2007). Vanntemperaturen er lav pga lav lufttemperatur, tilførsel av smeltevann fra isbreer og lite solinnstråling som følge av høye fjell som ligger inntil vatnet (Bøyum og Kjensmo, 1978). Isen ligger som regel 9-10 mnd i året (Svenning et al., 2007). Den 2,5 km lange utløpselva har en relativt stabil vannføring sommerstid, så sjørøya blir trolig sjelden hindra i å vandre tilbake til innsjøen i løpet av høsten, dvs. før utløpselva tørker inn (Svenning et al., 2007). Linnévatnet har både stasjonær og anadrom røye (Svenning et al., 2007). I 2008 ble det etablert en fangstfelle i Linnéelva og anslagsvis 2 400 sjørøyer vandret opp vassdraget (Ebne, 2009).



Figur 2 Kart over Linnévatn (Norsk-Polarinstitutt, 1955), det har blitt samla inn røye både fra elva og innsjøen.

2.2.2 Dieset

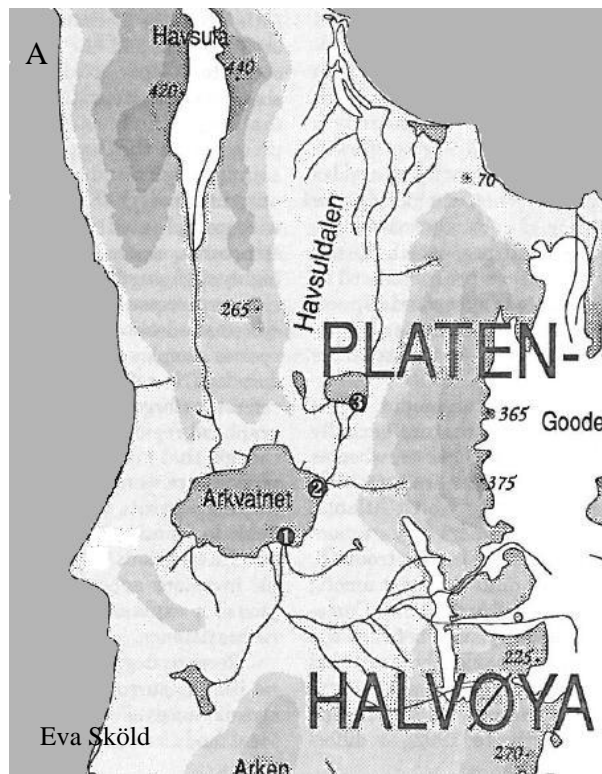
Diesetvatna (figur 3) ligger på vestkysten av Spitsbergen, ca 140 km nord for Linnévatn. Vassdraget består i hovedsak av to store vann (Nordre og Søre Diesetvatn) og en 4 km lang utløpselv (Lund, 1983). Om lag en tredjedel av nedbørsfeltet er dekt av isbreer, noe som gjør at siktedybdn i innsjøene kun er mellom 25 og 120 cm i august (Lund, 1983). Isen ligger nærmere 10 måneder i året, men varigheten på isdekket kan variere med så mye som 40 dager avhengig av lufttemperaturen i juni (Svenning og Gullestad, 2002). Utløpselva har en mindre stabil vannføring enn utløpselva for Linnévatnet, og enkelte år kan den tørke inn før sjørøya har vandra tilbake til innsjøen, noe som kan være med på å gjøre store innhogg i den anadrome bestanden (Svenning og Gullestad, 2002). Den anadrome bestanden ble på begynnelsen av 1990-tallet estimert til omlag 900 individer (Svenning og Gullestad, 2002), men mengden anadrom fisk har trolig økt de siste årene (Martin-A. Svenning, NINA, pers. medd.). I tillegg til den anadrome bestanden, er det en betydelig bestand av stasjonær fisk i vassdraget (Gulseth og Nilssen, 2001).



Figur 3 Oversiktskart over Diesetvassdraget (Norsk-Polarinstitutt, 1987), innsamling av materiale har foregått både i Diesetelva og i Nordre og Søndre Diesetvatn.

2.2.3 Arkvatna

Det nordligste vassdraget i dette studiet, er Arkvatna som ligger på nordkysten av Nordaustlandet, om lag 330 km nordøst for Linnévatn. Vassdraget består av to innsjøer, og elva som renner ut i havet er ca 5 km lang (Hammar, 1991). Her finner vi Europas nordligste røye-, og trolig verdens nordligste sjørøyebestand (Hammar, 1991). De fysiske forholdene varierer mye fra år til år. I slutten av august i åra 1980 og 1992 (figur 4b), var det kun mulig å fiske med garn i smale råker langsmed land (Johan Hammar, Inst. of Freshwater Research, Drottningholm, & Martin-A. Svenning, NINA, pers. medd.), mens flyfoto fra den 18. august i 1990 (figur 4c) viser at både øvre og nedre Arkvatn var helt isfrie. Høsten 2008 skulle Sysselemannsetaten gjennomføre et garnfiske for å samle inn mer fisk til oss. Fisket kunne imidlertid ikke gjennomføres da begge innsjøene var helt dekt av is. Trolig er utløpselva såpass ustabil (varierende tidspunkt for issmelting) at røye ikke kan vandre ut i sjøen hvert år (Svenning, 2001). Røyebestanden i Arkvatna har en varierende livsstrategi, der enkelte individer mellom år alternerer mellom å leve som stasjonær og anadrom (Svenning, 2001), dvs. at fiskene kun vandrer ut i havet når utløpselva blir isfri tidlig på sommeren.



Figur 4 Figur A viser et oversiktskart over Arkvatna (Hammar, 1991), der punkt 1 og 2 viser områdene som ble fiska i Øvre Arkvatn, mens punkt 3 viser hvor det er fiska i Nedre Arkvatn. Bilde B er tatt i august 1992, det meste av både øvre og nedre Arkvatn var dekt av 0,5 m tykk is (Martin-A. Svenning, NINA, pers. medd.). Bilde C er et flyfoto tatt 18. august 1990, der både øvre og nedre Arkvatn er helt isfrie. Legg merke til den grålige fargen på øvre Arkvatn kontra den mørke fargen på Svenningpytten (nederst på bildet og sør for Øvre Arkvatn). Den grålige fargen i Arkvatna skyldes smeltevann fra isbreene.

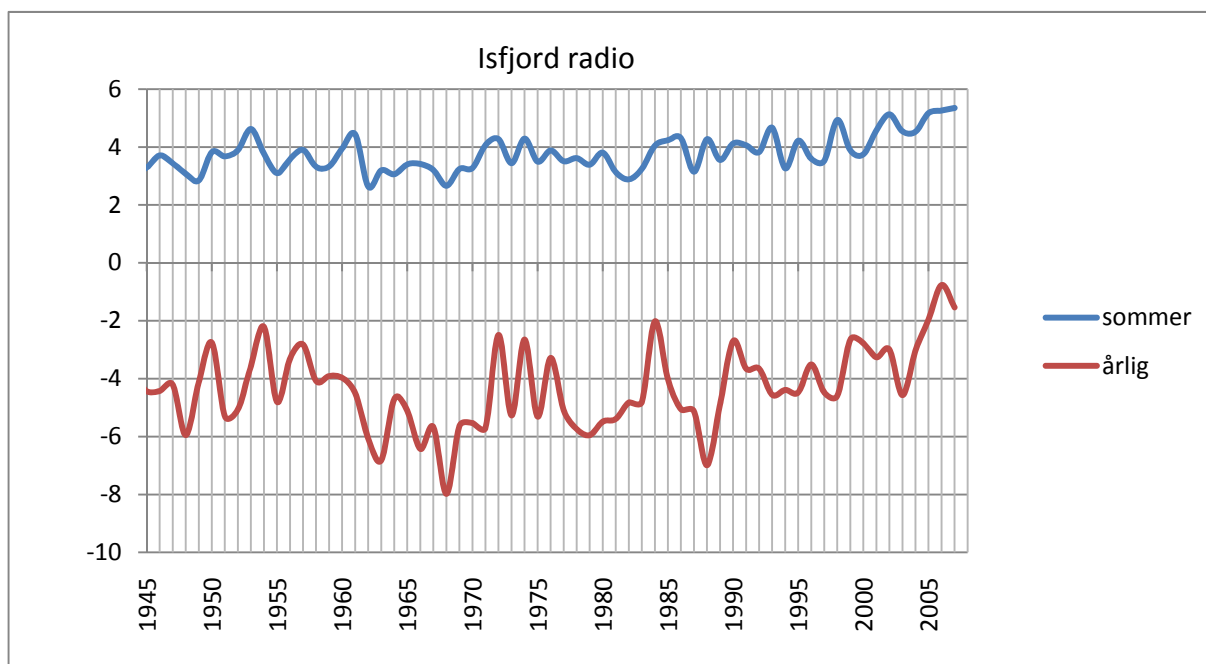
2.3 Meteorologiske observasjoner på Svalbard

Etableringen av klimastasjoner på Svalbard, der i hovedsak lufttemperatur og nedbør ble registrert, skyldes i all hovedsak at en ønsket å lage værmeldinger (Nordli et al., 1996). På Svalbard finnes derfor lange tidsserier, spesielt fra tre områder; 1) fra Kapp Linné i Isfjorden (fra 1935), 2) i Longyearbyen (fra 1912) og 3) i Ny-Ålesund (fra 1969, se figur 5 og 6). Selv om målestasjonene kan være flyttet noen hundre meter i løpet flere tiår, manglende data enkelte dager, utstyr er byttet ut, endra presisjon, at det etableres bygninger som påvirker målingene og liknende, gir disse langtidsregistreringene likevel et svært godt anslag over utviklingen av lufttemperaturen i disse områdene på Svalbard i løpet av flere 10-år (Nordli et al., 1996). Selv om noen stasjoner er lagt ned, og nye satt i drift på nye lokaliteter, slik at ønsket om etableringene av langtidsserier har gjort det nødvendig å skjøte data fra ulike stasjoner sammen (Nordli et al., 1996), gir slike "sammenskjøtinger" fortsatt svært presise anslag for gjennomsnittstemperaturen med en oppløsning ned til månedsbasis (Inger Hanssen-Bauer, DNMI, pers. medd.). På Nordaustlandet er det mer sparsomt med registreringer, men vi har fått tilgang til lufttemperaturregistreringer på Phippsøya i perioden 1991-97 (figur 7).

2.3.1 Lufttemperatur

Isfjord radio

Den meteorologiske stasjonen ved Isfjord radio ligger 4 km vest for Linnévatn (figur 2). Den var manuelt operativ fra 1935 til 1976, bortsett fra et opphold i perioden fra 1941 til 1947 som følge av evakueringen av Svalbard under 2. verdenskrig (Nordli et al., 1996). De manglende temperaturmålingene fra 1940-tallet har, i likhet med Svalbard lufthavn, blitt beregna ut i fra data fra Jan Mayen og den russiske stasjonen Bukta Tikhaya på Franz Josef Land (Nordli et al., 1996). I den operative perioden ble det gjort daglige observasjoner av temperatur, nedbør, nedbørstype og snødekke (Nordli et al., 1996). I 1996 ble driften tatt opp igjen med en automatisk stasjon, men disse dataene er ikke bearbeidet (Inger Hanssen-Bauer, DNMI, pers. medd.). Temperaturdata etter 1976 for Isfjord radio er beregna ut i fra registreringer fra Svalbard lufthavn. Dette er gjort med regresjon, ved å sammenligne månedlige temperaturer der hvor det er målinger fra begge lokalitetene før målingene ved Isfjord radio opphørte (Jack Kohler, NP, pers. medd.).



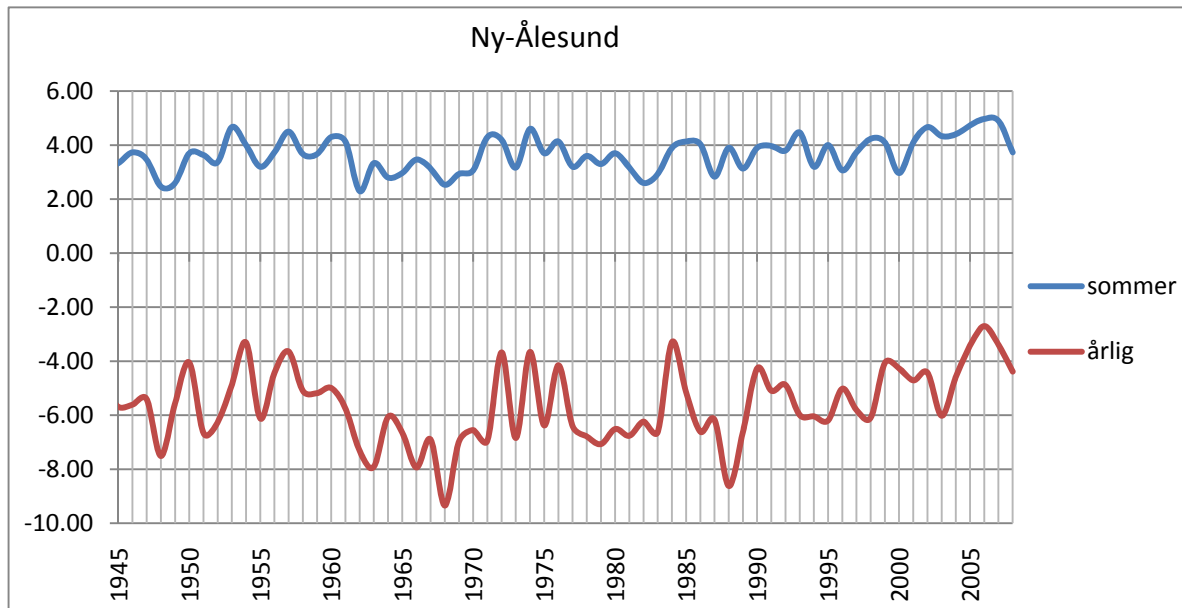
Figur 5 Den forlengte temperaturgrafen for Isfjord radio viser at det har vært en økning i både den gjennomsnittlige temperaturen for månedene juni, juli og august, samt den årlige gjennomsnittstemperaturen, for perioden 1945 til 2008. Grafen er satt sammen av temperaturdata fra Isfjord radio i perioden 1945-75 tilsendt fra Inger Hanssen-Bauer, DNMI, og skjøtt sammen med data fra Svalbard lufthavn av Jack Kohler, NP.

Svalbard lufthavn og Longyearbyen

Manglende temperaturdata for Isfjord radio er beregnet ut ifra data fra Longyearbyen og Svalbard lufthavn. Stasjonen i Longyearbyen ble flytta tre ganger innenfor et område på omtrent 1 km i perioden fra 1916 til 1977, og i likhet med Isfjord radio er det et opphold i observasjonene pga 2. verdenskrig (Nordli et al., 1996). Observasjonene ved Svalbard lufthavn, 4 km nordvest for Longyearbyen, startet opp i 1975 og er fremdeles operativ. Både stasjonene i Longyearbyen og ved Svalbard lufthavn har vært (og er fortsatt) manuelt bemanna (Inger Hanssen-Bauer, DNMI, pers. medd.). Fra 1957 til i dag er det gjort daglige observasjoner av temperatur, nedbør, nedbørstype og snødekke, mens det før 1957 mangler en del målinger i tillegg til oppholdet som følge av krigen (Nordli et al., 1996). Langtidsserien som dekker perioden 1912 til i dag for Svalbard lufthavn er laget ved å skjøte sammen observasjoner fra fire ulike områder på Svalbard: Svalbard lufthavn, Longyearbyen, Green Harbour og Barentsburg, og metodikken bak dette er beskrevet i detalj i Nordli et al. (1996).

Ny-Ålesund

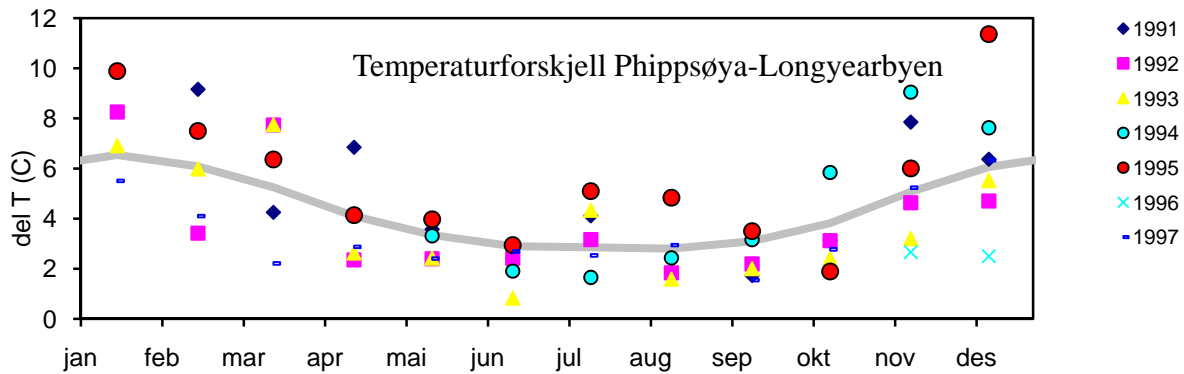
For Diesetvatna, er klimadata henta inn fra Ny-Ålesund, som ligger om lag 35 km sørøst for disse vatna. Denne stasjonen ble satt i drift først i 1969, og flytta ca 1.5 km i 1974 (Nordli et al., 1996). Her er det manuelt foretatt daglige observasjoner av temperatur og nedbør, samt nedbørstype og snødekke. Data fra før 1969 er utregna ut ifra observasjonene gjort på Isfjord radio (Nordli et al., 1996).



Figur 6 Den forlengta temperaturgrafen for Ny-Ålesund viser at det har vært en økning i både den gjennomsnittlige temperaturen for månedene juni, juli og august, samt den årlige gjennomsnittstemperaturen, for perioden 1945 til 2008. Siden målingene startet opp i 1969 i Ny-Ålesund, er grafen skjøtt sammen med temperaturdata fra Isfjord radio (Inger Hanssen-Bauer, DNMI, pers. medd.).

Phippsøya

I øygruppa Sjuøyane, 50 km nordvest for Arkvatna, ligger Phippsøya (figur 1). Der har det vært utplassert en automatisk målestasjon i noen få år (1991-97). Siden registreringene dekker såpass få år, er datamaterialet ikke tilstrekkelig til å lage en forlengta dataserie tilsvarende som for Isfjord og Ny-Ålesund (Eirik J. Førland, DNMI, pers. medd.). Temperaturregistreringene gir likevel et godt grunnlag for å påvise forskjeller i gjennomsnittlig månedlig lufttemperatur mellom Isfjord, Longyearbyen og Phippsøya (figur 7). Denne figuren viser en dårlig korrelasjon mellom stasjonene, dermed kan ikke lufttemperaturene fra Isfjord radio eller Ny-Ålesund brukes til korrelering mot otolittvekst hos Arkvatnrøya.

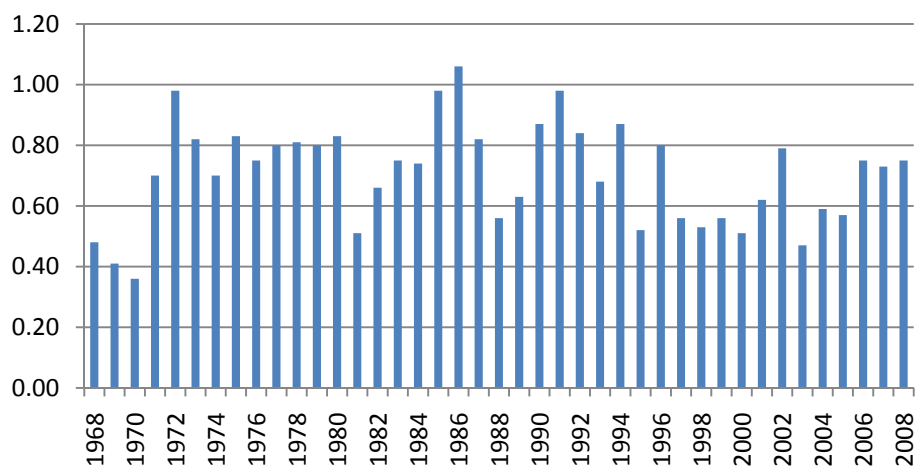


Figur 7 Grafen viser lufttemperaturforskjellen mellom Phippsøya og Longyearbyen i perioden 1991-97. Fra oktober til april ligger månedstemperaturen i gjennomsnitt om lag 4-7°C lavere på Phippsøya enn Longyearbyen, mens månedstemperaturen ligger rundt 3-4°C lavere fra mai til september (Jack Kohler, NP, upubliserte data).

2.3.2 Nedbør

Det eksisterer ikke noen fullgod metode for å måle nedbør i form av snø, fordi vinden vil påvirke målingene relativt sterkt (Nordli et al., 1996). Dette betyr at nedbørsmålingene fra værstasjonene på Svalbard trolig gir et dårlig estimat av den reelle snømengden på øyriket (Nordli et al., 1996). I tillegg er det vanskelig å beregne hvor mye snø som blir liggende etter et snøfall ut ifra nedbørsdata, fordi mildværsperioder og vind også spiller en viktig rolle for akkumuleringa av snø (Jack Kohler, NP, pers. medd.). Som erstatning for nedbørsdata, har vi derfor benyttet "massebalanse", som representerer snødybdemålinger, der snødybdene blir konvertert til meter vannekvivalenter ved bruk av tetthetsmålinger (Jack Kohler, NP, pers. medd.). Massebalansemålingene i Ny-Ålesund er basert på målinger av akkumulert snømengde på Midtre Lovénbreen (ligger 5,5 km sør for Ny-Ålesund), og er utregna ut ifra gjennomsnittlige snøtykkelser fra slutten av april og begynnelsen av mai, i perioden 1968 til 2008 (figur 8; Jack Kohler, NP, upubliserte data). Det er gjort lignende målinger på Linnébreen, men kun i perioden 2002-2007. Siden massebalansen på Linnébreen korrelerer svært godt med målingene på Lovénbreen i disse fem årene ($r^2=0,9$; $p<0,001$; Jack Kohler, NP, upubliserte data), har vi likevel benyttet massebalansemålingene – ikke bare som akkumulerte snømengder i april/mai i Ny-Ålesund, men også som relative snødybdemålinger for Isfjord. Det er likevel viktig å understreke at målingene korrelert mot Isfjord er relative, da nedbørsdataene viser at mengden nedbør/snø ved Isfjord er vesentlig høyere enn i Ny-Ålesund (Jack Kohler, NP, upubliserte data). For Arkvatna vil disse massebalansemålingene bli for usikre med tanke på de klimatiske forskjellene mellom lokalitetene til at de kan brukes i analyser opp mot otolittvekst (Førland et al., 2009).

massebalanse på Lovénbreen i april/mai



Figur 8 Massebalanse målt på Lovénbreen, sør for Ny-Ålesund, i april/mai fra 1968 til 2008. Massebalansen er et mål på mengden akkumulert snø konvertert til meter vannekvivalenter (Jack Kohler, NP, upubliserte data).

2.4 Fiskemateriale

Materialet som er benytta i denne masteroppgaven består av totalt 1 248 otolitter fra røye fanga i Linnévatnet (289), Diesetvatna (804) og Arkvatna (155). Materialet er samla inn i perioden 1968 til 2008, og dekker årsklasser av røye fra 1948 til 2008 (figur 9). Nils Gullestad ha vært ansvarlig for all innsamling både i Linnévatnet og Diesetvatna fram til 1982, mens Martin-A. Svenning har hatt ansvaret for innsamlingene i disse to innsjøene i 1987-2008. I Arkvatnet har Johan Hammar samlet inn røyematerialet fra 1980, mens Martin-A. Svenning var ansvarlig for innsamlingen i 1992 og 1998.

Linnévassdraget

Innsamlingene fra 1968 til 1971 ble foretatt ved at røye ble fanget med garn i Linnévatnet på sommerstid (Nils Gullestad pers. medd.). Også de fleste andre innsamlingene ble gjort med garn i Linnévatnet, men i 2006 ble det også fiska med elektrisk fiskeapparat i både elva og i innsjøen (tabell 1). Den eldste årsklassen representert i materialet er fra 1948, mens den yngste er fra 2006 (figur 9). Lengdene på fiskene varierer fra årsyngel med en lengde på 28 mm til voksen fisk på 470 mm (alle fiskelengder oppgitt i gaffellengde).

Diesetvassdraget

Diesetvassdraget er det vassdraget i dette studiet hvor det har blitt foretatt flest innsamlinger og der materialet er størst (tabell 2). De aller fleste årsklassene fra 1951 til 2008 inngår i materialet (figur 9). Om lag halvparten av fiskene er tatt med garn. I tillegg er en stor del tatt med ruser i elva som fanga anadrom fisk på vei inn og ut av innsjøen. I 2006 og 2008 ble det også brukt elektrisk fiskeapparat både i innsjøen og i elva. Fiskelengdene varierer fra 23 mm til 705 mm.

Arkvatna

Arkvatna er vanskelig tilgjengelig, og det er derfor kun foretatt tre innsamlinger i henholdsvis 1980, 1992 og 1998 (tabell 3). Da Arkvatnrøya blir svært gammel (Svenning, 2001), omfatter likevel materialet de fleste årsklassene fra 1956 til 1989 (figur 9). Lengden på fiskene fra Arkvatna som er benyttet varierer fra 92 mm til 610 mm. I motsetning til Linnévatn og Diesetvassdraget, er det ikke benyttet elektrisk fiskeapparat i Arkvatna (men kun fisket med garn), og derfor er det nærmest ingen ungfisk (< 70-80 mm) i materialet.

Tabell 1 Oversikt over antall røyeotolitter fra Linnévatnet som er benyttet i dette masterstudiet. De fleste røyene ble fanga på garn (n=174), mens en del ungfisk ble fanga med elektrisk fiskeapparat (elfiske) i innsjøen (n=38) og i utløpselva (n=77) stort sett bestod av små og unge individer.

År	Innsjø; garn	Innsjø; elfiske	Elv; elfiske	Totalt
1968	20			20
1970	52			52
1971	20			20
1997	2			2
1998	51			51
2000	7			7
2006	22	38	77	137
Totalt	174	38	77	289

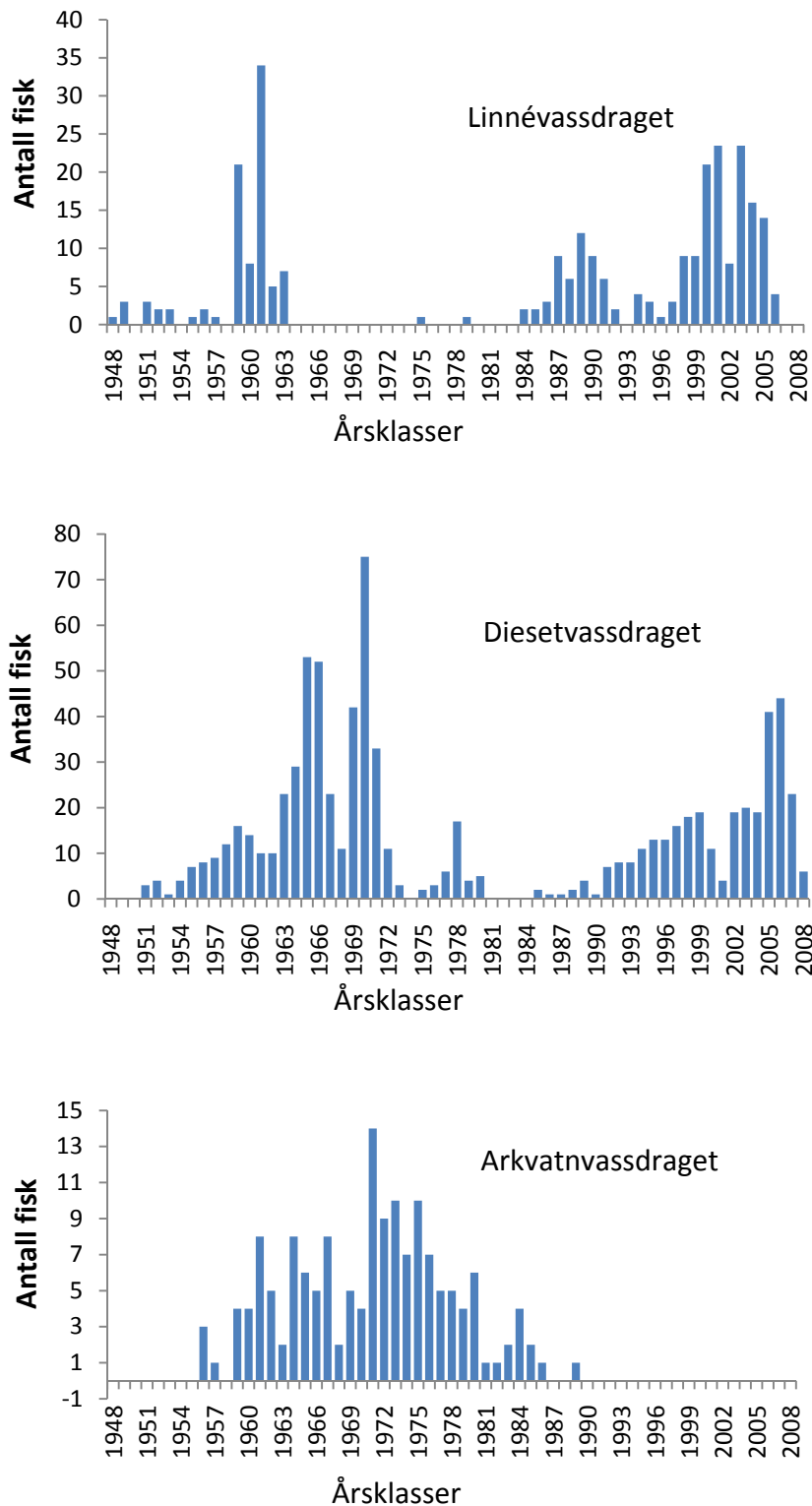
Tabell 2 Oversikt over antall røyeotolitter fra Diesetvatna som er benyttet. De fleste røyene ble fanga på garn i Søre Dieset og på opp-og nedgangsruse i utløpselva. I de siste årene har også et betydelig antall fisk blitt fanget med elektrisk fiskeapparat i utløpselva og i innsjøen.

År	Nordre Dieset	Søre Dieset	Elv	Totalt
1970			17	17
1971	3	9	87	99
1972		3		3
1975	5	19	99	123
1977	19	28	88	135
1978		36	4	40
1979		16		16
1980		4		4
1981		6		6
1982			8	8
1987		21	17	38
2006	21	120	54	195
2007		12		12
2008		105		105
Totalt	48	382	374	804

År	Garn	Ruse	El. fiske	Håndredskap	Totalt
1970	17				17
1971	29	69		1	99
1972	3				3
1975	28	95			123
1977	58	76		1	135
1978	40				40
1979	16				16
1980	4				4
1981	6				6
1982	8				8
1987	21	17			38
2006	93		102		195
2007	12				12
2008	22		80	3	105
Totalt	360	257	182	5	804

Tabell 3 Oversikt over antall røyeotolitter fra Arkvatna som er benyttet i masterstudiet. Alle fiskene er fanga med garn i 1980, 1992 og 1998. Siden det ikke ble benyttet elektrisk fiskeapparat under innsnalingen, finnes ingen fisk mindre enn 70-80 mm i materialet.

År	Øvre Arkvatn	Nedre Arkvatn	Totalt
1980	77	18	95
1992	22	20	42
1998	18		18
Totalt	117	38	155



Figur 9 Oversikt over antall røye (otolitter) fra hver årsklasse som inngår i dette masterstudiet. Fra Linnévasdraget inngår det fisk helt tilbake fra 1948-årsklassen til og med 2006-årsklassen. Materialet har flest individer og dekker flest årsklasser fra Diesetvasdraget (1951-2008). Arkvatn-materialet dekker de fleste årsklassene fra 1956 til 1989 til tross for at det kun er gjort tre innsamlinger.

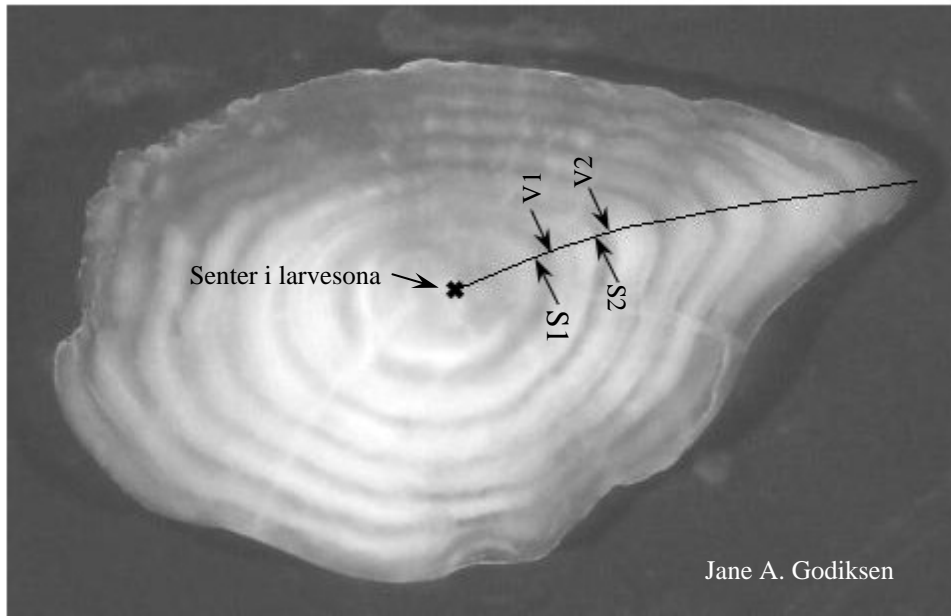
2.5 Utvalg av vekstsoner og bearbeiding av materialet

For å få en nøyaktig tilbakeregning av vekst, er det viktig at aldersavlesninga er presis, at sommer- og vintersonene er tydelige og at det eksisterer en god korrelasjon mellom fiskens lengdevekst og veksten i otolitten (Svenning, 1992b, Svenning, 1993). Aldersavlesningen av otolittene hos røye fra Svalbard er som oftest vesentlig enklere og sikrere enn hos røye fanget i innsjøer på fastlandet. Dette skyldes trolig at Svalbardrøye vokser sakte, samt at den relative forskjellen mellom sommer- og vinterveksten er stor, noe som gir tydelige sommer- og vintersoner (Gullestad, 1975). Tidligere analyser av otolitter fra Svalbardrøye har vist at i de første leveårene, dvs. før røya vandrer ut i sjøen (blir anadrom) og/eller den slår over på fiskeføde i innsjøen (blir kannibal), eksisterer det en enkel og lineær korrelasjon mellom fiskens kroppslengde og otolittstørrelsen (Svenning, 1993). Ved diettomslag hos røye, som følge av anadromi eller kannibalisme, endres imidlertid forholdet mellom lengde- og otolittvekst dramatisk (Svenning, 1993). I Dieset- og Linnévatnet er de yngste førstegangsvandrerne fem år og i Arkvatnet er de 9 år. Videre fant vi ingen fisk yngre enn henholdsvis 5, 5 og 9 år med fiskeyngel i magen, eller som viste vekstomslag som kunne tyde på at fiskene var kannibaler. Jeg har derfor valgt kun å inkludere sommerveksten de første fem somrene i otolittene fra Dieset- og Linnévatnet, og de første ni somrene i Arkvatnmaterialet.

Forholdet mellom fiskelengde og otolittlengde er ikke nødvendigvis lineært (se Svenning, 1993) og i enkelte tilfeller kan en log-transformering av fiskelengde og/eller otolittstørrelse gi en bedre tilpasning (Kanstad Hansen, 1996). Jeg fant en svært sterk korrelasjon mellom fiskens lengde og otolittstørrelsen for alle de tre innsjøene (Dieset-, Linné- og Arkvatn), og valgte derfor å benytte målingene av de ulike sommersonene som et relativt mål på fiskeveksten i hver av somrene (se figur 11).

2.5.1 Fotografering og måling av otolitter

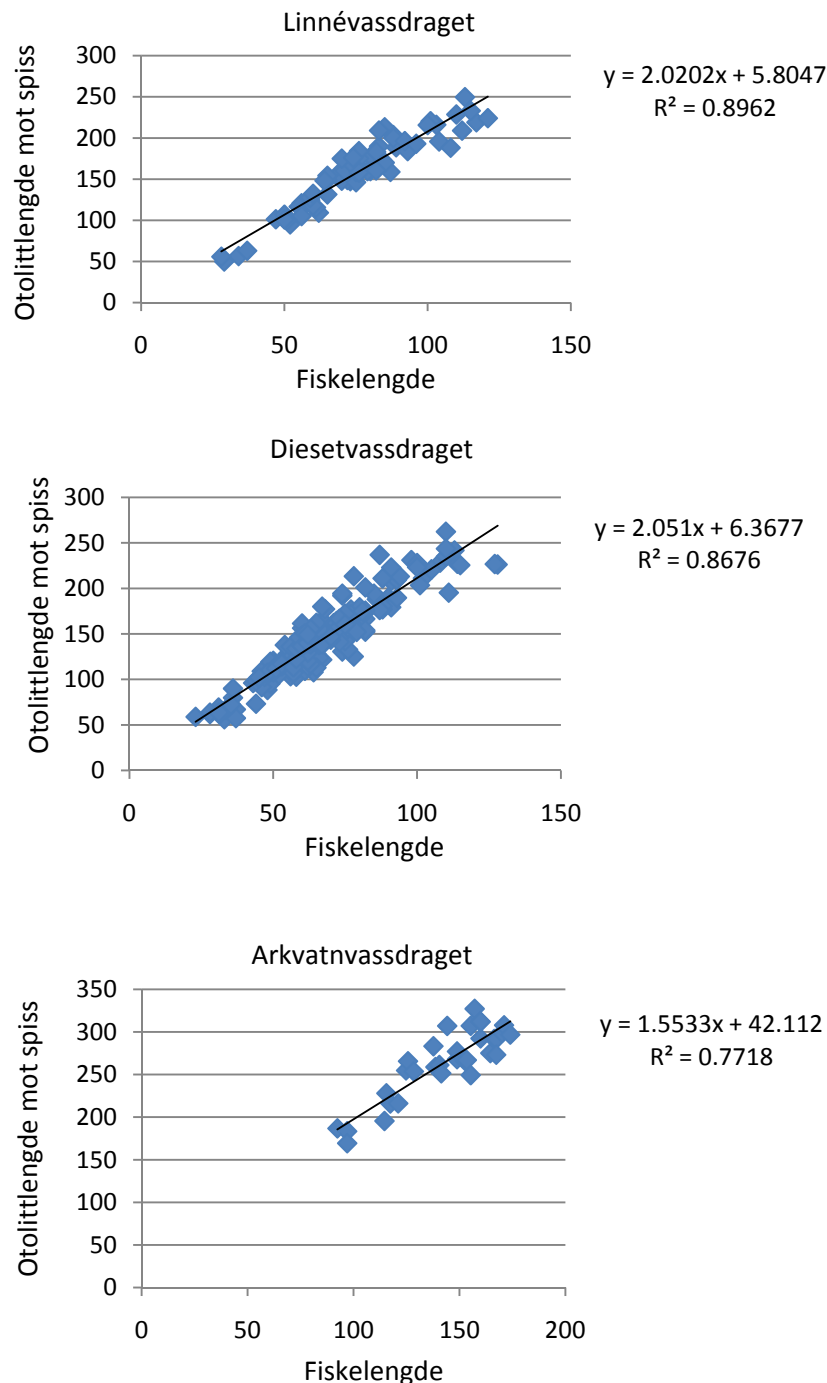
På tross av at røyeotolittene er små i forhold til andre fiskeslag (for eksempel torsk, *Gadus morhua*), er de klare nok til at de kan aldersbestemmes uten noen form for behandling som knekking eller brenning (Nordeng, 1961). For aldersavlesning og fotografering ble otolittene plassert med den glatte siden vendt opp på et otolittbrett med vanndråper, og hvor otolittene ble studert/målt med påfallende lys. Ved påfallende lys blir vintersonene mørke, mens sommersonene blir lyse (Nordeng, 1961). Bildene ble tatt med et Nikon digital camera head (DS-5M) montert til et Leica Wild MZ8 stereomikroskop ved 25X forstørrelse. Bildebehandlingsprogrammet som ble brukt var NIS-Elements F 2.20 (Nikon, 1991-2006). Antall vintersoner mot spissen ble telt for aldersbestemmelse, det er vist tidligere at flest årssoner kan leses mot spissen hos eldre individer (Nordeng, 1961, Kristoffersen og Klemetsen, 1991, Svenning, 1992b). Målingene ble gjort i måleprogrammet ImageJ Version 1.41o. Dette programmet måler avstander i et bilde i antall piksler (Abramoff et al., 2004, Rasband, 1997-2008). Alle otolittmål oppgitt i piksler i denne masteroppgaven, antall piksler per mm (229) ble funnet ved å måle på et bilde av en lineal ved 25X forstørrelse. Først ble senter i larvesona bestemt så presist som mulig. Senter i larvesona ble brukt som utgangspunkt for å måle lengste avstand bakover og mot spissen, deretter ble bredden på sommer- og vintersonene mot spissen målt. Spesielt viktig er målingene av vekstsonene på ungfisk stadiet, da disse viser hvor god/dårlig veksten har vært i de ulike åra (figur 10). Først og fremst ble venstre otolitt brukt i målingene, men var venstre otolitt deform, skadd, forsvunnet eller utydelig, ble høyre otolitt brukt. Lesbarheten av otolittene var bl.a. avhengig av hvordan de hadde blitt lagra, otolitter som var oppbevart tørt hadde ofte mer diffuse soner enn de som var oppbevart på sprit.



Figur 10 Bildet viser venstre otolitt fra en 6 år gammel røye som er inn i sin 7-de sommer. De mørke sonene er vintersoner, de lyse er sommersoner. Ved målingene ble først senter av larvesona bestemt så nøyaktig som mulig. Deretter ble den totale lengden fram mot spissen målt, og til sist ble bredden av henholdsvis hver vinter- og sommersone målt. Avstanden fra senter til S1 gir vekst i første sommer, avstanden fra S1 til V1 gir bredden på første vinter, avstanden fra V1 til S2 gir bredden på 2-de sommer osv.

2.5.2 Korrelasjon mellom otolitt- og fiskelengde

Ved å prøve ut ulike tilpasninger for otolitt- mot fiskelengde, fant jeg at naturlige lengder for både fisk og otolitter ga best korrelasjon (figur 11).



Figur 11 Korrelasjonen mellom observert otolitt- og fiskelengde er god for alle tre vassdraga. For Dieset- og Linnévassdraget er stigningstall og skjæringspunkt nesten identisk, noe som tyder på like vekstforhold i disse innsjøene for aldersgruppene 0 til 4 år. Fra Arkvatna, er det ikke samla inn fisk yngre enn 5 år, så man får dermed ikke sammenligninga lengdeforholdet direkte med de to andre vassdraga. I denne figuren er det tatt med fisk fra 0 til 4 år fra Dieset og Linné, og fisk yngre enn 9 fra Arkvatna. Lengden på otolittene er her oppgitt i piksler, der 229 piksler tilsvarer 1 mm.

2.6 Statistikk

Alle statistiske analyser ble utarbeidet i samarbeid med Martin-A. Svenning (NINA), Bård-Jørgen Bårdsen (NINA), Knut Langeland (NINA) og Nigel Yoccoz (Universitetet i Tromsø).

Når dataene var parametriske, ble det kjørt t-tester (betegnes med t (test-observator), df (antall frihetsgrader) og P (sannsynlighetsverdi)) (Zar, 2007). T-tester ble kjørt for å sammenligne fiskelengde ved alder i de tre vassdraga, og bredden på sommersonene i de fem første leveåra, effektene ble ansett for å være signifikante når $P < 0,05$.

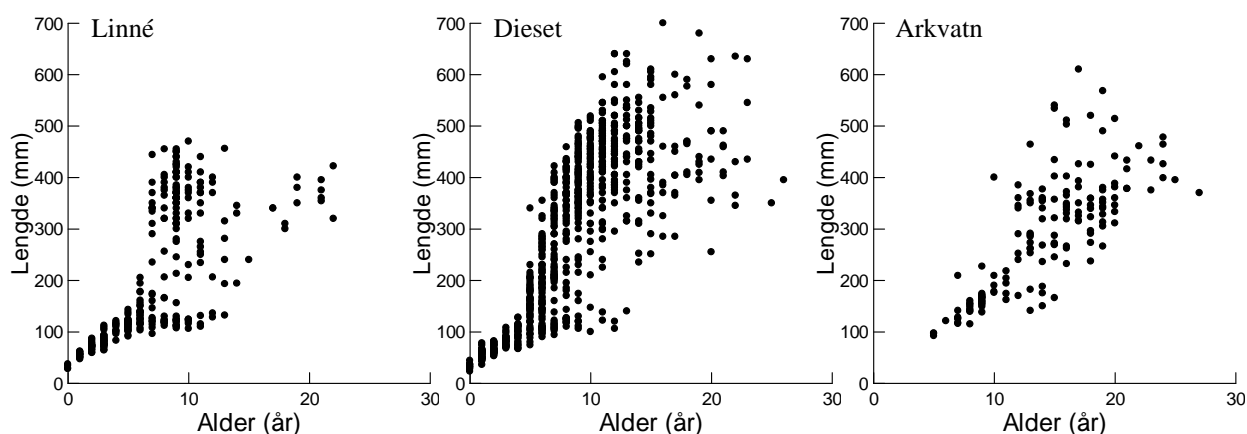
Multielle regresjonsmodeller og lineære regresjoner ble brukt for å analysere effekten av henholdsvis gjennomsnittlig lufttemperatur og årlig massebalanse på årlig tilvekst hos røye (bredden på sommersonene i otolittene) (Zar, 2007). Da sammenhengen mellom otolitt- og fiskelengde var lineær i de undersøkte sonene, var det ikke nødvendig med noen form for transformering av disse variablene.

De statistiske analysene ble utført i SYSTAT versjon 11 (SYSTAT, 2004) og RGui, versjon 2.5.0 (R-Development-Core-Team, 2007).

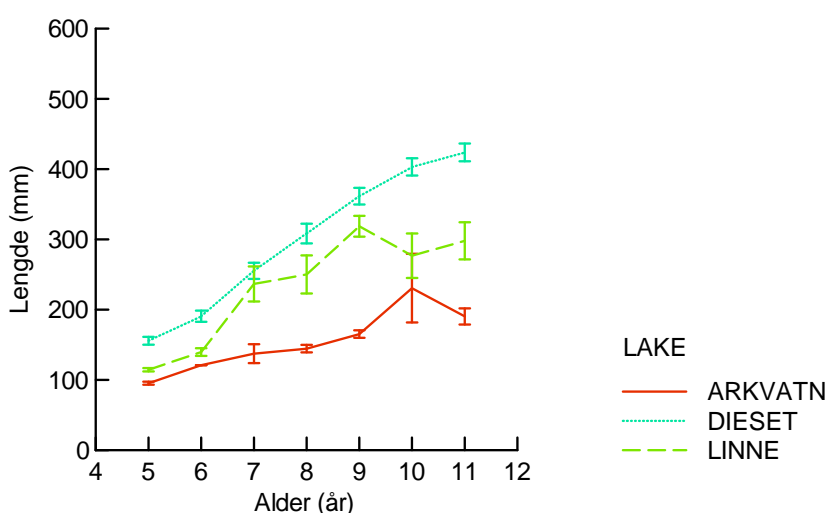
3. Resultater

3.1. Lengde ved alder

Røya i Linné- og Diesetvatna på Spitsbergen vokser vesentlig raskere enn røya i Arkvatna på Nordaustlandet (figur 12, 13). I 7-8 årsalderen er Linné- og Diesetrøya gjennomsnittlig henholdsvis 22-25 cm og 25-30 cm, mens gjennomsnittslengden på 7-8 år gamle Arkvatnrøyer bare er 12-13 cm (figur 13). De største anadrome røyene i Linné- og Diesetvatna er allerede ved 7-årsalderen om lag 45 cm, mens anadrom røye i Arkvatna først når denne lengden ved 13-årsalderen (figur 12). De største anadrome røyene i Diesetvatna er 65 cm. I alle vassdraga, og spesielt i Diesetvatna, er det en svært stor variasjon mellom de minste stasjonære og de største anadrome individene (figur 12).



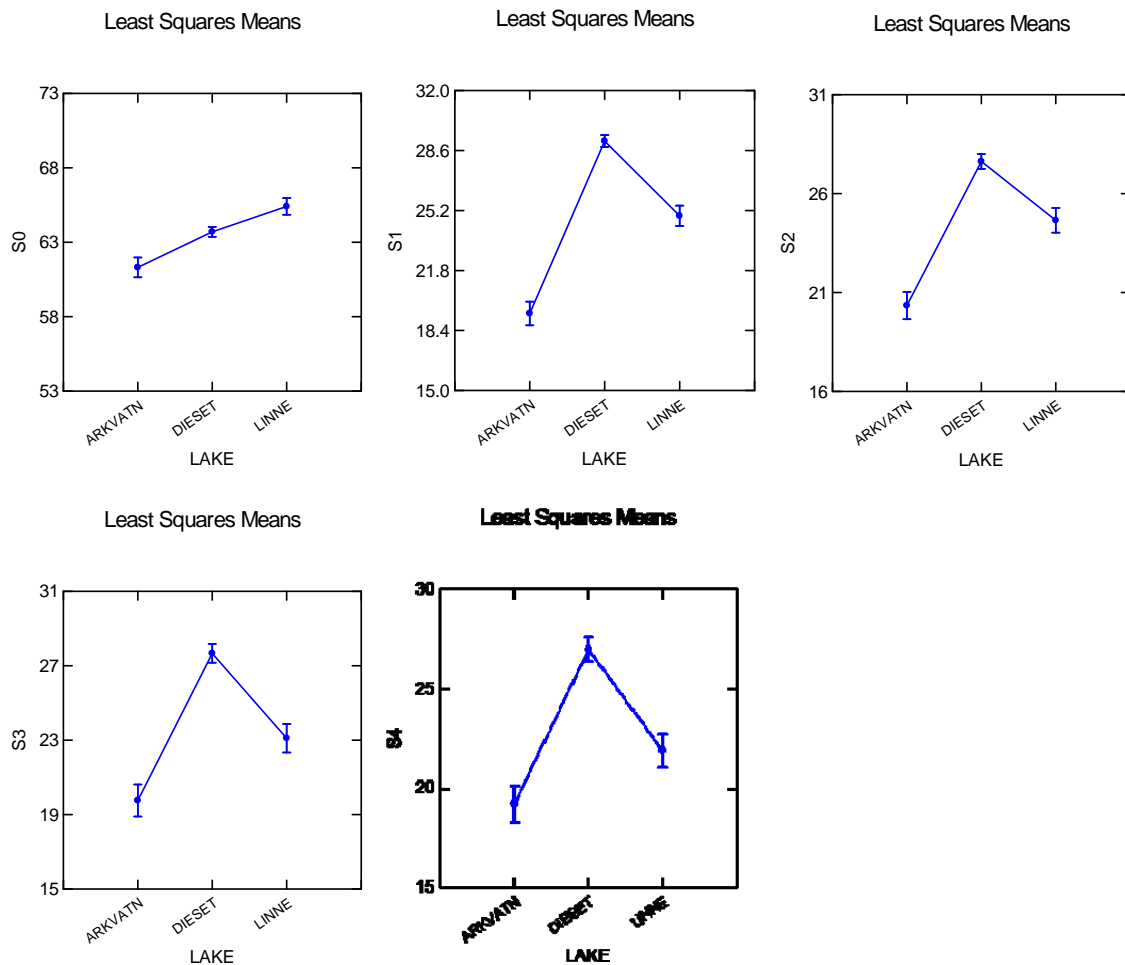
Figur 12 Lengde ved alder hos røya fanga i henholdsvis Linné-, Dieset- og Arkvatn.



Figur 13 Gjennomsnittlig lengde hos 5 til 11 år gammel røye fanget i Linné-, Dieset- og Arkvatn. Standard error er vist.

3.2 Bredden på sommersona i otolittene

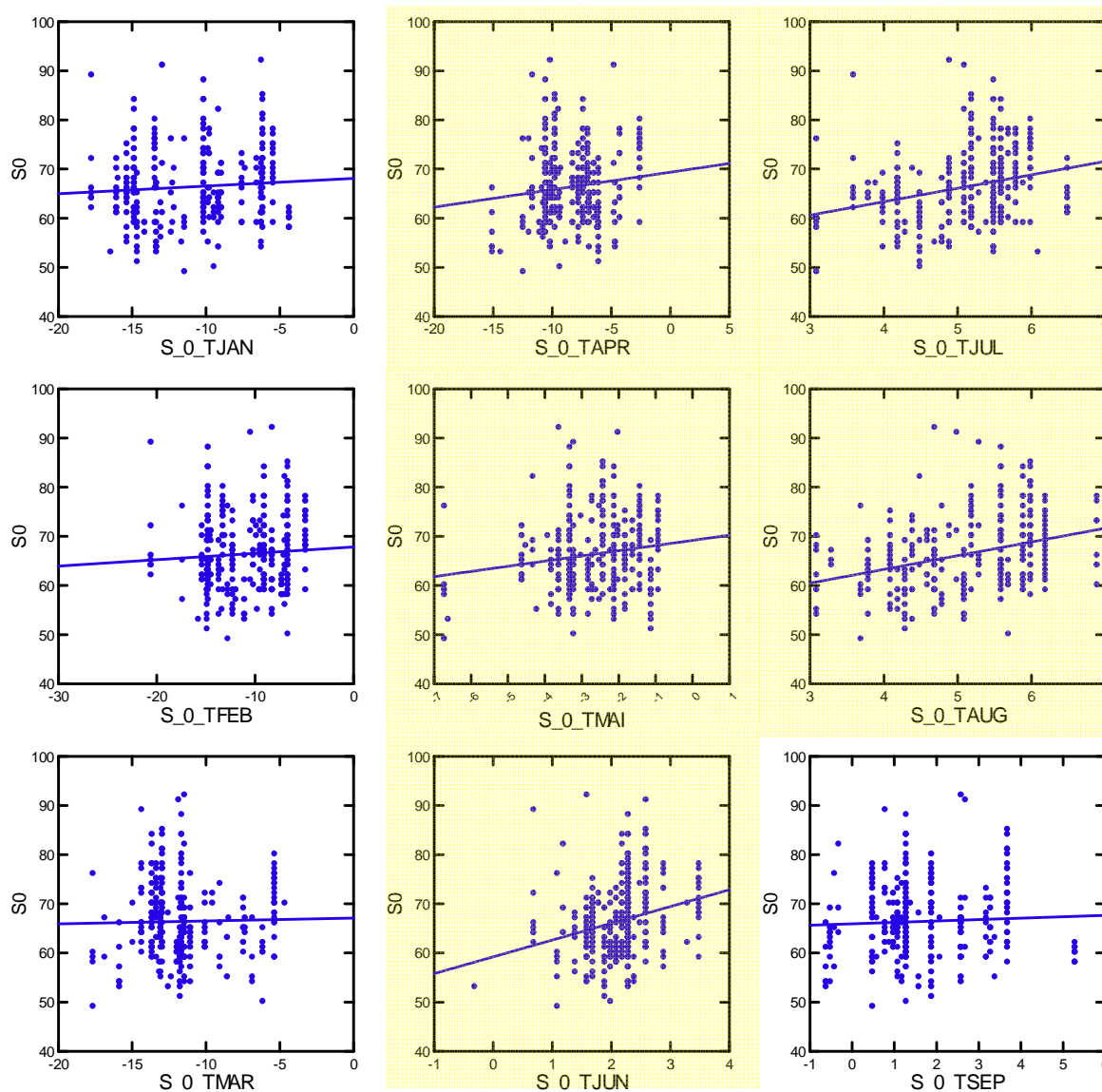
Bredden på de fem innerste sommersonene i røyeotolittene (figur 14) var signifikant smalere hos Arkvatnrøyene sammenlignet med otolittene hos røye fra Linné- og Diesetvatn (parvis t-test, $p < 0.01$). Den første sommersonen (S0) var bredest i røyene fra Linnévatnet, mens Diesetrøya hadde de bredeste sonene fra 2-de til 4-de (S1, S2, S3 og S4) sommersone. Med unntak av S0 (t-test, $p = 0.07$) var forskjellene i sommervekst mellom Linné- og Diesetrøyene signifikante for alle de andre 4 sommersonene (t-test, $p < 0.01$).



Figur 14 Gjennomsnittlig målt bredde av sommervekstsonene hos opp til 4 år gammel røye fanget i Linné- Dieset og Arkvatn. Standard error er vist.

3.3 Månedlig lufttemperatur og tilvekst i sommersonene hos røyeotolittene Linnévassdraget

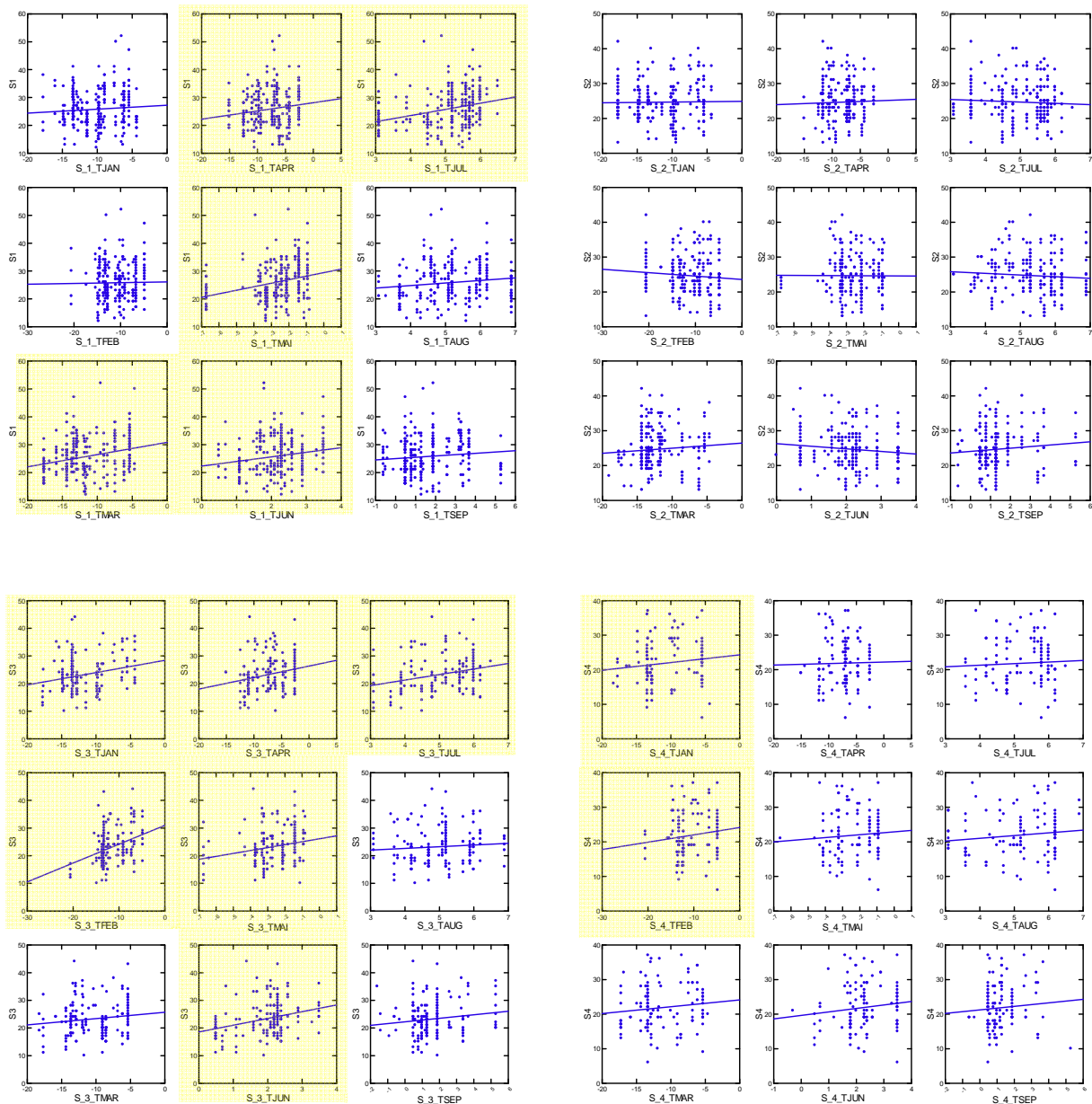
Det var en signifikant positiv korrelasjon mellom bredde på første sommerson (S0) hos røya i Linnévassdraget og månedlig gjennomsnittlig lufttemperatur ($r^2=$, $p < 0.01$), i alle måneder fra og med april til og med august (figur 15 og tabell 4). Det ble også funnet signifikante korrelasjoner mellom temperatur og noen av de påfølgende sommersonene (S1, S2 og S4), for noen av månedene (figur 16).



Figur 15 Korrelasjon mellom bredde på 1. sommerson (S0) i røyeotolittene fra Linnévassdraget og gjennomsnittlig månedlig lufttemperatur målt på Isfjord. Månedene med signifikant korrelasjon mellom lufttemperatur og sonevekst (S0) er **uthevet**.

Tabell 4 Oversikt over R²- og p-verdier ved lineær korrelasjon mellom månedlig gjennomsnittlig lufttemperatur og bredde på første sommersonne (S0) i otolitter hos røye fanget i Linnévasdraget.

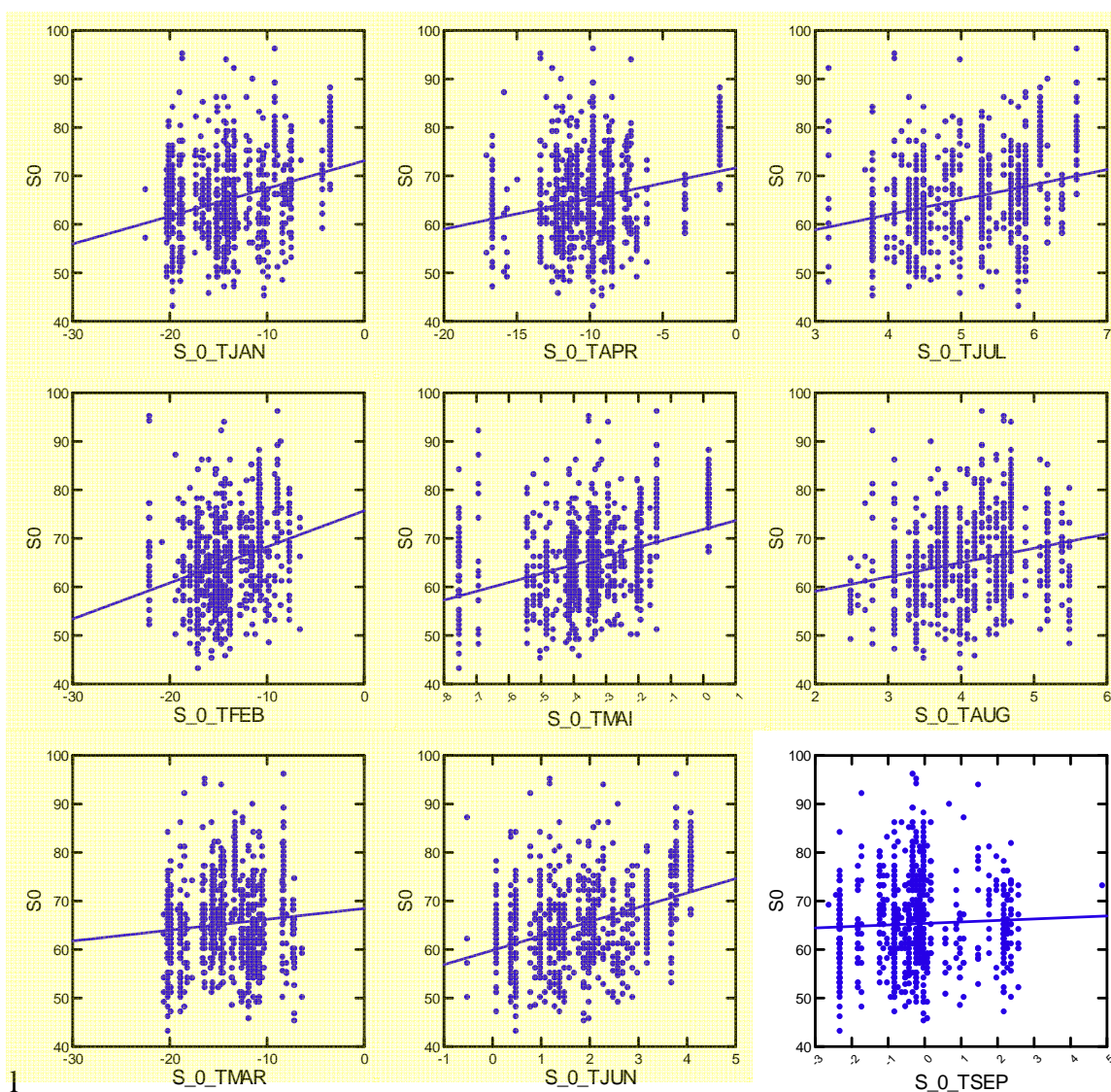
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep
R ²	0.006	0.004	<0.001	0.015	0.024	0.066	0.066	0.103	0.002
p-verdi	0.19	0.3	0.716	0.04	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001	0.42



Figur 16 Plott og lineær korrelasjon av månedlig lufttemperatur målt ved Isfjord Radio og bredde på henholdsvis 2-de (S1), 3-de (S2), 4-de (S3) og 5-de (S4) sommersonne i otolittene hos røye fanget i Linnévasdraget, tilpasset en lineær trendlinje. Måneder med signifikant korrelasjon mellom lufttemperatur og sonetilvekst er **uthevet**.

Diesetvassdraget

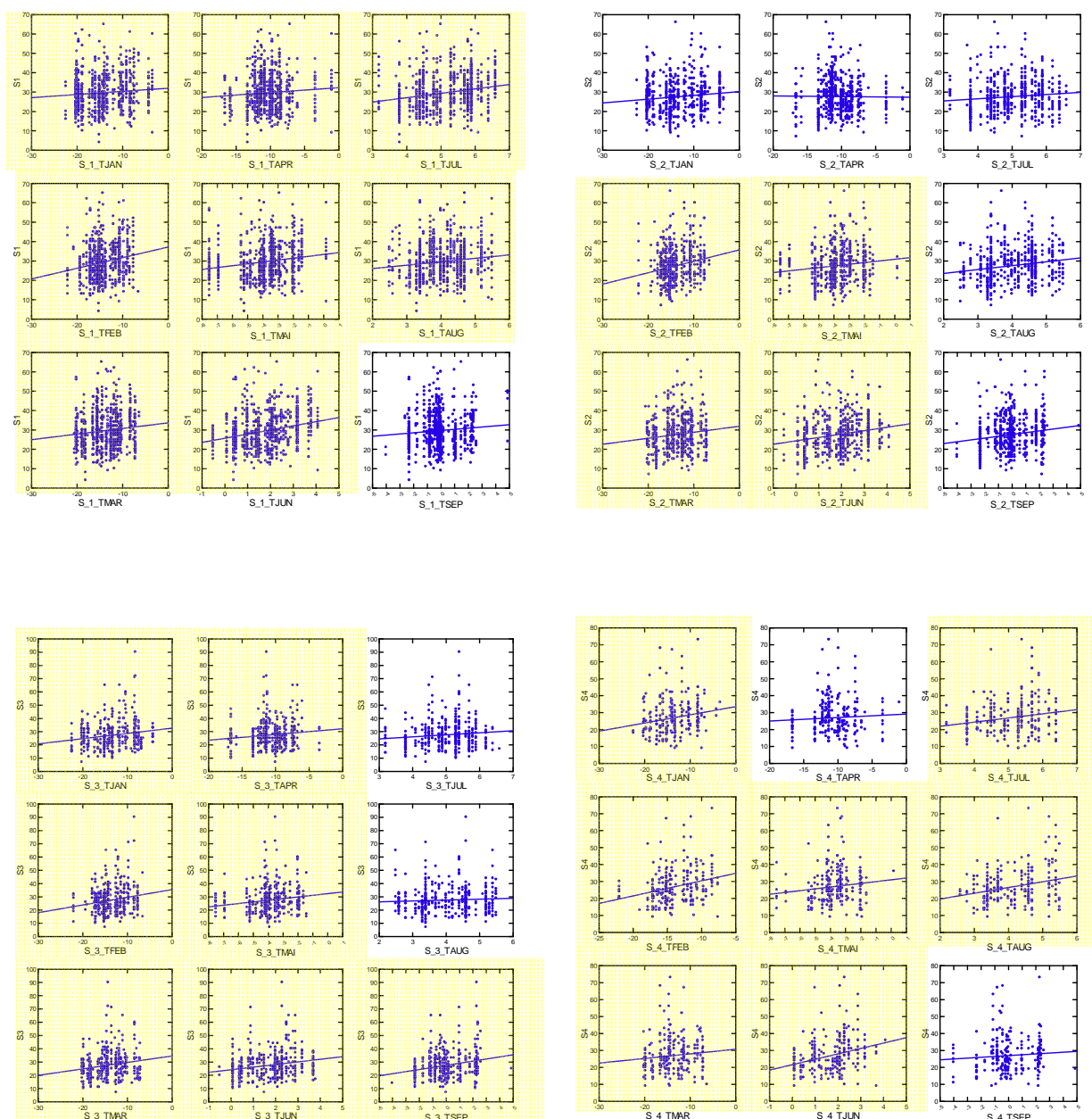
Det var en positiv korrelasjon mellom lufttemperatur og bredde på første sommersonne (S0) (p<<0.01) hos røye fanget i Diesetvassdraget i alle måneder - unntatt september (figur 17 og tabell 5). Det var også stort sett en signifikant positiv korrelasjon mellom sonevekst og temperatur for de fleste påfølgende sommersonene (S1, S2, S3 og S4; se figur 7). Det ble også funnet signifikante korrelasjoner mellom månedlig gjennomsnittlig lufttemperatur og bredde på de påfølgende sommersonene (S1, S2, S3 og S4) i otolittene for de fleste månedene i Diesetvassdraget (figur 18).



Figur 17 Plott og lineær korrelasjon mellom månedlig snittemperatur målt i Ny-Ålesund og bredden på 1. sommersonne (S0) i røyeotolittene fra Diesetvassdraget . Bortsett fra september, var det en signifikant positiv korrelasjon mellom lufttemperatur og sonevekst (S0) for alle månedene (uthevet).

Tabell 5 Oversikt over R²- og p-verdier for korrelasjon mellom månedlig lufttemperatur og bredde på første sommersonne (S0) i otolitter hos røye fanget i Diesetvassdraget.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep
R ²	0.085	0.076	0.009	0.054	0.123	0.146	0.077	0.057	0.002
p-verdi	<0.001	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.233



Figur 18 Plott og lineær korrelasjon mellom månedlig lufttemperatur målt i Ny-Ålesund og bredden på henholdsvis 2-de (S1), 3-de (S2), 4-de (S3) og 5-de (S4) sommersonne i otolitter hos røye fanget i Diesetvassdraget, tilpasset med en lineær trendlinje. Måneder med signifikant korrelasjon mellom lufttemperatur og sonetilvekst er **uthevet**.

3.4 Vinter- og sommerlufttemperatur korrelert med bredde på sommersonene i røyeotolittene.

For røya fra Linnévassdraget var det en signifikant positiv korrelasjon med gjennomsnittlig vinterlufttemperatur (januar, februar og mars) og bredde på sommersonene i otolittene i sone S1 og S3, mens det var en signifikant positiv korrelasjon i sone S0, S1 og S3 når de ble korrelert med sommerlufttemperatur (mai, juni og juli) (tabell 6).

I Diesetvassdraget viste alle sommersonene (S0-S4) i otolittene en signifikant positiv korrelasjon med både vinter- (januar, februar og mars) og sommerlufttemperatur (mai, juni og juli) (tabell 6).

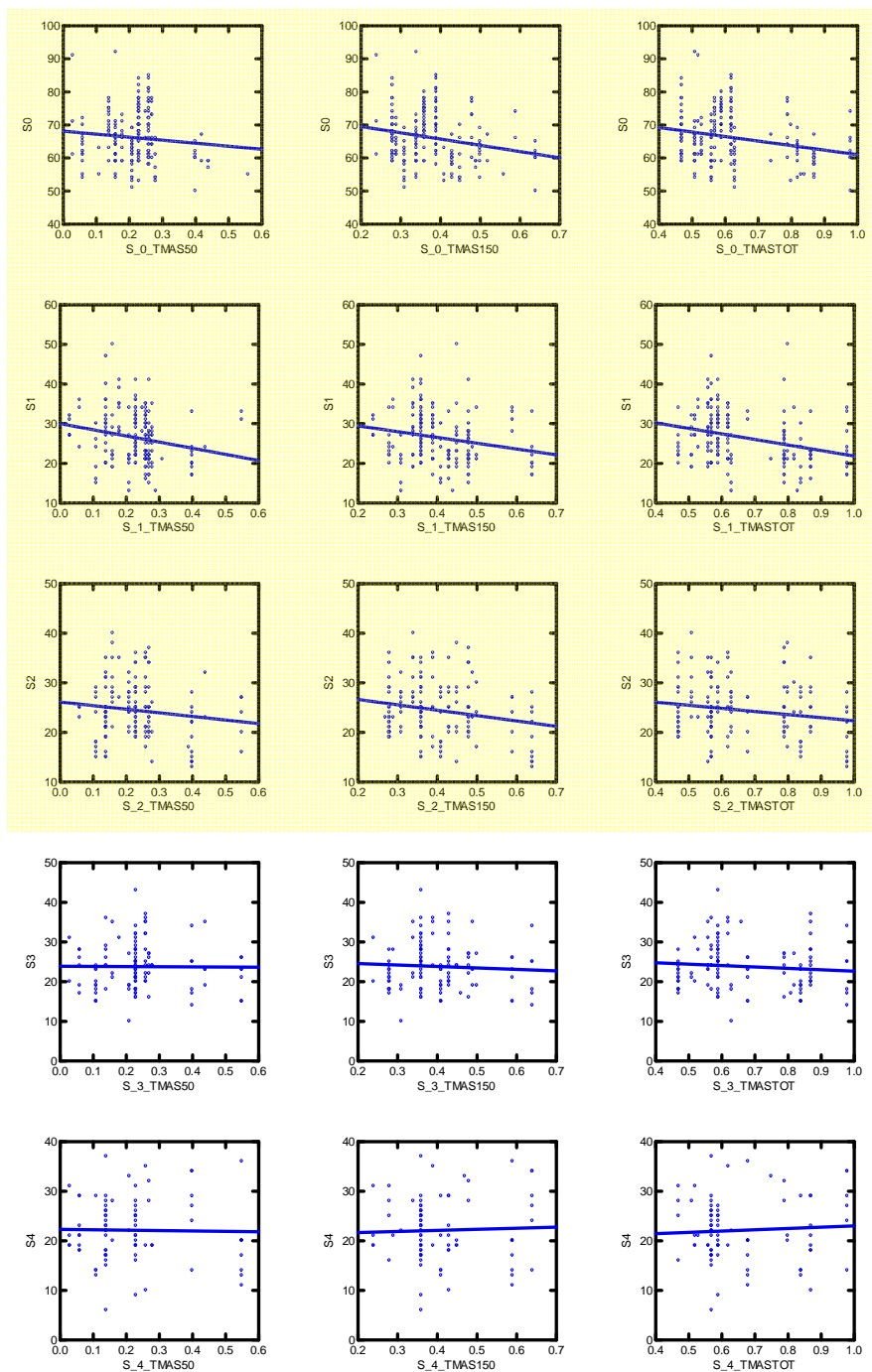
Tabell 6 Oversikt over R^2 - og p-verdier for lineære korrelasjon mellom vinter- og sommerlufttemperatur og bredde på sommersonene S0-S4 i otolitter fra røye fanget i Linné- og Diesetvassdraget. Signifikante verdier er markert med fet skrifttype.

		Vinter S0	Sommer S0	Vinter S1	Sommer S1	Vinter S2	Sommer S2	Vinter S3	Sommer S3	Vinter S4	Sommer S4
Linné	R^2	0.007	0.073	0.035	0.098	0.001	0.003	0.125	0.082	0.033	0.01
	p-verdi	0.17	0.001	0.003	0.001	0.92	0.41	0.001	0.001	0.06	0.3
Dieset	R^2	0.083	0.172	0.025	0.061	0.032	0.032	0.049	0.038	0.06	0.055
	p-verdi	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

3.5 Massebalanse/snømengde mot bredde på sommersonene

Linnévassdraget

De tre innerste sommersonene i otolittene (S0, S1 og S2) hos røye fanget i Linnévassdraget var alle signifikant negativt korrelert med akkumulert mengde snø (massebalanse) målt på Lovénbreen i april/mai (figur 19, tabell 7).



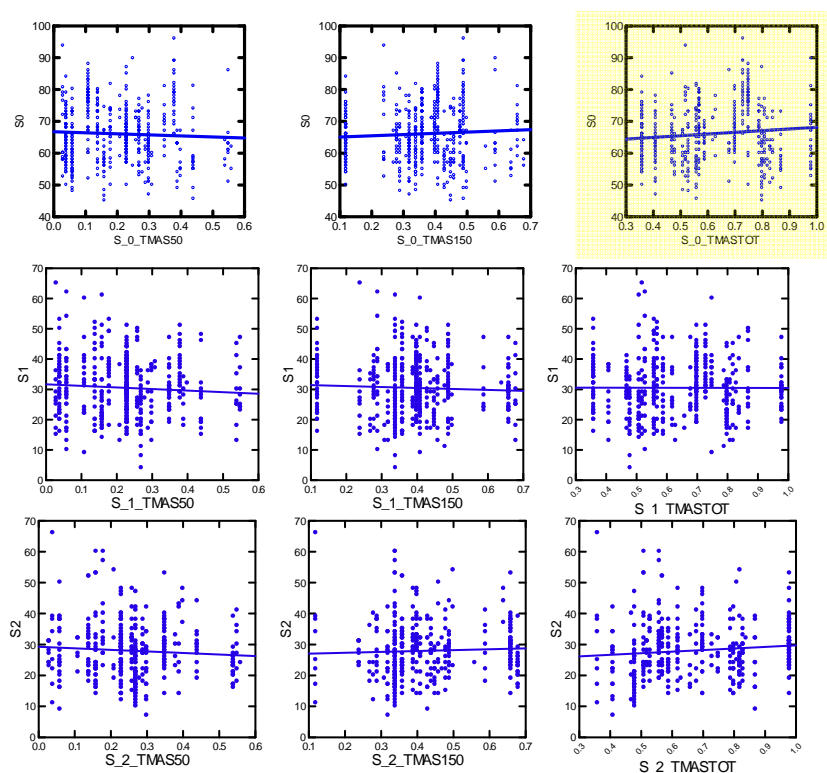
Figur 19 Bredden på sommersonene (S0-S4) i otolitter hos røye fanget i Linnévassdraget korrelert med mengden akkumulert snø (snø massebalanse på Lovénbreen og målt ved henholdsvis 50 m.o.h. (S_x_TMAS50), 150 m.o.h. (S_x_TMAS150) og som total massebalanse (S_x_TMASTOT) for hele breen. Soner som viser signifikant negativ korrelasjon med akkumulert snø er **uthevet**.

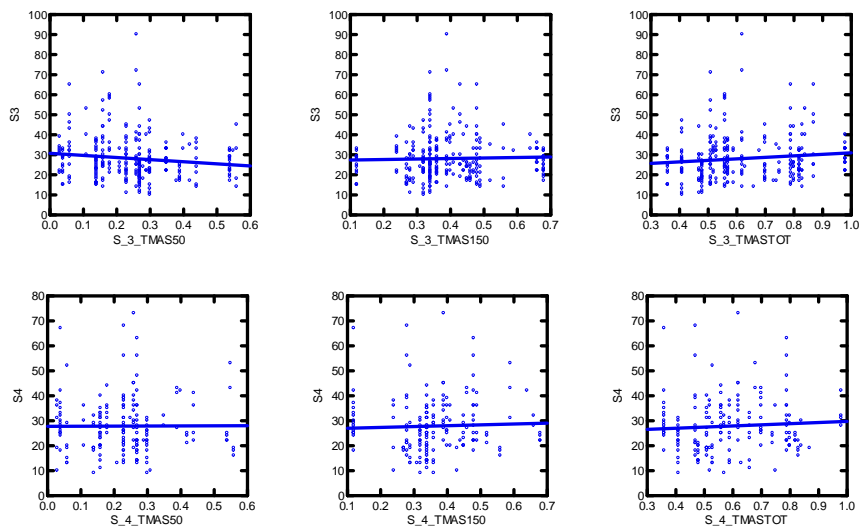
Tabell 7 R²- og p-verdier for korrelasjonen mellom total massebalanse (S_x_TMASTOT) og bredde på sommersonene (S0-S4) i otolitter hos røye fanget i Linnévasdraget.

	S0	S1	S2	S3	S4
R ²	0.061	0.093	0.03	0.008	0.003
p-verdi	<0.001	<0.001	0.04	0.35	0.6

Diesetvassdraget

I otolittene fra røye fanget i Diesetvassdraget var det stort sett ingen signifikant korrelasjon mellom sonebredde i otolittene og mengden akkumulert snø på Lovénbreen (figur 20). Eneste signifikante korrelasjon ble funnet for første sommerson (S0) mot total snø massebalanse (S_0_TMASTOT; se tabell 8).





Figur 20 Bredden på sommersonene (S0-S4) i otolitter hos røye fanget i Linnéassdraget korrelert med mengden akkumulert snø (snø massebalanse på Lovénbreen, målt ved henholdsvis 50 m.o.h. (S_x_TMAS50), 150 m.o.h. (S_x_TMAS150) og som total massebalanse (S_x_TMASTOT) for hele breen. Signifikant verdi **uthevet**.

Tabell 8 R²- og p-verdier for korrelasjonen mellom total massebalanse (S_x_TMASTOT) målt på Lovénbreen og bredden på sommersonene (S0-S4) i otolitter hos røye fanget i Diesetvassdraget.

	S0	S1	S2	S3	S4
R ²	0.011	<0.001	0.005	0.013	0.004
p-verdi	0.02	0.66	0.17	0.06	0.4

4. Diskusjon

4.1 Lufttemperaturens betydning for lengdevekst hos røya

Det ble funnet en signifikant positiv korrelasjon mellom de månedlige gjennomsnittlige lufttemperaturene fra januar til august og tilveksten i sommersonene i otolittene hos røye fanget i Diesetvassdraget. Da det også ble funnet en enkel, positiv sammenheng mellom otolittvekst og røyas lengdevekst de første fire leveårene, tolker vi dette som at økt lufttemperatur i vinter- og sommermånedene også har bidratt indirekte til økt kroppsvækst hos de unge røyene i vassdraget. Det ble også funnet en del positive sammenhenger mellom lufttemperatur og tilvekst hos røya i Linnévassdraget, men korrelasjonene var noe svakere. Røya i Arkvatna på Nordaustlandet vokste saktere enn Dieset- og Linnérøya, men det mangler fortsatt tilstrekkelig historisk datagrunnlag (målinger av lufttemperatur) for å korrelere tilveksten til eventuelle månedlige lufttemperaturer på Nordaustlandet.

Lufttemperaturen virker inn på minst tre viktige abiotiske faktorer som trolig har stor betydning for tilvekst hos ferskvannsfisk; istykkelsen, tidspunktet for isgangen og vanntemperaturen i innsjøen etter at isen har gått (Livingstone, 1997, Vavrus et al., 1996, Stefan et al., 1998, Svenning og Gullestad, 2002). Svenning og Gullestad (2002) viste at økende lufttemperatur i juni ga tidligere isgang på Diesetvatna. Resultatene fra dette masterstudiet viser at høyere lufttemperatur om vinteren (januar, februar, mars og april) generelt gir bedre tilvekst hos røya i den påfølgende sommerperioden. Dette skyldes trolig at en relativt høy vintertemperatur gir tynnere is, tidligere isgang og dermed lengre veksts sesong for røya. Gjennomsnittlig lufttemperatur i vintermånedene på Svalbard har variert kraftig de siste tiåra, dvs. i størrelsesorden fra -25 til -5°C (Førland et al., 2009), noe som vil påvirke den årlige istykkelsen, som er vist å avhenge direkte av den kumulative mengden av døgngrader under frysepunktet (Fang og Stefan, 1998). Dermed vil milde vintre gi tynnere is som smelter vesentlig raskere enn tykk is (Fang og Stefan, 1998, Huntington et al., 2003). Den positive korrelasjonen mellom økende lufttemperatur og røyas kroppsvækst så også ut til å øke vesentlig raskere når temperaturen økte fra -12°C og oppover, sammenlignet med temperaturområdet fra -20 til -12°C . Dette kan tyde på at temperaturens innvirkning på istykkelsen har vesentlig større effekt over visse terskelverdier, og i så fall ligger denne terskelen for Diesetvatna trolig rundt -12°C . Det vil si at når lufttemperaturen er høyere enn denne terskelen, vil istykkelsen vokse saktere ved synkende temperatur, enn ved temperaturer

under denne terskelverdien. Vi fant også at den gjennomsnittlige lufttemperaturen i januar og februar var sterkere positivt korrelert med tilvekst hos røya i Diesetvassdraget, enn lufttemperaturen i mars, april og/eller mai. Dette skyldes trolig at isen vokser raskere ved ”tynne” istykkelser, og at i mars-april har isen blitt såpass tykk at den vil virke isolerende og konduksjonen fra luft til vann vil hemmes sterkere (Wetzel, 2001). Dette betyr trolig at ved økende istykkelse kreves det relativt sett enda lavere temperaturer for å øke istykkelsen ytterligere.

De gjennomsnittlige lufttemperaturene i juni, juli og til dels august så også ut til å være sterkt positivt korrelert med tilveksten hos røya i Diesetvassdraget. Det er i denne perioden isen vanligvis går på Dieset- og Linnévatnet og innsjøene kan varmes opp (Svenning og Gullestad, 2002, Svenning et al., 2007). Den positive korrelasjonen mellom lufttemperatur og lengdevekst i Diesetvassdraget er i samsvar med andre studier gjort på henholdsvis røye (Kristensen et al., 2006, Christoffersen et al., 2008), og aure (Jensen, 1977). Både Jensens (1977) funn av positiv korrelasjon mellom lufttemperatur i juni og tilvekst hos aure og Joblings (1983) resultater om at selv små vanntemperaturøkninger i intervallet 2-8°C gir en vesentlig bedre vekst hos røye, støttes av våre resultater i Diesetvassdraget. Der skyldes økt vekst hos røya mest sannsynlig økt vanntemperatur som følge av høy lufttemperatur sommerstid. Dette skyldes at fisk er eksoterme dyr hvor omgivelsestemperaturen er viktig for den metabolske raten og dermed også for hvor hurtig de kan vokse (Jobling, 1983, Kristensen et al., 2006, Larsson et al., 2005). Som en følge av økt metabolsk rate ved høyere omgivelsestemperaturer, øker også energibehovet (Kristensen et al., 2006). For at økt vanntemperatur skal gi økt vekst, forutsetter det imidlertid at tilgangen på byttedyr er høy nok til å kompensere for den økte metabolismen og dermed gi overskudd til ekstra vekst (Kristensen et al., 2006). I og med at økt lufttemperatur er positivt for fiskeveksten i Diesetvassdraget, tyder det på at det er nok byttedyr tilgjengelig for å opprettholde og øke veksten ved høyere temperatur.

Den svakere korrelasjonen mellom tilveksten hos røya og lufttemperaturen målt i Isfjord (Linnévassdraget) enn i Ny-Ålesund (Diesetvassdraget), kan skyldes at næringstilgang er mer begrenset i Linnévassdraget. Under en undersøkelse i sommerperioden i Diesetvassdraget ble det påvist 27 arter av fjærmygg (Chironomidae) (Hansen, 1983), mens det i en helårsundersøkelse i Linnévassdraget kun ble funnet to arter av fjærmygg (Svenning et al.,

2007). Dette indikerer at næringstilbudet er vesentlig dårligere i Linnévatnet enn i Diesetvatna, og kan derfor virke begrensende på veksten hos røya til tross for økende vanntemperatur.

4.2 Forholdet mellom snø og lengdevekst

Linnévassdraget ligger i et vesentlig mer nedbørsrikt område enn Diesetvassdraget (Førland et al., 2009). Dette fører til at det akkumuleres mer snø i Isfjordområdet enn på Mitrahalvøya/Diesetvassdraget (Jack Kohler, NP, pers. medd.), noe som kan kompensere for den positive effekten høy lufttemperatur har for isgangen (Vavrus et al., 1996). Dette underbygges av at sommerveksten hos røya både i Dieset-, og spesielt Linnévassdraget, viser en negativ korrelasjon med massebalansen, dvs. mengden akkumulert snø i april/mai. Dette skyldes trolig at år med høy massebalanse i april/mai, vil gi en sterk albedoeffekt som forsinker isgangen (Vavrus et al., 1996). Den forsinkte isgangen gjør at den isfrie perioden hvor innsjøene kan varmes opp blir kortere. Dermed blir også vanntemperaturen og/eller den totale varmesummen lavere i år med høy massebalanse enn i år med lite snø og antatt tidlig isgang (Vavrus et al., 1996, Stefan et al., 1998). Den negative effekten av mye akkumulert snø om våren for tilvekst hos fisk er godt dokumentert hos røye i innsjøer på Øst-Grønland (Christoffersen et al., 2008), og hos aure i Litlosvatnet på Hardangervidda (Borgstrøm, 2001). Siden lengden på vekstsesongen allerede er kort på Svalbard, vil selv små endringer i varigheten av isdekket som følge av mye snø trolig ha spesiell sterk betydning for den årlige tilveksten (Svenning et al., 2008). Resultatene våre fra Svalbard indikerer derfor at i arktiske områder hvor lufttemperaturen generelt er lav og mye av nedbøren faller som snø, vil økende nedbør kunne forsinke issmeltingen og gi lavere vekst hos fisken i sommersesongen.

Mengden av akkumulert snø hadde en større negativ effekt på kroppsveksten hos røya i Linnévassdraget enn hos røya i Diesetvassdraget, noe som kan skyldes at årlig nedbør i Isfjord er om lag 100 mm høyere (30 %) enn i Ny-Ålesund (Førland et al., 2009). Selv om nedbørsmålinger generelt er noe usikre (Nordli et al., 1996), gir de allikevel enn relativt god pekepinn på forskjellen i nedbørsmengden mellom de to lokalitetene, Isfjord og Ny-Ålesund (Førland et al., 2009).

Når massebalanse (mengde akkumulert snø) korreleres med lufttemperatur ved Isfjord radio, ser man at massebalansen er "lav" både ved lave og høye vintertemperaturer, mens den er høyest ved intermediære temperaturer. Dette skyldes trolig at ved lave lufttemperaturer er det tørt vær med lite nedbør, mens ved høye temperaturer kommer mye av nedbøren som regn og lite snø akkumuleres (Hanssen-Bauer, 2005). Ved en intermediær lufttemperatur derimot, er det varmt nok til at det kommer nedbør, og kaldt nok til at det meste kommer som snø, noe som gir en høy massebalanse. Dette betyr at i arktiske områder hvor vintertemperaturen generelt er lav, vil selv små økninger av gjennomsnittstemperaturen om vinteren gi økt nedbør, senere isgang og redusert tilvekst hos fisken.

4.3 Vekstforskjeller hos Svalbardrøye ved ulike breddegrader

Temperaturmålingene på Phippsøya i perioden 1991-97 viser at Arkvatna ligger i et område med om lag 4-7°C lavere vintertemperaturer og 3-4°C lavere sommertemperatur enn Isfjord Radio og Ny-Ålesund (Jack Kohler, NP, upubliserte data). Det kalde klimaet gjenspeiler seg i de fysiske forholdene i Arkvatna, hvor isen i mange år bare smelter delvis, eller ikke i det hele tatt, noe som gir kort eller ingen isfri periode, samt svært lave vanntemperaturer i innsjøen også sommerstid. I mange av disse åra vil utløpselva mest sannsynlig ha så lav vannføring, eller "åpne" så sent, at anadrom fisk ikke kan vandre ut i saltvann (Svenning, 2001). Disse ekstreme forholdene vil gi derfor trolig gi lav ungfiskevekst som følge av lav vanntemperatur, og ofte dårlige vandringsmuligheter ut til sjøen for sjørøya (Svenning, 2001). Dårlige vandringsmuligheter og sein vekst gir høy alder ved første smoltifisering (ca 10 år) og dårlig lengdevekst for fisk i alderen 5 til 10 år (Svenning, 2001). Resultatene fra dette masterstudiet viser også tydelig at Arkvatnrøya har en lav vekstrate. Røyeotolittene fra Arkvatnrøya har signifikant smalere sommersoner (alle fem første sommersonene; S0, S1, S2, S3 og S4) enn otolitter fra røye fanget i Dieset- og Linnévassdraget, noe som dokumenterer at ungfisken i Arkvatna vokser vesentlig saktere enn ungfisken i de to andre vassdraga. Også størrelsen hos 5-11 år gammel røye fanget i Arkvatna, var signifikant mindre enn Dieset- og Linnérøya. Den store forskjellen i kroppsstørrelse skyldes også at røye fra Dieset- og Linnévassdraget allerede ved 5-årsalderen har nådd smoltalderen og kan ha gjennomført flere sjøvandring, mens de yngste førstegangsvandrerne i Arkvatn er 10 år gamle (Svenning, 2001, Svenning og Gullestad, 2002, Svenning et al., 2007).

Til tross for at Diesetvassdraget ligger 140 km nord for Linnévassdraget, vokste røya fra Diesetvassdraget bedre enn røya fra Linnévassdraget. Dette kan skyldes høyere tilgang på byttedyr og/eller høyere vanntemperatur i Diesetvassdraget. I Søndre Diesetvatn ble det målt vanntemperaturer på oppunder 6°C (Lund, 1983), mens Bøyum og Kjensmo (1978) ikke registrerte vanntemperaturer over 4°C i Linnévatn. I 2007 var det imidlertid svært små forskjeller i vanntemperatur gjennom året i de to innsjøene, men det finnes ingen historiske målinger som kan bekrefte hvorvidt vanntemperaturen generelt sett er høyere i en av innsjøene (Martin-A. Svenning, NINA, pers. medd.). Linnévatnet er en større innsjø med et større vannvolum enn Diesetvatna (Bøyum og Kjensmo, 1978, Lund, 1983), og det kreves derfor trolig mer varmeenergi for å øke vanntemperaturen i Linnévatnet (Wetzel, 2001). I tillegg er Linnévatn omgitt av bratte fjell, som i følge Bøyum og Kjensmo (1978) vil skjerme for mye av solinnstrålingen. Dette kan bidra til redusert varmetilførsel/strålingsenergi fra sola, og dermed lavere energitilførselen til Linnévatnet (Bøyum og Kjensmo, 1978).

4.4 Mulige framtidige utviklingstrekk for fiskesamfunnene på Svalbard

I løpet av det 21. århundre er det venta en gjennomsnittlig årlig lufttemperaturøkning på 6-8°C i området rundt Nordaustlandet, og en økning på om lag 3-4°C ved Vest-Spitsbergen (Førland et al., 2009). En såpass høy temperaturøkning kan ha en positiv effekt for årlig tilvekst hos røya i alle tre vassdraga. Arkvatna vil trolig få lufttemperaturer som likner mer på det man ser på Vest-Spitsbergen i dag, og det er derfor rimelig å anta at også fiskesamfunnet i innsjøen vil få en liknende utvikling mot dagens fiskesamfunn i Dieset- og Linnévassdraget. Økt temperatur kan også tenkes å gi ytterligere økt tilvekst – spesielt hos røye i Diesetvatna – men også til en viss grad i Linnévatnet (forutsatt tilstrekkelig med føde). Basert på resultatene fra dette masterstudiet vil Diesetrøya få den største økningen i tilvekst siden det er den som viser best korrelasjon på lengdevekst i forhold til lufttemperatur. Økt vekst som følge av høyere vanntemperaturer, forutsetter at det er nok byttedyr for å kompensere for den økte metabolismen (Kristensen et al., 2006). Tar man i betraktning at innsjøene på Svalbard er blant de mest næringsfattige og minst produktive i verden (Lund, 1983), kan det tenkes at den betydelige lufttemperaturøkningen som er venta i utover det 21. århundre, vil gi en for høy metabolisme hos røya i forhold til næringstilbudet i en del av innsjøene. Kanskje røya i de kystnære innsjøene med mye marin næringstilførsel fra sjøfugl (Svenning et al., 2004) vil oppleve kraftig vekstøkning dersom lufttemperaturene øker. Gjennom hele det 20. århundre,

har imidlertid også nedbøren økt i Arktis, og denne økningen er også forventet å øke i framtida (Hanssen-Bauer, 2005, Førland et al., 2009). Høyt til fjells og på høye breddegrader, som på Svalbard, vil mye av den ekstra nedbøren komme som snø (Borgstrøm, 2001). Resultatene våre fra dette studiet viser også at akkumulering av snø kan ha en negativ effekt på tilveksten hos røya. Dersom mye av den antatt økte nedbøren faller som snø, vil dette trolig dempe for den positive effekten økt lufttemperatur trolig vil ha på kroppsveksten hos røya på Svalbard. Av de tre undersøkte vassdraga i dette studiet, vil trolig Linnévasdraget bli mest påvirket av nedbør, siden det ligger i det mest nedbørsrike området av de tre undersøkte vassdraga.

5. Konklusjon

Det ble funnet en sterk signifikant positiv korrelasjon mellom vinter- og sommerlufttemperaturene målt på Isfjord Radio og tilveksten hos ung røye i Diesetvassdraget. Det ble funnet en tilsvarende sammenheng hos Linnérøya, dog var korrelasjonen noe svakere. Høy vinterlufttemperatur gir trolig tynnere is som tiner raskere, noe som igjen fører til lengre isfri periode, samt at ytterligere høyere lufttemperatur om sommeren gir høyere vanntemperatur og dermed potensiell bedre tilvekst hos fisken.

År med mye akkumulert snø på isen i april/mai ga dårligere vekst hos Dieset-, og spesielt Linnérøya. Dette skyldes trolig at snøens albedoeffekt forsinker issmeltingen, og dermed vil år med mye snø gi sein issmelting og kortere vekstsesong for røya. At den sterkeste effekten ble observert hos Linnérøya skyldes trolig at Linnévassdraget ligger i et mer nedbørsrikt område hvor det kommer mer snø enn i områdene ved Diesetvassdraget.

Arkvatnrøya vokste vesentlig dårligere enn både Dieset- og Linnérøya, trolig fordi lufttemperaturen er vesentlig lavere på Nordaustlandet og dermed fører til tykkere is, senere isgang og lavere vanntemperaturer i innsjøen sommerstid, sammenlignet med Linné- og Diesetvatna. Diesetrøya vokste bedre enn Linnérøya, til tross for at Diesetvassdraget ligger 140 km nord for Linnévassdraget. Den lave tilveksten hos Linnérøya kan skyldes lavere fødetilbud og/eller lavere vanntemperatur i Linnévatnet.

Jeg konkluderer derfor med følgende:

- Varme vintre gir trolig tynnere is, raskere isgang og dermed en lengre isfri periode med oppvarming av innsjøen. Dette gir en positiv effekt for lengdevekst hos Linné- og spesielt Diesetrøya.
- Varme somre gir høyere vanntemperaturer som er positivt for veksten hos Linné- og spesielt Diesetrøya.
- Mye snø gir sein isgang og motvirker for noe av den positive effekten av økt lufttemperatur for Dieset- og spesielt Linnérøya.
- Som følge av et kaldere klima, har Arkvatnrøya dårligere vekst enn Dieset- og Linnérøya.

6. Referanser

- Abramoff, M., Magalhaes, P. & Ram, S. (2004) Image processing with ImageJ. *Biophotonics International*, **11**, 36-43.
- Borgstrøm, R. (2000) Bestandsanalyser - Alder, vekst og dødelighet. *Fisk i ferskvann - et samspill mellom bestander miljø og forvaltning* (eds R. Borgstrøm & L. Hansen), pp. 179-193. Landbruksforlaget, Oslo.
- Borgstrøm, R. (2001) Relationship between spring snow depth and growth of brown trout, *Salmo trutta*, in an alpine lake: Predicting consequences of climate change. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, **33**, 476-480.
- Bøyum, A. & Kjensmo, J. (1978) Physiography of Lake Linnevatn, Western Spitsbergen. *Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Limnologie*, **20**, 609-614.
- Campana, S. (1999) Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*, **188**, 263-297.
- Christoffersen, K. S., Amsinck, S. L., Landkildehus, F., Lauridsen, T. L. & Jeppesen, E. (2008) Lake flora and fauna in relation to ice-melt, water temperature and chemistry at Zackenberg. *High-Arctic Ecosystems Dynamics in a Changing Climate* (eds H. Meltofte, T. Christensen, B. Elberling, M. Forchhammer & M. Rasch), pp. 371-389. Academic Press, London.
- Duguay, C., Prowse, T., Bonsal, B., Brown, R., Lacroix, M. & Menard, P. (2006) Recent trends in Canadian lake ice cover. *Hydrological Processes*, **20**, 781-801.
- Ebne, I. (2009) *Foreløpig ingen tittel*. Mastergradsoppgave, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap på Ås.
- Fang, X. & Stefan, H. (1998) Potential climate warming effects on ice covers of small lakes in the contiguous US. *Cold Regions Science and Technology*, **27**, 119-140.
- Førland, E., Benestad, R., Flatøy, F., Hanssen-Bauer, I., Haugen, J., Isaksen, K., Sorteberg, A. & Ådlandsvik, B. (2009) Climate development in North Norway and the Svalbard region during 1900-2100. *Norsk Polarinstitutt, rapport nr. 128*, pp. 43.
- Gullestad, N. (1975) On the biology of char (*Salmo alpinus* L.) in Svalbard. I. Migratory and non-migratory char in Revvatnet, Spitsbergen. *Norsk Polarinstitutt - Årbok 1973* pp. 125-140. Universitetsforlaget, Oslo.
- Gulseth, O. & Nilssen, K. (2001) Life-history traits of charr, *Salvelinus alpinus*, from a high Arctic watercourse on Svalbard. *Arctic*, **54**, 1-11.
- Hammar, J. (1982) Röding i Arktis. *Fauna och Flora*, **77**, 85-92.
- Hammar, J. (1985) The geographical distribution of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* (L.)) species complex in Svalbard. *ISACF Information Series*, **3**, 29-37.
- Hammar, J. (1989) Freshwater ecosystems of polar regions: vulnerable resources. *Ambio*, **18**, 6-22.
- Hammar, J. (1991) Speciation processes in the high Arctic: hardly as simple as the environment might suggest. *ISACF Information Series*, **5**, 73-88.
- Hansen, J. & Overrein, Ø. (2000) Røye på Svalbard og Jan Mayen. En statusoversikt med vekt på forvaltningsrelaterte kunnskapsbehov. *Norsk Polarinstitutt, rapport nr. 114*, pp. 42.
- Hansen, T. (1983) *Bunnfaunastudier i et vassdrag på Svalbard*. Hovedfagsoppgave, Universitetet i Oslo.
- Hanssen-Bauer, I. (2005) Climate variation in the European sector of the Arctic: Observations and scenarios. *Arctic Alpine Ecosystems and People in a Changing Environment* (eds J. Ørbæk, R. Kallenborn, I. Tombre, E. Nøst Hegseth, S. Falk-Petersen & A. Hoel), pp. 39-50. Springer, Berlin.

- Hanssen-Bauer, I., Forland, E., Haugen, J. & Tveito, O. (2003) Temperature and precipitation scenarios for Norway: comparison of results from dynamical and empirical down-scaling. *Climate Research*, **25**, 15-27.
- Hegseth, H. (2007) *Lengde, vekst og diett hos røyeparr (Salvelinus alpinus) på elv og i innsjø i tre vassdrag på Svalbard*. Mastergradsoppgave, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap på Ås.
- Hisdal, V. (1998) Weather conditions. *Svalbard - Nature and History* (ed V. Hisdal), pp. 33 - 44. Gjøvik Trykkeri As, Gjøvik.
- Huntington, T., Hodgkins, G. & Dudley, R. (2003) Historical trend in river ice thickness and coherence in hydroclimatological trends in Maine. *Climatic Change*, **61**, 217-236.
- Jensen, K. (1977) On the dynamics and exploitation of the population of brown trout, *Salmo trutta* L. in lake Øvre Heimdalsvatn, southern Norway. *Report of Institute of Freshwater Research, Drottningholm*, **10**, 18-69.
- Jobling, M. (1983) Influence of body weight and temperature on growth rates of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.). *Journal of Fish Biology*, **22**, 471-475.
- Kanstad Hansen, Ø. (1996) *Endring i tetthet og vekst hos sympatrisk ørret (Salmo trutta L.) i Møkkelandsvatnet, Harstad, etter utfisking av røye (Salvelinus alpinus (L.))*. Hovedfagsoppgave, Universitetet i Tromsø.
- Kattsov, V., Källén, E., Cattle, H., Christensen, J., Drange, H., Hanssen-Bauer, I., Jóhannesen, T., Karol, I., Räisänen, J. & Svensson, G. (2005) Future climate change: Modeling and scenarios for the Arctic. *Arctic Climate Impact Assessment* pp. 99-150.
- Klemetsen, A., Knudsen, R., Staldvik, F. & Amundsen, P. (2003) Habitat, diet and food assimilation of Arctic charr under the winter ice in two subarctic lakes. *Journal of Fish Biology*, **62**, 1082-1098.
- Kristensen, D., Jørgensen, T., Larsen, R., Forchhammer, M. & Christoffersen, K. (2006) Inter-annual growth of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*, L.) in relation to climate variation. *BMC Ecology*, **6**.
- Kristoffersen, K. & Klemetsen, A. (1991) Age determination of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) from surface and cross section of otoliths related to otolith growth. *Nordic Journal of Freshwater Research*, **66**, 98-107.
- Larsson, S., Forseth, T., Berglund, I., Jensen, A., Naslund, I., Elliott, J. & Jonsson, B. (2005) Thermal adaptation of Arctic charr: experimental studies of growth in eleven charr populations from Sweden, Norway and Britain. *Freshwater Biology*, **50**, 353-368.
- Livingstone, D. (1997) Break-up dates of Alpine lakes as proxy data for local and regional mean surface air temperatures. *Climatic Change*, **37**, 407-439.
- Lund, T. (1983) *Hydrografi og fytoplanktonproduksjon i et brepåvirket vassdrag på Svalbard*. Hovedfagsoppgave, Universitetet i Oslo.
- Nikon (1991-2006) NIS-Elements F 2.20. Nikon.
- Nordeng, H. (1961) On the biology of char (*Salmo alpinus* L.) in Salangen, North Norway - I. Age and spawning frequency determined from scales and otoliths. *Nytt Magasin for Zoologi*, **10**, 67-123.
- Nordli, P., Hanssen-Bauer, I. & Førland, E. (1996) Homogeneity analyses of temperature and precipitation series from Svalbard and Jan Mayen. pp. 1-41. DNMI - Klima.
- Norsk-Polarinstitutt (1955) S100 B9, Isfjorden. Norsk Polarintstitutt.
- Norsk-Polarinstitutt (1987) S100 A6, Krossfjorden. Norsk-Polarinstitutt.
- Primicerio, R. (2000) Seasonal changes in vertical distribution of zooplankton in an oligotrophic, subarctic lake (lake Takvatn, Norway). *Limnologica*, **30**, 301-310.
- R-Development-Core-Team (2007) R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Foundation of Statistical Computing, Wien.

- Rasband, W. (1997-2008) ImageJ. U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland.
- Stefan, H., Fang, X. & Hondzo, M. (1998) Simulated climate change effects on year-round water temperatures in temperate zone lakes. *Climatic Change*, **40**, 547-576.
- Svenning, M. (1992a) Fiskeribiologiske undersøkelser i røyevassdrag på Svalbard (Spitsbergen) i perioden 1987-90., pp. 66.
- Svenning, M. (1992b) Sea water migration of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) - correlation between freshwater growth and seaward migration, based on back-calculation from otoliths. *Nordic Journal of Freshwater Research*, **67**, 18-26.
- Svenning, M. (1993) *Life history variations and polymorphism in Arctic charr, Salvelinus alpinus* (L.), on Svalbard and in northern Norway. Doctor scientiarum, Norges Fiskerihøgskole, Universitetet i Tromsø.
- Svenning, M. (2001) Røyeotolitten (øresteinen) som ferdskriver hos Svalbardrøye. *Ottar*, pp. 25-33. Tromsø Museum - Universitetsmuseet, Tromsø.
- Svenning, M., Godiksen, J. & Bjørnvik, E. (2008) Svalbardrøya arkiverer historiske klimadata. *Ottar*, pp. 73-77. Tromsø museum - Universitetsmuseet, Tromsø.
- Svenning, M. & Gullestad, N. (2002) Adaptations to stochastic environmental variations: The effects of seasonal temperatures on the migratory window of Svalbard Arctic charr. *Environmental Biology of Fishes*, **64**, 165-174.
- Svenning, M., Klemetsen, A. & Christensen, G. (2004) Røya i Ellasjøen. Full av PCB, men har det noen negativ effekt? *Ottar*, pp. 66-71. Tromsø Museum - Universitetsmuseet Tromsø.
- Svenning, M., Klemetsen, A. & Olsen, T. (2007) Habitat and food choice of Arctic charr in Linnevatn on Spitsbergen, Svalbard: the first year-round investigation in a high Arctic lake. *Ecology of Freshwater Fish*, **16**, 70-77.
- SYSTAT, I. (2004) SYSTAT 11. SYSTAT Software Inc.
- Vavrus, S., Wynne, R. & Foley, J. (1996) Measuring the sensitivity of southern Wisconsin lake ice to climate variations and lake depth using a numerical model. *Limnology and Oceanography*, **41**, 822-831.
- Wetzel, R. (2001) Fate of heat. *Limnology* (ed R. Wetzel), pp. 71-92. Saunders College Publishing, Philadelphia.
- Wrona, F., Prowse, T., Reist, J., Hobbie, J., Lévesque, L. & Vincent, W. (2006) Climate impacts on arctic freshwater ecosystems and fisheries: Background, rationale and approach of the Arctic Climate Impact Assessment (ACIA). *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, **35**, 326-329.
- Zar, J. (2007) *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA.