

Endring i forekomst av blåskjell (*Mytilus edulis*) i Oslofjorden

- Analyse av populasjoner over tid og mulige årsaker til variasjon

Helena Nøland



Masteroppgave

Seksjon for akvatisk biologi og toksikologi

Institutt for biovitenskap

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

Dato: 18.08.21

Sammendrag

I løpet av de siste ti årene har det vært rapportert en omfattende nedgang av blåskjell i Oslofjorden. Dette har blitt meldt fra både kystbefolkning og hytteeiere, men også fra forskere. Nedgangen i blåskjell er en trend man også har observert i andre land rundt Nord-Atlanteren, som Frankrike, Scotland, Danmark og USA. I Norge har det til nå vært forsket lite på den naturlige forekomsten av blåskjell og det foreligger ikke publiserte studier som har fulgt variasjonen i blåskjellpopulasjoner over tid. Slike tidsserier er viktige for å skille naturlig variasjon fra en faktisk nedgang i blåskjellforekomst og for å forstå hva endringer skyldes. Det er også mange spekulasjoner og teorier om hvorfor blåskjellene i Oslofjorden har hatt en nedgang, men det er fremdeles ikke enighet om årsaken til dette.

For å undersøke en mulig endring i forekomst av blåskjell i Oslofjorden, har jeg analysert data fra to nasjonal overvåkningsprogram for marine økosystemer i Norge, ØKOKYST og Lange Tidsserier. Analysen viser at det har vært en nedgang i forekomst av adulte blåskjell, men ikke juvenile. Dette ble også observert under felteksperimenter i Indre Oslofjord. Både under snorkeltransekt og på stasjoner for eksperimenter ble det observert nedslag av juvenile skjell. At det ikke er en nedgang i forekomst av juvenile blåskjell kan tyde på at det ikke er abiotiske faktorer, men heller biotiske faktorer som er årsaken til nedgangen. Overvåkning av vannparametere i Oslofjorden tilsier heller ikke endringer som er utenfor blåskjells preferanser for vekst og trivsel.

I denne studien ble det satt opp felteksperimenter i Indre Oslofjord for å avdekke om biotiske faktorer, som predasjon, kunne være en mulig årsak. Eksperimentene bestod av blåskjell som ble plassert på ulike steder i tidevannssonen for å gjøre skjellene tilgjengelige for ulike predatorer. Eksperimentene inkluderte også kontroller der blåskjell ble plassert i bur som hang i vannmassene. Formålet var her at burene skulle stenge ute predatorer. Eksperimentene viste at blåskjellene ble borte nokså raskt. På det meste ble skjellene rensket vekk over natten. Under besøk av eksperimentene har flere arter som man vet beiter på blåskjell blitt observert. Forekomsten av disse predatorene kan ha påvirket blåskjellenes overlevelse negativt, både på adult, juvenilt og larvestadiet, gjennom et høyt predasjonspress. Kontrollene i eksperimentene klarte seg fint, hadde lav dødelighet og god vekst. Dette kan tilsa at det ikke er sykdom eller abiotiske faktorer som er grunnen til nedgangen i blåskjellforekomst.

Anerkjennelse

En toårig mastergrad ved seksjon for akvatisk biologi og toksikologi (AQUA) under institutt for biovitenskap ved Universitetet i Oslo, avsluttes med denne oppgaven. Oppgaven har vært gjennomført i samarbeid med Norsk Institutt for Vannforskning, NIVA.

Aller først må jeg få takket veilederne mine. Min hovedveileder Camilla With Fagerli og biveileder Trine Bekkby samt internveileder Stein Fredriksen ved UiO har alle tre vært fantastiske. Jeg har utelukkende blitt møtt med godt humør og stå-på-vilje under hele graden. Rådgivning, veiledningen og innsatsen deres har vært upåklagelig og jeg er veldig takknemlig for å ha vært under deres vinger. Dere har stilt opp i felt og lest gjennom masteroppgaven tidlig og sent, i ferier og helligdager. Jeg har virkelig ingenting å utsette på deres hjelp.

Jeg vil også takke alle jeg har møtt og som har hjulpet meg med masteroppgaven på NIVA. Takk til Camilla, Lise, Norman og Maia og Guri som jeg var så heldig å få være sammen med i felt under delprogrammet ØKOKYST Skagerrak. Lange, fullspekkede dager i felt med godt humør, gode diskusjoner og samtaler var både lærerikt og morsomt å få være med på. Det må også gis en spesiell takk til Hege Gundersen for all hjelp, spesielt med analyse av data. Din hjelp har vært uvurderlig og jeg er så takknemlig for all tid og engasjement du har lagt ned for å hjelpe meg. For ikke å nevne tålmodigheten din når du har lært med R studio.

Prosjektet har krevd opptil ukentlige kontroller av felteksperimenter og jeg vil gi en stor takk til familie og venner som har blitt med og hjulpet til. Denne masteroppgaven hadde ikke vært like gøy å gjennomføre om det ikke hadde vært for dere. En spesiell takk til mamma som troner med flest dager som selvutnevnt beste feltassistent. Jeg vil også takke for all støtte jeg har fått av dere alle og for at dere virker interesserte når jeg maser i vei om blåskjell.

Så vil jeg takke alle mine medstudenter for to flotte år som masterstudenter sammen. Det har vært en fryd å være sammen med dere. Fra å sitte på lesesal sammen til å være på feltkurs. Dere er en topp gjeng.

Helt til slutt vil jeg rette en takk til Tore Strohmeier og Eivind Strand fra HI som lot meg være med i felt på kartlegging av blåskjellforekomst i Oslofjorden i juni 2021. Dette var både lærerikt og gøy å få være med på og samtaler med dere ga gode innspill til masteroppgaven.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. Introduksjon	7
1.1 Studieområde: Tidevannsonen.....	7
1.2 Studieorganisme: Blåskjell (<i>Mytilus edulis</i>).....	8
1.2.1 Livshistorie og Miljøtilpasning.....	8
1.2.2 Blåskjells rolle i tidevannsonen.....	10
1.2.3 Blåskjell som høstbar ressurs.....	10
1.2.4 Utbredelse.....	11
1.3 Nedgang i forekomst og mulige årsaker til dette.....	13
1.3.1 Abiotiske faktorer og stress som påvirker blåskjellforekomst.....	14
1.3.2 Biotiske faktorer.....	14
1.4 Mål for studie.....	15
2. Materiale og metoder	17
2.1 Data fra ØKOKYST og Lange tidsserier.....	17
2.2 Snorkeltransekt.....	19
2.3 Felteksperimenter i tidevannssonen - Eksperimentoppsett.....	20
2.3.1 Blåskjell i strandsonen.....	21
2.3.2 Blåskjell i vannmassene.....	22
2.3.3 Blåskjell i vannmassene, under brygge.....	22
2.3.4 Blåskjell i bur (Kontroll).....	23
2.4 Felteksperimenter i tidevannssonen - Stasjoner.....	23
2.5 Eksperimenter med juvenile skjell – nedslag og overlevelse.....	29
2.5.1 Rekrutteringstest: Nedslag på tau.....	29
2.5.2 Test av overlevelse og vekst.....	29
2.6 Statistisk analyse.....	30
2.6.1 ØKOKYST og Lange Tidsserier.....	31
2.6.2 Felteksperimenter i tidevannssonen.....	31
2.6.3 Eksperimenter med juvenile skjell – nedslag og overlevelse.....	32

3. Resultater	33
3.1 ØKOKYST og Lange tidsserier.....	33
3.1.1 Analyse av data fra ØKOKYST og Lange Tidsserier.....	34
3.2 Snorkeltransekt.....	35
3.3 Eksperimenter i tidevannssonen	36
3.3.1 Analyse av data fra felteksperimenter i Tidevannssonen	36
3.3.2 Blåskjell i strandsonen	39
3.3.3 Pelagialreplikater	40
3.3.4 Blåskjell i vannmassene, Under brygge	41
3.3.5 Kontrollreplakter.....	42
3.3.6 Vekst hos skjellene	43
3.4 Eksperimenter med juvenile skjell – nedslag og overlevelse	44
3.4.1 Rekrutteringstest: Nedslag på tau.....	44
3.4.2 Test av overlevelse og vekst	44
4. Diskusjon	45
4.1 Kort oppsummering av resultater.....	45
4.1.1 ØKOKYST og Lange Tidsserier.....	45
4.1.2 Felteksperimenter.....	45
4.2 Vurdering av studiespørsmål og mulige årsaker til observerte mønstre	45
4.2.1 Endringer i blåskjellforekomst over tid.....	45
4.2.2 Mulige årsaker til nedgang i forekomst av blåskjell	46
4.2.3 Hvordan blåskjell klarer seg gjennom en årssyklus på ulike steder i tidevannssonen?	48
4.2.4 Kan årsaken til den eventuelle nedgangen i blåskjell, <i>Mytilus edulis</i> , skyldes økt konkurranse eller predasjonspress?	48
4.3 Usikkerheter, feil, mangler, begrensinger	50
4.4 Forbedringer og Anbefalinger til videre Studier	52
5. Konklusjon	53
6. Referanseliste.....	54
Vedlegg 1 - Tidvis tilgroing av replikatene med blåskjell	61

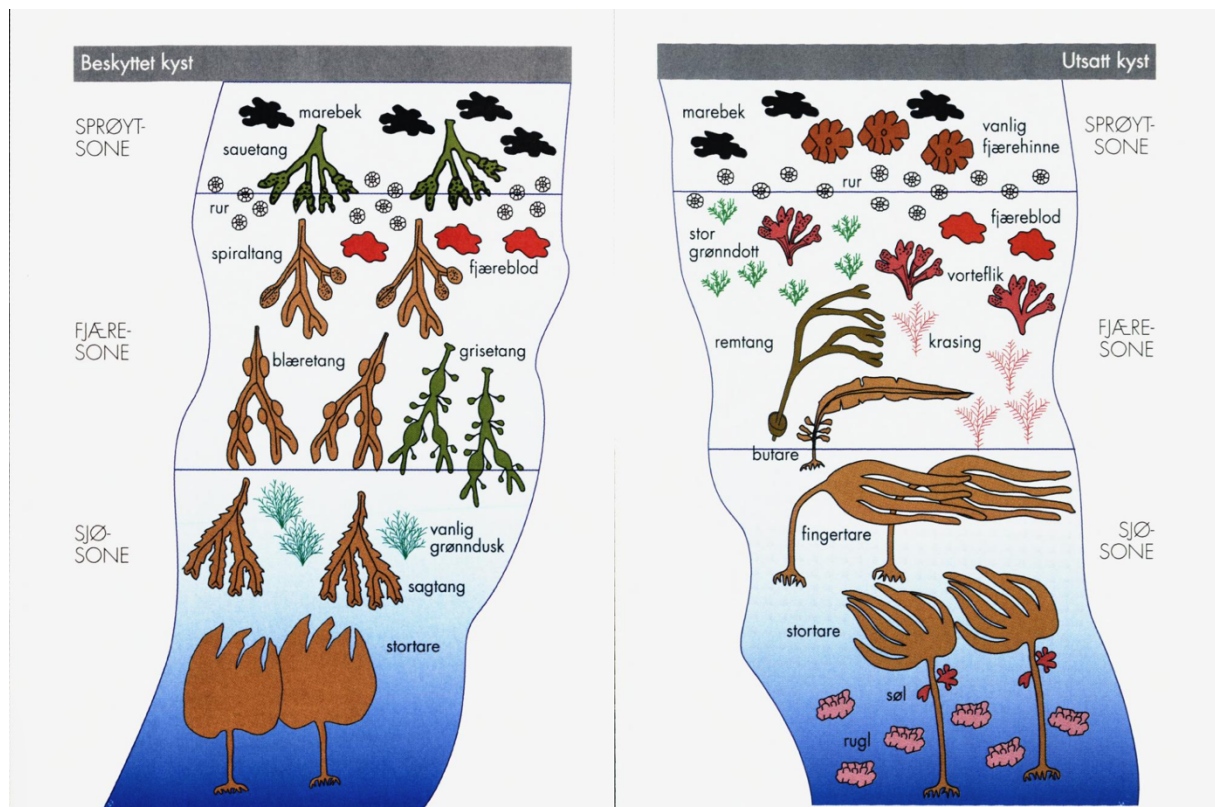
Vedlegg 2 - Vekst av blåskjell i kontrollreplikater for tidevannseksperimentene	63
Vedlegg 3 - R-Script for ØKOKYST og Lange tidsserier.....	68
Vedlegg 4 - R-script for tidevannseksperimenter.....	86

1. INTRODUKSJON

1.1 STUDIEOMRÅDE: TIDEVANNSONEN

Tidevannssonen, ofte bedre kjent som fjæra, defineres av det høyeste gjennomsnittlige nivået av høyvann, flo, og det laveste gjennomsnittlige nivået av lavvann, fjære (Kaiser et al., 2011). Man kan også definere fjæra ut fra artene som lever her, der øvre grense bestemmes av hvor høyt ruren (*Balanus balanoides*) sitter, mens nedre grense settes der man finner sagtang (*Fucus serratus*) (UiO, 2018). I tidevannssonen finner vi typisk alger, rur og andre krepsdyr, snegler, skjell og blant disse blåskjell (Moen & Svensen, 2020). Kontinuerlig endring i vannstand gjør at artene som lever i tidevannssonen må ha generelt god toleranse for temperatur- og salinitetsendringer, bølgeaktivitet og tørrlegging (Paine & Levin, 1981). Selv om mange arter er mobile og kan bevege seg rundt, slik som snegler og krepsdyr, er også mange av artene i tidevannssonen sessile, som vil si at de sitter fast og ikke kan bevege seg bort fra tørke, predatorer og andre stressfaktorer (Westerbom & Jattu, 2006).

Forekomsten og fordelingen av arter i tidevannssonen er et resultat hvordan de ulike artene takler de ulike stressfaktorene og hvor konkurransedyktige de er. Jo høyere opp de sitter jo mindre er konkurransen, men jo mer utsatt er de for stress som tørke, endring i temperaturer og salinitet. Konstant endring i stressfaktorer, konkurranse og predasjon gjør at artene i fjæra hele tiden kjemper om plass og gir en slags mosaikklignende formasjon som er i konstant forandring (Paine & Levin, 1981). Plass er den begrensende faktoren i tidevannssonen og så fort en sessil organisme dør og forsvinner vil plassen bli okkupert av nye organismer, noe som gir en uforutsigbar dynamikk mellom artene. Tidevannssonens artssammensetning er også i stor grad påvirket av om det er en eksponert eller beskyttet lokalitet (Moen & Svensen, 2020) (se Figur 1). Spesielt vegetasjonen påvirkes av bølgeeksponering grunnet den mekaniske slitasjen dette medfører (Kaiser et al., 2011). I Oslofjorden vokser ofte spiraltang (*Fucus spiralis*) øverst i fjæra, deretter følger blæretang (*Fucus vesiculosus*), grisetang (*Ascophyllum nodosum*) og gjelvtang (*Fucus evanescens*) og helt nederst finner vi sagtang (*Fucus serratus*) (Kroglund et al., 2017).



Figur 1: Sonering av de ulike artene i tidevannssonen, basert på om det er en beskyttet eller eksponert kyst. (Figur hentet fra Rueness and Knispel (1998).

1.2 STUDIEORGANISME: BLÅSKJELL (MYTILUS EDULIS)

1.2.1 LIVSHISTORIE OG MILJØTILPASNING

Vanlige blåskjell, *Mytilus edulis*, er en filtrerende musling som tilhører orden Mytiloida (Moen & Svensen, 2020). *Mytilus edulis* gyter normalt to ganger i året; vår og tidlig høst (Newell & Moran, 1989). Tid for reproduksjon varierer mellom årene og styres primært av fødetilgang, men også av vanntemperatur (Beyer et al., 2017). Gyting er dermed knyttet til planteplanktonoppblomstringen og i Oslofjorden kan man derfor forvente rekruttering av juvenile blåskjell både under vår- og høstoppblomstring (Bøhler, 1964; Paasche, 2005; Beyer et al. 2017). Under gyting frigir blåskjell 5-10 millioner egg ut i vannmassene (Moen & Svensen, 2020).

Blåskjell er en type meroplankton, noe som innebærer at de både har pelagisk og bentiske livsstadier. De har to planktoniske stadium og slår seg ned to ganger i løpet av livssyklusen. Første nedslag skjer rett etter at planktoniske blåskjellarver har utviklet foten sin, som gjør det mulig for dem å bevege seg over overflater og de fester seg med byssustråder til f.eks. større alger. Antagelig kan det primære nedslaget forklares av

tilgangen til plass og mat fordi konkurransen om ressursene er lavere på tangen enn i blåskjellbankene blant større skjell (Newell & Moran 1989). Når de juvenile skjellene har nådd omtrent 1-1,5mm, frigir de seg på nytt til planktonisk stadie for så å slå seg ned en andre gang. Denne gangen fester de seg som regel på mer stabile substrater som berg, stein, brygger eller andre skjell og blir en del av en klynge eller større bank med skjell (Newell & Moran, 1989).

Mytilus edulis kan bli over 20 år gamle og skjellene har blitt målt opptil 10 cm, men normalt sett vil man sjeldent finne skjell større enn 8cm eller eldre enn 10 år (Beyer et al., 2017). De spiser i hovedsak planteplankton, men også dyreplankton, bakterier og detritus (organisk partikulært materiale) som de filtrerer fra vannmassene ved å pumpe vannet over gjellene sine (Lesser et al., 2010).

Som en art som lever i tidevannsonen er *Mytilus edulis* en generalist som tåler relativt store endringer i temperatur og salinitet, samt at de tåler både tørrelegging og bølgeeksponering godt (Beyer et al., 2017; Lesser et al., 2010). For at blåskjellene skal unngå uttørking når de er ute av vannet og eksponeres for luft, lukker de skjellene sine og senker respirasjonen (Coleman & Trueman, 1971). På denne måten stenger de vannet inne mellom skjellene sine og den lave respirasjonen gjør at de forbruker oksygenet i vannet saktere (Widdows et al., 1979). Studier har vist at blåskjell kan gjøre flere fysiologiske endringer for å tilpasse seg abiotisk og biotisk stress som predasjonstrykk og hetebølger (Lesser et al., 2010). Mot predasjon kan blåskjellene danne tykkere skjell eller produsere kjemikaler som skal holde predatorer unna (Suchanek, 1978). Mot endring, som varmere vann eller utsettelse for hetebølger har blåskjellene spesielle varmesjokkproteiner – HPS70 som beskytter dem (Lesser et al., 2010). Disse proteinene har vist seg å forekomme i større konsentrasjoner hos skjell som ble undersøkt høyere opp i tidevannsonen der skjellene blir utsatt for både direkte sollys og varmere overflatevann, enn lengre ned der forholdene er mer stabile (Lesser et al., 2010). Derimot har studier vist at blåskjell tåler frost og isskuring dårlig, og dette kan føre til at skjellene dør (Andersen et al., 2016).

1.2.2 BLÅSKJELLS ROLLE I TIDEVANNSONEN

Blåskjell er en viktig art i økosystemet i tidevannsonen (Staalstrøm et al., 2020; Newell & Moran, 1989; Suchanek, 1978). Først og fremst er de en viktig næringskilde for mange skjellspisende organismer (Newell & Moran, 1989). Ikke bare er skjellene en viktig næringskilde i seg selv, er mengden næring i vannet for høy til at blåskjellene rekker å fordøye alt, fortsetter de å filtrere vann med optimal hastighet (Beyer et al., 2017). Næringen som ikke blir utnyttet av blåskjellet selv, blir skilt ut i små pakker sammen med mukus, en slimlignende masse, og fungerer som viktig næringskilde for mange arter i tidevannsonen (Beyer et al., 2017). Skjellene er også viktig substrat for mange mindre arter som hydroider, bryozoa og ruer og øker substratets overflateareal med sin tredimensjonale struktur, samt at de stabiliserer bløtbunns habitater (Suchanek, 1978). Blåskjell spiller også en vesentlig rolle i å rense vannet og er viktige for vannkvaliteten i de øverste vannlagene (Staalstrøm et al., 2020). I tillegg kan skjellene være med på å regulere algeoppblomstring (Kaiser et al., 2011).

1.2.3 BLÅSKJELL SOM HØSTBAR RESSURS

Dyrking og høsting av blåskjell kan dokumenteres helt tilbake til antikkens Roma (Beyer et al., 2017; Kaiser et al., 2011). I nyere tid har det blitt dyrket og høstet blåskjell i Europa i flere tiår og Spania og Frankrike ligger i tet på produksjon av blåskjell (FAO, 2015; GARFO, 2014). I Norge har utnyttelsen av blåskjell vært liten, men er nå en voksende gren innen akvakultur (Bøhle, 1974; Fiskeridirektoratet, 2020). I 2019 ble det solgt over 2000 tonn blåskjell, for en verdi på over 24 millioner kr (Fiskeridirektoratet, 2020). Nå har man også begynt å se på muligheten for å bruke blåskjell i fiskefôr, noe som vil gi blåskjell større anvendelse og potensielt vil være svært økonomisk gunstig for blåskjelloppdrettere (Torrissen et al., 2018). Blåskjell dyrking er en industri som blir viktigere og viktigere nå som det blir rettet fokus på å spise og utnytte arter som er lavere i det marine næringsnett for å skape et mer bærekraftig havbruk (HI, 2019; Kaiser et al., 2011). Blåskjell spiser primærprodusenter (alger), som vil si at de utnytter de laveste trofiske nivåene noe som er svært bærekraftig (Kaiser et al., 2011). De trenger hverken mates eller medisineres og vokser raskt selv når næringstilgangen er lav (HI, 2019). Blåskjell er ideelle for dyrking da de har generelt høy rekruttering og fekunditet. I blåskjellanlegg dyrkes skjellene pelagisk på tau. De er dermed enkle å høste, samt relativt lette å holde unna bunnen med mange predatorer (Newell & Moran, 1989). En annen fordel med pelagiske blåskjellanlegg, er at i motsetning til kultivering av mange andre bentiske arter, ødelegges ikke bentiske habitat hverken gjennom dyrking eller høsting (Kaiser et al.,

2011). Likevel er det også problemer som må løses. Havforskningsinstituttet (2018) presenterer i sin rapport om tilfeller av både overgroing av forskjellige arter, spesielt sekkdyr (*Ciona intestinalis*), flere tilfeller av parasitter og sykdom samt problemer med nedbeiting av skjellene. Selv om skjellene ikke er i kontakt med bunnen, er de fortsatt utsatt for predasjon, spesielt fra ærfugl og fisk samt sjøstjerner som bunnslår på anleggene (Torrissen et al., 2018).

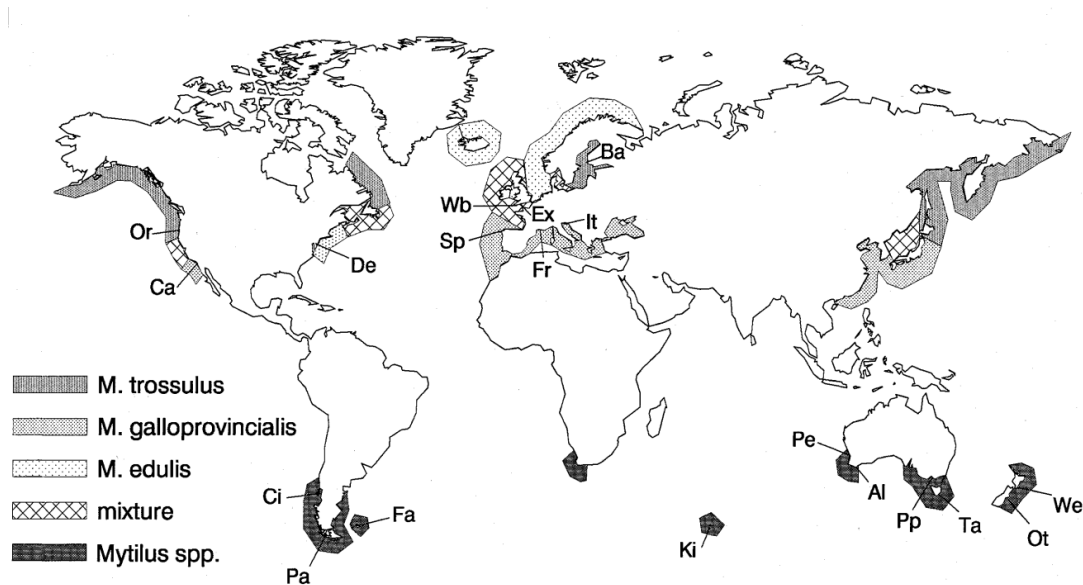
Blåskjell er og en mye brukt indikatororganisme i forskning, bl.a. som biomarkør for å se på miljøgifter i vann og bioakkumulasjon (Duinker et al., 2020). Blåskjell har, sammenlignet med andre skjell, relativt lave bakgrunnsnivå av fremmedstoffer og er derfor både populær som mat, men også en god indikator i studier for overvåking av miljøgifter (Duinker et al., 2020).

1.2.4 UTBREDELSE

Blåskjell lever stort sett i litoral og øvre sublitoral sone, som regel på hardbunn eller algesubstrat som sag- og blæretang eller forskjellige tare (Newell & Moran, 1989; Suchanek, 1978). Som regel sitter blåskjellene i et belte i den øvre tidevannsonen under ruren, og observeres gjerne ned til 3m dyp, men de kan vokse helt ned til 10-20m (Newell & Moran, 1989; Suchanek, 1978). Generelt vil blåskjell ha høyere vekstrate og kan oppnå større adult størrelse jo lengre ned i tidevannsonen de sitter. Når skjellene sitter dypere er de under vann i lengre tider av døgnet og kan spise mer kontinuerlig (Suchanek, 1978). Samtidig er de mer utsatt for predasjon og konkurranse. Jo høyere opp de sitter jo mer er de utsatt for tørke som koster energi samtidig som de ikke kan spise like lenge (Suchanek, 1978). Sitter de for høyt er de ved nordligere breddegrader også mer utsatt for frost (Suchanek, 1978).

Vi finner blåskjell i både i tempererte og boreale farvann på nordlige og sørlige halvkule (Suchanek, 1978) NOAA, 2019). De er en veldig vanlig art i sub-arktiske farvann, i både Nord-Atlanteren og Nord i Stillehavet (NOAA, 2019) og er ansett som dominerende stort sett langs hele kysten i Nord-Amerika og Europa (NOAA, 2019).

I Europa har vi i utgangspunktet tre ulike arter av blåskjell (Figur 2). *Mytilus edulis* er spesielt dominerende i nord, i Europa finner vi denne arten fra norskekysten og helt ned til nord i Spania (Mortensen & Strohmeier, 2018). Lengre sør og i Middelhavet er det middelhavsblåskjellene *Mytilus galloprovincialis* som dominerer, mens det i områder med brakkvann har vært forekomst av arten *Mytilus trossulus* (Mortensen & Strohmeier, 2018)



Figur 2: Viser tradisjonell utbredelse av de ulike *Mytilus* ssp. i verden. Hentet fra (Hilbish et al., 1999).

Nyere undersøkelser tyder også på at det er en større genetisk drift hos blåskjell en tidligere antatt og at det antageligvis finnes mange hybrider mellom disse artene samt observasjoner av migrering nordover for de ulike *Mytilus*-artene (Mortensen & Strohmeier, 2018). Nylig ble det dokumentert funn av blåskjell, *Mytilus edulis*, på Svalbard (Berge et al., 2005, Mortensen and Strohmeier, 2018). Dette er første gang på over tusen år at blåskjell igjen har blitt funnet her (Kotwicki et al., 2021). *Mytilus galloprovincialis*, middelhavsblåskjell, har også hatt en spredning nordover langs kysten i Europa (Lynch et al. 2020).

I Norge er det *Mytilus edulis* som dominerer, blåskjellene er vanlig langs hele kysten, og har vist stor forekomst i ytre og indre Oslofjord (Bøhle, 1974; Mortensen & Strohmeier, 2018). På bakgrunn av at blåskjell har vært en såpass mye utnyttet art over lang tid er de en godt studert artsgruppe (Beyer et al., 2017). Likevel er kunnskapen om den naturlige blåskjellforekomsten i Norge liten og man har ikke overvåket bestanden før de siste årene (Strohmeier, Strand og Haugland, 2020).

1.3 NEDGANG I FOREKOMST OG MULIGE ÅRSAKER TIL DETTE

De siste årene har det vært rettet stort fokus mot forsvinning av blåskjell langs kysten, spesielt i Oslofjorden (Mortensen and Strohmeier, 2018). Forsvinningen av blåskjell er et av temaene Havforskningsinstituttet har fått flest henvendelser om de siste årene (Mortensen and Strohmeier, 2018). Ikke bare er det rapportert fra befolkning langs kysten, men også fra blåskjeloppdrettere og forskere (Frigstad et al., 2018; Green et al., 2020).

Nedgang i forekomst av blåskjell er ikke en trend man ser i Norge alene, men også andre land langs kysten til Nord-Atlanteren; I USA har man observert massedødlighet av blåskjell i den sørligere delen av utbredelsessjiktet, grunnet varmesjokk, der man tidligere har hatt overlevelse av blåskjell året rundt (Jones et al., 2010). Man mistenker derfor at det er økte sommertemperaturer som kan være årsaken til endringen i utbredelsen av blåskjell. I likhet med Norge har de også i USA observert en migrasjon nordover, der skjellene har flyttet seg over 350km over de siste 50 årene (Jones et al., 2010). Blåskjelldyrkere har også rapportert om unormalt høy dødelighet ved oppdrettsanlegg og dyrkningsområder flere steder i Europa (Mortensen and Strohmeier, 2018). Nederland, Frankrike og Danmark er land med lang tradisjon for kultivering av blåskjell (Avdelas et al., 2021). I Nederland og Frankrike har sykdom vært et stort problem og ført til massedødlighet av blåskjell (Charles et al., 2020). I Danmark har man hatt problem med predasjon der sjøstjerner har rensket vekk store banker med blåskjell. Det ble også registrert høy dødelighet av blåskjell nord i Vadehavet, utenfor Danmark og Tyskland som følge av spesielt kald vinter i 1995/1996 (Christie et al., 2020). I Vadehavet, langs kysten til Nederland, Tyskland og Danmark har det også vært observert høy forekomst av stillehavsøsters (*Crassostrea gigas*) der man normalt sett ville ha funnet blåskjell (Folmer et al., 2019)

I Norge har det vært hendelser av både sykdom (Mortensen, 2021), giftig algeoppblomstringer (Christie et al., 1991), isskuring og frost (Andersen et al., 2016) som har ført til massedødlighet av blåskjell. Med hensyn til klimaendringer er det også fokus på blant annet økte vanntemperaturer og forsuring av havet (Denny, 2008) I tillegg er Oslofjorden en relativt høyt befolket kystlinje, og utsatt for antropogenisk påvirkning (Staalstrøm et al., 2020) samt at mange elver munner ut i fjorden og bidrar med både

ferskvannspåvirkning, sedimentering og tilførsel av næringsalter (Frigstad et al., 2018). Avrenning fra land kan også føre til utslipp av miljøgifter og plast i havet (Denny, 2008)

1.3.1 ABIOTISKE FAKTORER OG STRESS SOM PÅVIRKER BLÅSKJELLFOREKOMST

Tidligere ble det nevnt er blåskjell en generalist som fint tåler endring i flere faktorer. Likevel viser studier at endring i saltholdighet, økte vanntemperaturer og forsurening av vannmassene kan ha effekt på forekomsten av blåskjell (Andersen et al., 2016; Beyer et al., 2017; Jones et al., 2010). I tillegg har disse faktorene additiv effekt av hverandre (Bayne, 1965; Brenko & Calabrese, 1969). Larvestadiet er særskilt sårbare for endringer i temperatur og derfor kan redusert saltholdighet sammen med økte temperaturer påvirke rekrutteringen av blåskjell negativt (Brenko & Calabrese, 1969). Når det gjelder levere temperaturer har *Mytilus edulis* har vist seg å være en musling som tåler dette godt, men blir de utsatt for frost, dør de (Strasser et al., 2001). Forsuring av havområdene er også blitt koblet til forsvinningen av blåskjell. Blåskjell bygger skjellene sine av aragonitt, en form for kalsiumkarbonat, CaCO₃. Med surere vann blir metningen av kalsiumkarbonat lavere og det blir vanskeligere for blåskjell å vokse (Denny, 2008)

Avrenning fra land kan føre med seg bl.a. næringsalter og gi økt konsentrasjon av nitrogen og fosfor ut i vannmassene (Kaiser et al., 2011), sedimentering og miljøgifter . Disse næringssaltene kan gi opphav til store algeoppblomstringer, i noen tilfeller giftige, og disse oppblomstringen kan føre til oksygenfattige, i verstefall hypoksiske (< 0,5 ml O₂ /L) vannmasser (Cai et al., 2011; Diaz & Rosenberg, 2008; Gilbert et al., 2010). I tillegg kan toksider og avfallsstoffer som kommer med avrenning akkumulere i skjellene være giftige for selve skjellene eller for predatorer som spiser skjellene og dermed har en negativ effekt på næringsnett i havet (Sipiä et al., 2001). Akkumulering av toksiner som PCB eller DDT kan også skje gjennom filtrering av mikroplast (Farrell & Nelson, 2013; Scott et al., 2019).

1.3.2 BIOTISKE FAKTORER

Konkurranse, predasjon og sykdom er også mulige årsaker til nedgang i forekomst av blåskjell (Avdelas et al., 2021; Charles et al., 2020; Mortensen & Strohmeier, 2018). På områder der blåskjell pleier å bunnslå har man sett tilfeller der makroalger har overgrodd områdene slik at ikke blåskjellene får festet seg (Mortensen and Strohmeier, 2018).

Spredning av stillehavsøster til Oslofjorden har også vært sett på som en mulig årsak, da det har vært observert høy forekomst av stillehavsøsters i fjorden og denne arten konkurrerer om habitat med blåskjellene (Jelmert et al., 2020). Blåskjell er populær føde blant både sjøstjerner, krepsdyr, fisker og fugler som klarer å knuse eller åpne de harde skjellene (Newell, 1989). Derfor kan økning av mesopredatorer som sjøstjerner, strandkrabbe (*Carcinus maenas*) og leppefisk som bergnebb (*Ctenolabrus rupestris*) være en mulig årsak til nedgangen av blåskjell (Christie et al., 2020; Folmer et al., 2019). Overfiske har ført til en kollaps i bestanden av torsk (*Gadus morhua*) (Svedäng & Bardon, 2003), noe har gitt mindre predasjonspress på disse artene og ført til en økning i antall mesopredatorer (Baden et al., 2012; Christie et al., 2020). Spesielt tror man at strandkrabber og leppefisk kan være en årsak til juvenile skjell blir borte, og ikke rekker å vokse opp (Christie et al., 2020). Man mistenker også økt predasjon på adulte skjell fra voksende sjøfuglbestander som ærfugl (*Somateria mollissima*) (Westerbom & Jattu, 2006). Predasjon på blåskjellarver fra reker, maneter og andre pelagiske predatorer påvirker også forekomsten og rekruttering av blåskjell (Folmer et al., 2019)

1.4 MÅL FOR STUDIE

Nedgang i forekomst av blåskjell i Oslofjorden har skapt stor interesse og engasjement de siste årene. Derimot har ikke denne nedgangen blitt dokumentert og det er foreløpig kun en antagelse basert på observasjoner og spekulasjoner. Tidligere har det ikke vært prosjekter som registrerer forekomsten av blåskjell i Oslofjorden, og det er derfor vanskelig å si sikkert om det faktisk har vært en nedgang. ØKOKYST og Lange Tidsserier er nasjonale overvåkningsprogram som registrer forekomsten av arter via dykketransakter ved ulike stasjoner, bl.a. i Ytre Oslofjord. Her er også forekomsten av blåskjell registrert. Ved å trekke ut dataene for blåskjell og analysere disse ønsket jeg å besvare disse spørsmålene:

1. Kan dataene fra ØKOKYST og Lange tidsserier dokumentere en nedgang i forekomst av blåskjell, *Mytilus edulis*, i Oslofjorden i løpet av de siste tretti årene?
2. Er forekomsten av blåskjell funnet ved dykketransaktregistreingene under disse prosjektene representative for forekomsten av blåskjell over en større del av strandlinjen på overvåkningsstasjonene?

Videre ønsket jeg å undersøke overlevelse og vekst hos adulte og juvenile blåskjell i Oslofjorden gjennom en årssyklus. Felteksperimenter ble gjennomført for dette formålet, hvor blåskjell ble plassert ut ved ulike stasjoner. For å kunne knytte eventuell dødelighet av blåskjell til beiteangrep fra forskjellige typer predatorer, ble blåskjellene plassert på sjøbunnen i tidevannssonen og hengende i tilknytning til brygger. Formålet med de ulike plasseringene var å tilby skjell til beitere som utnytter ulike nisjer innenfor blåskjellenes habitat, slik som sjøfugl, bunnlevende og pelagiske organismer.

På bakgrunn av dette ønsket jeg å undersøke

3. Hvordan blåskjell klarer seg gjennom en årssyklus på ulike steder i tidevannssonen?
4. Om det var arter som utpreger seg med spesielt høy forekomst som kan være mulige konkurrenter om plass eller predatorer?

2. MATERIALE OG METODER

I denne studien er det benyttet fire ulike metoder. Først og fremst har jeg analysert datasett fra to nasjonale overvåkningsprogram, ØKOKYST og Lange tidsserier (Kap. 2.1). I sammenheng med felt for ØKOKYST i 2020 snorklet jeg også horisontale transekter for å få et bedre inntrykk av forekomsten av blåskjell ved hver stasjon (Kap. 2.2). I indre Oslofjord ble det satt opp eksperimenter ved fem ulike stasjoner for å se på overlevelse av adulte blåskjell gjennom en sesong (Kap. 2.3) samt at det ble gjort forsøk med årets nedslag av juvenile skjell ved tre av stasjonene for å se på overlevelse av disse (Kap. 2.5).

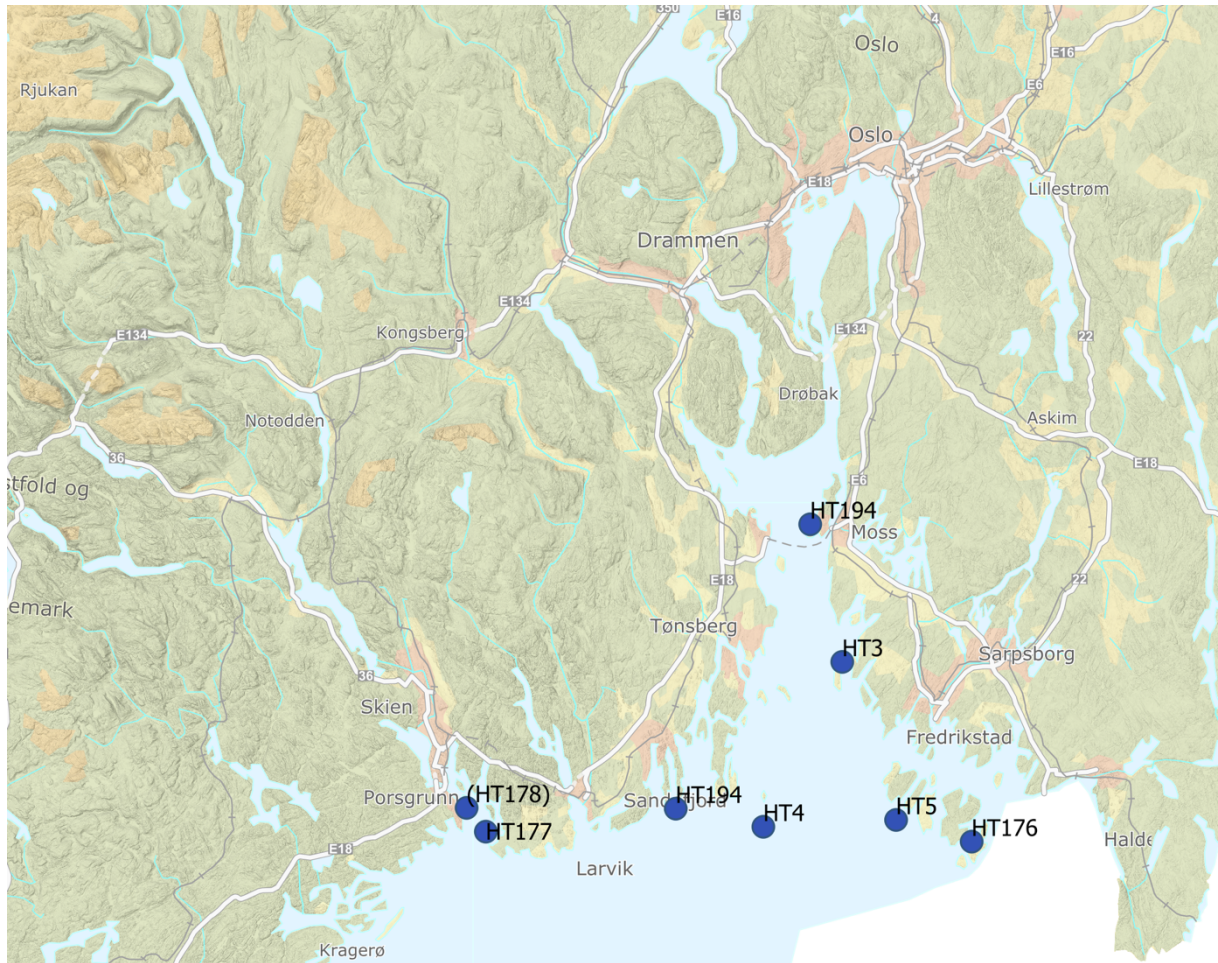
2.1 DATA FRA ØKOKYST OG LANGE TIDSSERIER

For å kunne besvare spørsmålet om det har vært en reduksjon i blåskjell, adulte og juvenile, i Oslofjorden har det blitt brukt data fra ØKOKYST (Økosystemovervåkning i kystvann) og Programmet for Lange Tidsserier. Dette er to nasjonale programmer som overvåker tilstanden til økosystemene langs norskekysten. Disse er finansiert av Miljødirektoratet. I disse programmene registreres bl.a. forekomsten av blåskjell årlig langs et etablert transekt. En dykkende zoolog utfører observasjonene. For hver dybdemeter, fra 4-0m, registreres tettheten av juvenile og adulte blåskjell semikvantitativt; 1 = enkeltfunn (0-5% dekning), 2 = spredt (5-25%), 3 = vanlig (25-75%) og 4 = dominerende (75-100%) (Miljødirektoratet, 2019).

Programmene ØKOKYST og Lange Tidsserier har samlet inn data over flere tiår, og for enkelte stasjoner finnes data tilbake til 1990. Data på tetthet av blåskjell og indikatorer på endring i populasjonen kan derfor analyseres for å se endringer i tid. Dataene er tilgjengelig via <https://vanmiljo.miljodirektoratet.no/>. Basert på tidsserien kan nyinnsamlede data sees i en større sammenheng og mulige endring i tid analyseres for. For å kunne svare på om det kan dokumenteres en nedgang i blåskjell i Oslofjorden er alle dataene på blåskjell trukket ut og det er kun disse som er brukt i statistisk analyse fra de to overvåkningsprogrammene. ØKOKYST Skagerrak gjennomførte felt 07.09.2020-10.09.2020. Her besøkte vi syv hardbunnstasjoner over fire dager i Ytre Oslofjord (Tabell 1, Figur 3).

Tabell 1: Oversikt over de ulike stasjonene sjekket under ØKOKYST Skagerrak 2020, med beliggenhet, dato for besøk, koordinater og hvilken eksponeringsgrad som preger stasjonen.

Stasjoner besøkt under prosjektet ØKOKYST Skagerrak					
St.nr.	Stasjon	Vannforekomst	Dato	Koordinat	Vanntype
HT3	Veslekalven, Fredrikstad	Ytre Oslofjord	09.09.2020	59.25427, 10.70413	Middels eksponert
HT4	Færder fyr, Færder	Færder	07.09.2020	59.01601, 10.31605	Eksponert
HT5	Akerøy, Hvaler	Torbjørnskjær	10.09.2020	59.04759, 10.87016	Middels til eksponert
HT176	Brattholmen, Hvaler	Singelfjorden	10.09.2020	59.03894, 11.11581	Middels eksponert
HT177	Store Arøya, Larvik	Helgeroaafjorden	08.09.2020	58.59.37, 09.80854	Middels eksponert
HT178	Risøyodden, Telemark	Langesund	08.09.2020	59.02330, 09.75373	Middels eksponert
HT194	Gullholmen, Moss	Breiangen - Øst	09.09.2020	59.443538, 10.59645	Middels eksponert



Figur 3: Kart over de ulike stasjonene sjekket av ØKOKYST Skagerrak. HT3 = Veslekalven, HT4 = Færder fyr, HT5 = Akerø, HT176 = Brattholmen, HT177 = Store Arøya, HT178 = Risøyodden, HT194 = Gullholmen.

2.2 SNORKELTRANSEKT

Under felt med ØKOKYST i september 2020 snorklet jeg også transekter ved hver stasjon. Dette var for å få et bedre inntrykk av forekomsten av blåskjell i tidevannsonen sammenlignet med dykketransektene som tar for seg ca. 1 meter i horisontal bredde, og som først og fremst fokuserer på dybden. Formålet var også å undersøke om forekomsten av blåskjell registrert ved dykketransektene var representative for resten av strandsonen ved stasjonene. Ved hver stasjon snorklet jeg to transekter på 10-15m i horisontal lengde parallelt med strandlinja. Under transektene ble det rapportert opp til land forekomst og dekningsgrad av blåskjell, hvilke livsstadium skjellene hadde (adult eller juvenile) og omtrentlig størrelse på skjellene. Dette ble bestemt visuelt. Forekomst av andre arter ble også registrert ved disse stasjonene i to kategorier; mulige predatorer og konkurrenter om plass. Predatorer kunne da være sjøstjerner, krabber og strandsnegl. Konkurrenter kunne eksempelvis være rur, stillehavsøster eller

algevekst som ble beskrevet enten etter type (Eksempelvis: rød, skorpeformet alge), eller art (sagtang, blæretang, ulva ssp, osv.). I tillegg registrerte vi substrat og terreng.

Dataene fra disse horisontale transektene er ikke brukt i statistikkanalysen og var ment som supplerende registrering for å få bedre innblikk i utbredelsen av blåskjell ved de ulike stasjonene.

2.3 FELTEKSPERIMENTER I TIDEVANNSSONEN - EKSPERIMENTOPPSETT

Ved alle stasjoner satt vi ut blåskjell festet til tauremser eller plassert i bur. Hver stasjon hadde tre behandlinger med tre replikater: 1 – blåskjellremser festet til kjetting i strandsonen, 2 – blåskjellremser hengende i vannmassene på tau, festet til brygger 3 – blåskjell innelukket i bur hengende i vannmassene, også festet med tau til brygge (Figur 4-7). Burene beskyttet blåskjellene mot predasjon og disse replikatene ble inkludert som kontroll i forsøkene. For hver behandling ble det hengt ut tre replikater. I tillegg hadde vi en ekstra behandling på Biologisk stasjon, hvor tre pelagiske replikater ble hengt i vannmassene på undersiden av bryggekomplekset. Formålet med disse replikatene var at ikke sjøfugl, som ærfugl, skulle få øye på skjellene.

Blåskjellene vi brukte ble kjøpt fra Arnevik Gård Skjell. Store Arnevik Gård har drevet med dyrking av skjell, bl.a. blåskjell siden 1950-tallet. Herfra fikk vi to lange remser med blåskjell på ca. 3-4 m. Skjellene var i størrelsen 3-6 cm. Disse remsene ble delt i ca. 15 cm lange biter som ble brukt som replikater i de forskjellige behandlingene.

Blåskjellene hang ute fra 07.05.2020 til 21.12.2020, altså litt under åtte måneder. Alle remsene med skjell ble målt og veid ved oppstart og avslutning. Slik skjellene satt på remsene var det ikke mulig å telle nøyaktig antall. Vi ønsket å beholde skjellene festet til remsene, slik at de kunne henge fritt i vannmassene. Hadde vi tatt skjellene av remsene for å måle de, måtte vi funnet en annen måte å sette de ut på. Dette kunne vært f.eks. ved å putte de i strømper, noe som ikke ble gjort da dette kunne hindre eller utelukke predatorer eller vanntilførsel. Rent praktisk var dette også lettere da skjellene allerede satt godt festet til remsene de kom på. Dette medfører en ekstra usikkerhet mht. datainnsamling. Eksperimentene ble sjekket omtrent en gang i måneden. Noen stasjoner ble også besøkt oftere da de var lettere tilgjengelig; Tollboden og Biologiskstasjon i Drøbak og Storsand. Ved alle besøk ble blåskjellenes tilstand notert samt prosentandel skjell som satt igjen på remsene. Andre arter som forekom på replikatene ble også notert.



Figur 4: *Venstre:* Remser med blåskjell fra oppdretter Store Arnevik Gård. *Midten:* Remsene var omtrent 3-4 m lange. *Høyre:* Remsene ble klippet i ca. 15 cm lange stykker og veide mellom 500-600g.

2.3.1 BLÅSKJELL I STRANDSONEN

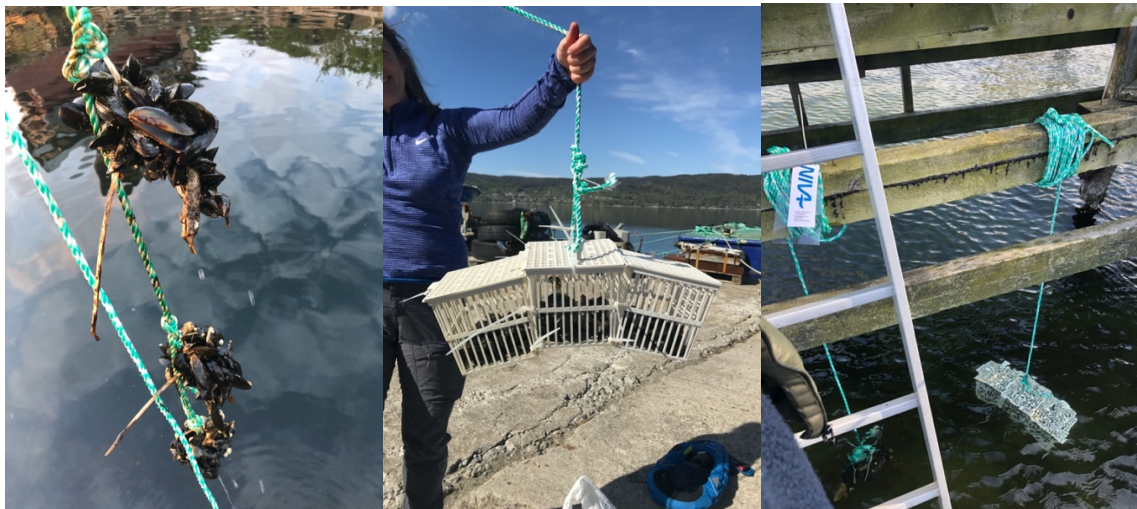
Replikater på kjetting: Remser med blåskjell ble stripset til kjetting med ca. 0,5 m mellomrom. Kjetting ble forankret med tau til land slik at kjetting lå horisontalt strekt ut, parallelt med vannkanten, slik at distansen mellom replikatene ble opprettholdt. For å holde kontroll på replikatene ble de merket med strips; én strip = replikat 1, to strips = replikat 2, tre strips = replikat 3. Disse skjellene ville være tilgjengelige for bentiske predatorer som strandkrabber og sjøstjerner, men også fisk og sjøfugl.



Figur 5: *Venstre:* Blåskjell festet til kjetting. Replikatene på kjetting ligger i tidevannssonen langs moloer eller bryggekanter. *Midten:* Blåskjell på kjetting på Storsand. *Høyre:* Blåskjell på kjetting på Tollboden.

2.3.2 BLÅSKJELL I VANNMASSENE

I pelagialen ble remser av blåskjell stripset til et tau som hang ned fra bryggen på hver stasjon. Her hang altså replikatene vertikalt, der replikat 1 hang nederst og replikat 3 øverst i vannsøylen. Bakgrunnen for å henge skjellene under hverandre, og ikke side om side, var at vi konkluderte med at forskjellen i dyp mellom hvert replikat var såpass liten at dette var å foretrekke fremfor unødvendig mye tauverk, spesielt på brygger med allmenn ferdsel. Disse skjellene ville i hovedsak være tilgjengelige for både sjøfugl og fisk.



Figur 6: *Venstre:* I Pelagialen henger replikatene under hverandre med ca. 0,5 m mellomrom. *Midten:* Kontrollene består av tre bur, stripset sammen, der omtrent 30 skjell ligger i hvert bur. *Høyre:* Både kontrollen og pelagial-replikatene henger ved siden av hverandre fra brygger ved alle stasjoner.

2.3.3 BLÅSKJELL I VANNMASSENE, UNDER BRYGGE

På Biologisk Stasjon i Drøbak ble det også hengt ut ett sett til med pelagiske replikater. Disse tre replikatene ble hengt fra hvert sitt tau, under bryggen, slik at ikke fugler skulle komme til. Tanke var da at disse skjellene ikke var like lette å få øye på for visuelle predatorer over vann, sammenlignet med de andre pelagiske replikatene. Denne behandlingen ble kun brukt på Biologisk Stasjon. I utgangspunktet var det planlagt at dette skulle være en behandling på alle stasjoner, men med bryggekompleksene som fantes på de ulike stasjonene var ikke dette mulig.



Figur 7: På Biologisk Stasjon henger de tre replikater i vannmassene under bryggen på hvert sitt tau.. De er plassert inn mot moloen. Formålet er at de er ute av syne for sjøfugl som ærfugl.

2.3.4 BLÅSKJELL I BUR (KONTROLL)

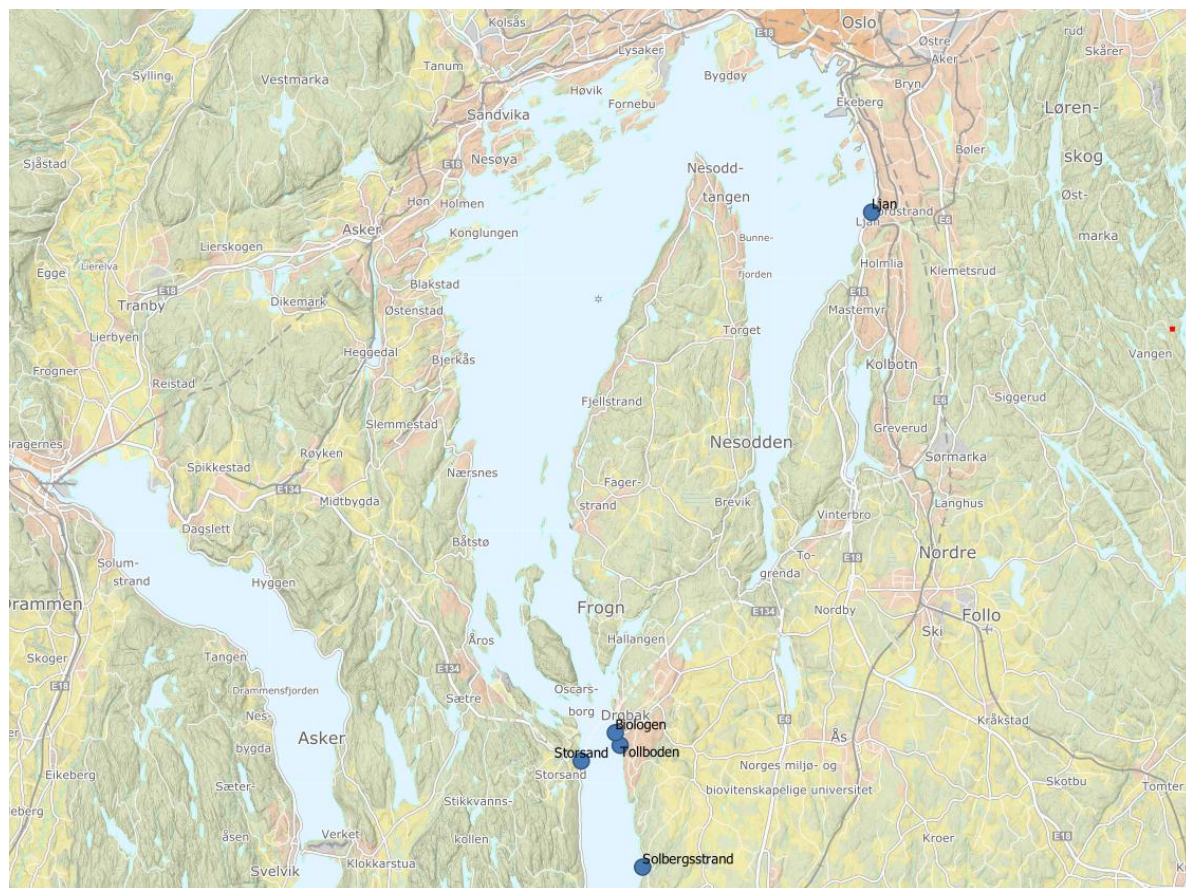
Kontrollene for dette eksperimentet var tre bur stripset sammen slik at de ligger vertikalt på samme dybde i vannsøylen. I burene ble det lagt ca. 30 blåskjell. Mengden skjell for hvert replikat ble målt ut fra vekt og ikke antall. Begrunnelsen for dette var at vi ønsket å beholde alle skjell på en remse for hvert replikat, da de hadde godt fest til remsen og var lettere å håndtere på denne måten. Om vi skulle ha tatt skjellene av remsen ville det vært vanskelig å henge de ut i fjorden på en måte der de var lett tilgjengelig for eventuelle predatorer, men fortsatt satt godt fast til festesubstratet slik at de ikke falt av replikatene. Formålet var at burene ville utestenge predatorer. I tillegg kontrollere de for en eventuell naturlig dødelighet hos skjellene. Dersom både skjellene på remsene og skjellene i burene døde, ville det sannsynligvis vært andre årsaker til død enn predatorer. Dette kunne vært sykdom eller endring i vannparametere. Kontrollene hang også i pelagialen, festet til brygge slik at heller ikke bunnlevende predatorer som krabber og sjøstjerner skulle komme til.

2.4 FELTEKSPERIMENTER I TIDEVANNSSONEN - STASJONER

Totalt ble det gjort eksperimenter ved fem stasjoner; NIVAs stasjon på Solbergstrand, UiOs Biologiske Stasjon, Tollboden, Storsand og Ljan (Tabell 2, Figur 8). Koronasituasjonen vinteren/våren 2020 gjorde at stasjonsnettets måtte begrenses til Indre Oslofjord da det i oppstarten av feltarbeidet var strenge restriksjoner med hensyn til å krysse kommune/fylkesgrenser. I valg av stasjoner har det blitt vektlagt at de ligger lett fremkommelig, er tilgjengelige fra land og enkle å sjekke slik at eksperimentene har kunnet blitt observert jevnlig.

Tabell 2: Oversikt over de ulike stasjonene som ble brukt under Felteksperimenter i tidevannssonen.

Stasjon	Beliggenhet	Koordinat
Biologisk Stasjon	Frogn, Viken	59.66N,10.63E
Ljan	Oslo, Oslo	59,85N, 10,78E
Solbergstrand	Frogn, Viken	59.62N,10.65E
Storsand	Asker, Viken	59.62N,10.63E
Tollboden	Frogn, Viken	59.66N,10.63E



Figur 8: Kart over beliggenhet for de ulike stasjonene for felteksperimenter i tidevannssonen i Indre Oslofjord.

Solbergstrand (59.62N,10.65E)

Solbergstrand ligger sør for Drøbak i Frogn kommune. Område rundt stasjonen er for det meste preget av sandbunn og begge sider av stasjonen ligger det svaberg. På Solbergstrand skrår terrenget relativt bratt ned til sjøen. Ved NIVAs forskningsstasjon på Solbergstrand

ligger det en molo og et bryggekompleks der blåskjellreplikatene ble plassert (Figur 9). Skjellene ble satt ut på yttersiden av bryggekomplekset, ut mot Drøbaksundet og er i større grad eksponert enn på de andre stasjonene. Blåskjellene ble satt ut som følger:

- **Blåskjell i strandsonen** ble spent opp langs en steinmolo hvor bunnssubstratet bestod av store stein med spredte tangforekomster og hvor kjettingen lå eksponert mot fjorden med tidvis stor bølgepåvirkning.
- **Blåskjell i vannmassene** hang fra en brygge hvor vanndybden varierte med tidevannet. Replikatene hang slik at de øverste skjellene ble tørrlagt under lavvann. Vannmassereplikatene var tidvis utsatt for stor bølgepåvirkning.
- **Blåskjell i bur** ble hengt fra bryggen, ved siden av vannmassereplikatene, ved samme dybdenivå.



Figur 9: Venstre: NIVAs forskningsstasjon på Solbergstrand. Plassering av replikatene er markert med røde prikker. Midten: Blåskjellene i bur og i vannmassene henger fra kanten av bryggen. Høyre: Steinvegg der blåskjellene på kjetting er plassert.

Biologisk Stasjon (59.66N,10.63E)

Biologisk Stasjon i Drøbak er en av Universitetet i Oslo sine fasiliteter. Stasjonen ligger ved Drøbak Båthavn i Gamlebyen i Drøbak. Her er det sandbunn og store svaberg som heller ned til sjøen. På Biologisk Stasjon er det et lite bryggekompleks godt beskyttet av en molo som går ut fra Drøbak Båthavn og strekker seg parallelt med land slik at det er dannet en liten bukt (Figur 10). Blåskjellreplikatene ble plassert inne ved dette bryggekomplekset:

- **Blåskjell i strandsonen** lå spent opp langs steinveggen vist i bildet til høyre i under hovedbygget (Figur 10). Bunnssubstratet her var i likhet med Solbergstrand, store stein, men med noe mer forekomst av tang. Replikatene henger ut mot fjorden, men er dog ganske beskyttet av moloen vist på bildet til venstre i Figur 10.
- **Blåskjell i vannmassene** hang ytterst på en brygge, rettet inn mot bukten. Her hang skjellene ned fra bryggen, forholdvis beskyttet mot bølgeaktivitet. De øverste skjellene ble tidvis utsatt for tørrlegging.

- **Blåskjell i vannmassene, under brygge:** Ved Biologisk Stasjon ble det hengt ut tre ekstra pelagiske replikater som hang inn mot moloen, under bryggen. Disse var godt beskyttet og ikke eksponert mot fjorden. Disse hang såpass dypt at de ikke var utsatt for tørrelgging gjennom døgnet.
- **Blåskjell i bur** ble hengt fra bryggen, ved siden av vannmassereplikatene, ved samme dybdenivå.

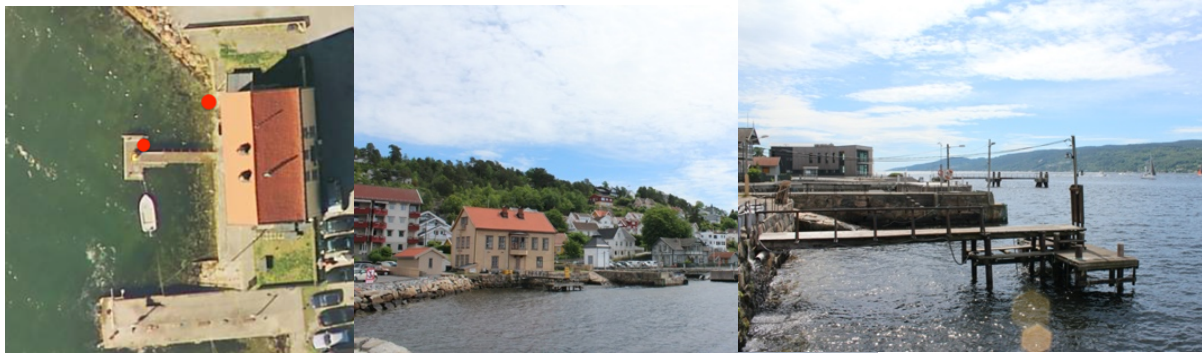


Figur 10: Til venstre: Biologisk Stasjon, Drøbak. De røde prikkene markerer plassering av blåskjellene. Midten: bryggen der blåskjellene i vannmassene og i bur er plassert. Til Høyre: Blåskjellene på kjetting ligger spent opp ved bryggekannten på Biologisk Stasjon, Drøbak.

Tollboden (59.66N,10.63E)

Tollboden er også en av UiOs fasiliteter i Gamlebyen i Drøbak. Denne stasjon ligger litt lenger sør i Drøbaksundet enn det Biologisk Stasjon gjør. Stasjonen er preget av sandbunn med innsalg av en del stein.

- **Blåskjellene i strandsonen** lå spent opp langs en steinvegg horisontalt med fjær og ut mot fjorden. Substratet her er en blanding av mindre og større stein samt innslag av sandbunn. Her er det liten forekomst av alger. Skjellene er plassert høyt opp i tidevannsonen og var tørrlagt gjennom perioder av døgnet.
- **Blåskjellene i vannmassene** ble hengt på innsiden av bryggen, rettet mot land og ikke eksponert ut mot fjorden. Skjellene ble utsatt for en del bølgeaktivitet og de øverste replikatene var tidvis tørrlagte.
- **Blåskjellene i bur** hang parallelt med replikatene i vannmassene, med samme dybdenivå



Figur 11: *Til venstre: Tollboden sett ovenfra. Plassering av blåskjellreplikatenes er markert med røde prikker. Midten: Tollboden sett fra sjøen. Blåskjellene på kjetting ligger spent opp langs steinveggen rett under Tollboden. Høyre: Bryggen der blåskjellene i bur og i vannmassene henger.*

Storsand (59.62N,10.63E)

Storsand er et lite hytteområde som ligger rett på andre siden av Drøbaksundet for Gamlebyen i Drøbak. I likhet med både Solbergstrand og gamlebyen i Drøbak så skrå terrenget relativt bratt ned mot sjøen. Det dominerende substratet er sandbunn, men det er også innslag av steinete hardbunn rundt moloene. Her ligger det et bryggekompleks og flere strender bortover adskilt med moloer som beskytter mot bølgeaktivitet. På Storsand hang skjellene fra den ene bryggen og langs moloen som vist til høyre i Figur 12.

- **Blåskjellene i strandsonen** ble spendt opp under en brygge, langs en molo. Substratet her er en blanding av store og små stein og mye sandbunn. Forekomsten av alger er spredt til vanlig. Bunnreplikatenes på denne stasjonen er i større grad beskyttet sammenlignet med Solbergstrand og Tollboden. Skjellene var plassert høyt opp i tidevannssonen og var tørrlagt under lavvann i større perioder enn ved Biologisk Stasjon og Solbergstrand.
- **Blåskjellene i vannmassene** ble hengt ut under en brygge, moderat eksponert mot fjorden da bryggene ligger mellom to moloer som tar av for bølger. De øverste skjellene ble tørrlagte under lavvann.
- **Blåskjellene i bur** ble plassert ved siden av replikatene i vannmassene ved samme dybdenivå.



Figur 12: Til venstre: oversikt over bryggene på Storsand. De røde prikkene markerer plassering av replikatene. **Midten:** Bryggen der blåskjellene i bur og i vannmassene henger. **Høyre:** Blåskjellene på kjetting ligger langs kanten av moloen, spent fast under bryggeovergangen.

Ljan (59,85N, 10,78E)

Stasjonslokaliteten på Ljan ble etablert i tilknytning til Sanddyna båtforening sitt bryggeanlegg øst for Nesoddtangen i Bunnefjorden (Indre Oslofjord). Strandsonen på lokaliteten har innslag av svaberg, sandstrand og steinmolo/brygge.

- **Blåskjellene i strandsonen** ble lagt blant stein ved en molo innerst i bukten.
- **Blåskjellene i vannmassene** ble hengt fra flytebrygge i båtanlegget (Figur 13). Skjellene hang på innsiden av en metallramme og var dermed fysisk beskyttet fra båter. Flytebryggkonstruksjon sørget for jevn vannsirkulasjon og tilførsel av friskt vann til skjellene.
- **Blåskjellene i bur** hand ved siden av skjellene i vannmassene, ved samme dybdenivå.



Figur 13: Venstre: Oversiktsbilde over blåskjellstasjonen på Ljan. Posisjon der blåskjell er satt ut i fjæra og hengt fra flytebrygge er markert med en røde prikker. **Midten:** Blåskjellene i strandsonen ligger inntil steinveggen på bryggen. **Høyre:** Flytebryggen der replikatene med blåskjell i vannmassene henger.

2.5 EKSPERIMENTER MED JUVENILE SKJELL – NEDSLAG OG OVERLEVELSE

Underveis i eksperimentet observerte vi to store nedslag av juvenile blåskjell på samtlige stasjoner. For å undersøke overlevelse av disse skjellene, som var av en mindre størrelsesklasse enn skjellene på tauremsene fra oppdretter, ble det gjennomført spontane eksperimenter med disse. På Storsand ble det hengt ut tau for observasjon av nedslåing i juni. Juvenile blåskjell fra nedslaget i august ble hengt ut på Biologisk Stasjon, Storsand og Tollboden sammen med de allerede eksisterende replikatene for å se på overlevelse og vekst.

2.5.1 REKRUTTERINGSTEST: NEDSLAG PÅ TAU

I juni observerte vi store nedslag av årets juvenile blåskjell. Som en supplerings til felteksperimentene hang vi ut tre replikater med tau fra Bryggen på Storsand for å se om blåskjellene slo seg fast på tauene og hvordan de eventuelt ville vokse. Tauene som ble hengt ut var hvite synketau som var 1 cm i diameter. Det ble brukt synketau slik at de skulle henge loddrett i vannet. Tauene rakk ned til ca. 1,5 m dybde. Disse ble hengt ut 12.06.2020.

2.5.2 TEST AV OVERLEVELSE OG VEKST

På bakgrunn av det store nedslaget av årets skjell, var det interessant å se nærmere på overlevelse av disse og eventuell vekst frem til neste sommersesong. Blåskjellene som ble brukt i dette eksperimentet ble samlet inn fra årets nedslag på Biologisk Stasjon i Drøbak 14.10.2020. Steinplater, omtrent 15x15 cm store ble lagt på bunnen i kasser som ble fylt opp med sjøvann (Figur 14). Blåskjellene ble fordelt over steinplatene slik at det skulle minst fem skjell på hver plate. Deretter lå blåskjellplatene over natten i ett av bassengene på Tollboden i Drøbak slik at skjellene skulle rekke å feste seg.

I tillegg ble det hengt ut kontroller der små klynger med omtrent 15-20 blåskjell ble lagt i strømper for å hindre predasjon (til høyre i Figur 14).

Steinplatene og strømpene ble hengt ut sammen med replikatene på kjetting og de pelagiske replikatene på Tollboden og Biologisk Stasjon i Drøbak og på Storsand 15.10.2020 og ble sjekket første gang 21.10.2020.



Figur 14: Venstre: Blåskjell fra nedslag på Biologisk Stasjon høsten 2020. Skjellene ble tatt fra båter som lå ved bryggen. Disse ble spredt utover steinplater med hull i oppi hvite bakker. Midten: Bakkene ble fylt med sjøvann og fikk stå slik at skjellene kunne feste seg til steinplatene. Høyre: Skjell på steinplater og i strømper festet til kjetting med strips.

2.6 STATISTISK ANALYSE

Til statistisk analyse, både for ØKOKYST-programmet og Lange tidsserier og for felteksperimentene i tidevannssonen har vi brukt programmet R, versjon: 4.0.3. (R Core Team, 2020) For modellering av resultatene ble det brukt to biblioteker i R; Biblioteket mgcv ble brukt til GAM-analyser og for kandidatmodeller og beregning av AIC-verdier ble biblioteket MuMin brukt.

Den statistiske analysemetoden som ble brukt var Mixed Generalized Additive Models, GAM, med antatt normalfordelte residualer (Family=Gaussian). Bakgrunnen for at vi brukte GAM, er at denne metoden tar hensyn til ikke-lineære sammenhenger (Zuur et al. 2009). Potensielle ukjente faktorer ved stasjonene der dataene har blitt innsamlet kan ha innvirkning på observasjonene som ble gjort, og det er derfor brukt stasjon som en grupperingsfaktor (random factor) i modellene for å ta hensyn til at observasjonene ikke nødvendigvis er uavhengige av hverandre (Zuur et al., 2009). Det ble satt opp ulike kandidatmodeller for å teste hvilken modell som best forklarte variasjonen i dataene. Til dette ble de brukt Akaike Information Criterion (AIC). En rangering der AIC-verdien sier noe om hvor godt modellen er tilpasset datasettet man har (Zuur et al., 2009). Man ønsker å forklare mest mulig variasjon, men med en enklest mulig modell. AIC er en avveining der laveste verdi tilsvarer den modellen som forklarer mest mulig data uten å være for komplisert. Altså den modellen som forklarer mest variasjon i dataene, med færrest mulig parametere inkludert. R^2 -verdiene for de

ulike modellene ble også vurdert. Dette er en verdi som viser hvor stor andel av den totale variasjonen man ser på som kan forklares av de ulike variablene (Zuur et al., 2009).

2.6.1 ØKOKYST OG LANGE TIDSSERIER

For dataene fra programmene ØKOKYST og Lange Tidsserier var formålet å se på endringen i forekomst av blåskjell fra 1990-2020 for å se om det faktisk kunne dokumenteres en nedgang av blåskjell. Her ble observasjonen delt i to kategorier etter hvilke livsstadier blåskjellene var i; juvenile eller adulte. Data for juvenile og adulte skjell ble altså sett på hver for seg. Variablene var år, dybde og stasjon, der vi definerte stasjon som en random faktor da vi så på forekomst generelt i Oslofjorden og ikke per lokalitet.

Det ble satt opp seks kandidatmodeller. En modell så på effekten av år alene. En annen modell så på effekten av både år og livsstadium (juvenile eller adulte skjell) og en tredje modell så på effekten av dager og livsstadium som en interaksjon, altså om effekten av år var ulik for de ulike livsstadier. De tre siste modellene så på henholdsvis de samme variablene, men tok også hensyn til dybde.

I modellene ble smoothing-faktoren, k , en verdi som bestemmer hvor lineær, eller ikke, modellen skal være. Smoothing-faktoren ble satt til 3 for å gi rom for noe ikke-lineær modellering slik at resultatene ble presentert best mulig, uten at de ble for tilpasset alle enkeltmålinger og uteliggere. Slik at det er mulig å se trenden til grafen og at grafen er mest mulig reell i forhold til dataene.

Det ble også testet ut log-transformering av responsvariablene, men dette ga ingen bedre distribusjon. Det ble derfor konkludert, basert på visuell vurdering av distribusjonen, at residualene var tilfredsstillende normalfordelt, dog ikke perfekte.

Det ble valgt å utelukke observasjoner med enkeltfunn av blåskjell da dette gjaldt kun tre observasjoner. Blåskjell forekommer stort sett i klynger eller tepper, eller ikke i det hele tatt. Det er derfor svært uvanlig å finne ett og ett blåskjell. Å se bort fra disse observasjonene gjorde at vi fikk en normalfordelt distribusjon med én, og ikke to topper.

For juvenile og adulte blåskjell ble det laget separate plot, ett for hvert stadie, med konfidensiellintervaller.

2.6.2 FELTEKSPERIMENTER I TIDEVANSSONEN

For felteksperimenter i tidevanssonen var forklaringsvariabelen behandling, mens stasjon var en grupperingsfaktor da vi ville se på endringen i mengde blåskjell over tid som en respons av behandling, uavhengig av stasjon.

Det ble satt opp tre kandidatmodeller for analyse av blåskjellmengde, der en modell kun ser på effekten av dager på mengden blåskjell, en annen modell ser på effekten av dager og behandling, mens den siste modellen ser på effekten av dager og behandling som en interaksjon, altså om antall dager påvirker mengden skjell ulikt avhengig av hvilken behandling de har fått.

Under modellering for felteksperimentene i tidevannsonen ble smoothing-faktoren, i likhet med analysen av ØKOKYST og Lange Tidsserier, satt til 3. Grunnen for dette var den samme; for å ta hensyn til at vi har ikke-lineære målinger, men samtidig la grafen vise en tydelig trend.

Målingen som ble gjort av blåskjellene, vekt av replikatene og lengdemål av skjellene, ble analysert i Microsoft Excel, versjon 16.48. Målene ble gjort ved oppstart og avslutning av eksperimentet. For lengdemål ble alle målene tatt med i analysen, mens for vekt av replikatene var det kun kontrollene som ble tatt med. Dette var fordi det ville vært misvisende å ha med vekten av de andre replikatene da disse hadde langt lavere mengde skjell ved avslutning enn ved oppstart av eksperimentet. I Excel ble det regnet ut gjennomsnittlig vekst og det ble laget boks-plot for å fremstille veksten hos skjellene.

Målingene ble plottet i punkt sammen med grafer og konfidensiellintervaller.

2.6.3 EKSPERIMENTER MED JUVENILE SKJELL – NEDSLAG OG OVERLEVELSE

Data for disse eksperimentene ble ikke analysert. Det ville ikke vært hensiktsmessig med statistisk analyse av disse dataene da de var såpass få data. Her ble det kun gjort observasjoner. Disse observasjonen er oppsummert under 3. Resultater (Kap 3.4).

3. RESULTATER

Analysene av ØKOKYST og Langetidsserier viser at det har vært en reduksjon i forekomst av adulte blåskjell ved stasjonene i Ytre Oslofjord siden 1990. Forekomsten av juvenile blåskjell er derimot ganske stabil, og viser heller en trend til økning (Kap. 3.1). Under snorkeltransektet ble det observert nedslag av juvenile skjell ved alle stasjoner, men svært liten forekomst av adulte skjell (Kap. 3.2). I sammenligning av observasjonene fra snorkeltransektene og dykkertransektene fra ØKOKYST Skagerrak 2020 viste registreringene fra dykkertransektene å være nok så representative for strandsonen totalt sett ved hver stasjon.

Feltekspérimentene i Indre Oslofjord viste ganske rask reduksjon av blåskjell for alle behandlinger (Kap. 3.3.). Kontrollene hadde derimot svært lav dødelighet og skjellene holdt seg frisk og fine til studiets slutt. Blåskjellene i kontrollene hadde også god vekst gjennom studiet. De supplerende eksperimentene med juvenile skjell viste også en forholdsvis rask reduksjon (Kap. 3.4).

3.1 ØKOKYST OG LANGE TIDSSERIER

Under dykkertransekt fra ØKOKYST Skagerrak 2020 ble det kort kun registrert funn av adulte skjell på Brattholmen og Store Arøya. Her var forekomsten spredt. Juvenile nedslag ble registrert ved Veslekalven (Dekningsgrad 4 = dominerende), Brattholmen (Dekningsgrad 3 = vanlig og 2 = Spredt), Risøyodden (Dekningsgrad 2 = Spredt) Færder fyr (Dekningsgrad 4 = Dominerende), Akerøy (Dekningsgrad 2 = spredt) og ved Gullholmen (Dekningsgrad 4 = Dominerende og 2 = Spredt).

Dataene fra ØKOKYST og Lange tidsserier viste en tydelig trend til at det har vært en nedgang i forekomst av blåskjell i Oslofjorden fra 1990-2020. Først og fremst viser dataene en nedgang for adulte skjell i Ytre Oslofjord fra 1990 før blåskjellbestanden sakte tar seg opp igjen mot 2000 (Figur 15). Etter 2000 begynner forekomsten av adulte blåskjell å reduseres ganske kraftig. Nedgangen fortsetter også etter 2010, men flater en del ut. For juvenile skjell viser dataene en ganske stabil forekomst, med en svakt økende trend.

3.1.1 ANALYSE AV DATA FRA ØKOKYST OG LANGE TIDSSERIER

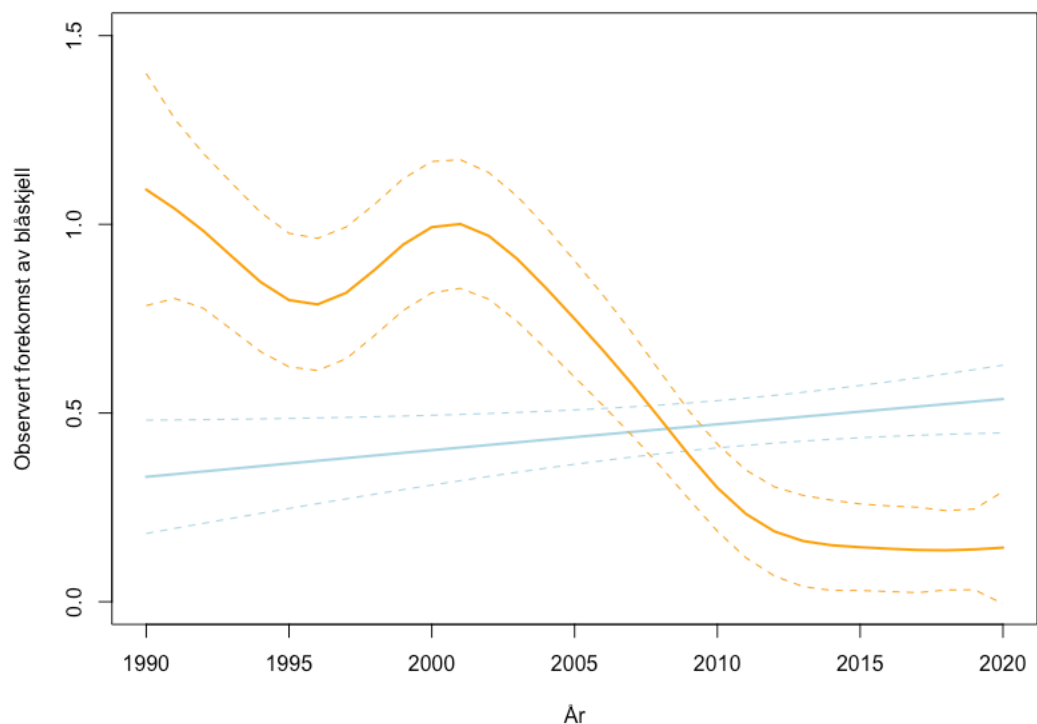
De ulike modellene som ble testet er listet under i

Tabell 3. AIC-verdien var lavest for modell 3b (effekt av interaksjon mellom dager og livsstadium mht. dybde), noe som vil si at denne modellen forklarer resultatene best uten å være for komplisert. Modellen viste sterk effekt av år for både juvenile og adulte blåskjell, dog sterkere effekt for adulte blåskjell. Effekten av dybde var også sterk for forekomst av begge stadier av blåskjell. Modellen forklarte 15 % av variasjonen ($R^2=0.15$) i forekomsten av blåskjell.

Tabell 3: AIC-verdier for de ulike kandidatmodellene som ble satt opp for ØKOKYST og Lange Tidsserier. Mod 1a =effekt av år, Mod 2a =effekt av år og livsstadium, Mod 3a effekt av interaksjon mellom dager og livsstadium. Mod 1b = effekt av år og dybde, Mod 2b = effekt av år og livsstadium mht. dybde. Mod 3b = effekt av interaksjon av dager og livsstadium mht. dybde.

F =variasjon i dataene som forklares av variabelen/ene. p =signifikans. df =frihetsgrader. n =antall observasjoner. ***= $p<0.001$. Modell 3b var den med lavest AIC-verdi.

	År		Livsstadie		Dybde		df	ΔAIC	R^2	n
	F	p	F	p	F	p				
Mod 1a	10.99	***	-	-	-	-	5	180,509	0,03	1506
Mod 1b	10.67	***	-	-	99.59	***	6	93,508	0,091	1506
Mod 2a	10.36	***	2.46	0.1	-	-	6	172,006	0,03	1502
Mod 2b	10.19	***	2.62	0.1	97.64	***	7	86,842	0,091	1502
Mod 3a			2.64	0.1	-	-	8	91,865	0,093	1502
	<i>Livsstadie x år</i>									
Adulte	24.89	***								
Juvenile	3.54	0.06								
Mod 3b			2.83	0.09	104.91	***	9	0	0,152	1502
Adulte	24.64	***								
Juvenile	4.22	0.04								



Figur 15: Endring i forekomst av blåskjell i Ytre Oslofjord basert på data samlet inn av programmene ØKOKYST og Lange tidsserier fra 1990-2020. Oransje=adulte skjell. Blå=juvenile skjell. Stiplede linjer viser konfidensiellintervallet. Forekomst av adulte blåskjell viser en signifikant reduksjon siden 1990. Nedslag av juvenile skjell har derimot vært relativt stabil gjennom årene.

3.2 SNORKELTRANSEKT

Observasjoner under snorkeltransektene viste at forekomsten av nedslag med juvenile blåskjell var svært vanlig. Disse nedslagene forekom i store teppeformasjoner med opptil 100% dekningsgrad. Stasjoner hvor dette var svært tydelig var spesielt Færder fyr og Gullholmen. Her var det store teppeformasjoner av juvenile nedslag. Også ved Veslekalven og Store Arøya var det store nedslag av juvenile blåskjell. På Akerøy, Brattholmen og Risøyodden var det derimot ikke like høy forekomst. Ved samtlige stasjoner var forekomsten av adulte blåskjell svært liten. Ved Færder fyr, Gullholmen og Risøyodden fant vi ingen adulte skjell. Store Arøya hadde høyest forekomst av adulte blåskjell. På Akerøy, Brattholmen og Veslekalven varierte forekomsten mellom spredt og enkeltfunn. På alle stasjoner ble det også observert store forekomst av ulike typer alger; grønnalger, sukkertare, blæretang, sagtang og rødalger. Rur var også vanlig ved de fleste stasjonene. I tillegg ble det observert sjøstjerner, strandkrabber, leppefisk, purpurnegl og strandsnegl.

Når det gjelder forekomst av juvenile blåskjell var det godt sammenheng mellom observasjonen fra snorkeltransektene og registreringene gjort under dykkertransektene under felt for ØKOKYST Skagerrak 2020. Det eneste som skilte seg ut var at det ikke ble registrert funn av juvenile skjell ved Store Arøya under dykkertransektet. Som sagt ble det her gjort funn av store nedslag med juvenile skjell ved snorkeltransekt. Når det kommer til adulte skjell ble dette observert på fire av sju stasjoner under snorkeltransekt, mens det ved dykkertransektet kun ble registrert funn av adulte skjell på Store Arøya. Store Arøya var den stasjonen med høyest forekomst av adulte skjell basert på snorkeltransektene.

3.3 EKSPERIMENTER I TIDEVANSSONEN

Basert på observasjoner ved hver enkelt stasjon var det tydelig en trend til at både pelagial- og bunnreplikatenes forsvant relativt raskt (Figur 16). Spesielt i starten var reduksjonen av skjell høy. Deretter avtok reduksjonen noe, men var fortsatt en reduksjon av skjell utover høst og vinter. For blåskjellenene som hang under bryggen på Biologisk Stasjon, var også nedgangen av skjell størst i starten, altså i mai og juni. Kontrollene, derimot, har sett fine ut hele veien og hatt svært lite reduksjon.

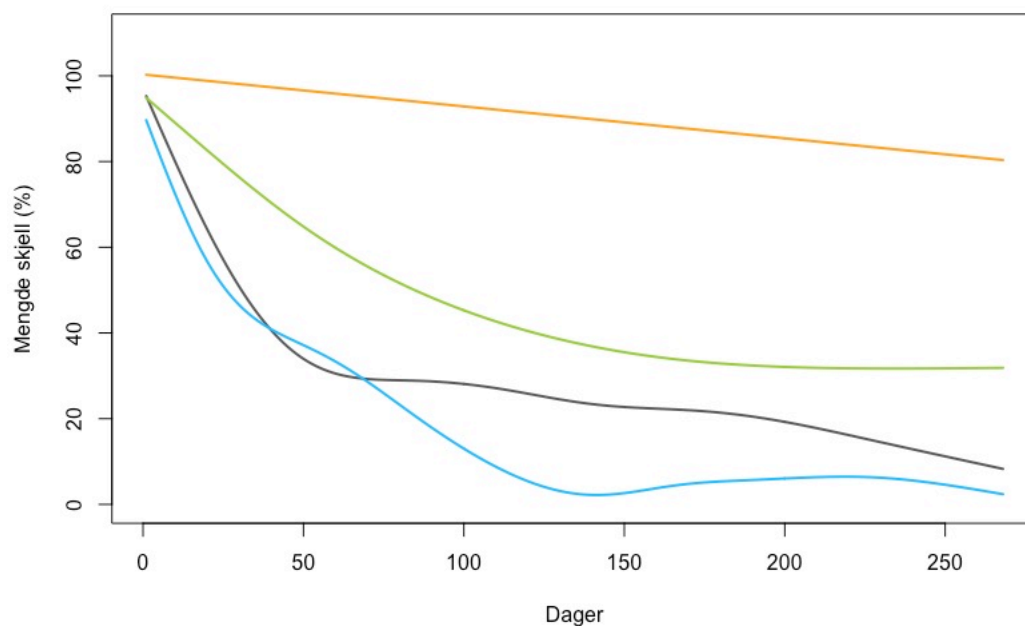
3.3.1 ANALYSE AV DATA FRA FELTEKSPERIMENTER I TIDEVANSSONEN

De tre ulike modellene som ble testet under statistisk analyse er listet under i **Tabell 4**.

For felteksperimentene i tidevannssonen var det modell 3 (effekt av dager og behandling som interaksjon) som hadde lavest AIC. Modellen viser at variabelen «dager» (ant dager skjellene hang ute), i interaksjon med variabelen «behandling», altså om de var festet på kjetting og lå i fjæresonen, om de hang fra brygge i vannmassene eller om de var plassert i bur, hadde signifikant effekt og best forklarte variasjonen i datasettet.

Tabell 4: ΔAIC -verdier for de tre kandidatmodellene for Felteksperimentene i tidevannssonen. Mod 1=effekt av dager, Mod 2= effekt av dager og behandling, Mod 3 = effekt av interaksjon mellom dager og behandling. F =variasjon i dataene som forklares av variabelen/ene. p =signifikans. df =frihetsgrader. n =antall observasjoner. ***= $p < 0.001$. Modell 3 var den med lavest AIC-verdi.

	Dager		Behandling		df	ΔAIC	R^2	n	
	F	p	F	p					
Mod 1	35.42	***	-	-	5	399,232	0,24	498	
Mod 2	50.18	***	145.1	***	8	80,033	0,58	498	
Mod 3	<i>Bunn</i>	25.80	***	175.5	***	14	0	0,64	498
<i>Dager x</i>	<i>Pelagial</i>	41.89	***						
<i>behandling</i>	<i>Kontroll</i>	8.70	**						
	<i>U.brygge</i>	15.15	***						



Figur 16: Her vises reduksjonen for hver behandling uavhengig av stasjon. Alle behandlingene viste en signifikant reduksjon av blåskjell. Kontrollene holdt seg relativt stabile med liten reduksjon. Oransje=Kontroller. Grønn=Under brygge. Sort=Bunn. Blå=Pelagial.

På alle stasjoner ble det observert både sjøstjerner, krabber, kutling og leppefisk som kan tyde på at skjellene ble tatt av predasjon. I tillegg ble det observert reker og andre fisk. I kontrollene på Storsand var det bl.a. svært høy forekomst av kultinger og reker. Skjellene ble

også tidvis tilgrodd/overgrodd av ulike arter som rur, mosdyr, hydroider, sjøanemoner og ulike alger (Vedlegg 1). I tillegg observerte vi store nedslag av juvenile skjell. I hovedsak var dette to nedslag: et i juni og et i august. Nedslagene ble til slutt borte på alle stasjoner, men klarte seg best på Tollboden i Drøbak der vi kunne observere at nedslaget vokste og så relativt stabilt ut helt til det forsvant i løpet av januar 2021.

På Biologisk Stasjon ble burene ganske raskt tilgrodd av små, slimete alger. Skjellene i pelagialen og i fjæra holde seg derimot bedre. Fra første sjekk kunne man se at antallet skjell på bunn- og pelagialreplikatene hadde begynt å avta. Nedgangen i skjell skjedde gradvis. Vekselsvis var både skjell og bur tilgrodd av ulike alger og rur. Alle replikatene i pelagialen var borte. Dessverre ble en del disse replikatene ødelagte; replikat 2 av de som hang under brygga, samt bunnreplikatene og kontrollene (Se Kap 4. Diskusjon – 4.2.3). Dette var, som tidligere nevnt, eneste stasjon med under-bryggereplikater; ved studiets slutt hang fortsatt replikat 1 og 3 i god stand og omtrent 50% av skjellene er gjenværende.

På Tollboden var alle skjell på bunn og pelagialreplikatene borte etter bare 13 dager. Her klarte kontrollene seg fint, men både bur og skjell ble vekselsvis tilgrodd. Ved slutten av studiet var fremdeles omtrent 90% av skjellene i kontrollene gjenlevende og fortsatt friske og fine. På Tollboden ble det observert både tjeld og ærfugl som spiste på skjellene i henholdsvis fjæra og i vannmassene.

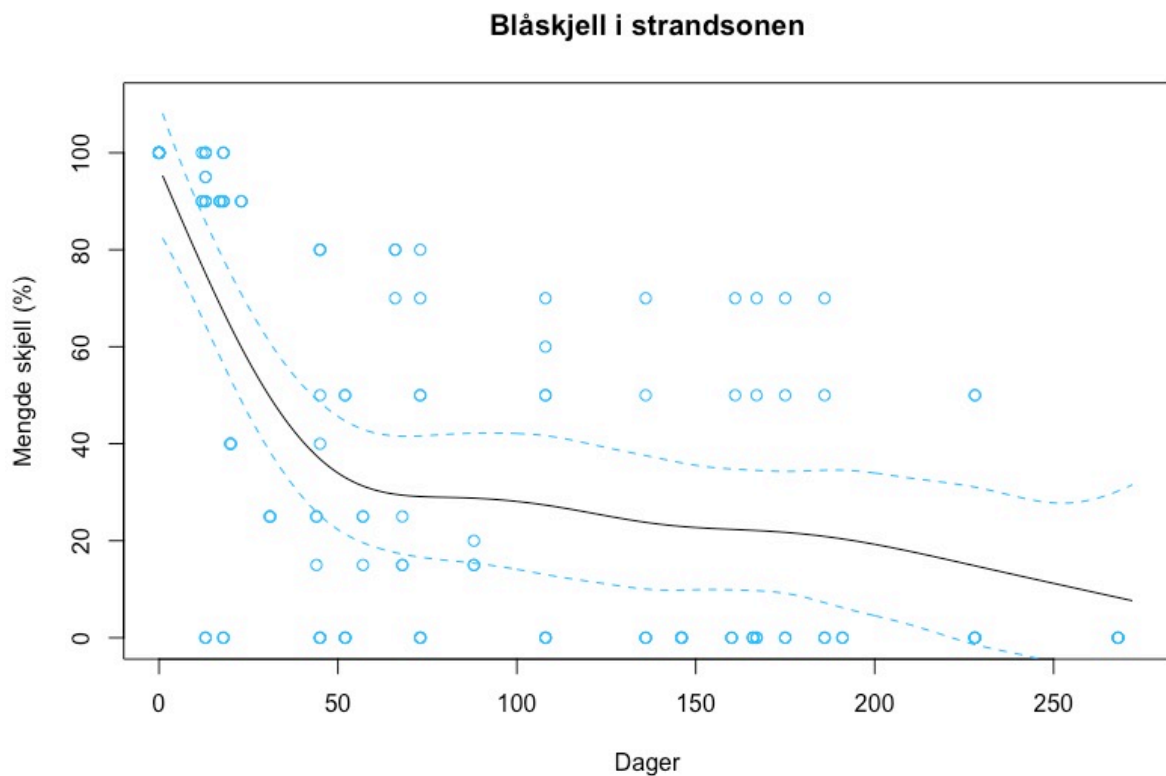
På Storsand forsvant pelagialreplikatene relativt kjapt, inne et par uker. Kun replikat 3, det nederste replikatet, hadde fortsatt skjell igjen ved studiets slutt. Her hang det 3 skjell igjen som fortsatt var fine og friske. Bunnreplikatene hadde en ganske stabil nedgang i skjell og lå lenge på henholdsvis 10, 70 og 50% helt til alle skjell var borte i januar 2021. Det ble samtidig med sjekk av replikatene i januar, observert mange tomme og knuste skjell på moloen og brygga der replikatene var festet. Kontrollene har også her klart seg veldig fint og 90% av skjellene henger fortsatt igjen.

På Ljan så man en betydelig reduksjon på bunnreplikatene allerede etter 20 dager, hvor omtrent 16/17 skjell, tilsvarende ca. 40% satt igjen. Både replikatene i vannmassene og kontrollene klarte seg veldig bra og hadde ingen synlig/betydelig reduksjon av skjell. I august var alle skjell på replikat 1 i vannmassene borte. I desember 2020 var alle replikatene i vannmassene tomme for skjell. Ved sjekk i desember var også burene med kontroller fjernet. På Solbergstrand var det en ganske drastisk reduksjon av skjell på replikatene i vannmassene gjennom juli og august. Ved siste sjekk i januar 2021 var alle skjellene borte. Her var det ikke mulig å sjekke bunnreplikatene etter august da replikatene hadde kilt seg fast, men de hadde

ca.90% skjell igjen 3.august 2021. Her også har kontrollene klart seg fint og kun hatt en reduksjon på rundt 10%.

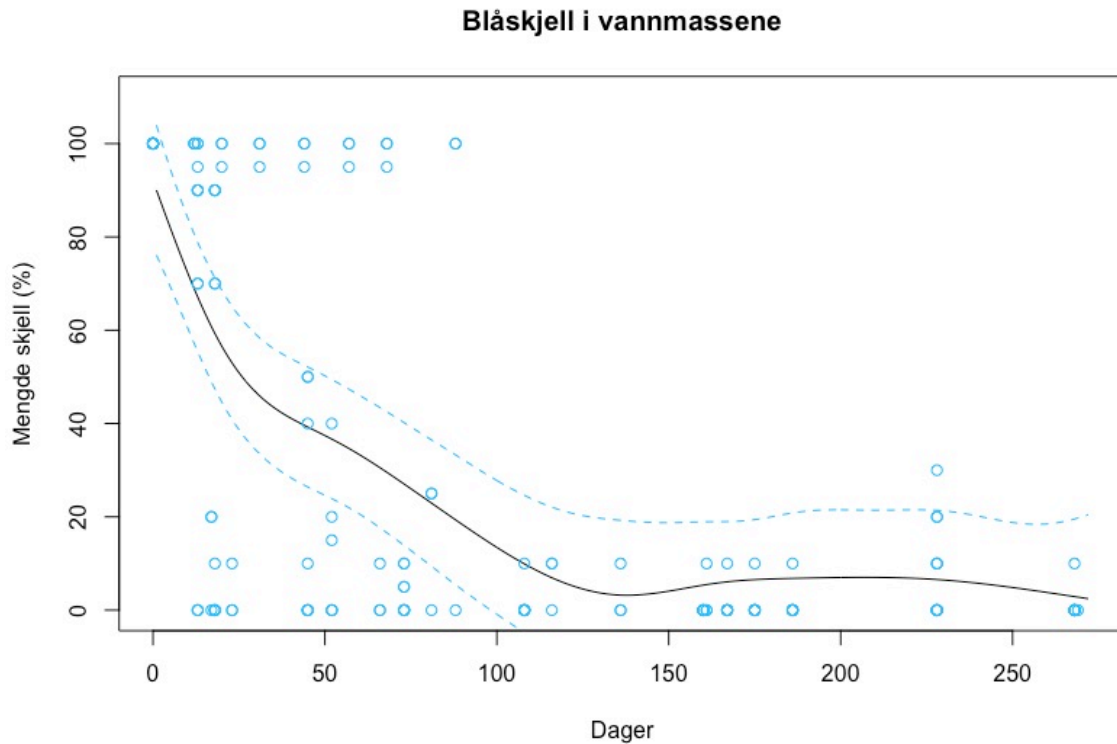
3.3.2 BLÅSKJELL I STRANDSONEN

I strandsonen var det en rask reduksjon av skjell fra starten av eksperimentet (mai 2020). Etter 50 dager begynte reduksjonsraten å avta, men det var fortsatt en jevn reduksjon av skjell frem til studiets avslutning (Desember 2020) (Figur 17). Slik det så ut var reduksjonen stasjonsbasert. På noen stasjoner, som Storsand klarte alle replikatene i strandsonen seg fint, mens ved andre stasjoner forsvant det meste av skjell raskt. Ved Tollboden forsvant alle replikatene i strandsonen i løpet av 13 dager.



3.3.3 PELAGIALREPLIKATER

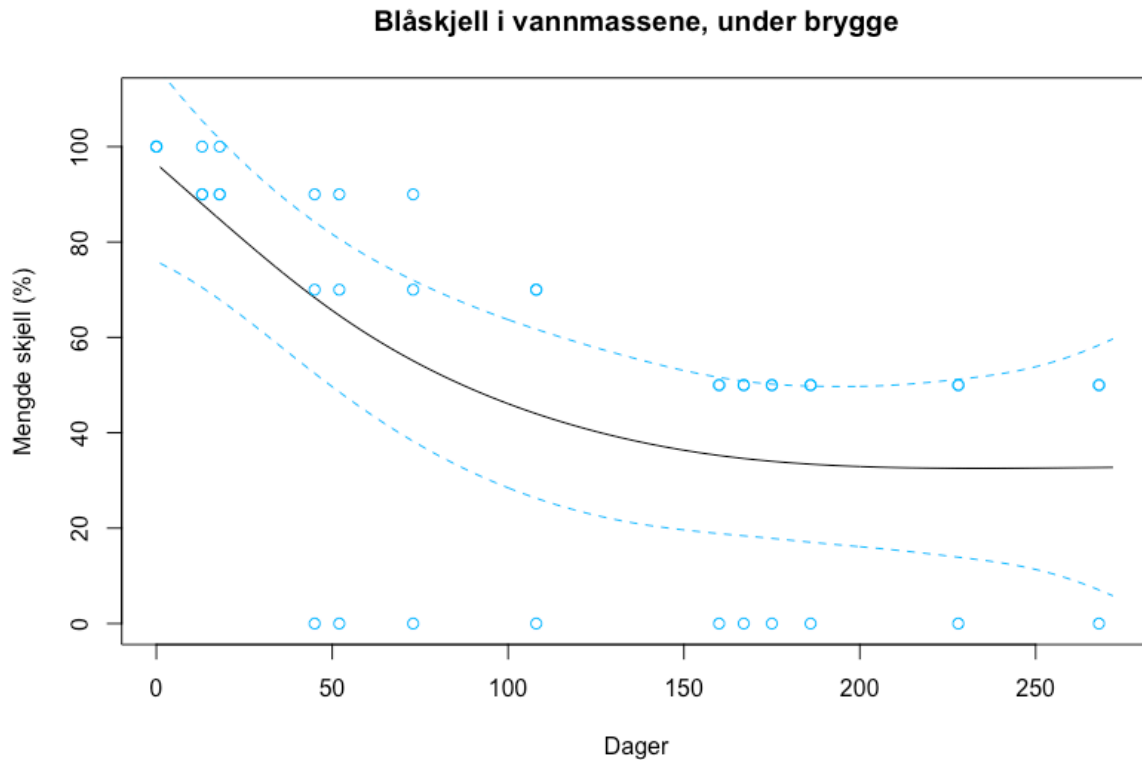
I likhet med bunnreplikatene hadde pelagialreplikatene en ganske rask reduksjon av skjell (Figur 18). Spesielt skjellene på det øverste (replikat 1)/ de to øverste (replikat 1 og 2) replikatene forsvunnet fort. Der det fortsatt hang igjen skjell, var det kun 10-20% igjen. Disse så dog fine og friske ut.



Figur 18: Her vises trenden for pelagialreplikatene. Sirkelplottene viser hver enkelt måling, de stiplede linjene viser konfidensiellintervallet.

3.3.4 BLÅSKJELL I VANNMASSENE, UNDER BRYGGE

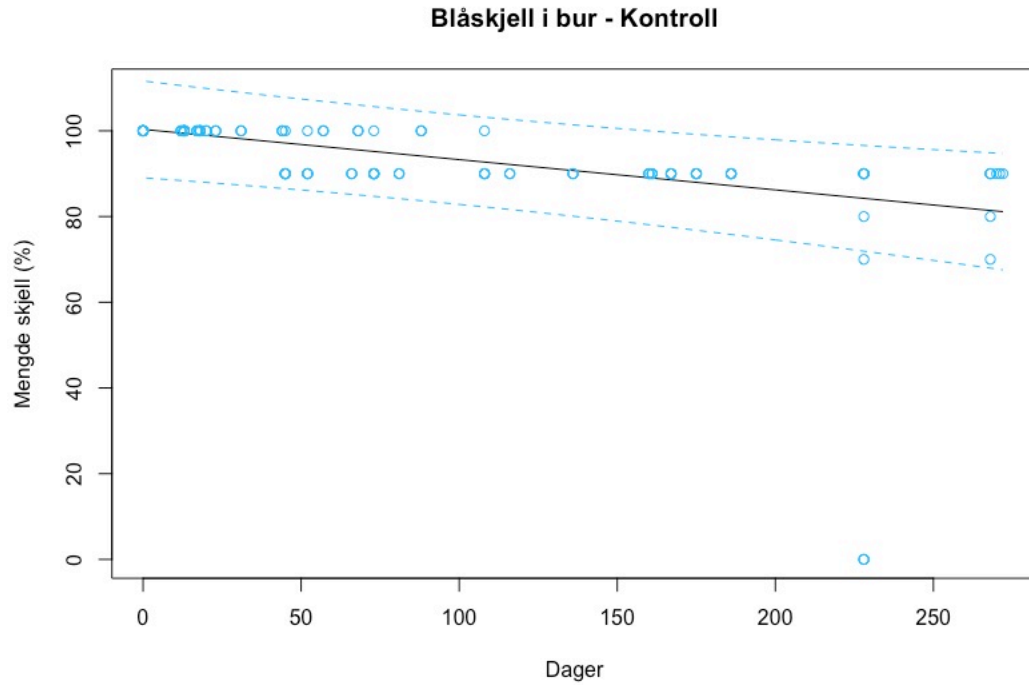
Her ble et replikat fjernet. De to replikatene som hang igjen, var av de som har klart seg absolutt best for utenom kontrollene. De hadde tydelig vekst og så blanke og frisk ut. Ut fra observasjoner har disse vært av de skjellene som har vært minst begrodd, og da stort sett av mosdyr og sjøanemoner. Omtrent 50% av skjellene var igjen på hvert replikat i januar 2021 (Figur 19).



Figur 19: Her vises trenden for replikatene som hang under bryggen på Biologisk Stasjon. Sirkelplottene viser hver enkelt måling, de stiplede linjene viser konfidensiellintervallet.

3.3.5 KONTROLLREPLAKTER

Kontrollene, sett bort fra de som ble fjernet/ ødelagt, klarte seg veldig bra. De hadde lav dødelighet, 10-20% nedgang (Figur 20), og har generelt sett veldig friske og fine ut.



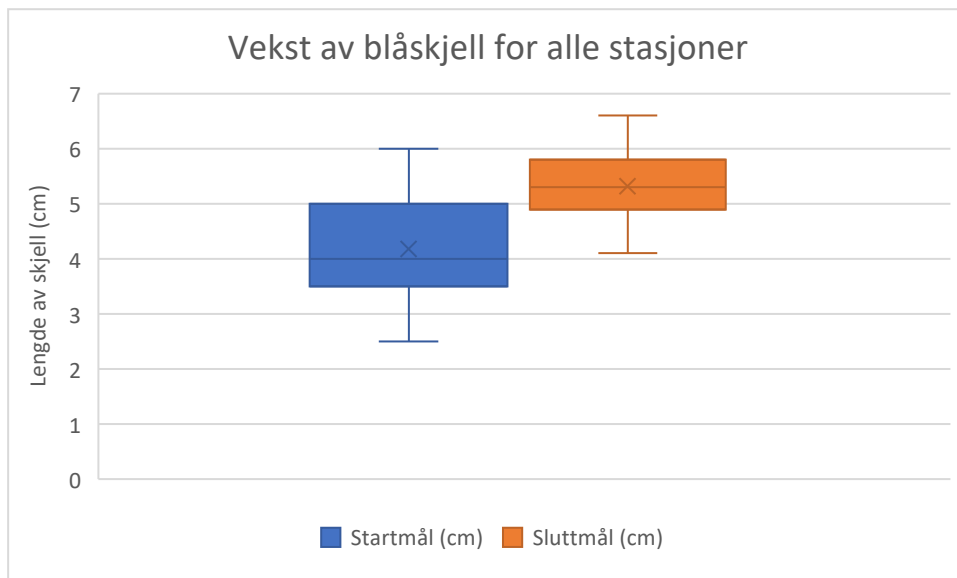
Figur 20: Her vises trenden for kontrollene. Sirkelplottene viser hver enkelt måling, de stiplede linjene viser konfidensiellintervallet.

3.3.6 VEKST HOS SKJELLENE

Utrekning og modellering i Excel viser at blåskjellene som har blitt målt ved studiets oppstart og avslutning har hatt vekst både i størrelse og vekt (Figur 21 og 22). Ved oppstart var skjellene i snitt 4,2 cm lange, mens de ved avslutning hadde en gjennomsnittlig lengde på 5,2 cm. Altså har skjellene i snitt vokst 1 cm over åtte måneder. Ved oppstart hadde replikatene en gjennomsnittlig vekt på 528 g. Ved avslutning av studie var den gjennomsnittlige vekten av replikatene i burene 787 g. I snitt har replikatene økt i vekt med 259 g. For oversikt over start og sluttmaal av kontrollene, se Vedlegg 2, Tabell 5 og Tabell 6.

Lengdemål (målt i cm):

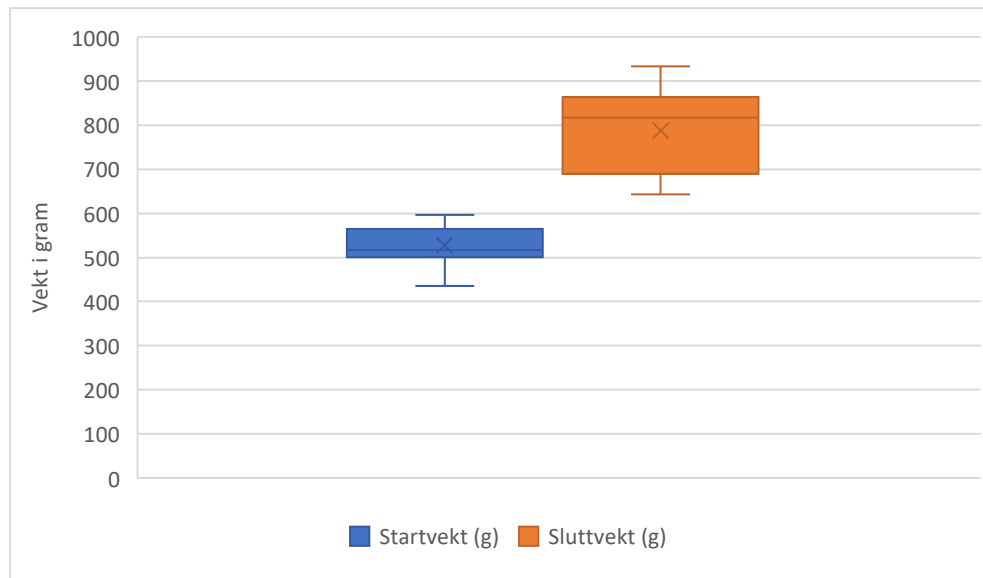
For alle stasjoner



Figur 21: Figuren viser veksten for blåskjellene ved alle stasjoner sammenlagt. Det blå boksplottet viser lengden av blåskjell målt ved uthenging (07.05.20), mens det oransje boksplottet viser lengden av blåskjellene målt ved avslutning (21.12.21). Boksene i plottet viser 25% og 75% kvartilene, linjen i boksen viser medianen, mens krysset viser gjennomsnittet. Værhårene viser her minste og lengste målte lengde av skjellene.

Vekt (målt i gram):

Ved måling av vekt ved oppstart av studie ble alle replikatene målt og tatt med i beregningen. Derimot er kun kontrollene som er målt og tatt med i beregningen ved avslutning av studie da det ville vært misvisende å ha med vekt på remsene der skjellene har blitt borte.



Figur 22: Figuren viser vektøkningen i gram for kontrollene ved alle stasjoner sammenlagt. Det blå boksplottet viser vekten av alle replikatene med blåskjell målt ved uthenging (07.05.20). Det oransje boksplottet viser vekten av blåskjellene målt ved avslutning (21.12.20). Boksene i plottet viser 25% og 75% kvartilene, linjen i boksen viser medianen, mens krysset viser gjennomsnittet. Værhårene viser her letteste og tyngste mål av skjellene. Ved avslutning er det kun vekten kontrollreplikaterne som er brukt.

3.4 EKSPERIMENTER MED JUVENILE SKJELL – NEDSLAG OG OVERLEVELSE

3.4.1 REKRUTERINGSTEST: NEDSLAG PÅ TAU

På tauene var det tendenser til nedslag av blåskjellyngel bare etter et døgn. I løpet av to uker var de fullstendig dekket av ca. 1mm lange, svarte, juvenile blåskjell. Etter en måned begynte mengden juvenile skjell å reduseres. Tauene begynte å få bare flekker, samtidig som både rur og alger begynte å vokse på dem. I midten av oktober var det ingen blåskjell igjen på tauene, kun ulike små alger og rur.

3.4.2 TEST AV OVERLEVELSE OG VEKST

De juvenile blåskjellene som ble satt ut ved hver stasjon i strømper og på steinplater forsvant i løpet av vinteren. I januar, ca. tre måneder etter forsøkene ble satt ut, var det kun 3 skjell igjen. Disse satt på samme steinplate på Biologisk Stasjon. Resten av skjellene, både i strømper og på steinplater var borte. Både sjøstjerne, krabber og fisk ble observert på og rundt replikatene.

4. DISKUSJON

4.1 KORT OPPSUMMERING AV RESULTATER

4.1.1 ØKOKYST og Lange Tidsserier

Den statistiske analysen utført i denne oppgaven viser at dataene fra ØKOKYST og Lange tidsserier dokumenterer en nedgang i forekomst av adulte blåskjell i Ytre Oslofjord fra 1990 og frem til 2020. Når det kommer til forekomst av juvenile blåskjell har forekomsten, som tidligere nevnt, vært stabil og heller vist en trend til økning.

Under snorkeltransektene jeg gjennomførte i sammenheng med felt for ØKOKYST Skagerrak 2020, så jeg store nedslag av juvenile blåskjell på nesten alle stasjoner, mens forekomsten av adulte blåskjell var svært lav. Totalt var det tre stasjoner der jeg ikke fant adulte skjell i det hele tatt, mens på de fire andre stasjonen var forekomsten spredt eller i form av enkeltfunn.

4.1.2 FELTEKSPERIMENTER

Feltekspperimentene viste en forholdsvis rask reduksjon av skjell for alle stasjoner der det på det mest ekstreme forsvant hele replikater med blåskjell på under en uke. Replikatene med blåskjell på kjetting (i strandsonen) og i pelagialen hadde raskest reduksjon, mens skjellene i burene omtrent ikke minket i det hele tatt. Tidvis har også replikatene vært tilgrodd i ulik grad av rur, forskjellig typer tang, mosdyr, hydroider, sjøanemoner samt nedslag av juvenile blåskjell. Det ble under eksperimentene observert både ærfugl, sjøstjerner, leppefisk, strandkrabber, kutling, tjeld, måker og reker på replikatene.

Eksperimentene med juvenile blåskjell (nedslagene som kom i juni og august 2020) viste totalt sett rask reduksjon og få overlevende skjell. Tauene som ble hengt ut hadde god rekrutering av juvenile skjell, men disse forsvant raskt. Steinplatene og strøpene som ble brukt hadde også rask reduksjon av skjell og i strøpene lå det kun tomme skjellskall igjen.

4.2 VURDERING AV STUDIESPØRSMÅL OG MULIGE ÅRSAKER TIL OBSERVERTE MØNSTRE

4.2.1 ENDRINGER I BLÅSKJELLFOREKOMST OVER TID

Som sagt viser dataene fra ØKOKYST og Lange Tidsserier en nedgang i forekomst av blåskjell i Oslofjorden over de siste tretti årene. Dette er en nedgang som tidligere kun har vært antatt basert på spekulasjoner og subjektive meninger fra både publikum og forskere. Observasjoner fra snorkeltransekt under ØKOKYST i 2020 er også med på å underbygge disse dataene, der det ble registrert høy forekomst av juvenile nedslag på flere av stasjonene,

men svært få observasjoner av adulte skjell. Dataene fra Lange tidsserier og ØKOKYST har vært systematisk innsamlet ved samme stasjoner og ved bruk av samme metode gjennom en lang tidsperiode, 1990-2020, og det kan argumenteres for at dataene er validerte og gir en god og representativ fremstilling av blåskjellforekomsten i Oslofjorden. Sett under ett, stemmer både data fra ØKOKYST og Lange tidsserier og observasjonene vi gjorde under snorkeltransektene i sammenheng med ØKOKYST i 2020 med hva som er beskrevet i litteraturen når det gjelder nedgang i forekomst av blåskjell. Registreringene gjort under dykkertransektene stemmer også godt overens med observasjonene gjort ved hver enkelt stasjon under felt med ØKOKYST i september 2020. Alt i alt peker dette på at det faktisk har vært en nedgang i forekomst av blåskjell i Oslofjorden og at registreringene gjort under dykkertransektene for de to overvåkningsprogrammene er representative for stasjonene i sin helhet.

4.2.2 MULIGE ÅRSAKER TIL NEDGANG I FOREKOMST AV BLÅSKJELL

Den brå nedgangen i forekomst av blåskjell fra 1991- 1995 (Figur 15) skyldes mest sannsynlig ettervirkninger av oppblomstringen av den giftige algen *Prymnesium polylepis* (tidligere *Chrysochromulina polylepis*) i Skagerrak våren 1989 (Christie et al., 1991). Først og fremst førte denne oppblomstringen til en massedød av mange viktige predatorer som indirekte ga opphav til en massiv blåskjellforekomst. Denne massive forekomsten av blåskjell førte igjen til en kraftig økning av blåskjellpredatorer som sjøstjerner og ærfugl som igjen skulle vise seg og renske bort så og si alle blåskjell (Leinaas, 1992). Allerede i 1991 hadde sjøstjerner rensket bort blåskjell i sublitoralen. Ærfugl hadde spiste det som var i littoralsonen (Christie et al., 1991).

Nedgangen som ble dokumentert fra 2000 og frem til i dag har vært mye spekulert i og sammenlignet med andre land. Til tross for mange studier og forklaringer på nedgangen av *Mytilus* ssp. i andre deler av verdenen, er det ingen som forklarer nedgangen i forekomst her i Oslofjorden (Christie et al., 2020). Man har blant annet hatt to særskilt kalde vintre i 2009/2010 og 2010/2011, der en konsekvens var stor nedgang i forekomst av blåskjell i Oslofjorden grunnet frost og isskuring (Mortensen & Strohmeier, 2018) Mekanisk slitasje som isskuring og stor bølgeaktivitet kan dra med seg skjell, i tillegg til at stor bølgeaktivitet, spesielt på eksponerte lokaliteter kan gjøre det vanskelig for nye rekrutterer å slå seg ned (Donker et al., 2015). Likevel er ikke frost og isskuringen en fellesnevner som forklarer nedgangen i blåskjellforekomst annet enn i enkelttilfeller på lokalt nivå (Andersen et al.,

2016). Oslofjorden er heller ikke et område preget av ekstrem bølgeaktivitet. I tillegg er bølgeaktivitet viktig både for å fjerne eventuell sedimentering og for tilførsel av friskt nærings- og oksygenrikt vann (Westerbom & Jattu, 2006).

Innledningsvis ble det også nevnt flere mulige abiotiske faktorer som kan påvirke blåskjellforekomst. I tråd med årlige målinger som er gjort av Norconsult (2019) er det ingenting som tilsier at det er faktorer knyttet til vannparameterne som har påvirket forekomsten av blåskjell i Oslofjorden. Da overflatetemperaturen kun har steget med 0,6 °C siden 80-tallet er det heller ikke noe som tilsier at temperaturøkninger har skylden (Staalstrøm et al., 2020). Surere vann viste heller ingen effekt på veksten til adulte skjell, sammenlignet med kontrollområder (Gazeau et al., 2010), men blir vannet for surt, vil skjellene løses opp fortere enn de klarere å bygge seg opp.

Oslofjorden har som nevnt innledningsvis en stor kystbefolkning og er preget av både avrenning fra land (Frigstad et al., 2018) og antropogenisk påvirkning (Staalstrøm et al., 2020). Noe som kan føre med seg både næringsalter, miljøgifter, mikroplast og sedimentering (Denny, 2008). I Indre Oslofjord er det, sammenlignet med tidligere, lavere nitrogen og fosfornivåer (Norconsult, 2019; Staalstrøm et al., 2020). Derimot er det urovekkende trender med økende nitrogenforhold i Ytre Oslofjord der verdiene har hatt en kraftig økning de siste 30 årene (Staalstrøm et al., 2021). Fordi blåskjell ofte lever på hardbunnssubstrater relativt høyt oppe i tidevannssonen, eller i pelagialen festet til tau er de heller ikke utsatt for sedimentering på samme måte som mange andre arter som lever dypere (Sipiä et al., 2001). Sedimentering av substrater kan dog gjøre det vanskelig for juvenile blåskjell å feste seg, noe som kan ha negativ effekt på blåskjellrekruttering (Westerbom & Jattu, 2006). I Norge er Oslofjorden et av to steder der blåskjell er mest utsatt for mikroplast (Bråte et al., 2018), men en studie av Bråte et al. (2018) viste at dette ikke påvirket overlevelse av skjellene.

Det forskes mye på sykdom som årsak til reduksjonen av blåskjell og lokalt har man gjort funn av parasitten *Marteilia*, i Dalsfjorden i 2020 (Mortensen, 2021). Denne parasitten kan være dødelig for blåskjell og man har nå satt fokus på å finne ut hvordan denne parasitten blir spredt, da funn ble gjort i naturlig forekomst av skjell i åpent vann, der man ikke trodde parasitten kunne leve (Mortensen, 2021). Likevel er det lite sannsynlig at parasitter, virus eller

andre former for infeksjon forklarer nedgangen totalt sett (Tore Strohmeier). Kun i enkelttilfeller og på lokalt nivå.

4.2.3 HVORDAN BLÅSKJELL KLARER SEG GJENNOM EN ÅRSSYKLUS PÅ ULIKE STEDER I TIDEVANNSONEN?

Ut fra resultatene så det ikke ut til at plasseringen i tidevannsonen var av betydning da både blåskjellene i vannmassene og i strandsonen hadde relativt høy reduksjon fra starten av eksperimentet. Blåskjellene forsvant raskest for behandlingene som var lettest synlig og tilgjengelig for andre arter. Jeg vil også nevne at de så ut til at skjellene som overlevde til de nådde en viss størrelse ikke lengre ble preget av nedgang da reduksjonen av blåskjell på de ulike replikatene avtok utover høsten og det var omtrent sammen mengde blåskjell på replikatene i midten av september som i januar. Blåskjellene som ble plassert i bur og under brygge har i likhet med de andre replikatene vært utsatt for tilgroing av ulike arter (Vedlegg 1 for eksempler) noe som kan tilsi at dette ikke er utslagsgivende for overlevelse av skjellene. Skjellene i bur og under brygge har også hatt god vekst på samtlige stasjoner noe som kan tilsi at det ikke har vært vannkvaliteten som har påvirket skjellene.

4.2.4 KAN ÅRSÅKEN TIL DEN EVENTUELLE NEDGANGEN I BLÅSKJELL, MYTILUS EDULIS, SKYLDES ØKT KONKURRANSE ELLER PREDASJONSPRESS?

Introduksjonen av stillehavsøstersen kan også gi negative effekter på forekomsten av blåskjell (Jelmert et al., 2020). På lokaliteter der disse to artene lever i samme habitat vil blåskjell bli utkonkurrert i noen grad (Jelmert et al., 2020). Ifølge Tore Strohmeier er stillehavsøsters svært usannsynlig bl.a. på bakgrunn av observasjoner og rapporteringer der blåskjell blir borte og plassen ikke okkuperes av stillehavsøster samt at blåskjell blir borte på steder der stillehavsøstersen ikke har blitt observert. Altså ser man ikke her de samme trendene som langs kysten av Vadehavet (Folmer et al., 2019). Under ØKOKYST Skagerrak 2020 ble det kun observert spredte forekomster av stillehavsøsters, så heller ikke her opptar østersen betydelig plass (Fagerli et al., 2020). Ved observasjoner under eksperimentene med blåskjell i Indre Oslofjord ser det heller ikke ut til at plassen til blåskjellene okkuperes av andre arter og det var tydelig med plass langs strandsonen, både på sandbunn og harbunn. Også på bryggene var det nok med plass for feste av blåskjell. Dette er observasjoner som kan peke mot at det ikke er konkurranse om plass med andre arter som har ført til nedgangen av blåskjell.

I Christies studie (2020) er det ytret at det sees en trend til at de juvenile skjellene ikke får vokse opp, men blir konsumert, noe som også støttes av dataene presentert i denne oppgaven, hvor svært få adulte blåskjell ble observert samt at store nedslag med juvenile blåskjell har forsvunnet relativt raskt. Det har blitt observert en økning i bestander av mesopredatorer som krabbe, leppefisk og sjøstjerner i Oslofjorden de siste årene (Christie et al., 2020; Eriksson et al., 2011). Som nevnt innledningsvis skyldes mest sannsynlig dette en kollaps i torskebestanden i Skagerrak og Oslofjorden (Cardinale & Svedäng, 2004; Svedäng & Bardon, 2003). Torsk er en nøkkelart i Oslofjorden fordi den er en viktig predator som lever av et bredt utvalg av byttedyr (Cardinale & Svedäng, 2004; Svedäng & Bardon, 2003). Når torsken har forsvunnet, er også predasjonstrykket på byttedyrene dens langt lavere og disse bestandene har vokst. Dette har igjen gitt større predasjonstrykk på spesielt blåskjellyngel. På bakgrunn av de økende bestandene av viktige mesopredatorer i Oslofjorden, gjennomførte Christie et al. (2020) en studie i 2019 som så på om dette ga økt predasjonstrykk på juvenile blåskjell og derav førte til en nedgang i rekruttering. De brukte kunstige tidevannsbassenger der de har testet to viktige mesopredatorer; strandkrabbe (*Carcinus maenas*) og leppefisken bergnebb (*Ctenolabrus rupestris*). Studien viste at krabbe og bergnebb raskt spiste opp blåskjellyngel som ble satt i tidevannsbassengene. På det raskeste renses de vekk det som fantes av blåskjellyngel på få timer. Dette støtter også observasjonene vi har gjort av store nedslag med blåskjell på stasjonene, som på få uker til få dager ble borte igjen.

Studiets observasjoner

Under sjekk av stasjonene er det observert og registrert relativt høy forekomst av strandkrabber og leppefisk. Disse organismene har blitt sett på og rundt replikatene omtrent ved hvert besøk og på alle stasjoner.

Det har også blitt observert store mengder med sjøstjerner (*Asterias rubens*) på replikatene. Sjøstjerner spiser ikke bare yngel, men også adulte blåskjell (Christie et al., 1983; Hiscock et al., 2019) slik som på replikatene våre. I Limfjorden, som er hjem for Danmarks største blåskjellfiskeri, har det blitt observert store mengder sjøstjerner, så mye som 50 stk/m² (Petersen et al., 2016). Med en så høy tetthet av sjøstjerner har dette ført til at nesten all forekomst av blåskjell har blitt spist.

Jeg har også en mistanke om at ærfugl kan være en årsak til at forekomsten av blåskjell er blitt kraftig redusert. Det har frem til 2015 blitt dokumentert en ganske sterk økning i bestanden av ærfugl i Oslofjorden (Bergan & Andersen, 2017). Det er gjort observasjoner av ærfugl på alle stasjoner jevnt gjennom året. Generelt spiser ærfugl opp mot 2 kg blåskjell per døgn, men er forekomsten tett, kan de spise opp mot 8 kg (Erikstad et al., 2006). Statens

naturoppsyn meddelte at tusener av ærfugl hadde blitt funnet døde i 2020 fra Agder og inn mot Østfold. Det har også blitt registrert en nedgang i ærfugl i Drøbakssundet og indre Oslofjord siden 2015 av Norsk Ornitologisk forening (2017). Blåskjell er den viktigste næringskilden for disse fuglene, og som følge av reduksjonen av blåskjell finnes det mest sannsynlig ikke nok mat tilgjengelig, og de sulter (Miljødirektoratet, 2020). Dette viste også obduksjon av ærfugl utført av veterinærinstituttet (2020).

Under observasjon av felteksperimentene ble det også registrert relativt store nedslag av juvenile blåskjell. De supplerende eksperimentene med juvenile blåskjell indikerer at det er stor sjans for at det er høy predasjon på juvenile blåskjell, slik at de ikke rekker å vokse opp. Dette er en teori som støttes av Christie (2020).

Basert på observasjonene av kontrollene så vi en trend som pekte på at skjell kan ha blitt borte på grunn av predasjon. Kontrollene så fine ut hele veien og kun et fåtall skjell ble spist eller døde, mest sannsynlig pga. sjøstjerner da vi observerte disse i burene jevnlig. Skjellene i burene har også vokst betydelig (Figur 21 og 22) og så fortsatt frisk og fine ut ved avslutning av eksperimentene i januar 2021. At kontrollene har klart seg såpass bra på alle stasjoner støtter opp under antagelsene om at det ikke er hverken sykdom og parasitter eller vannforhold som er årsaken til reduksjon av blåskjell.

4.3 USIKKERHETER, FEIL, MANGLER, BEGRENŚINGER

Under snorkeltransekt ble arter identifisert med og uten hjelp av eksperter på NIVA. Derfor er det sannsynlighet for at ikke alle arter er identifisert riktig. I tillegg er det mulig at ikke alle arter har blitt fanget opp.

Under rapportering av dekningsgrad er dette gjort noe med skjønn som kan indikere at dekningsgraden som er rapportert ikke er nøyaktig, likevel skal den være representativ for forekomsten vi observerte ved de ulike stasjonene. Da disse registreringene ikke er brukt i statistisk analyse har ikke disse dataene påvirket analyseresultatet for oppgaven.

Design

Antall blåskjell: Fordi vi valgte å beholde blåskjellene på remsene de kom på fra oppdretter (av grunner beskrevet under metode), var det vanskelig å telle alle skjellene. Derfor er det uvisst nøyaktig hvor mange skjell som var med fra start og variasjonen i antall skjell mellom replikatene. Det er heller ikke målt nøyaktig størrelse på alle skjell da de var vanskelige å måle når de var festet til remsen.

Kontrollene ble tidvis tilgrodd av ulike typer alger, rur, hydroider, bryozoaer og sjøanemoner. Det ble også registrert både sjøstjerner, små krabber, kutling, bergnebb og reker inne i burene. For å kontrollere for bureffekter, som dødelighet som skyldes innelukking i bur, kunne det også vært introdusert en kontroll til, med åpne bur. Slik kunne man ha sammenlignet dødeligheten mellom åpne og lukkede bur. Skjellene i kontrollene klarte seg likevel veldig bra, noe som tilsier at en ekstra kontroll ikke var nødvendig. Å unngå innkomst av andre arter i kontrollene er vanskelig når vi har kontrollene ute i sjøen. Dette var en avveging med å ha så like parameter med de andre replikatene som mulig. Man kunne f.eks. hatt kontroller i lukkede bassenger, men da endrer man samtidig veldig mange faktorer og man kan argumentere for at kontrollene ikke lengre er sammenlignbare med selve replikatene som henger i sjøen. Man kunne også ha hatt bur med mindre åpninger, men dette ville ha grodd igjen fortere, og hindret vanngjennomstrømning som kunne ført til økt bureffekter.

Innsamling av data

Stasjonene har blitt sjekket ulikt antall ganger og med ulik frekvens. Stasjonene Biologen, Storsand og Tollboden har blitt sjekket flest ganger gjennom året. I utgangspunktet var det meningen å sjekke skjellene en til to ganger i måneden, men endringene skjedde såpass raskt at vi under sommersesong sjekket skjellene omtrent en gang i uken. For noen stasjoner oftere da det ble observert store endringer over natten.

Vi valgte å avslutte eksperimentet for de individuelle replikatene når skjellene hadde blitt borte. I noen tilfeller hang vi ut flere skjell, men data for disse er ikke med i selve studien.

Hindringer

Først er det viktig å nevne at flere av replikatene ble ødelagt. Både kontroller og replikater på kjetting ble fjernet ved Biologisk Stasjon. Her hadde burene blitt åpnet og skjellene fjernet. De tomme burene hadde også blitt lukket med tau og hengt ut igjen på samme sted. Dette ble oppdaget henholdsvis 23. august og 14. september. Det er også viktig å bemerke at på Solbergstrand har det ikke vært mulig å sjekke replikatene på kjetting siden 27. juli frem til studiets slutt i desember. Alle data for disse replikatene har blitt registrert frem til nevnte datoer og er tatt med i statistisk analyse.

Lokale forskjeller på stasjonene påvirker også resultatene. Eksempelvis på Solbergstrand der det ikke var mulig å sjekke bunnreplikater etter oktober, da de kilte seg fast ved moloen de henger ved. Stasjonene har også ulik grad av eksponering samt ulik forekomst av arter og tilgang for publikum. Replikater på både Tollboden, Biologen og Ljan har blitt ødelagt. Størrelse på forekomst av ulike arter er også forskjellig ved de ulike stasjonene. Generelt ar

skjellene vært utsatt for høyest predasjonstrykk i pelagialen på Storsand og Tollboden basert på at vi to ganger hang ut skjell på nytt her, men dette blir kun spekulasjoner. Skjellene synes også å ha vært mest utsatt for tilgroing ved Solbergstrand, Tollboden og Biologen, men dette er kun basert på observasjoner og kan ikke sies sikkert.

4.4 FORBEDRINGER OG ANBEFALINGER TIL VIDERE STUDIER

For å få et bedre inntrykk av blåskjellenes vekst gjennom året kunne det ha vært gjort flere målinger underveis av vekt og lengde. Vi valgte å ha måling ved eksperimentets oppstart og avslutning da dette igjen var enklest da skjellene hang festet til remser.

Det ble også prøvd ut videoovervåkning av skjellene for å kunne overvåke hvilke predatorer som spiste skjellene. Det ble både forsøkt med viltkameraer med bevegelsessensorer og GoPro i vanntette etuier. Det var flere grunner til at dette ikke fungerte. Batteritid på kameraene var et problem. Man kan ikke forutse med nøyaktighet når predatorene vil komme på besøk. Vi hadde kameraene gjentatte ganger, men uten hell. Viltkameraene fanget opp bilde av bakkdelen på en ærfugl, men ellers var bevegelsessensoren på kameraene for sensitive for bølgeaktiviteten. Timelaps på GoPro ble også testet gjentatte ganger, noe som fungerte forholdsvis bra, men det ble ikke fanget opp predatorer. Eventuelt ville webkamera eller GoPro koblet til en strømkilde vært en løsning. Dette kunne vært mulig på Tollboden da bygget ligger såpass nærme bryggen og vannet der skjellene befant seg.

Uthenging av skjell av forskjellige årsklasser kan også være lurt for å få et inntrykk av hvilke størrelser av skjell som er mest utsatt for predasjon. Skjellene som klarte seg gjennom et år har hatt relativt god vekst og henger fortsatt ute. Disse har foreløpig ikke blitt utsatt for predasjon. Eksempelvis på Storsand; skjellene som henger her nå har fått være i fred, mens skjellene som hang her i fjor, også i mai, ble rensket bort over natten. Man kan da spekulere i om skjellene har blitt så store at de er vanskelige å konsumere eller åpne for eventuelle predatorer.

Det kan også argumenteres for at det hadde vært fordelaktig med flere stasjoner, både for å veie opp for replikater som ble fjernet eller ødelagt, men også for å få flere data og observasjoner av hvordan skjellene i Oslofjorden blir borte. Bakgrunnen for valget av fem stasjoner var at det først og fremst skulle være representativt for indre Oslofjord og veie opp for hvis enkelte replikater skulle bli ødelagt, men også hva som er overkommelig å undersøke. Det kan også være lurt å ha flere replikater ved hver stasjon, men det finnes heller ingen garanti for at ikke disse replikatene hadde blitt ødelagt på samme måte som skjedde under prosjektet.

5. KONKLUSJON

Analyse av data fra overvåkningsprogrammene ØKOKYST og Lange tidsserier viser at det faktisk har vært en ganske omfattende nedgang i forekomst av adulte skjell i Oslofjorden de siste 30 årene. Derimot synes forekomsten av juvenile skjell å ha holdt seg relativt stabil. Gjennom felteksperimenter har denne studien vist at klynger med adulte blåskjell forsvinner relativt raskt. Sammen med observasjoner av ulike blåskjellpredatorer kan dette tyde på at skjellene blir spist. Både i felt med ØKOKYST og gjennom overvåkning av tidevannseksperimentene er det gjort observasjon av store nedslag med juvenile skjell. Under tidevannseksperimentene har vi også observert at disse nedslagene blir borte. Kontrollene våre, derimot, har vist god vekst og høy overlevelse gjennom året. Sammen med litteratur brukt i denne oppgaven kan resultatene peke på at det faktisk har vært en nedgang i blåskjell i Oslofjorden, og at denne nedgangen mest sannsynlig skyldes predasjon fremfor abiotiske faktorer. For å svare på oppgavens studiespørsmål så har vi dokumentert en sterk nedgang i forekomst av adulte skjell i Oslofjorden. Resultatene tyder på at predasjon kan være en mulig årsak, men for å konstatere dette trengs det flere og mer spesifikk forskning.

6. REFERANSELISTE

- Andersen, S., Grefsrud, E. S., Mortensen, S., Naustvoll, L. J., Strand, Ø., & Strohmeier, T. (2016). *Reports on Disappearing Blue Mussels – Summing up for 2016*.
- Avdelas, L., Avdic-Mravlje, E., Borges Marques, A. C., Cano, S., Capelle, J. J., Carvalho, N., Cozzolino, M., Dennis, J., Ellis, T., Fernández Polanco, J. M., Guillen, J., Lasner, T., Bihan, L. V., Llorente, I., Mol, A., Nicheva, S., Nielsen, R., Oostenbrugge, V. H., Villasante, S., Visnic, S., Zhelev, K., & Asche, F. (2021). The decline of mussel aquaculture in the European Union: causes, economic impacts and opportunities. *Reviews in aquaculture*, 13(1), 91-118. <https://doi.org/10.1111/raq.12465>
- Baden, S., Emanuelsson, A., Pihl, L., Svensson, C.-J., & Åberg, P. (2012). Shift in seagrass food web structure over decades is linked to overfishing. *Marine Ecology Progress Series*, 451, 61-73. <http://www.jstor.org.ezproxy.uio.no/stable/24875920>
- Bayne, B. L. (1965, 1965/06/01). Growth and the delay of metamorphosis of the larvae of *Mytilus edulis* (L.). *Ophelia*, 2(1), 1-47. <https://doi.org/10.1080/00785326.1965.10409596>
- Bergan, M., & Andersen, G. S. (2017). *Hekkende sjøfugl i indre Oslofjord, Oslo og Akershus 2017*. https://nofoa.no/download.php?file=Upload/Brukerfiler/dokumenter/dok_8547_2_1.pdf
- Beyer, J., Green, N. W., Brooks, S., Allan, I. J., Ruus, A., Gomes, T., Brate, I. L. N., & Schoyen, M. (2017, Sep). Blue mussels (*Mytilus edulis* spp.) as sentinel organisms in coastal pollution monitoring: A review [Review]. *Marine Environmental Research*, 130, 338-365. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2017.07.024>
- Brenko, M. H., & Calabrese, A. (1969, 1969/11/01). The combined effects of salinity and temperature on larvae of the mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, 4(3), 224-226. <https://doi.org/10.1007/BF00393897>
- Bråte, I. L. N., Hurley, R., Iversen, K., Beyer, J., Thomas, K. V., Steindal, C. C., Green, N. W., Olsen, M., & Lusher, A. (2018, 2018/12/01/). *Mytilus* spp. as sentinels for monitoring microplastic pollution in Norwegian coastal waters: A qualitative and quantitative study. *Environmental Pollution*, 243, 383-393. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.077>
- Bøhle, B. (1974). *Blåskjell i Oslofjorden. En oversikt over biologi og økonomisk betydning*. (Fisken og Havet - Rapporter og meldinger fra Fiskeridirektoratets havforskningsinstitutt Bergen)

- Cai, W.-J., Hu, X., Huang, W.-J., Murrell, M. C., Lehrter, J. C., Lohrenz, S. E., Chou, W.-C., Zhai, W., Hollibaugh, J. T., Wang, Y., Zhao, P., Guo, X., Gundersen, K., Dai, M., & Gong, G.-C. (2011, 2011/11/01). Acidification of subsurface coastal waters enhanced by eutrophication. *Nature Geoscience*, 4(11), 766-770. <https://doi.org/10.1038/ngeo1297>
- Cardinale, M., & Svedäng, H. (2004, 2004/09/01/). Modelling recruitment and abundance of Atlantic cod, *Gadus morhua*, in the eastern Skagerrak–Kattegat (North Sea): evidence of severe depletion due to a prolonged period of high fishing pressure. *Fisheries Research*, 69(2), 263-282. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fishres.2004.04.001>
- Charles, M., Bernard, I., Villalba, A., Oden, E., Burioli, E. A. V., Allain, G., Trancart, S., Bouchart, V., & Houssin, M. (2020, Feb). High mortality of mussels in northern Brittany - Evaluation of the involvement of pathogens, pathological conditions and pollutants. *J Invertebr Pathol*, 170, 107308. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2019.107308>
- Christie, H. (1983, 1983/10/31). Use of video in remote studies of rocky subtidal community interactions. *Sarsia*, 68(3), 191-194. <https://doi.org/10.1080/00364827.1983.10420571>
- Christie, H., Kraufvelin, P., Kraufvelin, L., Niemi, N., & Rinde, E. (2020, 2020-July-07). Disappearing Blue Mussels – Can Mesopredators Be Blamed? [Original Research]. *Frontiers in Marine Science*, 7(550). <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00550>
- Christie, H., Leinaas, H. P., Rinde, E., & Anstensrud, M. (1991). Hardbunnsamfunn i Skagerrak etter *Chrysochromulina*-oppblørningstringen våren 1988 - resultater fra 1990. *NINA Oppdragsmelding 61*, 1-21.
- Coleman, N., & Trueman, E. R. (1971, 1971/11/01/). The effect of aerial exposure on the activity of the mussels *Mytilus edulis* L. and *Modiolus modiolus* (L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 7(3), 295-304. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-0981\(71\)90011-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-0981(71)90011-6)
- Denny, M. W. (2008). *How the ocean works : an introduction to oceanography*. Princeton University Press.
- Diaz, R., & Rosenberg, R. (2008). Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science*, 321, 926 - 929.
- Donker, J. J. A., van der Vegt, M., & Hoekstra, P. (2015, Sep). Erosion of an intertidal mussel bed by ice- and wave-action [Article]. *Continental Shelf Research*, 106, 60-69. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.07.007>

- Duinker, A., Storesund, J., & Sanden, M. (2020). *Nasjonalt tilsynsprogram for produksjon av skjell og andre bløtdyr – prøver analysert i 2019 for kjemiske forurensende stoffer og mikroorganismer* (Rapport fra havforskningen Issue. <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2020-37>
- Eriksson, B. K., Sieben, K., Eklöf, J., Ljunggren, L., Olsson, J., Casini, M., & Bergström, U. (2011, 2011/06/24). Effects of Altered Offshore Food Webs on Coastal Ecosystems Emphasize the Need for Cross-Ecosystem Management. *AMBIO*, 40(7), 786. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0158-0>
- Erikstad, K. E., Bustnes, J. O., Rikardsen, A., Jacobsen, K.-O., Strann, k.-B., Johnsen, T. V., & Reiertsen, T. K. (2006). Konflikter mellom ærfugl og blåskjelldyrking. *NiNA Rapport 110*, 1-24.
- Fagerli, C. W., Trannum, H. C., Staalstrøm, A., Eikrem, W., Sørensen, K., Marty, S., Frigstad, H., & Gitmark, J. (2020). *ØKOKYST – DP Skagerrak. Årsrapport 2019. ØKOKYST – DP Skagerrak. 2019 report*. N. i. f. v. (NIVA). <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1603/m1603.pdf>
- Farrell, P., & Nelson, K. (2013, 2013/06/01/). Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environmental Pollution*, 177, 1-3. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.01.046>
- Fiskeridirektoratet. (2020). *Statistikk for akvakultur: Bløtdyr, krepsedyr og pigghuder(skalldyr)*. . Retrieved 27.01.2020 from <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Bloetdyr-krepsedyr-og-pigghuder-skalldyr>
- Folmer, E., Büttger, H., Herlyn, M., Markert, A., Millat, G., Troost, K., & Wehrmann, A. (2019). *Wadden Sea Quality Report - Beds of blue mussels and Pasific oysters* (Wadden Sea Quality Status Report, Issue. <https://qsr.waddensea-worldheritage.org/reports/beds-blue-mussels-and-pacific-oysters>
- Frigstad, H., Andersen, G. S., Trannum, H. C., Naustvoll, L.-J., Kaste, Ø., & Hjermann, D. Ø. (2018). *Synthesis of climate relevant results from selected monitoring programs in the coastal zone. Part 2: Quantitative analyses*.
- Gilbert, D., Rabalais, N. N., Díaz, R. J., & Zhang, J. (2010). Evidence for greater oxygen decline rates in the coastal ocean than in the open ocean. *Biogeosciences*, 7(7), 2283-2296. <https://doi.org/10.5194/bg-7-2283-2010>
- Green, N. W., Schøyen, M., Hjermann, D. Ø., Øxnevad, S., Ruus, A., Grung, M., Beylich, B., Lund, E., Tveiten, L., Jenssen, M. T. S., Håvardstun, J., Ribeiro, A. L., Doyer, I., &

- Bæk, K. (2020). *Contaminants in coastal waters of Norway 2019*.
<https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2724662>
- HI. (2019). Tema: Blåskjell. Retrieved 13.05.2021, from
<https://www.hi.no/hi/temasider/arter/blaskjell>
- Hilbish, T., Mullinax, A., Dolven, S., Meyer, A., Koehn, R., & Rawson, P. (1999, 01/18). Origin of the antitropical distribution pattern in marine mussels (*Mytilus* spp.): routes and timing of transequatorial migration. *First publ. in: Marine Biology 136 (2000), 1, pp. 69-77, 136*. <https://doi.org/10.1007/s002270050010>
- Hiscock, K., Christie, H., Bekkby, T., & (eds S. J. Hawkins, K. B., L. B. Firth, and G. A. Williams (Cambridge: Cambridge University Press). (2019). The ecology of the rocky subtidal habitats of the Northeast Atlantic,” in *Interactions in the Marine Benthos: Global Patterns and Processes* [eds S. J. Hawkins, K. Bohn, L. B. Firth, and G. A. Williams (Cambridge: Cambridge University Press)].
- Jelmert, A., Espeland, S. H., Ohldieck, M. J., Christiaan van Son, T., & Naustvoll, L.-H. (2020). *Kartlegging av Stillehavetsøsters (Crassostrea gigas)— Bestandskartlegging Karmøy - Svenskegrensa 2017 - 2019* ISSN: 1893-4536).
<https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2020-50>
- Jones, S. J., Lima, F. P., & Wethey, D. S. (2010). Rising environmental temperatures and biogeography: poleward range contraction of the blue mussel, *Mytilus edulis* L., in the western Atlantic. *Journal of Biogeography*, 37(12), 2243-2259.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02386.x>
- Kaiser, M., Attrill, M., Jennings, S., Thomas, D., Barnes, D., Brierley, A., Hiddink, J., Kaartokallio, H., Polunin, N., & Raffaelli, D. (2011). *Marine ecology: processes, systems and impacts*.
- Kotwicki, L., Weslawski, J. M., Włodarska-Kowalczyk, M., Mazurkiewicz, M., Wenne, R., Zbawicka, M., Minchin, D., & Olenin, S. (2021, 2021/07/01/). The re-appearance of the *Mytilus* spp. complex in Svalbard, Arctic, during the Holocene: The case for an arrival by anthropogenic flotsam. *Global and Planetary Change*, 202, 103502.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103502>
- Kroglund, T., Berge, J. A., Bokn, T. L., Gitmark, J. K., & Magnusson, J. (2017). Endringer i horisontalutbredelsen av tang i Indre Oslofjord – betydningen av kommunenes rensetiltak.
- Leinaas, H. P., Christie, H. & Rinde, E. (1992). Utviklingen i hardbunnssamfunn på Skagerakkysten etter *Chrysochroma*/ina-oppblomstringen våren 1988 -undersøkelser i 1991. *NINA Oppdragsmelding*, 160, 1-22.

- Lesser, M. P., Bailey, M. A., Merselis, D. G., & Morrison, J. R. (2010, Aug). Physiological response of the blue mussel *Mytilus edulis* to differences in food and temperature in the Gulf of Maine [Article]. *Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology*, 156(4), 541-551. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.04.012>
- Lynch, S. A., Coghlan, A., Leary, B. O., Morgan, E., & Culloty, S. C. (2020). Northward establishment of the mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* limited by changing climate [Article]. *Biological Invasions*, 22(9), 2725-2736. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02294-6>
- Miljødirektoratet. (2019). *ØKOKYST – delprogram Skagerrak Årsrapport 2018* (ØKOKYST, Issue M-1336). <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1336/m1336.pdf>
- Miljødirektoratet. (2020). *Ærfugldød skyldtes trolig svikt i mattilgang*. Retrieved 20.02.2021 from <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/nyheter/2020/august-2020/arfugldod-skyldtes-trolig-svikt-i-mattilgang/>
- Moen, F. E., & Svensen, E. (2020). *Dyreliv i havet : norsk marin fauna* (7. utgave. ed.). Kolofon.
- Mortensen, S. (2021). *Ny blåskjellparasitt skaper hodebry*. https://www.hi.no/hi/nyheter/2021/januar/ny-blaskjellparasitt-skaper-hodebry?fbclid=IwAR2Eb_smOIZGtGCw4bJ9I0C-OcRApKIOSliVvV9tm_hV0G8CqOkQp3KiRuM
- Mortensen, S., & Strohmeier, T. (2018). Hvorfor forsvinner blåskjellene? *Havforskningsinstituttet*.
- Newell, R., & Moran, D. (1989). Species Profiles: Life Histories and Environmental Requirements of Coastal Fishes and Invertebrates (North and Mid-Atlantic).
- Norconsult. (2019). *Miljøovervåking i Indre Oslofjord 2018*. <http://www.indre-oslofjord.no/uploads/VedleggsrapportmiljovervkingiIndreOslofjord2018.pdf>
- Paine, R. T., & Levin, S. A. (1981). Intertidal Landscapes: Disturbance and the Dynamics of Pattern. *Ecological Monographs*, 51(2), 145-178. <https://doi.org/10.2307/2937261>
- Petersen, J. K., Gislason, H., Fitridge, I., Saurel, C., Degel, H., & Nielsen, C. F. (2016). *Fiskeri etter søstjerner i Limfjorden. Faglig grunnlag for en forvaltningsplan*.

- Rueness, J., & Knispel, A. (1998). *Alger i farger : en felthåndbok om kystens makroalger*. Almatel forl.
- Scott, N., Porter, A., Santillo, D., Simpson, H., Lloyd-Williams, S., & Lewis, C. (2019, 2019/09/01/). Particle characteristics of microplastics contaminating the mussel *Mytilus edulis* and their surrounding environments. *Marine Pollution Bulletin*, *146*, 125-133. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.041>
- Sipiä, V. O., Kankaanpää, H. T., Flinkman, J., Lahti, K., & Meriluoto, J. A. O. (2001). Time-dependent accumulation of cyanobacterial hepatotoxins in flounders (*Platichthys flesus*) and Mussels (*Mytilus edulis*) from the Northern Baltic Sea. *Environmental Toxicology*, *16*(4), 330-336. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tox.1040>
- Strasser, M., Reinwald, T., & Reise, K. (2001, 08/01). Differential effects of the severe winter of 1995/96 on the intertidal bivalves *Mytilus edulis*, *Cerastoderma edule* and *Mya arenaria* in the Northern Wadden Sea. *Helgoland Marine Research*, *55*, 190-197. <https://doi.org/10.1007/s101520100079>
- Strohmeier, T., Strand, Ø., & Haugland, B. (2020). *Rapportering: Overvåking av blåskjellbestanden (prosjekt 15619-04) 2020*.
- Staalstrøm, A., Engesmo, A., Andersen, G. S., & Hjermann, D. Ø. (2020). *Undersøkelse av hydrografiske og biologiske forhold i Indre Oslofjord Årsrapport 2019*.
- Staalstrøm, A., Walday, M., Vogelsang, C., Frigstad, H., Borgersen, G., Albrechtsen, J., & Naustvoll, L.-H. (2021). *Utredning av behovet for å redusere tilførselen av nitrogen til Ytre Oslofjord (RAPPORT L.NR. 7639-2021)*. NIVA.
- Suchanek, T. H. (1978). Ecology of *Mytilus edulis* in exposed rocky inter-tidal communities [Article]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *31*(1), 105-120. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(78\)90139-9](https://doi.org/10.1016/0022-0981(78)90139-9)
- Svedäng, H., & Bardon, G. (2003). Spatial and temporal aspects of the decline in cod (*Gadus morhua* L.) abundance in the Kattegat and eastern Skagerrak. *ICES Journal of Marine Science*, *60*(1), 32-37. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2002.1330>
- Team, R. C. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. In <https://www.R-project.org/>
- Torrissen, O., Norberg, B., Viswanath, K., Strohmeier, T., Strand, Ø., Naustvoll, L.-H., & Svåsand, T. (2018). *Framtidsrettet matproduksjon i kyst og fjord – En vurdering av muligheter for økt sjømatproduksjon i Norge* (Rapport fra havforskningen, Issue. https://www.hi.no/resources/23-2018-Framtidsrettet-mat_1408.pdf

- UiO. (2018). *Strandsoner og Strender*. Retrieved 15.06.21 from <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/s/strandsoner-og-strender.html>
- Westerbom, M., & Jattu, S. (2006, 01/11). Effects of wave exposure on the sublittoral distribution of blue mussels *Mytilus edulis* in a heterogeneous archipelago. *Marine Ecology-progress Series - MAR ECOL-PROGR SER*, 306, 191-200. <https://doi.org/10.3354/meps306191>
- Widdows, J., Bayne, B. L., Livingstone, D. R., Newell, R. I. E., & Donkin, P. (1979, 1979/01/01/). Physiological and biochemical responses of bivalve molluscs to exposure to air. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 62(2), 301-308. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0300-9629\(79\)90060-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0300-9629(79)90060-4)
- Zuur, A., Ieno, E. N., Walker, N., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Springer New York. <https://books.google.no/books?id=vQUNprFZKHsC>

VEDLEGG 1 - TIDVIS TILGROING AV REPLIKATENE MED BLÅSKJELL

Blåskjellreplikatene som var plassert i strandsonen, som han i vannmassene og som var plassert i bur var tidvis tilgrodd av ulike organismer. Eksempler på dette er vist på bildene nedenfor:



Til høyre: Tilgroing av ulike alger. Venstre: Tilgroing av rur.



Til venstre: juvenile blåskjell fra nedslaget i juni. Høyre: Tilgroing av rur og juvenile blåskjell.



Til venstre: Nedslag av juvenile blåskjell som kom i august (bildet er tatt i starten av oktober).
Høyre: Bryozoer og sjøanemoner som vokser på blåskjellreplikatene.

VEDLEGG 2 - VEKST AV BLÅSKJELL I KONTROLLREPLIKATER FOR TIDEVANNSEKSPERIMENTENE

Tabell 5: Vekt ved start og ved avslutning. Ved avslutning er det kun vekt av kontrollene som er tatt. Vekten tilsvareer replikater uten remse.

Stasjon	Startvekt (g)	Sluttvekt (g)
Biologen	559	
Biologen	509	
Biologen	564	
Biologen	436	
Biologen	446	
Biologen	514	
Biologen	491	
Biologen	502	
Biologen	492	
Ljan	565	
Ljan	564	
Ljan	521	
Ljan	455	
Ljan	488	
Ljan	592	
Ljan	507	
Ljan	502	
Ljan	500	
Solbergstrand	539	
Solbergstrand	496	
Solbergstrand	562	
Solbergstrand	580	
Solbergstrand	529	
Solbergstrand	575	
Solbergstrand	500	849
Solbergstrand	516	721
Solbergstrand	525	823
Storsand	592	
Storsand	596	
Storsand	593	
Storsand	538	
Storsand	473	
Storsand	578	
Storsand	510	878
Storsand	513	657
Storsand	510	817

Tollboden	541	
Tollboden	571	
Tollboden	590	
Tollboden	539	
Tollboden	557	
Tollboden	496	
Tollboden	507	643
Tollboden	502	763
Tollboden	505	934

Tabell 6: Viser lengde på skjellene målt i cm ved studiets start og slutt per stasjon. Her ble vekten av ti skjell per replikat målt ved studiets start. Ved studiets slutt ble alle gjenværende skjell målt.

Biologen		Ljan		Solbergstrand		Storsand		Tollboden	
Startmål (cm)	Sluttmål (cm)	Startmål (cm)	Sluttmål (cm)	Startmål (cm)	Sluttmål (cm)	Startmål (cm)	Sluttmål (cm)	Startmål (cm)	Sluttmål (cm)
6	5,5	4,7	3,5	5	5,2	4	6,2	4,5	5,5
3,5	4,6	4,1	4,2	6	5,2	3,3	6,9	5,5	6,7
5	5,5	4,9	3,4	5	5,5	3,5	6,4	3	6,3
4	5,5	4,5	4,5	4,5	4,7	4	5,3	4,5	6
4	5,8	5,7	3,7	3	5	4,5	5,1	4	5,8
3	4,8	5	4,2	4	5,5	5	5,1	3,5	6,2
5	5	5,5	3,8	4,5	4,6	3	5,4	3,5	5
4,5	5,7	3,6	4,2	3,5	5,6	3,5	5,2	4	6,1
4	4,9	5,9	3,8	3	5,8	4	5,3	4	5,4
4,5	4,5	3,9	4,2	4,5	4,9	4,5	5,6	3,5	6
5	5,9	5	3,8	5,5	4,1	5	5,9	5	4,1
4	6,5	5	4,1	4,5	5,5	5	5,4	2,5	5,5
2	5,5	5	3,6	4	5,5	3,5	5,2	3,5	5,4
4	4,9	3,5	4,1	4	5,3	3	5	5	4,9
3,3	5,5	1,5	3,7	3,5	6	4	4,5	5	5,5
3,4	5,9	3,5	3,2	4	4,8	3	5,6	5,5	4,7
2	5,8	5		2,5	5,9	5	5	4	5
2	5,2	5		3	6,3	4,5	5,3	5	6
3	4,9	4,5		3,5	6,3	4	4,2	4	4,5
3,5	5	4,5		5	4,7	3,4	4,8	4	5,3
3,5		4,7		4	5,2	5,7	5,4	5	5,4
4		4,1		5	4,9	5,2	5	2	5,4
4,5		4,9		3,5	5,2	4,7	6	4,5	4,5
3,5		4,5		5,5	6,6	4,2	5,1	4,5	4,7
5,5		5,7		3,5	5,8	5	4,5	5,5	5,6
4		5		4	5,3	4,4	4,4	5,5	4,7

4	5,5	5	4,9	5,2	5,2	3	4,6
4	3,6	4,5	4,6	3,3	5,5	4	4,8
4	5,9	3,5	5,3	6,9	5	3	5,1
3	3,9	4,5	5,9	5,5	5,1	3	4,5
			4,8		6		6
			6,2		4,5		6,3
			5		6,1		4,8
			6		5,2		4,5
			5,3		5,5		4,9
			4,5		4,4		6,1
			4,6		4,5		5,8
			6,1		5,2		5,2
			5		5		6
			5,3		6,8		5,8
			4,6		5,1		5
			4,9		5,5		6,2
			5,5		4,7		5,5
			5,7		5,6		5,9
			5,5		5,7		5,3
			5,5		5,8		6
			5,4		4,8		4,2
			4,9		4,9		6,1
			4		4,5		5,2
			5,2		5		4,5
			5,9		6		6
					4,5		5,2
					5,2		5,2
					4,5		5,4
					5,3		5,5
					5,2		4,2
					5,9		5
					5,4		4
					5,6		6,9
					5,4		5,3
					5,3		5,6
					4,5		4,4
					5,2		4,2
					5,8		6,1
					5,3		5,8
					5,6		5,4
					5,6		5
					5,5		5,3

	5,5	4,4
	5	5,9
	4,8	6,3
	4,1	6
	4,6	5,3
	4,9	5,8
	6,7	4,2
	5,5	6
	6	5,5
	5,8	6,5
	5,9	6,4
	5,9	6
	6,4	6,5
	5	6,7
	7	6,5
	6,2	6,4
	5,2	5,7
	5,1	5,4
	4,5	4,9
	5,4	6
	6,1	5,8
	5,7	4,5
	3,9	5
	5,1	5
	5,2	4,2
	4,3	6,5
	5,1	5
	5,5	6,2
	5,2	4
	4,3	5
	5	4,8
	5,6	5,9
	5	5,7
	5,8	5,8
	6,2	4,2
	6	5,9
	5,2	5,1
	5,5	4,6
	5,9	
	3,9	
	6,2	
	5,9	

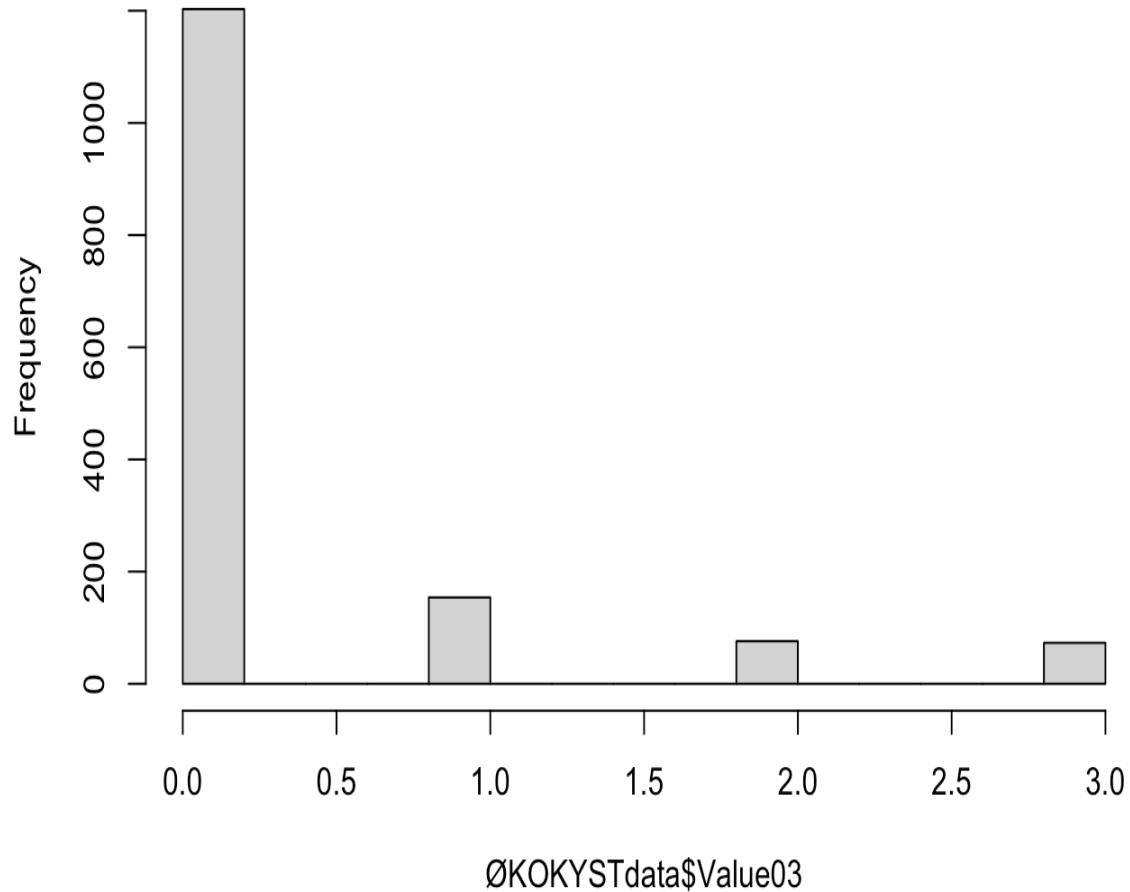
5,7
6,3
5,1
4,6
3,7
4,2
4,2
4,6
4,8
4
5
3,8
4,1
4,4
4,8
4,9
4,5
4,9
4,9
4,7
4,6
4,1
4,3
4,9

VEDLEGG 3 - R-SCRIPT FOR ØKOKYST OG LANGE TIDSSERIER

```
#Data fra Økokyst og Lange tidsserier
# Nedlastning av data
library(readxl)
ØKOKYSTdata<-read_xlsx("ØKOKYST_3.xlsx",na="NA")
# Biblioteker til gamm-analyser:
library(mgcv) # For GAM
## Loading required package: nlme
## This is mgcv 1.8-34. For overview type 'help("mgcv-package")'.
library(MuMIn) # For beregning av AICc-verdier

#Ser på Normalfordeling
##Valgte å ekskludere 3 enkeltobservasjoner (Value = 1), som gjorde at vi f
ikk en to-toppet distribusjon.
hist(ØKOKYSTdata$Value03)
```

Histogram of ØKOKYSTdata\$Value03



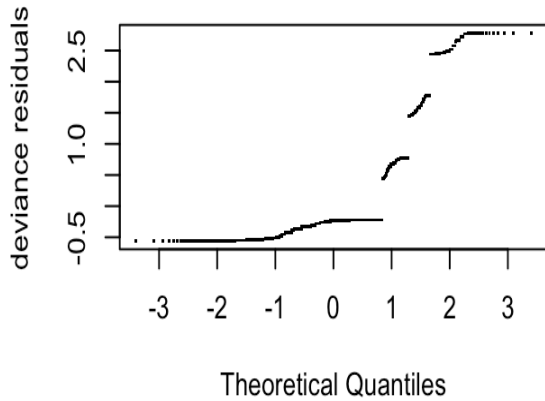
```
# Tester 6 kandidatmodeller:
##brykte family=gaussian da denne gav mest normalfordelte residualer
###Mod1 tester effekt av år
Mod_1<-gamm(Value03 ~ s(Year),random=list(Label=~1),method="REML",family=gaussian,data=ØKOKYSTdata)
anova (Mod_1$gam)
##
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## Value03 ~ s(Year)
##
## Approximate significance of smooth terms:
```

```

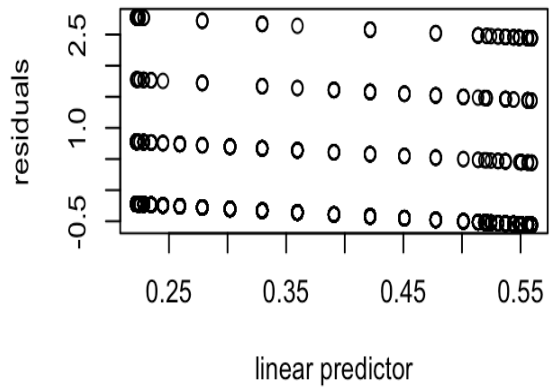
##           edf Ref.df      F  p-value
## s(Year) 3.21   3.21 10.99 1.11e-07
summary(Mod_1$gam)
##
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## Value03 ~ s(Year)
##
## Parametric coefficients:
##           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  0.34350    0.02497   13.76  <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Approximate significance of smooth terms:
##           edf Ref.df      F  p-value
## s(Year) 3.21   3.21 10.99 1.11e-07 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## R-sq.(adj) =  0.0318
##   Scale est. = 0.59836   n = 1506
par(mfrow=c(2,2))
gam.check(Mod_1$gam)

```

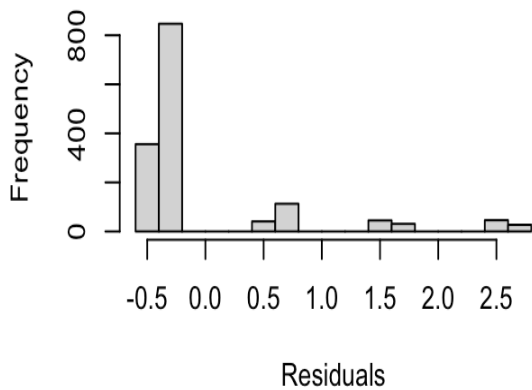
Normal Q-Q Plot



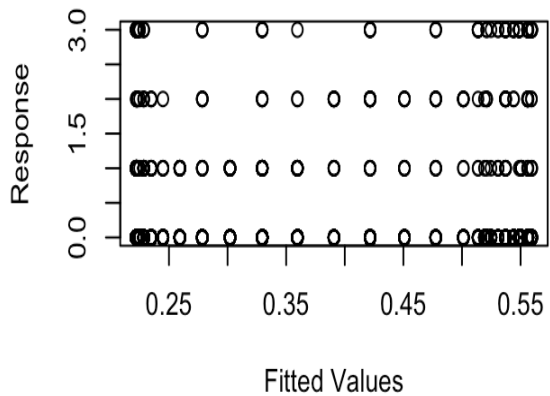
Resids vs. linear pred.



Histogram of residuals



Response vs. Fitted Values



```
##
## 'gamm' based fit - care required with interpretation.
## Checks based on working residuals may be misleading.
## Basis dimension (k) checking results. Low p-value (k-index<1) may
## indicate that k is too low, especially if edf is close to k'.
##
##           k'  edf k-index p-value
## s(Year) 9.00 3.21   0.46 <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
### Mod_1b: Interaksjon Sterk effekt av år og dybde (p<0,0001)
Mod_1b<-gamm(Value03 ~ s(Year) + Depth,random=list(Label=~1),method="REML",
family=gaussian,data=ØKOKYSTdata)
anova(Mod_1b$gam)
```

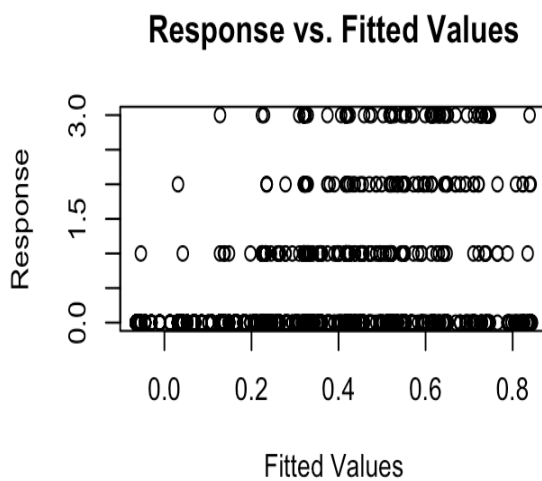
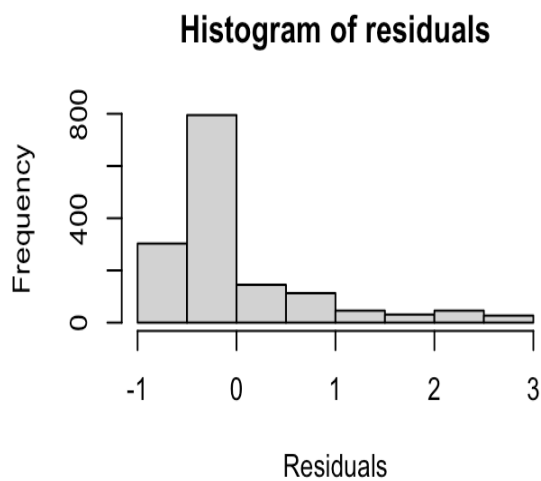
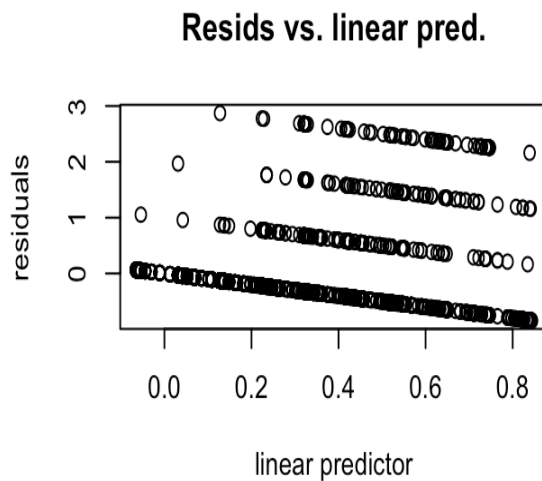
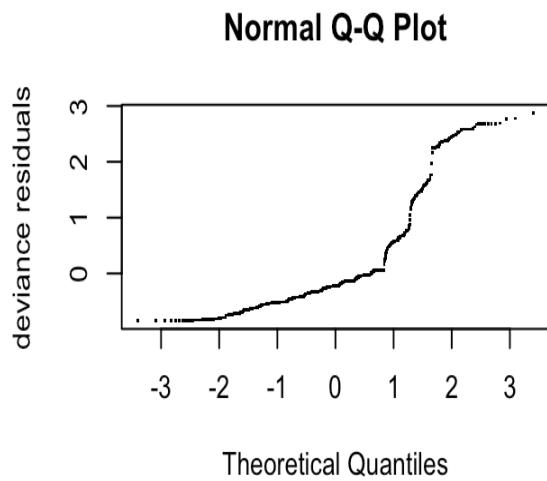
```

##
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## Value03 ~ s(Year) + Depth
##
## Parametric Terms:
##      df      F p-value
## Depth 1 99.59 <2e-16
##
## Approximate significance of smooth terms:
##      edf Ref.df      F p-value
## s(Year) 3.259 3.259 10.67 2.69e-07
summary(Mod_1b$gam)
##
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## Value03 ~ s(Year) + Depth
##
## Parametric coefficients:
##      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) 0.535062 0.031977 16.733 <2e-16 ***
## Depth      -0.096351 0.009655 -9.979 <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Approximate significance of smooth terms:
##      edf Ref.df      F p-value
## s(Year) 3.259 3.259 10.67 2.69e-07 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## R-sq.(adj) = 0.0912
## Scale est. = 0.56126 n = 1506

```



```
par(mfrow=c(2,2))
gam.check(Mod_1b$gam)
```



```
##
## 'gamm' based fit - care required with interpretation.
## Checks based on working residuals may be misleading.
## Basis dimension (k) checking results. Low p-value (k-index<1) may
## indicate that k is too low, especially if edf is close to k'.
##
##           k'  edf k-index p-value
## s(Year) 9.00 3.26   0.47 <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
###Mod_2 tester effekt av år og stadie: Signifikant effekt av Year (p<0,000  
1) men ikke av Stage (p=0,117)
```

```
Mod_2<-gamm(Value03 ~ s(Year) + Stage,random=list(Label=~1),method="REML",f  
amily=gaussian,data=ØKOKYSTdata)
```

```
anova(Mod_2$gam)
```

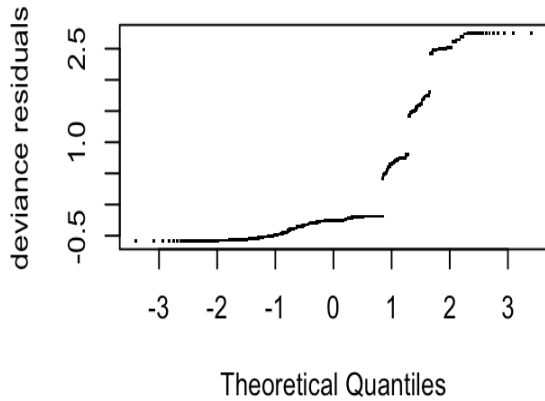
```
##  
## Family: gaussian  
## Link function: identity  
##  
## Formula:  
## Value03 ~ s(Year) + Stage  
##  
## Parametric Terms:  
##      df      F p-value  
## Stage 1 2.458  0.117  
##  
## Approximate significance of smooth terms:  
##      edf Ref.df      F p-value  
## s(Year) 3.187  3.187 10.36 7.21e-07
```

```
summary(Mod_2$gam) # R2 = 0,033
```

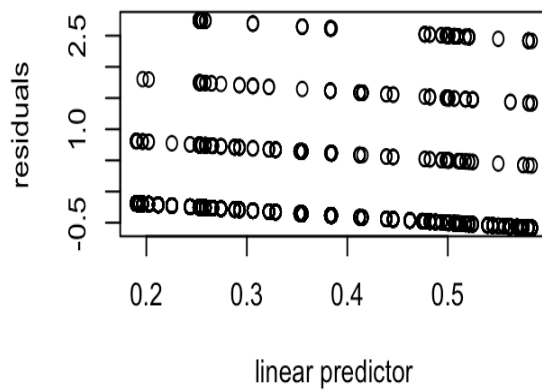
```
##  
## Family: gaussian  
## Link function: identity  
##  
## Formula:  
## Value03 ~ s(Year) + Stage  
##  
## Parametric coefficients:  
##      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
## (Intercept)  0.30836    0.03298   9.351 <2e-16 ***  
## StageJuvenil 0.06248    0.03985   1.568  0.117  
## ---  
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1  
##  
## Approximate significance of smooth terms:  
##      edf Ref.df      F p-value  
## s(Year) 3.187  3.187 10.36 7.21e-07 ***  
## ---
```

```
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## R-sq.(adj) =  0.033
##   Scale est. = 0.59622   n = 1502
gam.check(Mod_2$gam)
```

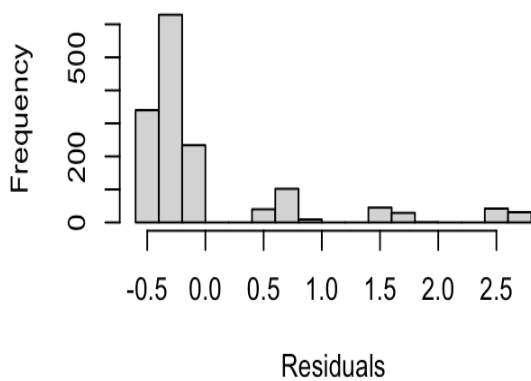
Normal Q-Q Plot



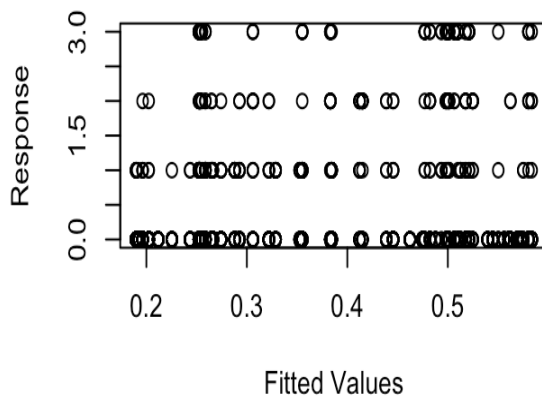
Resids vs. linear pred.



Histogram of residuals



Response vs. Fitted Values



```
##
## 'gamm' based fit - care required with interpretation.
## Checks based on working residuals may be misleading.
## Basis dimension (k) checking results. Low p-value (k-index<1) may
## indicate that k is too low, especially if edf is close to k'.
##
##           k'   edf k-index p-value
## s(Year) 9.00 3.19   0.45 <2e-16 ***
```

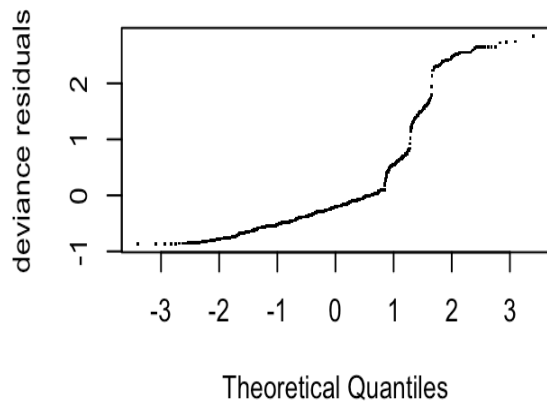
```

## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##Mod_2b tester effekt av år og dybde og av stadie. Signifikant effekt av
år og dybde (p<0,0001), men ikke av Stage (p=0,106)
Mod_2b<-gamm(Value03 ~ s(Year) + Stage + Depth,random=list(Label=~1),method
="REML",family=gaussian,data=ØKOKYSTdata)
anova (Mod_2b$gam)
##
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## Value03 ~ s(Year) + Stage + Depth
##
## Parametric Terms:
##      df      F p-value
## Stage  1  2.62  0.106
## Depth  1 97.64 <2e-16
##
## Approximate significance of smooth terms:
##      edf Ref.df      F p-value
## s(Year) 3.244  3.244 10.19 7.91e-07
summary (Mod_2b$gam)
##
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## Value03 ~ s(Year) + Stage + Depth
##
## Parametric coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  0.498725  0.038090  13.093  <2e-16 ***
## StageJuvenil 0.062503  0.038614   1.619   0.106
## Depth       -0.095388  0.009654  -9.881  <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##

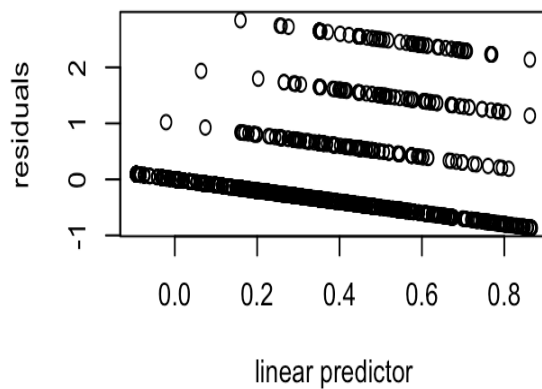
```

```
## Approximate significance of smooth terms:
##           edf Ref.df      F  p-value
## s(Year) 3.244  3.244 10.19 7.91e-07 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## R-sq.(adj) =  0.0914
##   Scale est. = 0.55987    n = 1502
gam.check(Mod_2b$gam)
```

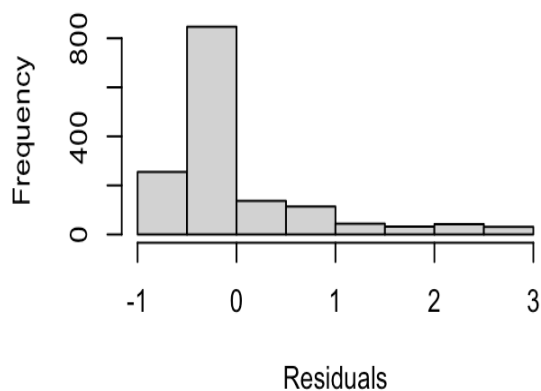
Normal Q-Q Plot



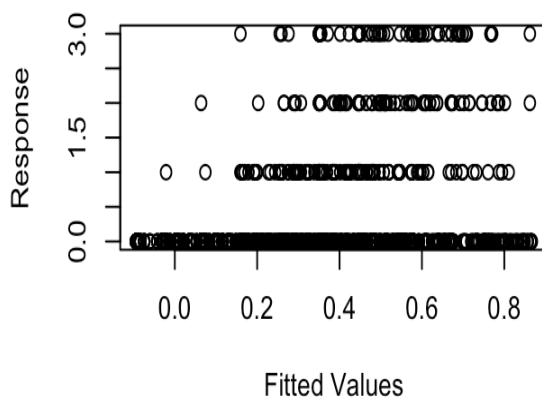
Resids vs. linear pred.



Histogram of residuals



Response vs. Fitted Values



```
##
## 'gamm' based fit - care required with interpretation.
## Checks based on working residuals may be misleading.
## Basis dimension (k) checking results. Low p-value (k-index<1) may
```

```

## indicate that k is too low, especially if edf is close to k'.
##
##           k'   edf k-index p-value
## s(Year) 9.00 3.24   0.47 <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

###Mod_3 tester effekt år for stadie. Signifikant effekt av år for Adult, m
en ikke for Juvenile (men nesten)

ØKOKYSTdata$Stage <- as.factor(ØKOKYSTdata$Stage) # Stage må defineres som
factor for å brukes i by

Mod_3<-gamm(Value03 ~ s(Year, by = Stage) + Stage,random=list(Label=~1),met
hod="REML",family=gaussian,data=ØKOKYSTdata)

anova(Mod_3$gam)

##
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## Value03 ~ s(Year, by = Stage) + Stage
##
## Parametric Terms:
##           df      F p-value
## Stage  1 2.64   0.104
##
## Approximate significance of smooth terms:
##           edf Ref.df      F p-value
## s(Year):StageAdult  5.469  5.469 24.898 <2e-16
## s(Year):StageJuvenil 1.000  1.000  3.543   0.06

summary(Mod_3$gam)

##
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## Value03 ~ s(Year, by = Stage) + Stage
##
## Parametric coefficients:
##           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)

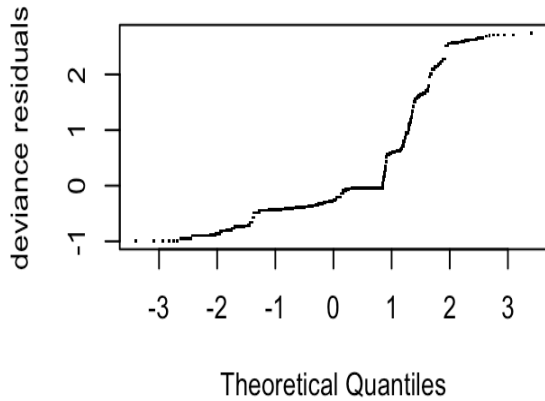
```

```

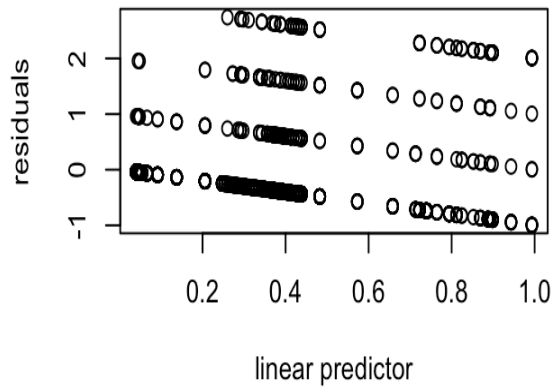
## (Intercept)    0.31140    0.02957  10.530  <2e-16 ***
## StageJuvenil  0.06274    0.03862   1.625   0.104
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Approximate significance of smooth terms:
##
##              edf Ref.df      F p-value
## s(Year):StageAdult  5.469  5.469 24.898  <2e-16 ***
## s(Year):StageJuvenil 1.000  1.000  3.543   0.06 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## R-sq.(adj) =  0.0932
##  Scale est. = 0.55995  n = 1502
gam.check(Mod_3$gam)

```

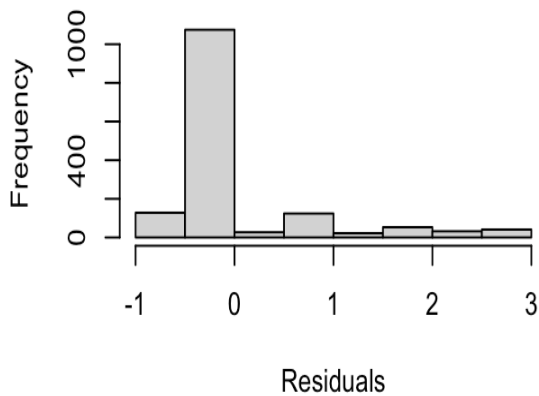
Normal Q-Q Plot



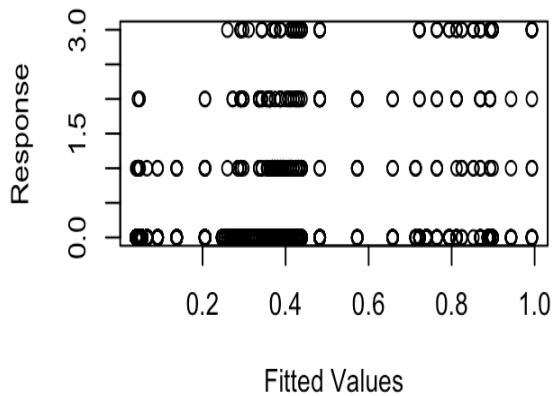
Resids vs. linear pred.



Histogram of residuals



Response vs. Fitted Values



```
##
## 'gamm' based fit - care required with interpretation.
## Checks based on working residuals may be misleading.
## Basis dimension (k) checking results. Low p-value (k-index<1) may
## indicate that k is too low, especially if edf is close to k'.
##
##           k'  edf k-index p-value
## s(Year):StageAdult   9.00 5.47   0.47 <2e-16 ***
## s(Year):StageJuvenil 9.00 1.00   0.47 <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

###Mod_3b tester effekt av år for stadie og dybde. Signifikant effekt av år for Adult og så vidt for Juvenile. Dybde signifikant ($p < 0,0001$)


```
Mod_3b<-gamm(Value03 ~ s(Year, by = Stage) + Stage + Depth,random=list(Labe
l=~1),method="REML",family=gaussian,data=ØKOKYSTdata)
```

```
anova (Mod_3b$gam)
```

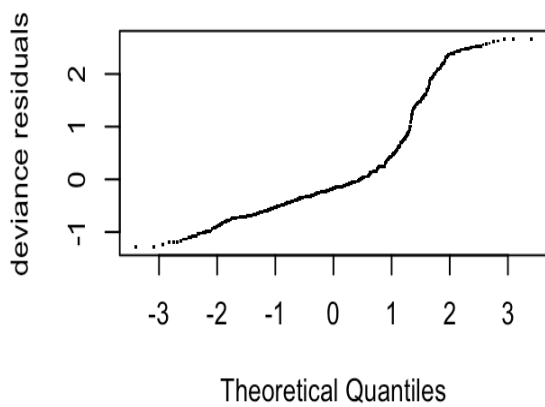
```
##
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## Value03 ~ s(Year, by = Stage) + Stage + Depth
##
## Parametric Terms:
##      df      F p-value
## Stage  1   2.83  0.0927
## Depth  1 104.91 <2e-16
##
## Approximate significance of smooth terms:
##              edf Ref.df      F p-value
## s(Year):StageAdult  5.702  5.702 24.635 <2e-16
## s(Year):StageJuvenil 1.028  1.028  4.219  0.0409
```

```
summary (Mod_3b$gam) # R2 = 0,15 (best)
```

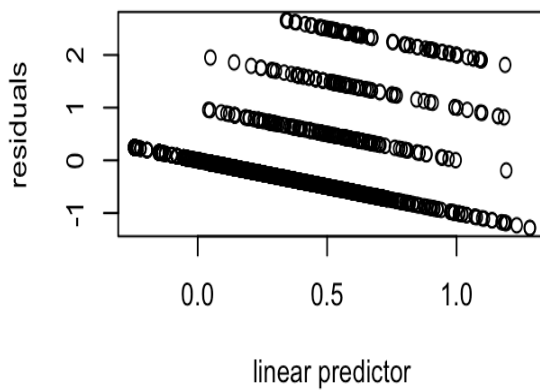
```
##
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## Value03 ~ s(Year, by = Stage) + Stage + Depth
##
## Parametric coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  0.501751  0.035012  14.331 <2e-16 ***
## StageJuvenil  0.062784  0.037324   1.682  0.0927 .
## Depth        -0.095573  0.009331 -10.242 <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Approximate significance of smooth terms:
##              edf Ref.df      F p-value
```

```
## s(Year):StageAdult 5.702 5.702 24.635 <2e-16 ***
## s(Year):StageJuvenil 1.028 1.028 4.219 0.0409 *
## ---
## Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## R-sq.(adj) = 0.152
## Scale est. = 0.52307 n = 1502
gam.check(Mod_3b$gam)
```

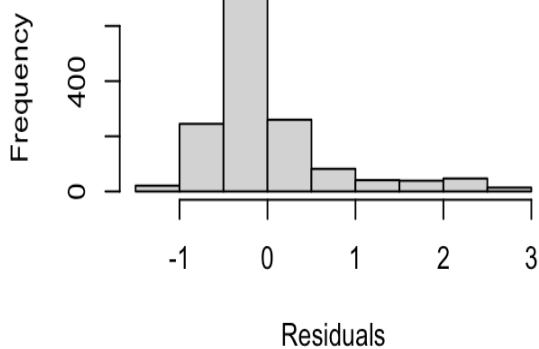
Normal Q-Q Plot



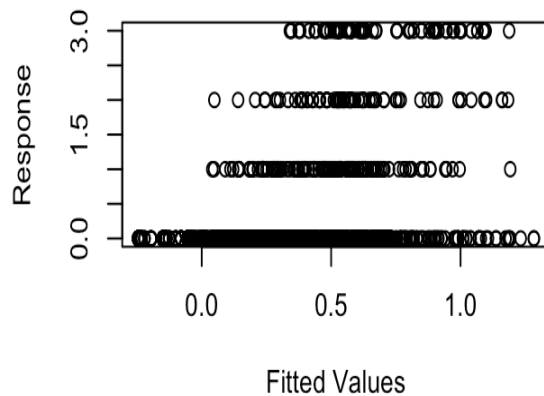
Resids vs. linear pred.



Histogram of residuals



Response vs. Fitted Values



```
##
## 'gamm' based fit - care required with interpretation.
## Checks based on working residuals may be misleading.
## Basis dimension (k) checking results. Low p-value (k-index<1) may
## indicate that k is too low, especially if edf is close to k'.
```

```

##
##              k'   edf k-index p-value
## s(Year):StageAdult  9.00 5.70   0.48 <2e-16 ***
## s(Year):StageJuvenil 9.00 1.03   0.48 <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

# Bruker AICc til å sjekke hvilken modell som er best
AICc(Mod_1,Mod_1b,Mod_2,Mod_2b,Mod_3,Mod_3b)
##           df       AICc
## Mod_1      5 3527.418
## Mod_1b     6 3440.417
## Mod_2      6 3518.915
## Mod_2b     7 3433.751
## Mod_3      8 3438.774
## Mod_3b     9 3346.909

# Mod_3b er best. AIC = 3346,9

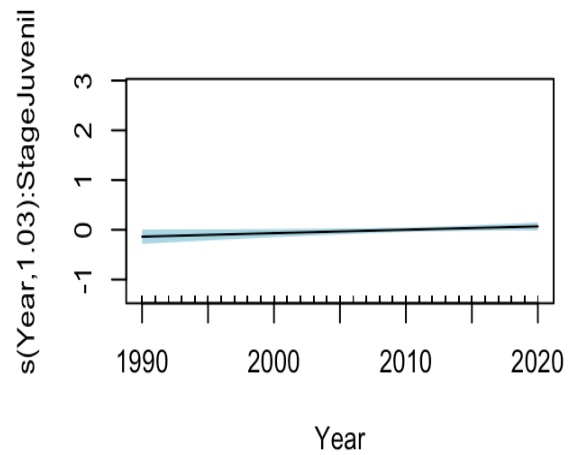
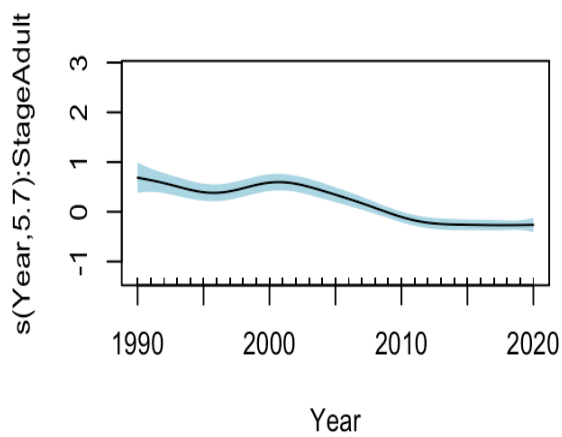
## Sjekker ut log-transformert respons
LogValue03 <- log(ØKOKYSTdata$Value03+1)

# log-transformasjonen forbedret ikke modellene, så beholdt uttransformert r
# espons

# gamm-plot
par(mfrow=c(2,2))
plot(Mod_3b$gam, residuals = TRUE, cex = 3, shade = TRUE, shade.col = "ligh
tblue", seWithMean = TRUE)

## Figurer
par(mfrow=c(1,1))

```



```

newData_Value <- expand.grid(Year=seq(1990,2020,1), Depth=1, Stage=c("Juvenil"))

prediksjon_Value <- predict(Mod_3b$gam, newdata=newData_Value, se.fit=T, type="response")

prediksjon_Value <- cbind(newData_Value, prediksjon_Value)

plot(prediksjon_Value[,1], prediksjon_Value[,4], col="lightblue", lwd=2, ylab="Observert forekomst av blåskjell", xlab="År", type="l", ylim=c(0, max(1.5, na.rm=TRUE)))

lines(prediksjon_Value[,1], prediksjon_Value[,4]+2*prediksjon_Value[,5], type="l", lty="dashed", col="lightblue")

lines(prediksjon_Value[,1], prediksjon_Value[,4]-2*prediksjon_Value[,5], type="l", lty="dashed", col="lightblue")

newData_Value <- expand.grid(Year=seq(1990,2020,1), Depth=1, Stage=c("Adult"))

prediksjon_Value <- predict(Mod_3b$gam, newdata=newData_Value, se.fit=T, type="response")

```

```

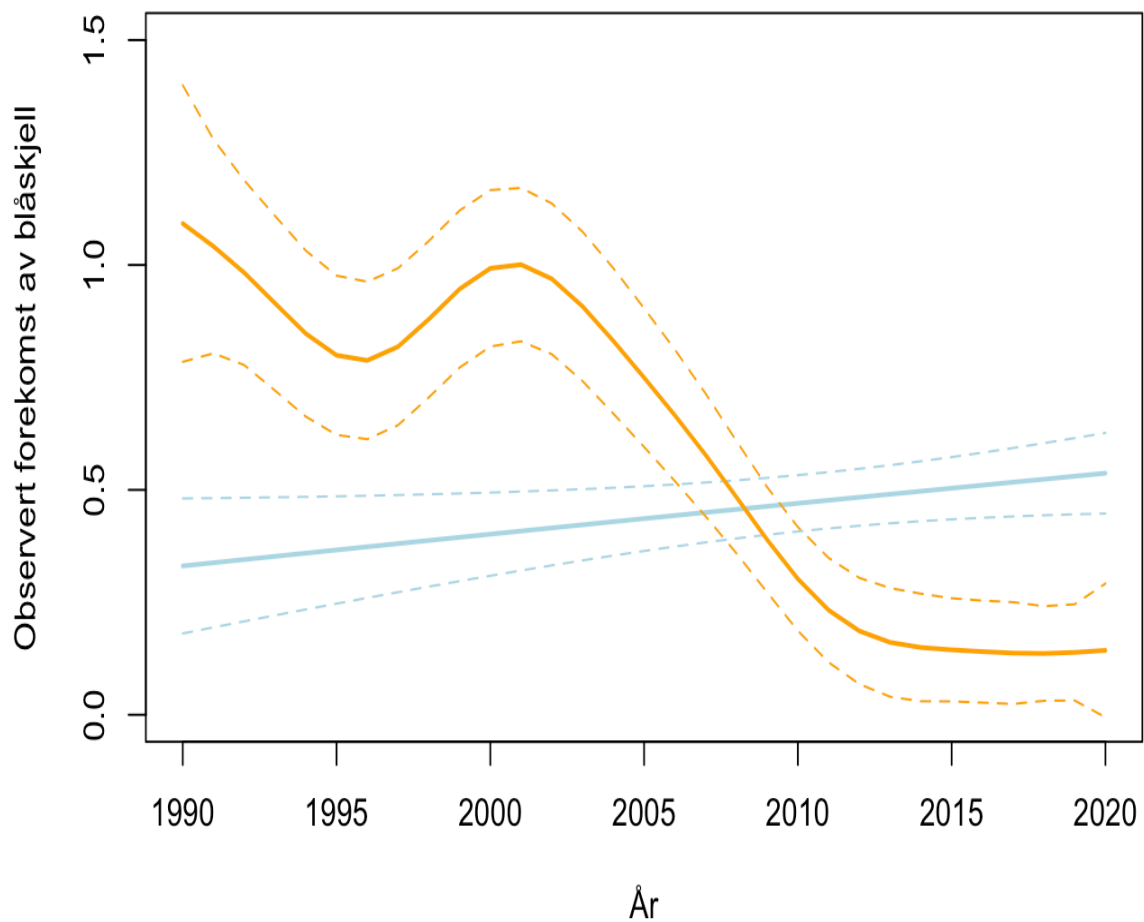
prediksjon_Value <- cbind(newData_Value, prediksjon_Value)

lines(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,4],col="orange", lwd=2, ylab="
",xlab="",type="l",ylim=c(0,max(1.5,na.rm=TRUE)))

lines(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,4]+2*prediksjon_Value[,5],type
="l", lty="dashed", col="orange")

lines(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,4]-2*prediksjon_Value[,5],type
="l", lty="dashed",col="orange")

```



VEDLEGG 4 - R-SCRIPT FOR TIDEVANNSEKSPERIMENTER

```
# Laster inn data
library(readxl)
BLASKJELLdata<-read_xlsx("BLASKJELLdata_3.xlsx",na="NA")

# Ser over data
str(BLASKJELLdata)

## tibble[,11] [570 × 11] (S3: tbl_df/tbl/data.frame)
## $ Stasjon : chr [1:570] "BiologiskStasjon" "BiologiskStasjon" "BiologiskStasjon" "BiologiskStasjon" ...
## $ Behandling: chr [1:570] "Bunn" "Bunn" "Bunn" "Kontroll" ...
## $ Replikat : num [1:570] 1 2 3 1 2 3 1 2 3 1 ...
## $ ID : num [1:570] 19 20 21 25 26 27 22 23 24 28 ...
## $ Dato : POSIXct[1:570], format: "2020-05-07" "2020-05-07" ...
## $ Startdato : POSIXct[1:570], format: "2020-05-07" "2020-05-07" ...
## $ Dager : num [1:570] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ...
## $ Måned : num [1:570] 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 ...
## $ Mengde : num [1:570] 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 ...
## $ Tilstand : chr [1:570] "god" "god" "god" "god" ...
## $ Kommentar : chr [1:570] "Henger ut alle skjell idag" NA NA NA ...

BLASKJELLdata

## # A tibble: 570 × 11
## Stasjon Behandling Replikat ID Dato Startdato
## <chr> <chr> <dbl> <dbl> <dtm> <dtm>
## 1 BiologiskS... Bunn 1 19 2020-05-07 00:00:00 2020-05-07 00:00:00
## 2 BiologiskS... Bunn 2 20 2020-05-07 00:00:00 2020-05-07 00:00:00
## 3 BiologiskS... Bunn 3 21 2020-05-07 00:00:00 2020-05-07 00:00:00
## 4 BiologiskS... Kontroll 1 25 2020-05-07 00:00:00 2020-05-07 00:00:00
## 5 BiologiskS... Kontroll 2 26 2020-05-07 00:00:00 2020-05-07 00:00:00
## 6 BiologiskS... Kontroll 3 27 2020-05-07 00:00:00 2020-05-07 00:00:00
## 7 BiologiskS... Pelagial 1 22 2020-05-07 00:00:00 2020-05-07 00:00:00
```

```

## 8 BiologiskS... Pelagial          2    23 2020-05-07 00:00:00 2020-05-07
00:00:00
## 9 BiologiskS... Pelagial          3    24 2020-05-07 00:00:00 2020-05-07
00:00:00
## 10 BiologiskS... UBrygge          1    28 2020-05-07 00:00:00 2020-05-07
00:00:00
## # ... with 560 more rows, and 5 more variables: Dager <dbl>, Måned <dbl>,
## #   Mengde <dbl>, Tilstand <chr>, Kommentar <chr>

# Biblioteker til gamm-analyser:
library(mgcv) # For GAM

## Loading required package: nlme
## This is mgcv 1.8-34. For overview type 'help("mgcv-package")'.

library(MuMIn) # For beregning av AICc-verdier

# Tester tre kandidatmodeller, en med kun Dager, en med dager + behandling,
og en med interaksjon:
## Mod_1 : Tester effekt av dager. Signifikant effekt (p<0,0001)
Mod_1<-gamm(Mengde ~ s(Dager), random=list(Stasjon=~1), method="REML", family=
gaussian, data=BLASKJELLdata)
anova(Mod_1$gam)

##
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## Mengde ~ s(Dager)
##
## Approximate significance of smooth terms:
##           edf Ref.df    F p-value
## s(Dager) 3.922  3.922 43.77 <2e-16

summary(Mod_1$gam)

##
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## Mengde ~ s(Dager)
##
## Parametric coefficients:

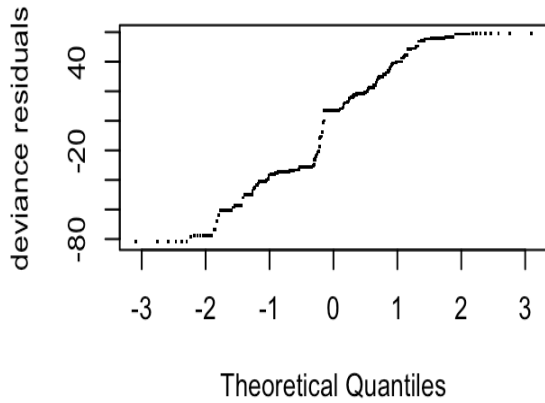
```

```

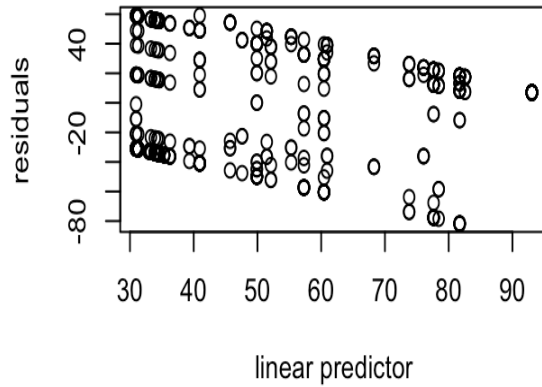
##           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  55.083      4.854  11.35 <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Approximate significance of smooth terms:
##           edf Ref.df      F p-value
## s(Dager)  3.922  3.922 43.77 <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## R-sq.(adj) =  0.265
##  Scale est. = 1328.6    n = 510
par(mfrow=c(2,2))
# Sjekker om residualene er tilstrekkelig normalfordelte
gam.check(Mod_1$gam)

```

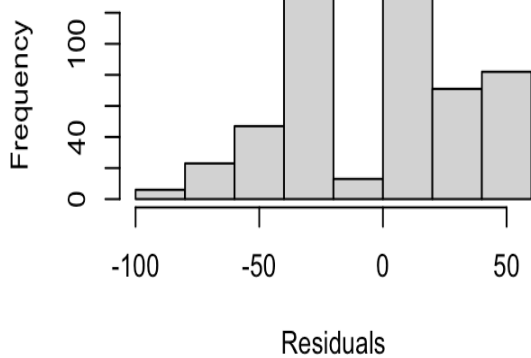

Normal Q-Q Plot



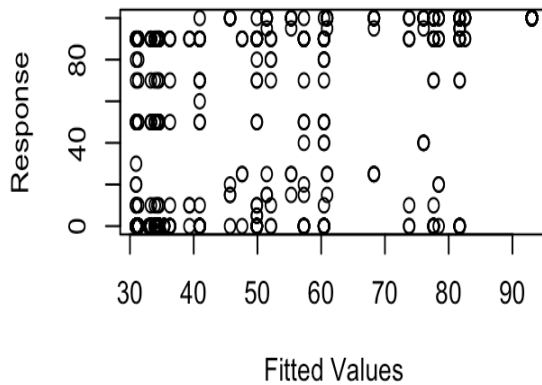
Resids vs. linear pred.



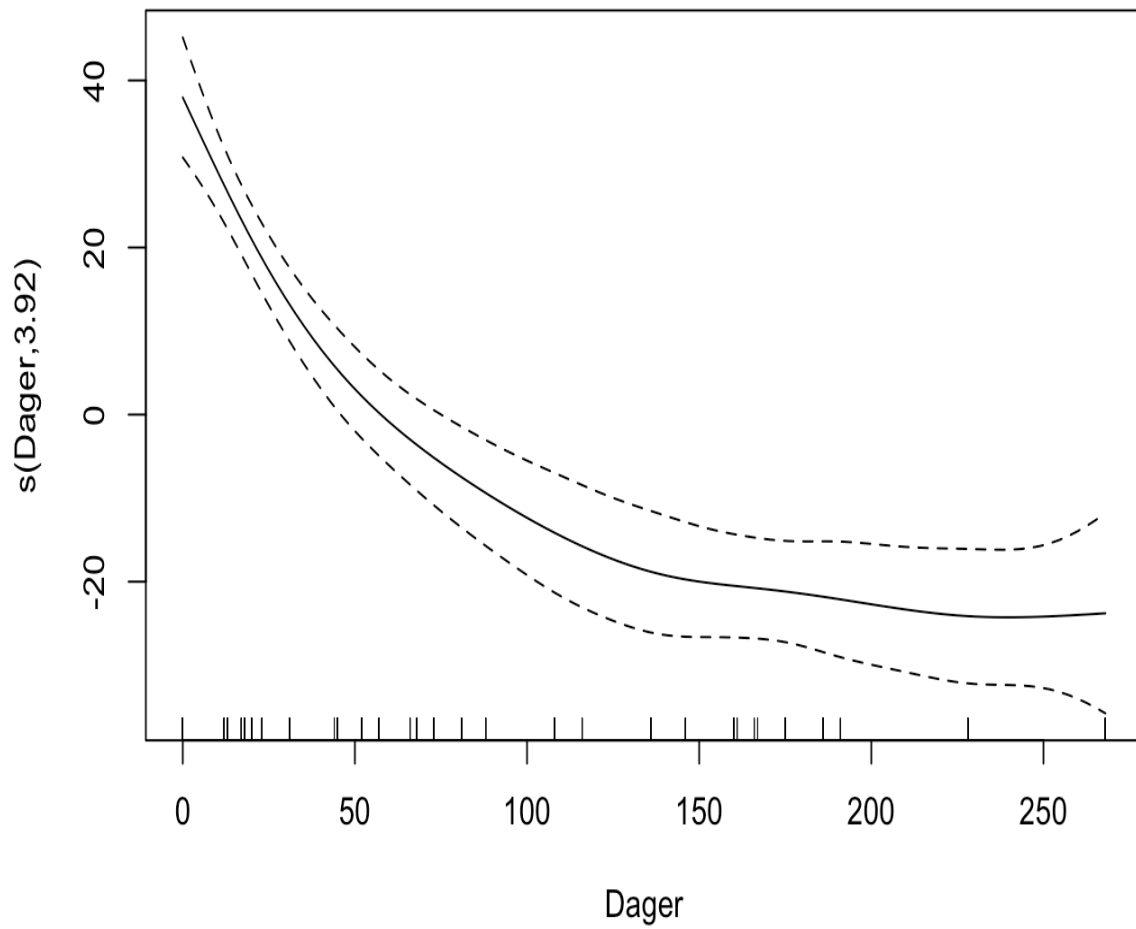
Histogram of residuals



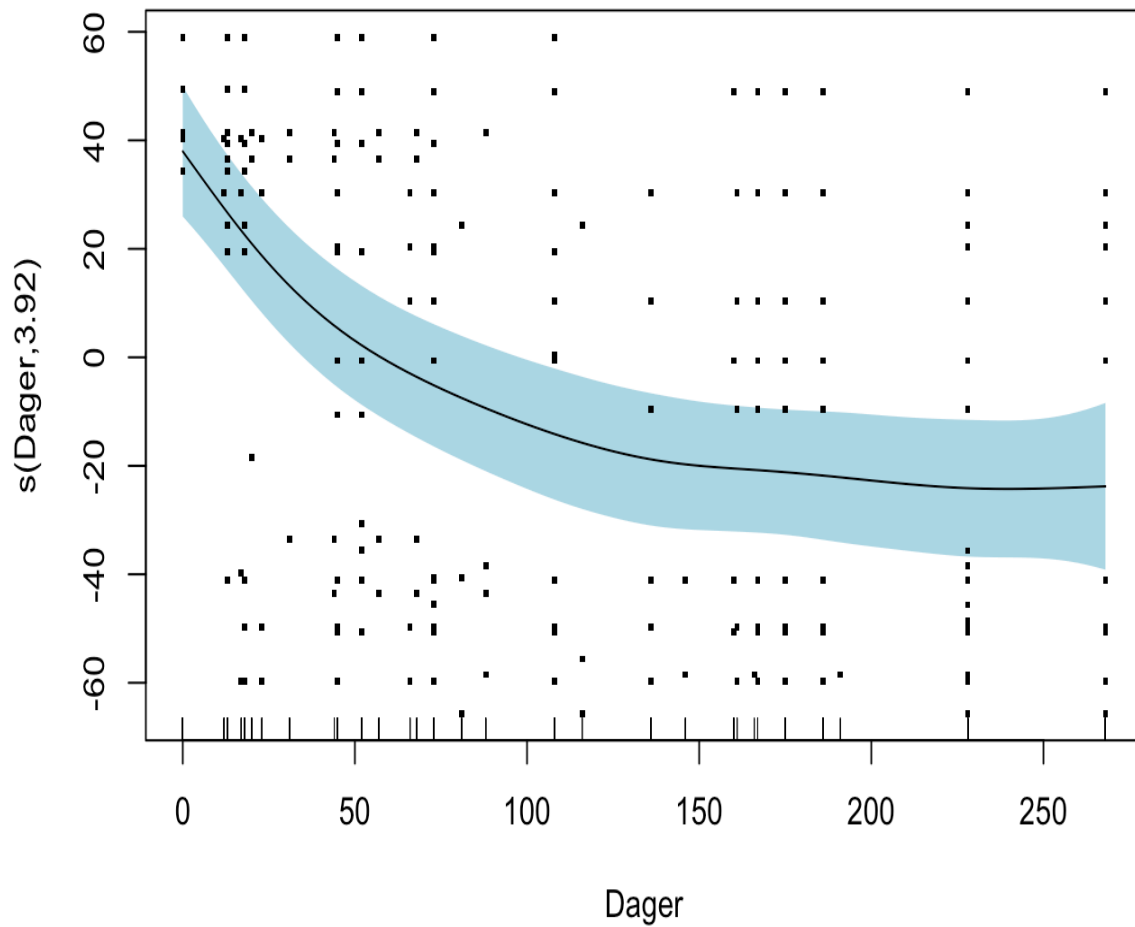
Response vs. Fitted Values



```
##
## 'gamm' based fit - care required with interpretation.
## Checks based on working residuals may be misleading.
## Basis dimension (k) checking results. Low p-value (k-index<1) may
## indicate that k is too low, especially if edf is close to k'.
##
##           k'  edf k-index p-value
## s(Dager) 9.00 3.92   0.52 <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
# Plot av modellen
par(mfrow=c(1,1))
plot(Mod_1$gam)
```



```
plot(Mod_1$gam, residuals = TRUE, cex = 3, shade = TRUE, shade.col = "light  
blue", seWithMean = TRUE) # Plot av modellen med litt ulike specs
```



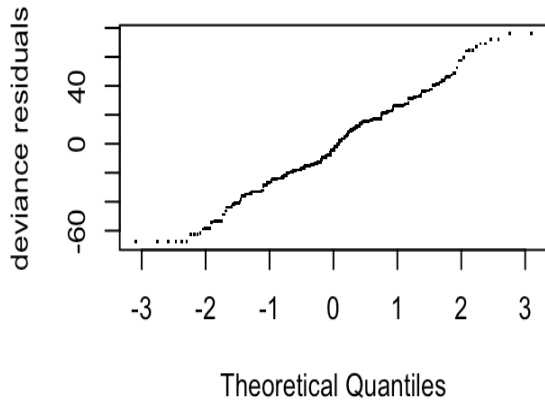
```
## Mod_2 tester effekt av dager og behandling. Signifikant (p<0,0001)
Mod_2<-gamm(Mengde ~ s(Dager) + Behandling,random=list(Stasjon=~1),method="
REML",family=gaussian,data=BLASKJELLdata)
anova(Mod_2$gam)
##
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## Mengde ~ s(Dager) + Behandling
##
## Parametric Terms:
##           df      F p-value
## Behandling 3 152.7 <2e-16
```

```

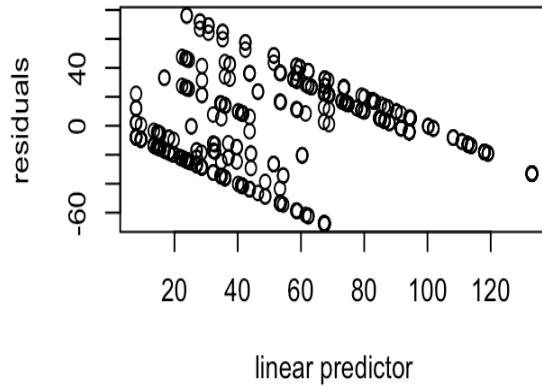
##
## Approximate significance of smooth terms:
##           edf Ref.df      F p-value
## s(Dager) 5.325  5.325 58.28 <2e-16
summary(Mod_2$gam)
##
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## Menge ~ s(Dager) + Behandlung
##
## Parametric coefficients:
##           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)      41.746      4.826   8.651 < 2e-16 ***
## BehandlungKontroll  50.492      3.089  16.347 < 2e-16 ***
## BehandlungPelagial -8.947      2.997  -2.985  0.00297 **
## BehandlungUBrygge  17.716      5.505   3.218  0.00137 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Approximate significance of smooth terms:
##           edf Ref.df      F p-value
## s(Dager) 5.325  5.325 58.28 <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## R-sq.(adj) =  0.599
##   Scale est. = 693.53    n = 510
par(mfrow=c(2,2))
gam.check(Mod_2$gam)

```

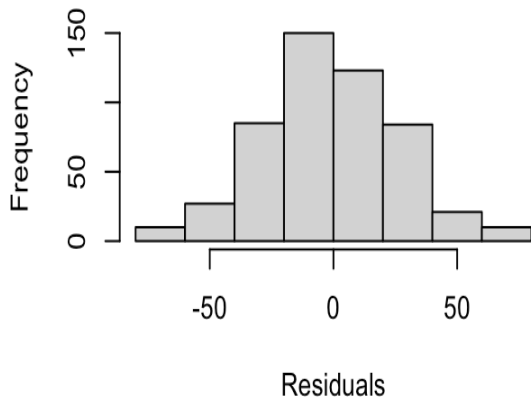
Normal Q-Q Plot



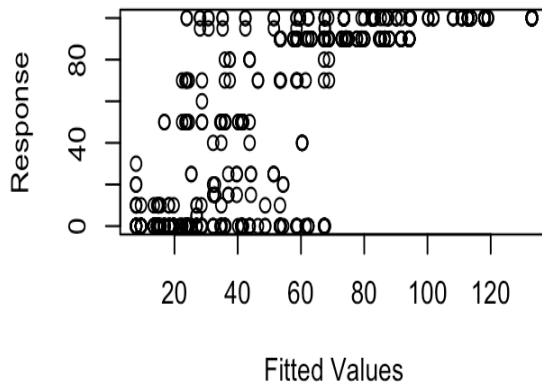
Resids vs. linear pred.



Histogram of residuals



Response vs. Fitted Values



```
##
## 'gamm' based fit - care required with interpretation.
## Checks based on working residuals may be misleading.
## Basis dimension (k) checking results. Low p-value (k-index<1) may
## indicate that k is too low, especially if edf is close to k'.
##
##           k'  edf k-index p-value
## s(Dager) 9.00 5.33   0.51 <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

par(mfrow=c(2,2))
plot(Mod_2$gam)
plot(Mod_2$gam, residuals = TRUE, cex = 3, shade = TRUE, shade.col = "light
blue", seWithMean = TRUE)
```

```
##Mod_3: Tester effekt av dager og behandling m/ interaksjon. Signifikant (
p<0,0001)
```

```
BLASKJELLdata$Behandling <- as.factor(BLASKJELLdata$Behandling) # Behandlin
g m? defineres som factor for ? brukes i by
```

```
Mod_3<-gamm(Mengde ~ s(Dager, by = Behandling) + Behandling,random=list(Sta
sjon=~1),method="REML",family=gaussian,data= BLASKJELLdata)
```

```
anova (Mod_3$gam)
```

```
##
```

```
## Family: gaussian
```

```
## Link function: identity
```

```
##
```

```
## Formula:
```

```
## Mengde ~ s(Dager, by = Behandling) + Behandling
```

```
##
```

```
## Parametric Terms:
```

```
##           df      F p-value
```

```
## Behandling  3 186.5 <2e-16
```

```
##
```

```
## Approximate significance of smooth terms:
```

```
##           edf Ref.df      F p-value
```

```
## s(Dager):BehandlingBunn    5.169  5.169 34.323 < 2e-16
```

```
## s(Dager):BehandlingKontroll 1.000  1.000  9.641 0.00201
```

```
## s(Dager):BehandlingPelagial 5.754  5.754 43.660 < 2e-16
```

```
## s(Dager):BehandlingUBrygge  2.471  2.471 15.111 4.6e-07
```

```
summary (Mod_3$gam)
```

```
##
```

```
## Family: gaussian
```

```
## Link function: identity
```

```
##
```

```
## Formula:
```

```
## Mengde ~ s(Dager, by = Behandling) + Behandling
```

```
##
```

```
## Parametric coefficients:
```

```
##           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
```

```
## (Intercept)      41.378      4.654   8.891 < 2e-16 ***
```

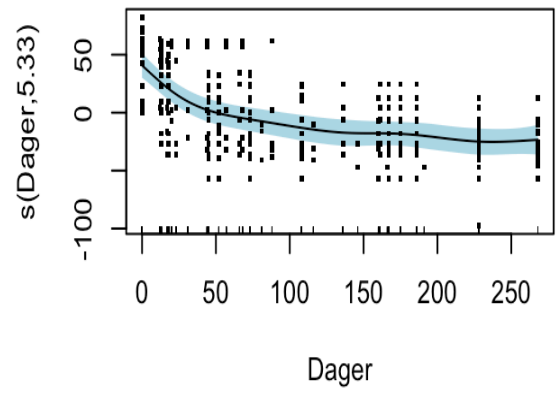
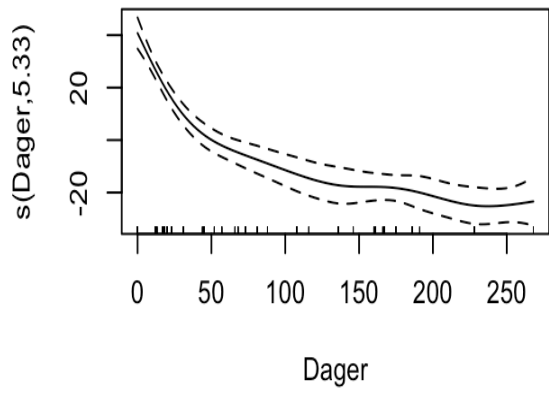
```
## BehandlingKontroll  51.747      2.843  18.204 < 2e-16 ***
```

```
## BehandlingPelagial -8.274      2.759  -2.999 0.00285 **
```

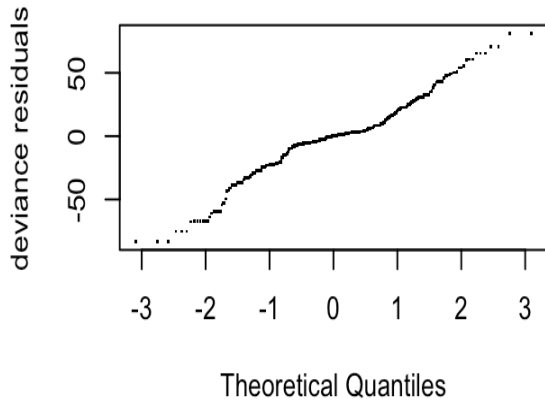
```

## BehandlungUBrygge      16.917      5.132      3.296      0.00105 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Approximate significance of smooth terms:
##
##              edf Ref.df      F p-value
## s(Dager):BehandlingBunn      5.169   5.169 34.323 < 2e-16 ***
## s(Dager):BehandlingKontroll 1.000   1.000  9.641 0.00201 **
## s(Dager):BehandlingPelagial 5.754   5.754 43.660 < 2e-16 ***
## s(Dager):BehandlingUBrygge  2.471   2.471 15.111 4.6e-07 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## R-sq.(adj) =  0.658
##   Scale est. = 580.76    n = 510
gam.check(Mod_3$gam)

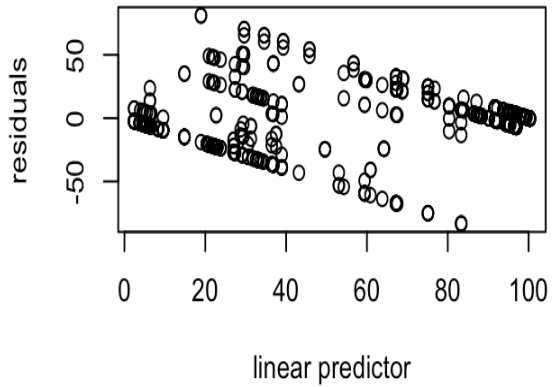
```



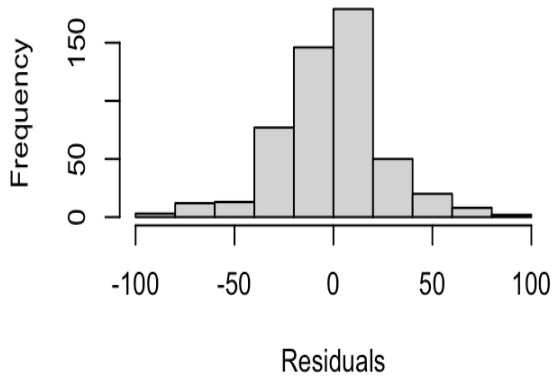
Normal Q-Q Plot



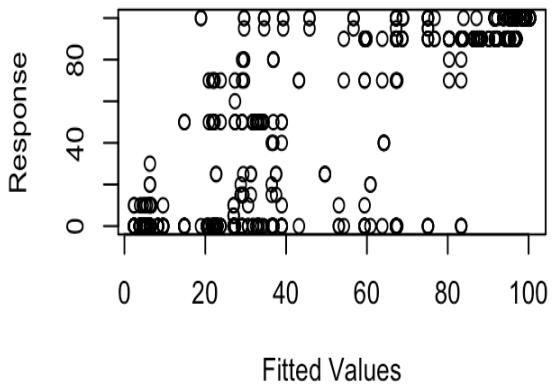
Resids vs. linear pred.



Histogram of residuals

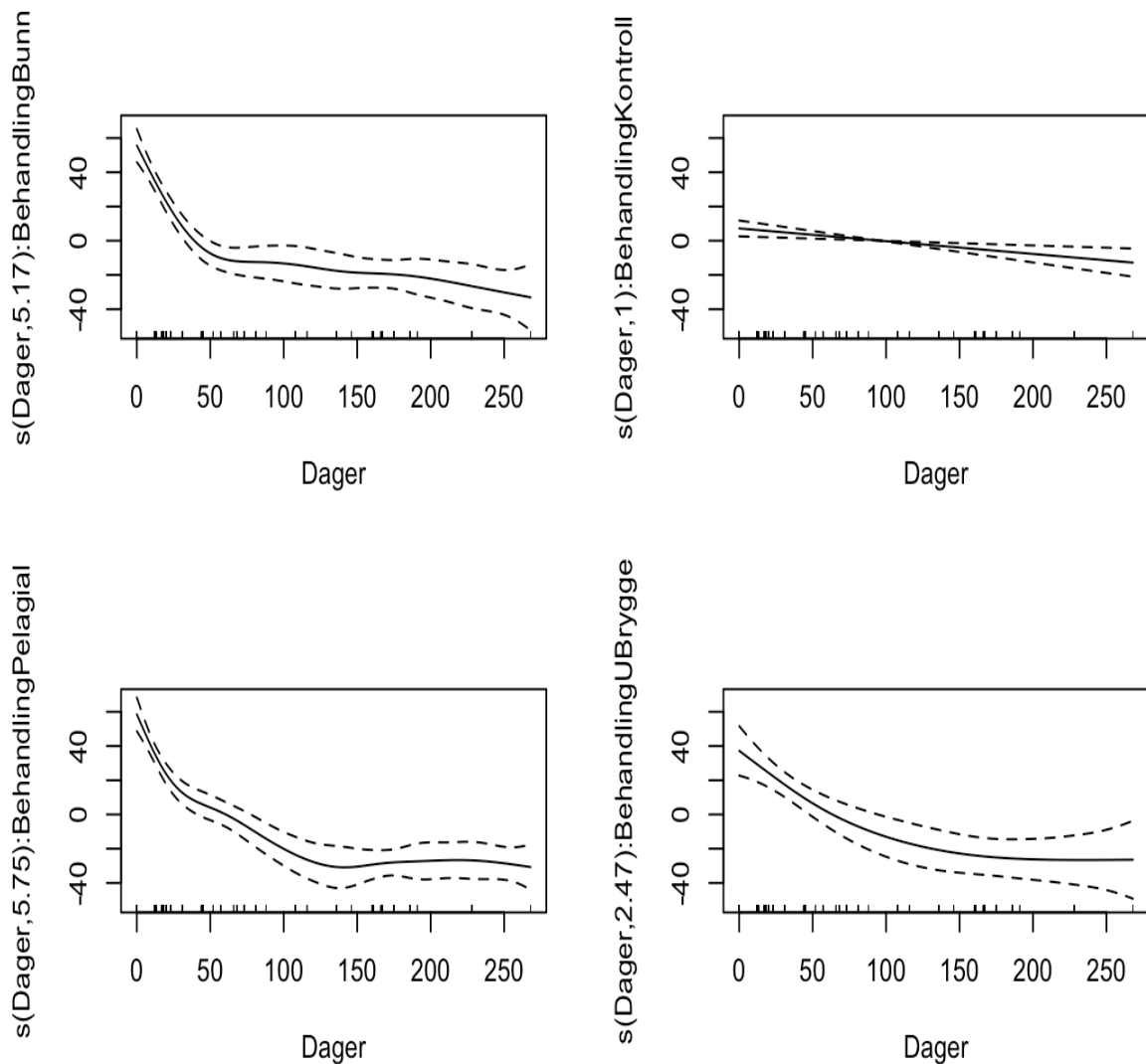


Response vs. Fitted Values



```
##
## 'gamm' based fit - care required with interpretation.
## Checks based on working residuals may be misleading.
## Basis dimension (k) checking results. Low p-value (k-index<1) may
## indicate that k is too low, especially if edf is close to k'.
##
##           k'  edf k-index p-value
## s(Dager):BehandlingBunn    9.00 5.17   0.51 <2e-16 ***
## s(Dager):BehandlingKontroll 9.00 1.00   0.51 <2e-16 ***
## s(Dager):BehandlingPelagial 9.00 5.75   0.51 <2e-16 ***
## s(Dager):BehandlingUBrygge  9.00 2.47   0.51 <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
par(mfrow=c(2,2))
plot(Mod_3$gam)
```



```
plot(Mod_3$gam, residuals = TRUE, cex = 3, shade = TRUE, shade.col = "light
blue", seWithMean = TRUE)
```

```
# Sjekker hvilken modell som er best med AIC
```

```
AICc(Mod_1,Mod_2,Mod_3)
```

```
##      df      AICc
## Mod_1  5 5133.006
## Mod_2  8 4799.886
## Mod_3 14 4723.658
```

```
## Sjekker ut log-transformert respons
```

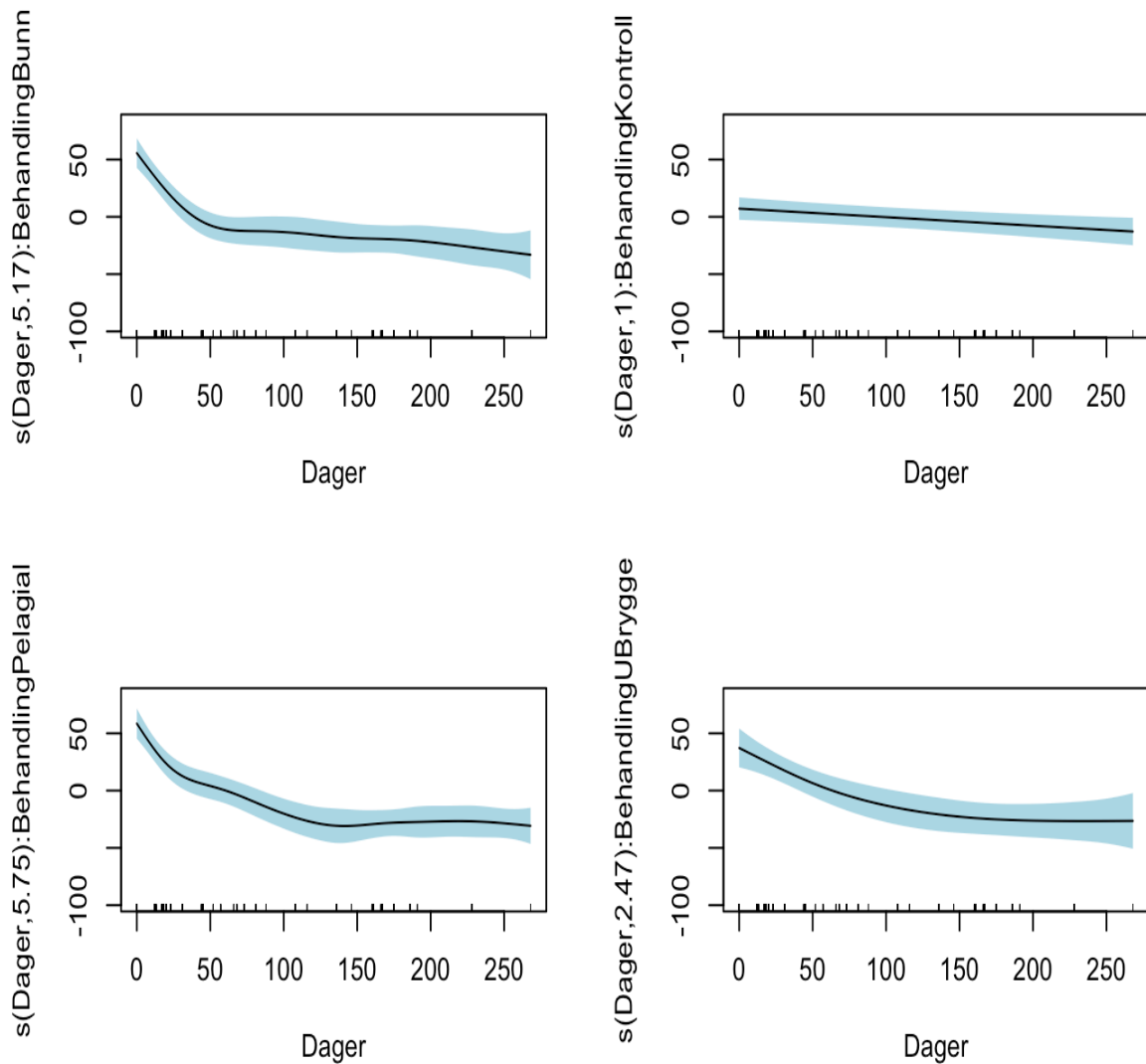
```
LogMengde <- log(BLASKJELLdata$Mengde+1)
```

```
#log-transformasjonen forbedret ikke modellene, så beholdt uttransformert re  
spons
```

```
# gamm-plot
```

```
par(mfrow=c(2,2))
```

```
plot(Mod_3$gam, residuals = TRUE, cex = 3, shade = TRUE, shade.col = "light  
blue", seWithMean = TRUE)
```



```
## Figurer
```

```
par(mfrow=c(2,2))
```

```
newData_Value <- expand.grid(Dager=seq(1,272,1), Behandling=c("Kontroll"))
```

```
prediksjon_Value <- predict(Mod_3$gam, newdata=newData_Value,se.fit=T,type=  
"response")
```

```
prediksjon_Value <- cbind(newData_Value, prediksjon_Value)
```

```

plot(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,3],ylab="Mengde skjell (%)",col
="black", xlab="Dager", main="Blåskjell i bur - Kontroll",type="l",ylim=c(0
,max(110,na.rm=TRUE))) # Lager plot med prediksjonskurven for Kontroll

lines(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,3]+2*prediksjon_Value[,4],type
="l", lty="dashed", col="deepskyblue") # Legger til øvre konfidensintervall

lines(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,3]-2*prediksjon_Value[,4],type
="l", lty="dashed",col="deepskyblue") # Legger til nedre konfidensintervall

BLASKJELLdata_Kontroll=subset(BLASKJELLdata, Behandling=="Kontroll") # Hent
er ut kun Kontroll-punktene

points(BLASKJELLdata_Kontroll$Dager,BLASKJELLdata_Kontroll$Mengde,type="p",
pch=1,col="deepskyblue") # Legger til datapunktene i figuren

newData_Value <- expand.grid(Dager=seq(1,272,1), Behandling=c("Pelagial"))
prediksjon_Value <- predict(Mod_3$gam, newdata=newData_Value,se.fit=T,type=
"response")

prediksjon_Value <- cbind(newData_Value, prediksjon_Value)

plot(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,3],ylab="Mengde skjell (%)",col
="black", xlab="Dager", main="Blåskjell i vannmassene", type="l",ylim=c(0,m
ax(110,na.rm=TRUE)))

lines(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,3]+2*prediksjon_Value[,4],type
="l", lty="dashed", col="deepskyblue")

lines(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,3]-2*prediksjon_Value[,4],type
="l", lty="dashed",col="deepskyblue")

BLASKJELLdata_Pelagial=subset(BLASKJELLdata, Behandling=="Pelagial") # Hent
er ut kun Pelagial-punktene

points(BLASKJELLdata_Pelagial$Dager,BLASKJELLdata_Pelagial$Mengde,type="p",
pch=1,col="deepskyblue")

newData_Value <- expand.grid(Dager=seq(1,272,1), Behandling=c("Bunn"))
prediksjon_Value <- predict(Mod_3$gam, newdata=newData_Value,se.fit=T,type=
"response")

prediksjon_Value <- cbind(newData_Value, prediksjon_Value)

plot(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,3],ylab="Mengde skjell (%)",col
="black", xlab="Dager", main="Blåskjell i strandsonen", type="l",ylim=c(0,m
ax(110,na.rm=TRUE)))

lines(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,3]+2*prediksjon_Value[,4],type
="l", lty="dashed", col="deepskyblue")

lines(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,3]-2*prediksjon_Value[,4],type
="l", lty="dashed",col="deepskyblue")

BLASKJELLdata_Bunn=subset(BLASKJELLdata, Behandling=="Bunn") # Henter ut ku
n Bunn-punktene

points(BLASKJELLdata_Bunn$Dager,BLASKJELLdata_Bunn$Mengde,type="p",pch=1,co
l="deepskyblue")

newData_Value <- expand.grid(Dager=seq(1,272,1), Behandling=c("UBrygge"))

```

```

prediksjon_Value <- predict(Mod_3$gam, newdata=newData_Value, se.fit=T, type=
"response")

prediksjon_Value <- cbind(newData_Value, prediksjon_Value)

plot(prediksjon_Value[,1], prediksjon_Value[,3], ylab="Mengde skjell (%)", col=
"black", xlab="Dager", main="Blåskjell i vannmassene, under brygge", type="
l", ylim=c(0, max(110, na.rm=TRUE)))

lines(prediksjon_Value[,1], prediksjon_Value[,3]+2*prediksjon_Value[,4], type=
"l", lty="dashed", col="deepskyblue")

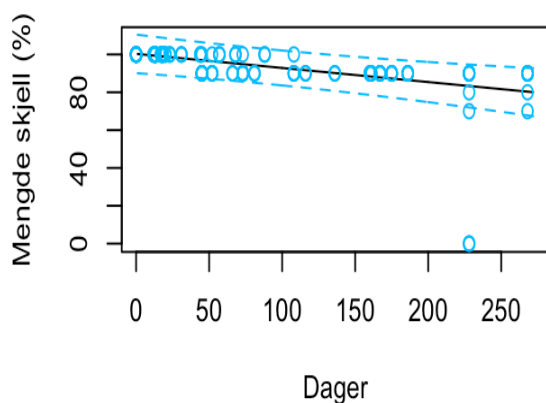
lines(prediksjon_Value[,1], prediksjon_Value[,3]-2*prediksjon_Value[,4], type=
"l", lty="dashed", col="deepskyblue")

BLASKJELLdata_UBrygge=subset(BLASKJELLdata, Behandling=="UBrygge") # Henter
ut kun Ubrygge-punktene

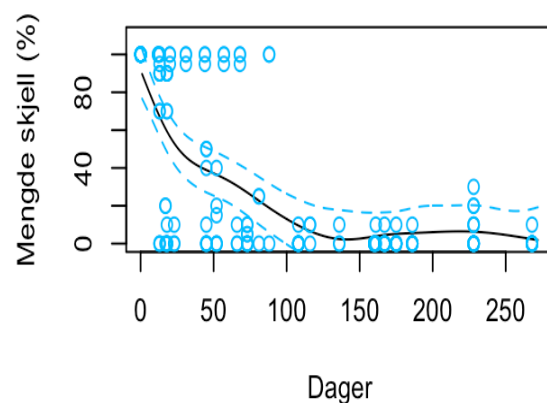
points(BLASKJELLdata_UBrygge$Dager, BLASKJELLdata_UBrygge$Mengde, type="p", pc
h=1, col="deepskyblue")

```

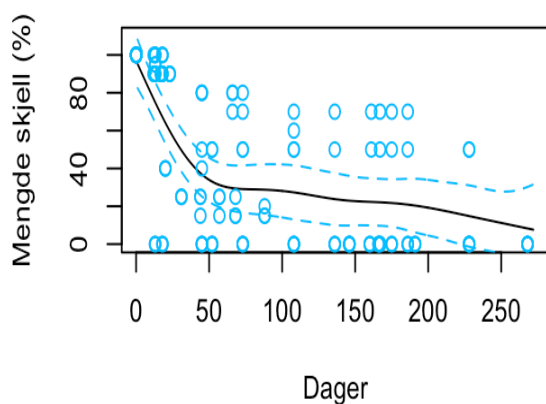
Blåskjell i bur - Kontroll



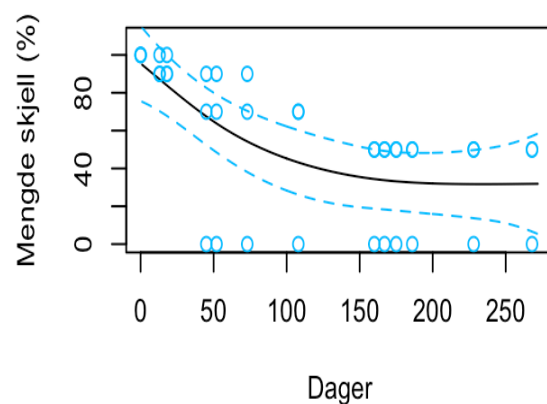
Blåskjell i vannmassene



Blåskjell i strandsonen



Blåskjell i vannmassene, under brygge



```

# Alt i samme figur (uten konfidensintervaller):
par(mfrow=c(1,1))

```

```

newData_Value <- expand.grid(Dager=seq(1,268,1), Behandling=c("Bunn"))
prediksjon_Value <- predict(Mod_3$gam, newdata=newData_Value,se.fit=T,type=
"response")
prediksjon_Value <- cbind(newData_Value, prediksjon_Value)
plot(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,3],ylab="Mengde skjell (%)",col
="gray36", xlab="Dager",type="l",lwd=2, ylim=c(0,max(110,na.rm=TRUE)))
newData_Value <- expand.grid(Dager=seq(1,268,1), Behandling=c("Kontroll"))
prediksjon_Value <- predict(Mod_3$gam, newdata=newData_Value,se.fit=T,type=
"response")
prediksjon_Value <- cbind(newData_Value, prediksjon_Value)
lines(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,3],ylab="",col="orange", xlab=
"",type="l",lwd=2, ylim=c(0,max(110,na.rm=TRUE)))
newData_Value <- expand.grid(Dager=seq(1,268,1), Behandling=c("Pelagial"))
prediksjon_Value <- predict(Mod_3$gam, newdata=newData_Value,se.fit=T,type=
"response")
prediksjon_Value <- cbind(newData_Value, prediksjon_Value)
lines(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,3],ylab="",col="deepskyblue",
xlab="",type="l",lwd=2, ylim=c(0,max(110,na.rm=TRUE)))
newData_Value <- expand.grid(Dager=seq(1,268,1), Behandling=c("UBrygge"))
prediksjon_Value <- predict(Mod_3$gam, newdata=newData_Value,se.fit=T,type=
"response")
prediksjon_Value <- cbind(newData_Value, prediksjon_Value)
lines(prediksjon_Value[,1],prediksjon_Value[,3],ylab="",col="yellowgreen",
xlab="",type="l",lwd=2, ylim=c(0,max(110,na.rm=TRUE)))

```

