

Framtidsrettet matproduksjon i kyst og fjord

– *En vurdering av muligheter for økt sjømatproduksjon i Norge*

Redaktører: Ole Torrissen, Birgitta Norberg, Kiron Viswanath (1), Tore Strohmeier, Øivind Strand, Lars-Johan Naustvoll og Terje Svåsand



Prosjektrapport

Rapport:	Nr. – År:	Dato:	Distribusjon: Åpen
RAPPORT FRA HAVFORSKNINGEN	23–2018	08.08.2018	Havforskningsprosjektnr.: 14927
Tittel (norsk og engelsk):			Oppdragsgiver(e): Havforskningsinstituttet
Framtidsrettet matproduksjon i kyst og fjord Potential seafood production in Norwegian coast and fiords			Program: Akvakultur
Redaktører:			Forskningsgruppe: Sykdom og smittespredning
Ole Torrissen, Birgitta Norberg, Kiron Viswanath (1), Tore Strohmeier, Øivind Strand, Lars-Johan Naustvoll, Terje Svåsand.			Antall sider totalt: 84

Bidragsytere:

Ann-Lisbeth Agnalt, Arne Duinker, Ellen Sofie Grefsrud, Pia K. Hansen, Torstein Harboe, Philip James (2), Henrice Jansen (3), Thorolf Magnesen (4), Anders Mangor-Jensen, Terje van der Meer, Stein Mortensen, Frithjof Moy, Kjell Magnus Norderhaug, Ingegjerd Opstad, Mark Powell, Anne Berit Skiftesvik, Hans Kristian Strand, Harald Sveier (5), Øystein Sæle, Christofer Troedsson (6), René Wijffels (7), Håvard Åkerøy (8)

1) Nord Universitet; 2) NOFIMA; 3) Wageningen Marine Research; 4) Scalpro AS; 5) Lerøy Seafood AS; 6) Ocean Bergen AS; 7) Wageningen University; 8) Norgeskjell AS

Sammendrag (norsk):

Utredningen ”*Framtidsrettet matproduksjon i kyst og fjord*” er en del av en kyst-akvakultur-satsing ved Havforskningsinstituttet og har som mål å svare på ”Hvordan skal vi legge til rette for økt, bærekraftig verdiskaping langs kysten”? Utredningen analyserer potensielle arter og produksjonssystemer, men mener at det mangler godt grunnlag for å gi egne kvantitative anslag for produksjonspotensial. Norge har naturgitte forutsetninger for en betydelig økt sjømatproduksjon langs kysten, og kan dermed få en enda viktigere rolle i å løse de globale utfordringene med å skaffe nok mat til verdens voksende befolkning. Jordens biologiske produksjon er omtrent likt delt mellom land og hav, men kun 2 % av kaloriinntaket og 15 % av proteininntaket til mennesker kommer fra havet. For å fø jordas befolkning på anslagsvis 9,1 milliarder mennesker i 2050, må matproduksjonen økes med 70 % i forhold til produksjonen i 2010. Det er en erkjennelse at de største bidragene til fremtidig økt marin matproduksjon må komme lavere i næringsnettet enn det som i dag praktiseres, og vi trenger nye løsninger for økt bærekraft i eksisterende produksjon og økt produksjon i både økosystemer og for spesifikke sjømatprodukter. Global marin akvakulturproduksjon domineres i dag av lavtrofiske arter (tare og skjell). Lavtrofisk marin høsting og dyrking vil være nødvendig i fremtidens produksjon av mat, fôr og energi, samtidig som både fangst og havbruk av fisk og krepsdyr til konsum kan bidra til dette.

Av filtrerende organismer i Norge er dyrking av blåskjell etablert med en økende etterspørsel i markedet. Økt kunnskap innen produksjonsbiologi og teknologi kan også gi ny anvendelse som fôringrediens. En realisering av det store potensialet for dyrking av blåskjell og andre filtrerende organismer (grønnsekkyr og skjell) vil kreve tilgang på areal og effektivisert produksjonsteknologi.

Tarehøsting og dyrking gir oss store muligheter til økt bioproduksjon. Utvikling av tare dyrking er i forskning, pilot og oppskalingsfase. Det kreves utvikling av effektive kultiveringsmetoder, tekniske løsninger for produksjon, prosessering og foredling [18][20][20]. I tillegg vil det være avgjørende med tilgang til store arealer i sjø. Der er økende interesse for dyrking av mikroalger som kilde til helseprodukter, mat og føringredienser. Det er spesielt store muligheter for å dyrke kuldetilpassede mikroalger med spesifikke egenskaper.

I kulturbetinget høsting anbefales utvikling av styrt oppstrømming av næringsrikt dypere vannlag i fjorder som en ny løsning for økt produktivitet i lavtrofisk produksjon. Oppstrømming har potensial for en relativ sterk økning i mat- og biomasseproduksjon i fjorder. Det bør undersøkes muligheter for oppfôring av grønn kråkebolle og integrerte løsninger for å utnytte den sterkt forhøyete produksjonen lokalt under lakseoppdrettsanlegg.

Laksefisk vil fortsatt dominere oppdrettsartene i Norge i 2050. Forutsetningen for videre vekst er imidlertid at miljøutfordringene løses. I EU er det en trend til økt diversifisering i arter av fisk for akvakultur. Forsøk i Norge på dette, blant annet med torsk og rensefisk, viser at det kan være et stort potensial. Det vil imidlertid kreves en betydelig forskningsinnsats for å lykkes. Av hvitfisk til konsum er det i dag kun kveite som kan sies å være etablert som oppdrettsart med en økende kommersiell produksjon.

Det vitenskapelige råd er entydig og peker på bærekraftig dyrking og fangst av lavtrofiske nivåer som en viktig måte å øke matproduksjonen. Det største og mest gjennomførbare potensialet for global produksjon er dyrking av marine filtrerende organismer som mat for mennesker eller sammen med dyrking av alger (tang og tare) som en kilde til fôr for akvakultur av marine karnivorer (reker, fisk etc.). På kort sikt foreslås det her å løse flaskehalsen i dyrkingen av blåskjell, grønnsekkyr og tare for å oppskalere biomasseproduksjon.

Summary (English):

The study entitled "*Framtidsrettet matproduksjon i kyst og fjord*" is part of the coast/aquaculture initiative at the Institute of Marine Research and aims to answer, "How should we facilitate increased and sustainable value creation along the Norwegian coast"? The investigation analyses potential aquaculture species and production systems. However, in our view, there is a lack of basis for providing own quantitative estimates for production potential. Norway has natural prerequisites for significantly increased seafood production along the coast and thus enabling an even more important role in addressing global challenges in food security for the world's growing population. Earth's primary biological production is roughly divided between land and sea, but only 2% of caloric intake and 15% of protein intake for humans comes from the sea. Global food production should be increased by 70% compared to the production in 2010 in order to feed the estimated population of more than 9 billion people by 2050. It is a recognition that the largest contributions to future increased marine food production must originate from lower trophic levels than currently practiced. We need new solutions for increased sustainability in existing production and increased production in both ecosystems and for specific seafood products. Global marine aquaculture production is today dominated by low-trophic species (sea weed and mussels) and increased low trophic marine harvesting and aquaculture will be necessary in future food, feed and energy production. Catch and aquaculture production of fish and crustaceans for human consumption will also contribute, but preferential fed on low trophic marine feed resources.

Of filter feeding organisms, cultivation of mussels is established with increasing demand, and with good knowledge in production biology and technology also with potential as feed ingredient. A realization of the great potential for cultivation of mussels and other filtering organisms (tunicates and mussels) will require strong technological development and access on area in the coastal zone.

Kelp harvesting and cultivation gives us great opportunities for increased food production. Development of kelp cultivation is in research, pilot and scaling up phase. This requires development of effective cultivation strategies, technical solutions for production and processing. In addition, it will be crucial to have access to large sea area. There is growing interest in the cultivation of microalgae as a source of health products, food and feed ingredient, with significant opportunities for cultivating cold-adapted microalgae with specific properties in cold areas.

Sea ranching of low trophic organisms can be significantly increased and intensified by artificial upwelling nutritious deeper water layers in fjords. This is a new, unique and proven solution for increased low-trophic production, with the potential for a relatively large contribution to increased food and biomass production in fjords. There is also a potential in feeding of sea urchins and to develop solutions for utilising the greatly increased production locally by salmon farming.

Salmon fish will still dominate the aquaculture in Norway in 2050. However, the prerequisite for further growth is solution of the environmental challenges. In the EU there is a trend for increased diversification in fish species for aquaculture. Experiences in Norway on diversification, including cod, halibut and cleaner fishes show that there is a great potential.

The scientific advises is unambiguous, pointing to sustainable cultivation and catching of low-trophic level organisms as an important way of increasing global sea food production. The largest and most feasible potential for global production is the cultivation of marine filtering organisms as food for humans or together with the cultivation of algae (kelp and seaweed) as a source for aquaculture feed for marine fish and shrimps. In the short term, it is proposed to solve bottlenecks in the cultivation of mussels, tunicates and kelp to scale up biomass production.

Emneord (norsk):

Akvakultur
Havbeite
Global matforsyning
Marin matproduksjon
Bioenergi

Subject heading (English):

Aquaculture
Sea ranching
Global food security
Marine food production
Bio-energy

Geir Lasse Taranger, forskningsdirektør

Terje Svåsand, programleder



Innholdsfortegnelse

1	Innledning	6
1.1	<i>Status i Norge</i>	6
1.2	<i>Bæreevne</i>	9
1.2.1	Generelle miljøpåvirkninger	9
1.2.2	Artsspesifikke miljøpåvirkninger	10
2	Global akvakultur – status	13
3	Utvikling av norsk akvakultur	16
4	Produksjonspotensial i kyst og fjord	18
4.1	<i>Dyrking av marine mikroalger</i>	18
4.1.1	Muligheter for produksjon av mikroalger i Norge?	18
4.1.2	Hvordan realisere potensialet?	18
4.1.3	Flaskehals	19
4.2	<i>Kulturbetinget høsting</i>	19
4.2.1	Havbeite	21
4.2.2	Levendelagring	24
4.2.3	Integrert havbruk	27
4.2.4	Styrt oppstrømning av næringsrikt dypvann	29
4.3	<i>Makroalger</i>	31
4.3.1	Dyrking av tang og tare	32
4.3.2	Produkter fra makroalger	33
4.3.3	Aktuelle arter	33
4.4	<i>Dyrking av marine filterfødere (filtrerende organismer)</i>	35
4.4.1	Dyrking av marine filtrerende organismer	36
4.4.2	Kunnskapsgrunnlaget for dyrking av marine filtrerende organismer	37
4.4.3	Aktuelle arter og bruk	42
4.4.4	Dyrkningsmetoder	44
4.4.5	Potensiale og begrensinger	45
4.5	<i>Marin fisk</i>	47
4.5.1	Oppdrett av marin fisk – status og kunnskapsgrunnlag	48
4.5.2	Nye kandidatarter	51
4.5.3	Aktuelle arter:	53
4.5.4	Nye arter med mulig potensial	54
5	Konklusjon	56
5.1	<i>Mikroalger</i>	56
5.2	<i>Kulturbetinget høsting</i>	56
5.3	<i>Makroalger</i>	57
5.4	<i>Dyrking av marine filterfødere</i>	58
5.5	<i>Oppdrett av marin fisk</i>	58
6	Referanser	60

1 Innledning

Utredningen "Framtidsrettet matproduksjon i kyst og fjord" er en del av en kyst-akvakultur-satsing ved Havforskningsinstituttet og har som mål å svare på "Hvordan skal vi legge til rette for økt, bærekraftig verdiskaping langs kysten"? Arbeidet inngår i arbeidet med å sikre det faglige grunnlaget for havbruks-forvaltningens beslutninger, slik at potensialet for økt sjømatproduksjon fra havbruk kan realiseres.» Utredningen analyser potensielle arter og produksjonssystemer, men det er ikke tilstrekkelig grunnlag for å gi egne kvantitative anslag for produksjonspotensial. Utredningen behandler heller ikke spørsmål knyttet opp mot mattrygghet. Her forutsettes det at nye oppdrettsarter produseres innenfor gjeldende regelverk og at myndighetene følger opp med spesifikke krav dersom det skulle bli aktuelt.

Norge har naturgitte forutsetninger for en betydelig økt sjømatproduksjon langs kysten, og kan dermed få en enda viktigere rolle i å løse til de globale utfordringene med å skaffe nok mat til verdens voksende befolkning. I dag står Norge sentralt i internasjonal sjømatproduksjon og vi er verdens nest største eksportør av sjømat [22]. Norge har en internasjonal anerkjent kompetanse i marin næringsutvikling, forskning, teknologi og forvaltning. Våre fremtidige muligheter til å realisere vårt potensial til økt sjømatproduksjon langs kysten gjenspeiles også i spørsmålet om hvordan vi skal legge til rette for økt bærekraftig verdiskaping. På europeisk nivå er tilsvarende relevante spørsmålet nylig besvart i regi av European Scientific Advice Mechanism (SAM). Her er det i 2017 publisert utredninger som svar på kommisjonens spørsmål «How can more food and biomass be obtained from the oceans in a way that does not deprive future generations of their benefits». I hovedtrekk består utredningene av en uavhengig vitenskapelig rapport («evidence review report») utarbeidet av Science Advice for Policy by European Academies (SAPEA) og en endelig rapport fra SAM High Level Group (HLG) med vitenskapelig baserte anbefalinger («evidence-based policy recommendations») for beslutningstakere. Rapporten redegjør for hvordan det kan høstes mer mat fra havet samtidig som en opprettholder sunne økosystemer. Som løsning peker anbefalingene entydig på mer bærekraftig produksjon lavere i næringsnettet enn det som i dag praktiseres. Det største og mest realistiske globale potensiale ligger i marint oppdrett, særlig av filtrerende plantespisere (herbivore) (e.g. skjell) for direkte konsum eller sammen med dyrkede makro- og mikroalger som en effektiv kilde til oppdrett av fisk og krepsdyr som krever formulerte fôr.

SAPEA [23] har et lignende forskningsbasert perspektiv som arbeidet i denne rapporten, og presenterer en bred gjennomgang av muligheter for å få mer mat og biomasse fra havene. Med utgangspunkt i biologiske rammer ble det identifisert fire hovedområder; (1) bedret forvaltning og utnyttelse i tradisjonelle fiskeri, (2) fiske etter arter som i liten eller ingen grad nyttes i dag, (3) dyrking av organismer som henter næringen direkte fra vannmassene og (4) dyrking av organismer som tilføres fôr. Innenfor disse fire områdene presenteres 10 ulike muligheter med tilhørende potensial for økt mat og/eller biomasseproduksjon, dagens biologiske og teknologiske begrensning for å realisere dette potensialet og usikkerhet knyttet til fremtidig realisering. Innen marint oppdrett er det biologiske potensialet for fisk og reker som fôres, på over 10 millioner tonn mat per år. For makro- og mikroalger er potensialet på over 100 millioner tonn per år, halvparten som mat og andre halvparten biomasseproduksjon til fôr. Dyrking av marine filtrerende organismer (skjell) har et potensial på mer enn 100 millioner tonn mat per år, også med et mulig potensiale inne biomasseproduksjon til fôr. Det antas at potensialet for marint oppdrett kan nås i løpet av 20-30 år gitt dagens vekstrater for disse organismene.

Jordens biologiske produksjon er omtrent likt delt mellom land og hav, men kun 2 % av kaloriinntaket og 15 % av proteininntaket til mennesker kommer fra havet [24]. For å fø jordas befolkning på anslagsvis 9,1 milliarder mennesker i 2050 må matproduksjonen økes med 70 % i forhold til produksjonen i 2010 [25]. Det er lite trolig at det vil bli mulig å øke jordas matproduksjon i en slik størrelsesorden uten en aktiv dyrking av havet. Samtidig blir havet varmere og mer surt noe som kan redusere den naturlige produksjonen. Det globale samfunnet må samhandle for å sikre retten til fremtidige generasjoner har til et sunt og produktivt hav. De vitenskapelige rådene er entydige og peker på bærekraftig dyrking og fangst av på lavtrofiske nivåer som den mest bærekraftige måte å øke global matproduksjon [26]. Det største og mest gjennomførbare potensialet er dyrking av marine filtrerende organismer som mat for mennesker, eller sammen med dyrking av alger (tang og tare) som en mer bærekraftig kilde til fôr for akvakultur av marine krepsdyr og fisk [23, 26].

1.1 Status i Norge

Den som skal drive akvakultur i Norge trenger en tillatelse tildelt med hjemmel i Akvakulturloven [27]. Det er innvilget et begrenset antall tillatelser til oppdrett av laks, ørret og regnbueørret. Tillatelsens gitte MTB (Maksimalt tillatt biomasse) bestemmer hvor mye levende fisk innehaveren av tillatelsen kan ha stående i sjøen til enhver tid.

Biomasse er i forskrift om drift av akvakulturanlegg [28] definert som «Den til enhver tid stående biomasse av levende fisk (målt i kilo eller tonn)». Totalproduksjonen av laks, ørret og regnbueørret bestemmes dermed av myndighetenes totalt tillatte MTB og produksjonstiden. Siden tillatelsen gjelder for både regnbueørret og laks vil den relative fordeling mellom artene bestemmes av bedriftsøkonomiske forhold.

Tabell 1.1. Fylkesvis fordeling av kommersielle matfisklokaliteter og settefiskanlegg [1]

Fylke	Antall matfiskanlegg	Antall settefiskanlegg
Finnmark	75	6
Troms	101	13
Nordland	213	32
Nord-Trøndelag	61	16
Sør-Trøndelag	95	18
Møre og Romsdal	88	32
Sogn og Fjordane	85	20
Hordaland	180	56
Rogaland	68	18
Vest-Agder	10	3
Aust-Agder	2	1
Totalt	978	220

Produksjonen av laks (1,2 mill. tonn) og regnbueørret (87 000 tonn) var i 2016 på totalt 1,3 millioner tonn [1]. Matfiskproduksjonen ble gjennomført på 978 lokaliteter (Tabell 1.1) og i 990 matfisktillatelser, 90 undervisnings- og forskningstillatelser og 42 stamfisktillatelser. I 2016 ble det satt ut 320 millioner laksesmolt og 20 millioner regnbueørret. Dette er en liten nedgang fra 2015 (2 %) men en økning på 3 % i forhold til 2014. De nærmeste årene er det utviklingen i produksjonen av laks og regnbueørret som i størst grad vil påvirke norsk total akvakulturproduksjon.

Denne utredningen vil ikke spesifikt vurdere potensialet for økt produksjon av laks og regnbueørret. Havforskningsinstituttet lager årlig en risikovurdering av norsk akvakultur [29]. Denne gir en grundig vurdering av miljøutfordringene for norsk havbruk og danner grunnlaget for myndighetenes regulering av laks, ørret og regnbueørretproduksjon. Myndighetenes reguleringer av MTB og tildeling av ev. nye tillatelser vil sammen med endringer i næringens produktivitet og miljøpåvirkning vil i stor grad bestemme den årlige produksjon av laks og regnbueørret.

Det foreligger imidlertid to prognoser på produksjonsutviklingen i norsk lakseoppdrett. FHL (Fiskeri- og havbruksnæringens landsforening, nå Sjømat Norge) publiserte i 2012 en prognose som sa at vi har grunnlag for å øke produksjonen av laks og regnbueørret til 2,7 millioner tonn innen 2025. Vurderingen var basert på gjennomsnittlig historisk vekst. Markedspotensialet ble ikke vurdert som en begrensende faktor [30].

Laks vil fortsatt være den dominerende oppdrettsarten i 2050. De siste årene har produksjonen av ørret stagnert noe, og det er mer usikkert hva slags rolle ørreten vil spille i den fremtidige oppdrettsnæringen, sier rapport fra Det Kongelige Norske Vitenskabers Selskab [11]. Denne rapporten skisserer et produksjonspotensial på 5 millioner tonn i Norge innen 2050.

Trafikklyssystemet, trådte i kraft oktober 2017 [29]. Det innebærer at havbruksnæringens miljøpåvirkning er avgjørende for om næringen skal tilbys økning i produksjonskapasiteten (MTB) eller ikke. Det foretas vurderinger annet hvert år, og kapasiteten justeres med 6 prosent, opp (grønt) eller ned (rødt). I gule områder fryses kapasiteten. Miljøpåvirkningen er med andre ord grunnlaget for om oppdrettere kan få tilbud om økt produksjonskapasitet for laks og ørret eller ikke [31].

I Produksjonsområdeforskriften [32] er kysten delt inn i 13 produksjonsområder hvor bærekraftindikatorer skal bestemme hvor stor total produksjon som skal tillates. Disse produksjonsområdene basert på minst mulig smitte av lakselus mellom områdene [33]. Stortingsmelding [34] sier at status innen hvert produksjonsområde i første omgang kun skal være basert på effekter av lakselus på vill laksefisk, det vil si dødelighet på utvandrende postsmolt av laks, førstegangsvandrende postsmolt av sjørørret og sjørøye, og på beitende sjørørret og sjørøye som en konsekvens av smitte av lakselus fra oppdrettsanlegg. Andre bærekraftindikatorer kan eventuelt tillegges vekt i fremtidige arbeid. Lakselussituasjonen vil altså de kommende år i stor grad være bestemmende for eventuell vekst i produksjon av laks og regnbueørret, enten med basis i økt antall tillatelser eller økt MTB knyttet til eksisterende tillatelser.

En av strategiene for å begrense problemene med lakselus er å redusere produksjonstiden i sjø ved å sette ut stor smolt. Dette vil kunne ha to motvirkende effekter. Stor smolt vil oppta produksjonskapasitet i settefisk-anleggene og kan redusere kapasiteten for smoltproduksjon. Stor smolt vil ha kortere produksjonstid i sjø og dermed gi større produksjon innen samme MTB.

Det ligger imidlertid betydelige vekstpotensialer i de tillatelse som allerede er gitt. Økonomisk førfaktor (førlager per 1.1. + førkjøp - førlager per 31.12.) / produksjon av fisk) var i gjennomsnitt 1,25, men viser betydelige

Tabell 1.2. Tap av laks og regnbueørret i 2016 [2]. "Annet" inkluderer også tellefeil i Fiskeridirektoratets tabell.

Fylke	Dødfisk	Utkast slakt	Rømming	Annet
Finnmark	3 734	147		1 099
Troms	3 981	134	6	746
Nordland	7 423	171	12	1 369
Nord-Trøndelag	2 506	21	11	1 406
Sør-Trøndelag	8 807	111		842
Møre og Romsdal	5 407	133	2	161
Sogn og Fjordane	3 610	211	8	1 044
Hordaland	8 971	1 408	105	104
Rogaland	2 843	1 022		216

geografiske forskjeller. Høyest ligger Hordaland (1,37) og Trøndelag (1,36) og lavest Møre og Romsdal (0,93), Nordland (1,16) og Sogn og Fjordane (1,17) [35]. Økonomisk førfaktor økes blant annet av biomasse av tapt fisk i produksjonen. Det er nærliggende å anta at lakselus og pankreas sykdom (PD) påvirker førfaktor i betydelig grad. Trøndelag og Hordaland har et betydelig høyere tap av fisk enn andre fylker. Tabell 1.2 viser det fylkesvise tap av fisk i produksjon og slakting. Totalt er tapet på over 59 millioner fisk eller nesten 20 % av utsatte fisk.

Tiltak som reduserer tap av fisk vil øke produktiviteten innen samme MTB. Avl mot

sykdommer og parasitter er tiltak som kan redusere tap. Avl for økt vekst vil redusere produksjonstid og øke produksjonskvantum innen samme MTB. Gjedrem, Robinson [36] rapporterer en gjennomsnittlig økt tilvekst på

Tabell 1.3. Akvakulturproduksjon i Norge av andre arter enn laks og regnbueørret i 2016. Torsk er basert på villfanget småfisk. [5]

Art	Antall (1000)	Tonn
Rognkjeks	16 201	
Berggyllt	652	
Torsk		(450)
Røye		330
Kveite		1 461
Øvrige fisk*		229
Blåskjell		2 176
Kamskjell		12
Østers		11
Andre arter (hummer, kreps)		14
Sukkertare		33
Butare		26

*) I hovedsak piggvar

tillatelse for merdoppdrett i sjø fra Trøndelag og sørover [39]. Røye har tilsynelatende dårligere evne til osmoregulering når sjøtemperaturen er lav [40, 41] enn laks og regnbueørret. Det er imidlertid observert en

12,5 % per generasjon. Det bør, sammen med genetisk framgang i sykdoms resistens, være mulig å ta ut en økt produktivitet på 2-3 % per år innen samme MTB gjennom kortere produksjonstid og lavere tap av fisk [37].

Olafsen, Winther [11] sin prognose forutsetter en årlig vekst på vel 4,1 % og prognosen forutsetter at en i 2050 har utviklet en steril laks med god tilvekst og sterkt immunforsvar. Ny not-teknologi er utviklet og rømming av oppdrettsfisk er eliminert. Den forutsetter også at man har god kontroll på lusesituasjonen. Færre og større oppdrettsselskaper gjør det enklere å få til felles tiltak og strategier i enkeltområder. Vår vurdering er at prognosen er optimistisk. En halvering av den årlige veksten til 2 % vil gi et produksjonskvantum for laks og regnbueørret på 2,5 millioner tonn.

Røye (*Salvelinus alpinus*) har vært oppdrettet i Norge siden tidlig på 1970-tallet. I dag er produksjonen i sjø på 330 tonn fordelt på tre tillatelse i Sortland kommune. Siste nye tillatelse til matfiskproduksjon i sjø ble gitt i 2006 [38]. Sjørøye regnes som en fremmed art sør for Nordland fylke og det gis derfor ikke

økende interesse for produksjon av røye i ferskvann. Totalt er det gitt 27 tillatelser til røyeoppdrett i landbaserte anlegg, 14 av disse er gitt etter 2014 [38].

I tillegg til laks og regnbueørret har vi en etablert produksjon av rensefisk på vel 17 millioner individer (Tabell 1.3). Produksjonen av rensefisk til bruk i lakseoppdrett er økende. I 2012 var det 5 selskaper som drev med oppdrett av rensefisk, mens det i 2016 hadde øket til 24. I samme perioden økte antall tillatelser fra 15 til 52 (Figur 4.3) Det meste av økningen kommer av oppdrett av rognkjeks (*Cyclopterus lumpus*), hvor salg av oppdrettet fisk har gått fra i underkant av en halv million individ i 2012 til nesten 16 millioner i 2016. Den andre rensefiskarten som blir oppdrettet er berggyllt (*Labrus bergylta*), hvor salget (villfanget og oppdrettet) har variert kraftig mellom 95 000 og 1,35 million solgte individ. I 2016 ble det oppdrettet i overkant av seks hundre tusen berggyllt (Tabell 1.3).

Av marine arter oppdrettet for konsum er det kun for kveite det produseres mer enn 1000 tonn. Produksjonen av røye var i 2016 på rundt 330 tonn mens det ble produsert rundt 450 tonn torsk basert på villfanget småfisk.

Av blåskjell ble det i 2016 produsert 2176 tonn, mens det for andre skjell kun ble produsert noen få tonn. Også produksjonen av makroalger var marginal.

1.2 Bæreevne

Denne utredningen har et nasjonalt perspektiv. Det betyr at vi også når det gjelder bærekraft ser på hvor hvilke faktorer som begrenser den totale produksjonen i norsk kystzone. Vi diskuterer ikke bæreevne på lokalt eller regionalt nivå.

Bæreevnen for en oppdrettslokalitet eller en region defineres som den mengden oppdrettsorganismer vi maksimalt kan produsere uten at miljøvirkningene overskrider bestemte tålegrenser. Disse tålegrensene for tillatte påvirkninger skal være målbare og de kan ikke overskrides dersom akvakulturproduksjonen skal være bærekraftig. Det er myndighetenes ansvar å fastsette tålegrensene og de bør være kunnskapsbaserte. Den miljøpåvirkning som først når tålegrensen bestemmer den totale bæreevnen. Dette gjelder både på alle nivå lokalitetsnivå, regionsnivå og nasjonalt.

Miljøvirkningene kan grupperes som artsspesifikke eller generelle. Der for eksempel lakselus vil være artsspesifikk siden lakselus kun påvirker laksefisk og der utslipp av næringssalter vil være generelle fordi det her er det totale antropogene utslipp til økosystemet som bestemmer miljøbelastningen.

1.2.1 Generelle miljøpåvirkninger

1.2.1.1 Næringssalter

Alle dyr krever tilførsel av mat (fôr) som grunnlag for energi og byggesteiner for kroppens vedlikehold, vekst og reproduksjon. Ufordøyd mat/fôr blir skilt ut som fekalier som sedimenterer og som deretter delvis vil bli suspendert. Metabolitter fra dyrenes forbreining blir skilt ut i urin og over gjeller som løste næringssalter (CO₂, nitrogen og fosfor). De blir kalt næringssalter fordi de er gjødsel for marine planter, og økt tilførsel vil stimulere algeproduksjonen. Næringssaltene er altså nødvendige ressurser for livet i havet og en forutsetning for fisk og annet vi høster fra havet. Uønsket eutrofiering er en tilstand der det tilføres mer næringssalter enn det som kan assimileres i næringskjedene slik at sedimentasjon av biologisk materiale øker.

Miljøpåvirkningen er størst rett under og i umiddelbar nærheten av hvert anlegg. Men avhengig av blant annet strøm og bunnforhold kan intensiv fiskeoppdrett også gi effekter i varierende utstrekning rundt anleggene [42]. Fiskeoppdrett er en av de største kildene til menneskeskapt utslipp av næringssalter i Norge, og utslipp av nitrogen var i 2017 på mellom 26 000 og 47 000 tonn [42]. Utslippene følger produksjon av oppdrettsfisk og skjer derfor i hovedsak fra Rogaland og nordover. Problem med overgjødning kan også i dag opptre lokalt, men da i områder med lav vannutskiftning. Spørsmålet om hvor høy bæreevnen er for norskekysten fra Rogaland og nordover med hensyn til utslipp av nitrogen er det vanskelig å gi et kontret svar på. Et røft estimat tilsier imidlertid at vi kan mangedoble dagens produksjon.

1.2.1.2 Ressursbruk - fôr

Oppdrett av fisk og organismer som krever fôring forbruker de samme fôrressursene som andre kraftfôrespisende husdyr. Tradisjonelt har fôr til laks og regnbueørret i Norge vært basert på fiskemel og fiskeolje. De siste årene har det skjedd en kraftig vridning mot plantebaserte fôringredienser [43]. I 2013 var bare 30 % av fôringrediensene av marint opphav. Årsaken er primært begrenset tilgang. Den globale produksjonen av fiskemel er i skala 5 millioner tonn og fiskeolje cirka 1 millioner tonn. For produksjon av fiskemel og fiskeolje benyttes det omlag 33 % biprodukter og 67 % hel pelagisk fisk (mest anchovy). I 2015 ble 70 % av fiskemelet og 73 % av fiskeoljen benyttet til fôr i akvakultur [44]. Marine fisk vil ha et behov for en viss mengde EPA (eikosapentaensyre (20:5 n-3)) og DHA (dokosaheksaensyre (22:6 n-3)) både for å dekke egne behov, men også for den ernæringsmessige kvaliteten på fisken.

Det meste av fiskemelet er erstattet av planteprotein i hovedsak soyaproteinkonsentrater og fiskeolje med rapsolje [43]. Med god ernæringsmessig kunnskap og teknologi vil det sannsynligvis være mulig å produsere fôr av akseptabel kvalitet uten fiskemel. Utfordringen når det gjelder fiskeolje er større. I dag er EPA og DHA fettsyrene kun tilgjengelige fra marine oljer. Forsyning av EPA og DHA til den raskt voksende akvakulturproduksjonen må derfor enten komme fra nye kilder for marine oljer (zooplankton, mesopelagisk fisk), dyrking av mikroalger eller ved genmodifisering av oljevekster (camelina, raps o.l.). På kort sikt er der ingen umiddelbare alternativer til fiskeolje.

Den globale matsikkerheten utfordres gjennom økt befolkning og høyere konsum av kjøtt på grunn av økt velstand. FAO har anslått at den globale produksjonen av mat må økes med omlag 70 % fra 2010 til 2050. Det er beregnet at kun bruk av plantebaserte råvarer i fiskefôr til norsk lakseproduksjon (1,3 millioner tonn) ville ha beslaglagt et landbruksareal på 1,1 millioner hektar, eller tilsvarende all dyrket mark i Norge [45]. Dette er arealer som kunne ha vært benyttet til produksjon av menneskemat. Det er derfor en miljømessig utfordring å finne nye og ubenyttede ressurser for produksjon av fisk i framtidig akvakultur.

1.2.1.3 Lokalteter

Lokalteter for oppdrett er en begrenset ressurs. Dette skyldes i hovedsak de anbefalte minimumsavstander mellom anleggene [46]. Sjøbaserte matfiskanlegg som ikke er tilknyttet en definert strukturmodell og som har mindre enn 2700 tonn i maksimalt tillatt biomasse (MTB) må for eksempel oppfylle følgende anbefalte minsteavstander til annen oppdrettsaktivitet:

- Anbefalt minsteavstand på 5 km i sjø til fiskeslakterier/tilvirkingsanlegg, stamfiskanlegg, inntaksledning for landbaserte settefiskanlegg, yngel eller settefiskanlegg i sjø, store notvaskerier, grupper av akvakulturanlegg og store matfiskanlegg.
- Anbefalt minsteavstand på 2,5 km i sjø til andre sjøbaserte matfiskanlegg, landbaserte matfiskanlegg og viktige lakseførende vassdrag (det siste gjelder anlegg for anadrom fisk).

Dersom prognosene for vekst i akvakulturproduksjonen [11] skal realiseres må anbefalte minimumsavstander mellom anlegg revurderes. Det må i langt større grad tas hensyn til art og risiko for smitte mellom arter.

1.2.2 Artsspesifikke miljøpåvirkninger

1.2.2.1 Genetisk påvirkning

Fremmede arter er arter som opptrer utenfor sitt naturlige utbredelsesområde og som har et spredningspotensial. Tildelingsforskriften sier at det ikke gis tillatelse til akvakultur av arter som ikke forekommer eller tidligere har forekommet naturlig i området [39]. Fiskeridirektoratet har imidlertid adgang til å gi dispensasjon, og slik dispensasjon er også gitt i enkelttilfeller. Selskapet Polarfisk AS har fått tillatelse til landbasert oppdrett av russisk stør (*Acipenser gueldenstaedtii*), Sibirisk stør (*Acipenser baerii*) og Sterlet (*Acipenser ruthenus*).

Genetisk påvirkning vil skje dersom oppdrettede organismer kan reprodusere naturlig med ville organismer av samme art (gi fertilt avkom). I former for akvakultur der stedeegne organismene reproduserer naturlig i oppdretts situasjonen vil slik påvirkning være svært vanskelig å unngå. Det gjelder marin fisk som gyter naturlig i kar eller merder og oppdrett av lavtrofiske organismer som blant annet skjell, tunikater, tang og tare.

Spredning av gener fra ikke-stedegne tare til nye områder vil kunne medføre endrede konkurranseforhold med påfølgende nedgang i lokale populasjoner. Tare har en relativt begrenset spredningsdistanse som kan medføre store lokale forskjeller i genetikk. Samtidig vil et lavt spredningspotensial tilsi at mulige økologiske effekter av utsetting av ikke-stedegen tare vil være arealbegrenset. Imidlertid er det viktig å benytte seg av føre var prinsippet slik at uheldige situasjoner ikke oppstår [47].

1.2.2.2 Sykdom og parasitter

God helse og velferd er sentralt for at oppdrett skal være bærekraftig. Nye arter vil kunne utvikle sykdommer forårsaket av patogener (parasitter, bakterier og/eller virus) vi ennå ikke kjenner eller har erfaring med. Forskning som bygger opp generell kunnskap om mulige patogener og utvikling av vaksiner mot disse er derfor svært viktig ved utvikling av nye oppdrettsarter. Likedan er en kartlegging av potensielle parasitter og utvikling av bærekraftige bekjempelsesstrategier mot disse helt nødvendig. God velferd vil være et resultat av kunnskap om ernærings- og miljøkrav på alle livsstadier. For å kunne dokumentere velferd og optimalisere oppdrettssystemer, er kunnskap om fysiologi og atferd en forutsetning.

All biologisk produksjon har utfordringer knyttet til sykdom og parasitter. Det gjelder også nye oppdrettsarter. Utfordringene vil også være forskjellige i ulike produksjonsformer. Både sykdomsspredning og sykdomskontroll vil være mer utfordrende i helt åpne systemer (merder o.l.) og i havbeite der lokalitetsvalg er eneste mulighet for kontroll med inngående vannkvalitet. Her er det derfor nødvendig med robuste overvåkingsprogrammer. Stortingsmelding [34] definerer lakselus som den miljøfaktor som nå begrenser regionens (produksjonsområde) bæreevne. Utfordringer knyttet til sykdommer vil derfor tilsynelatende bli en viktig regulator for akvakulturproduksjonen i Norge.

Vi må regne med at nye artsspesifikke sykdommer vil forårsake problemer i forbindelse med utvikling av nye arter i akvakultur. I noen tilfeller vil vi kunne forutsi sykdommene basert på kunnskap og erfaring fra fangst av villfisk. I andre tilfeller kan vi forutsi en mulig risiko basert på helseproblemer hos nært beslektede arter. Vi må imidlertid alltid være forberedt på at helt nye og ukjente sykdommer kan oppstå.

Det er påvist en rekke spesifikke og generelle fiskepatogener for flere av de potensielt nye oppdrettsartene. For eksempel er de fleste marine fiskearter mottakelige for et spesifikt nodavirus som kan føre til nervevevsnekrose (VNN) [48]. Likeså er de fleste marine fiskearter utsatt for Viral Haemorrhagic Septicaemia virus (VHS) [49]. Det er også kjent at virus som infiserer laks i oppdrett, inklusiv Infeksiøs Pankreas Nekrose (IPN), også kan infisere en lang rekke marine fiskearter, inklusive torskfisk og flatfisk [50]. Slik sett representerer IPN også en reell risiko for nye arter i oppdrett.

Når det gjelder bakterier er mange marine fiskearter mottakelige for atypisk *Aeromonas salmonicida* (forårsaker atypisk furunkulose) [51, 52], samt en rekke *Vibrio*-arter. Det inkluderer *Vibrio anguillarum*, *V. salmonicida*, *V. ordalii* og *V. harveyi* som er rapportert i en rekke marine fisk [53]. Disse representerer en potensiell risiko for eksisterende akvakulturarter som for eksempel rensefisk og andre nye oppdrettsarter [42]. Det ble rapportert flere spesifikke sykdomsutbrudd knyttet til *Francisella noatuensis* i produksjon av torsk i Norge [54, 55], et patogen som også har potensial til å infisere atlantisk laks og andre torskfisk (f.eks. sei, hyse, lysing, lyr osv.). *Epitheliocystis* er alminnelige og beskrevet hos over 90 fiskearter i både fersk- og saltvann. I de aller fleste tilfeller er disse forårsaket av chlamydier. Torsk fra kystområder og oppdrettsfisk er ofte infisert med intracellulære bakterier i gjellene ofte med høy prevalens (opptil 80 %) i enkelte oppdrettsområder (M.D. Powell pers.). Det er ikke kjent om denne tilstanden er smittsom, påvirker fiskens velferd og vekst, eller om andre torskfisk er mottakelige i samme grad. Tilstedeværelsen av disse bakteriene kan imidlertid bli en utfordring.

På flatfisk som kveite, rødspette og lomre er det så langt ikke påvist store problem med parasitter. Imidlertid kan angrep av kveiteikten *Entobdella hippoglossi* være betydelig på kveite [56] og *E. solae* hos tunge (*Solea solea*). Potensielt vil alle marine arter kunne bli utsatt for marine parasitter. Piggvar er følsom for angrep av amøben *Neoparamoeba perurans*, som forårsaker amøbisk gjellesykdom hos denne arten i Middelhavet og sør-europeisk akvakultur [57]. Denne parasittære amøben har potensial til å infisere et bredt spekter av arter i det norske kystmiljøet. Torskfisk er kjente som potensielle verter for den parasittiske copepoden *Lernaeocera branchialis* [58]. Torskfisk er også vert for copepoder av slekten *Caliaigus*, men vanligvis i relativt lavt antall per fisk [59]. Imidlertid kan enkelte individer av torsk være tungt infisert (M.D. Powell pers. obs). Mikrosporidien *Loma morhua* / *Loma branchialis* har vært et betydelig problem i torskeoppdrett andre steder enn Norge og hatt en betydelig fysiologiske påvirkning på fiskens vekst og ytelse [60]. Mikrosporidien er ikke påvist i norske undersøkelser så langt [59], men det er ingen garanti for at den ikke finnes.

Produksjonen av skalldyr har lenge hatt problem med flere parasittiske sykdommer. Av særlig betydning for østers- og blåskjellproduksjon er *Perkinsus* spp, *Martelia* spp, *Haplosporidium* sp. og *Bonamia* sp. Selv om disse, bortsett fra marteillose [61], for øyeblikket ikke er rapportert i Norge, er det stor bekymring for disse i Europa og Nord-Amerika. Risiko for forekomst av disse patogenene og sykdomsutbrudd er tilstede [62]. I tillegg er *Rickettsia* og *Vibrio* bakterier vanlige hos mange skalldyr. En udefinert mikrosporidie har vært forbundet med muslinger som hjerteskjell og knivskjell [62], og kan bli en utfordring i oppdrett av disse. Skallborende børstemark (polychaetene) som *Polydora* sp., blir på tross av store problemer i enkelte områder, ikke vurdert til å representere et stort problem i Norge. Dette selv om det forekommer omfattende *Sabellid* infeksjoner på skall i dagens blåskjellproduksjon, noe som påvirker utseendet og dermed kvaliteten på høstet produkt.

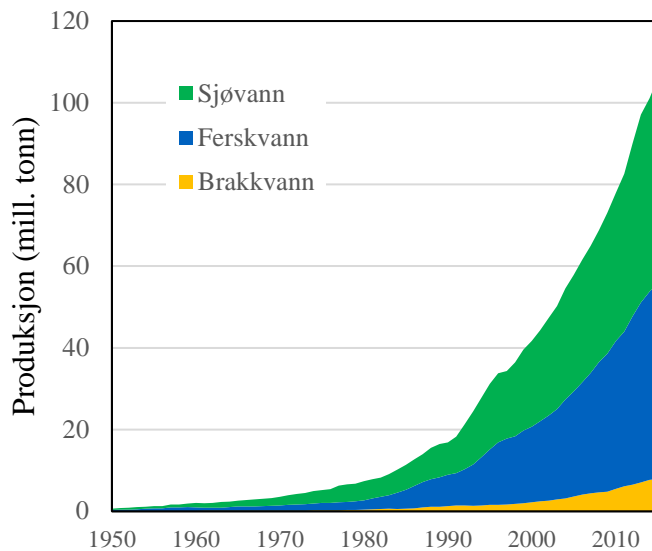
Der er en rekke potensielle trusler mot hummer og krabbe arter. For eksempel bakteriell infeksjon hos hummer, krepsepest, (*Gaffkemia* sp.) samt soppinfeksjoner fra *Lagenidium* spp. og *Fusarium* spp som forekommer i Canada. Chitinolytisk sopp sykdom som bryter ned chitin i skallet til krepsdyr påvirker også krabber i Nord-Amerika [62]. I tillegg har parasitter som *Paramoeba perniosa* og scuticociliate amøber som *Anophyroides haemophilae*, *Pseudocarcinomertes homari* og *Carcinonemertes* spp vært kjent for å infisere hummer og krabber [62] og forårsake alvorlig sykdom. *Mesonophrys* spp (ciliate sykdom) og *Hematodinium* sp (bitterkrabbe sykdom) har også blitt rapportert fra krabber i Canada.

Sykdomsrisikoen ved dyrking av lavtrofiske organismer som kråkeboller og sjøpølser er generelt sett lite kjent. Fra dyrking i andre regioner vet vi at disse utsettes for parasitter. *Paramoeba invadens* og nematoder kan gi høy dødelighet hos kråkeboller og begge er funnet i Norge [62]. Andre steder i verden [62] er det vanlig med infeksjoner av sporedyr (coccidia) i sjøpølser.

Sykdommer hos tare er først og fremst relatert til vekstforholdene heller enn spesifikke kjente patogener. I forbindelse med klekkerproduksjon kan akkumulering av hydrogensulfid og sulfatreduserende saprofytiske bakterier som *Macrococcus* spp. bli assosiert med misdannelser så vel som mycoplasma-lignende organismer som er forbundet med vridde blad [63](FAO 1989).

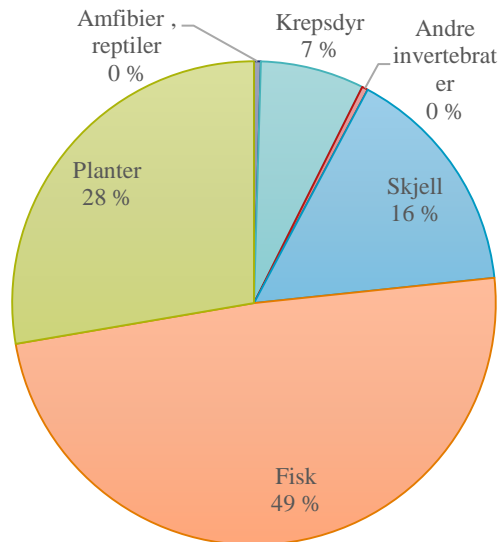
2 Global akvakultur – status

Fiskeoppdrett har en svært lang historie på de fleste kontinenter. Kineserne føret avfall fra silkeormproduksjonen til karper i dammer for ca. 4000 år siden, de gamle egypterne oppdrettet tilapia i vanningsystemene og på Hawaii oppdrettet de marine organismer som melkefisk, mullet, kreps og krabbe [64, 65]. Den første skriftlige dokumentasjon på akvakultur er fra Kina i 475 B.C. der boka "The Classic of Fish Culture" ble skrevet av Fan Lai. Denne boka beskriver konstruksjon av dammer og oppdrett av karpe.



Figur 2.1. Global akvakulturproduksjon fra 1950 til 2015 [3]

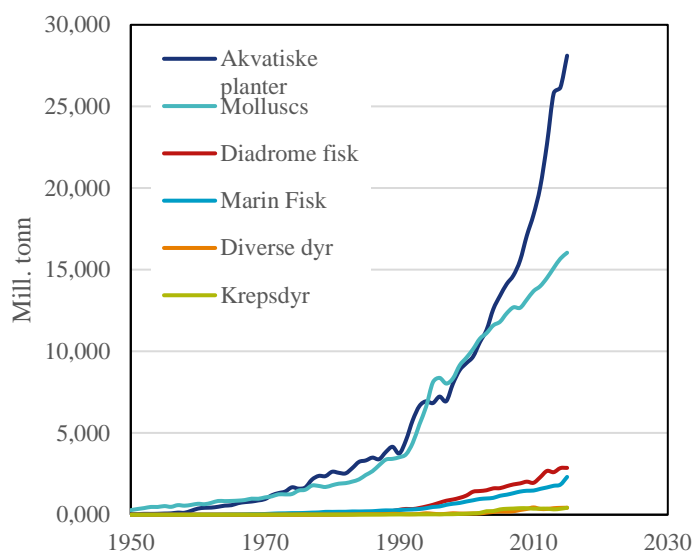
er fotosyntesen som omdanner CO₂ og vann (H₂O) til sukker og oksygen ved hjelp av lys. Planter, alger og noen bakterier (cyanobakterier) har fotosyntese. Fôring av dyr er derfor foredling av mat heller enn produksjon av ny mat. Fôr til oppdrettsfisk og krepsdyr blir i stadig større grad basert på planteråstoffer som fiskemel og fiskeolje er en begrenset ressurs [43]. Det betyr at en stadig større andel av marin akvakulturproduksjon av fisk og krepsdyr baseres på terrestrisk primærproduksjon.



Figur 2.2. Global akvakulturproduksjon i 2015 fordelt på grupper [3, 9]

Det er derfor ikke uventet at akvakulturproduksjonen er mangfoldig og er utviklet for ulike vannkvaliteter og temperaturforhold. Ifølge FAO [66] ble det globalt oppdrettet 580 ulike arter eller artsgrupper i 2014. Disse inkluderte 362 fiskearter (inklusive hybrider), 104 mollusker, 62 krepsdyr, 6 frosker og krypdyr, 9 akvatiske evertebrater og 37 akvatiske planter. I tillegg til dette kommer et antall mikroalger som ikke er inkludert i FAO sin produksjonsoversikt.

Marin primærproduksjon er anslått til å være 45-50*10⁹ tonn karbon per år av en total global primærproduksjon på i størrelsesorden 105*10⁹ tonn karbon. Variasjonen i estimatene er imidlertid store, fra under 40 over 60*10⁹ tonn [67, 68]. På tross av at marin primærproduksjon utgjør omtrent halvparten av global primærproduksjon kommer bare 138 kJ (33 Cal) eller cirka 1,5 % av gjennomsnittlig daglig human energiinntak fra sjømat (FAO 2014).



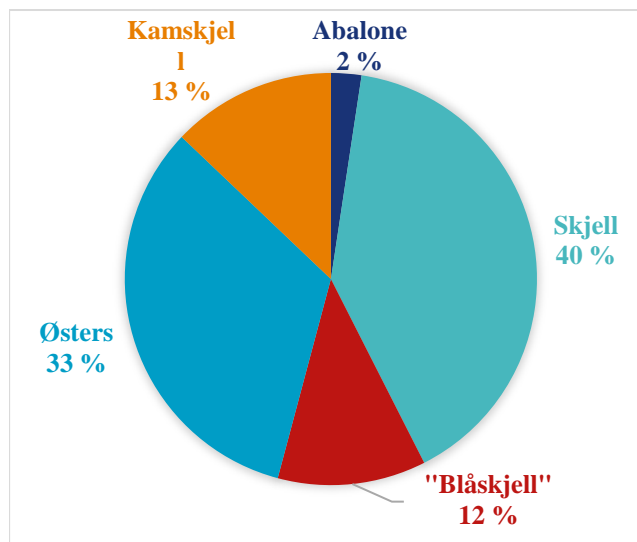
Figur 2.3 Global marin akvakulturproduksjon (ISSCAAP inndeling) [3]

Total akvakulturproduksjon passerte kvantumet villfanget fisk (90 millioner tonn) i 2012 og var i 2015 på litt over 106 millioner tonn (Figur 2.1).

Produksjonen i ferskvann (48 millioner tonn) var i samme størrelsesorden som den marine produksjonen (50 millioner tonn) mens produksjonen i brakkvann var omtrent 8 millioner tonn. Siden 1950 har den gjennomsnittlige vekst i global akvakultur vært på litt over 8 % per år (Figur 2.1), men vekstraten har avtatt. Siste 10 år har veksten vært på 6,2 % og de siste to årene 4-5 %. Ingen annen matproduksjon har hatt en tilsvarende vekst i samme tidsperiode.

Produksjonen fordelte seg i hovedsak i fire grupper; (1) krepsdyr (7 %), (2) mollusker (16 %), (3) fisk (49 %) og (4) akvatiske planter (28 %) (Figur 2.2). I tillegg er der en mindre produksjon av andre evertebrater (sjøpølser, maneter, kråkeboller, tunikater) på 0,5 millioner tonn og amfibier og krypdyr i størrelsesorden 0,5 millioner tonn (Figur 2.2).

Oppdrett av dyr som lever på naturlige fôrressurser og som ikke gis formulert fôr var i 2014 22,7 millioner tonn og utgjorde om lag 31 % av verdens oppdrett av akvatiske dyr. I hovedsak utnytter disse direkte akvatiske primærproduksjon. Inkludert produksjonen av akvatiske planter utgjør akvakulturproduksjon av primærprodusenter og oppdrettsdyr som lever på naturlige fôrressurser nesten 50 % av global akvakultur. De viktigste fiskeartene er sølvkarpe og marmorkarpe produsert i ferskvann i jord-dammer samt muslinger som for eksempel blåskjell og østers og andre filterfødere som for eksempel tunikater i sjøvann.

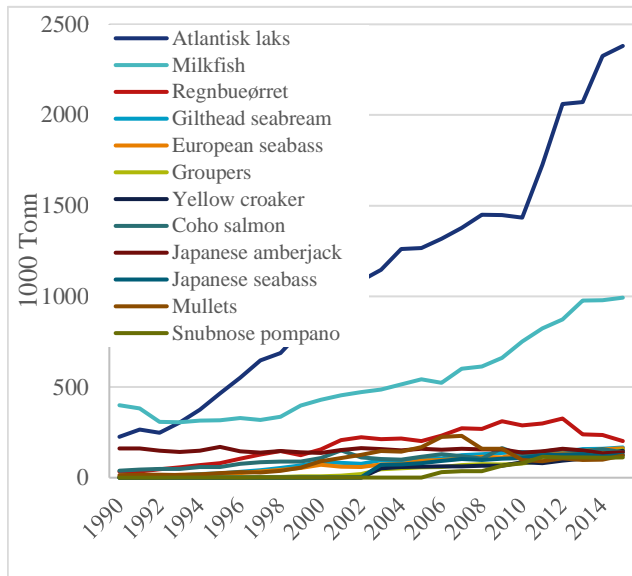


Figur 2.4 Fordeling av global produksjon av mollusker i 2015

Marin akvakultur (eksklusiv produksjon i brakkvann) er vist i figur 2.3. Marine planter utgjør over 50 % av global marin akvakultur. FAOs statistikk [3] inneholder 33 arter/slekter, men 93 % utgjøres av 6 arter/slekter; Euchema spp (10 mill. tonn), japansk tare (*Saccharina japonica*) (8 mill. tonn), *Gracilaria* spp. (2,7 mill. tonn), Wakame (*Undaria pinnatifida*) (2,3 mill. tonn), Elkhorn sea moss (*Kappaphycus alvarezii*) (1,75 mill. tonn) og Nori (*Pyropia*, spp) (1,2 mill. tonn). Fire av disse; *Euchema*, *Gracilaria*, Elkhorn sea moss og Nori er rødalger (*Rhodopyta*). Nori og til en viss grad *Gracilaria* brukes som menneskemat, der tørket Nori benyttes utenpå maikomono-ruller i sushi. *Euchema* og Elkhorn sea moss benyttes til produksjon av carragenan, et viktig fortykningsmiddel i kosmetikk- og matvareproduksjon. *Gracilaria* blir brukt til produksjon av gelen agar, agar benyttes både til dyrking av bakterier og i mat. Japansk tare og Wakame er brunalger (*Phaeophyceae*) av orden

Laminariales og benyttes som mat. Nesten all (>99 %) dyrking av akvatiske planter skjer i Asia.

Asia dominerer også produksjonen av mollusker (>92 %) mens Europas andel er om lag 4 % og Amerika 3 %. Gruppert etter FNs «Centra Product Classification» produseres det omtrent like mye østers (5,3 mill. tonn) som muslinger (5,2 mill. tonn) (Figur 4.4). Produksjonen av kamskjell var i 2015 på ca. 2 mill. tonn og "blåskjell" på ca. 1,8 mill. tonn. I Europa dominerer produksjonen av blåskjell (*Mytilus* spp.) med en produksjon på 500 000 tonn av en totalproduksjon på nesten 600 000 tonn. Deretter følger produksjon av stillehavsøsters (*Crassostrea gigas*) med nesten 90 000 tonn. De dominerende produsentene i Europa er Spania med en produksjon på rundt 260 000 tonn og Frankrike med 154 000 tonn. I 2015 var produksjonen i Norge beskjedne 2772 tonn.



Figur 2.5 Produksjon av diadrom og marin fisk i 2015

Laks (*Salmo salar*) er den dominerende arten i gruppen av diadrom fisk (Figur 4.5). Den globale produksjonen var i 2015 på nesten 2,4 millioner tonn. Deretter følger regnbueørret (*Oncorhynchus mykiss*) (190 000 tonn), Coho-laks (*Oncorhynchus kisutch*) (140 000 tonn) og melkefisk (*Chanos chanos*). Melkefisk gyter i sjøen og vokser opp i ferskvann. Norge (1,4 mill. tonn) er den største produsenten i denne gruppen fulgt av Chile (0,8 mill. tonn), Storbritannia (0,2 mill. tonn) og Canada (0,1 mill. tonn). Deretter følger største produsenten av melkefisk, Filippinene (0,1 mill. tonn).

Den globale produksjonen av marin fisk var i 2015 på ca. 2,3 millioner tonn. De fem artene med størst produksjon var stor yellow croaker (*Larimichthys crocea*) (148 000 tonn), havabbor (*Dicentrarchus labrax*) (141 000 tonn), japansk amberjack/Yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) (140 000 tonn), dorade (*Sparus aurata*) (136 000 tonn) og Japansk havabbor (*Lateolabrax japonicus*) (124 000 tonn) (Figur 4.5). Den dominerende produsenten av marin fisk er China med 1,6 mill. tonn, fulgt av Japan (0,2 mill. tonn) og Tyrkia (130 000 tonn).

FAO klassifiserer oppdrett av krepsdyr som en brakkevannproduksjon med en total produksjon marin produksjon på 425 000 tonn av en total produksjon på 4,5 millioner tonn. De artene det ble produsert mest av var hvit stillehavsreke (*Litopenaeus vannamei*) med 3,1 millioner tonn fulgt av tigerreke (*Penaeus monodon*) (0,7 mill. tonn) og IndoPacific swamp crab (*Scylla serrata*) (0,2 mill. tonn). De viktigste produsentene var Kina (1,4 mill. tonn), Vietnam (0,6 mill. tonn), Indonesia (0,6 mill. tonn), India (0,5 mill. tonn), Ecuador (0,4 mill. tonn) og Thailand (0,3 mill. tonn).

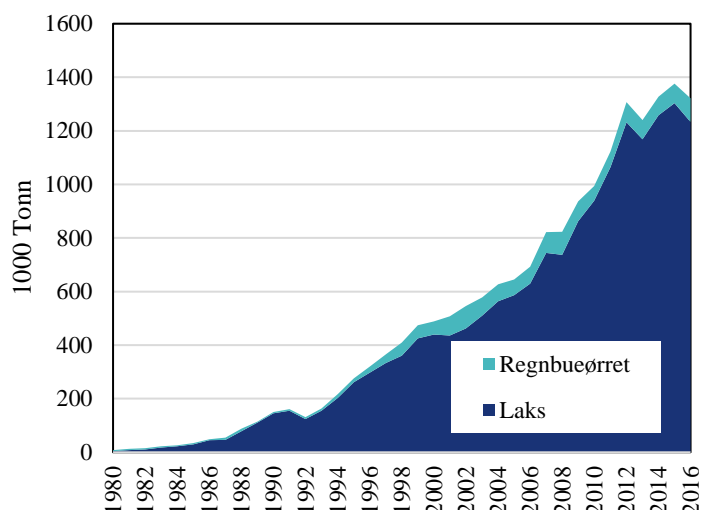
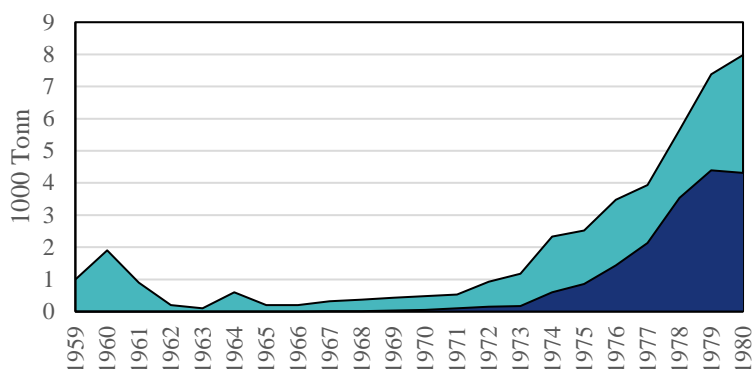
3 Utvikling av norsk akvakultur

Inskripsjonen på runestein "Eilifr Elg bar fisk i Rausjø" [69] viser at vi har en lang tradisjon med kultivering av ferskvann i Norge. Mange steder i Norge finnes det fortsatt stammer av karuss (*Carassius carassius*) som opprinnelig ble innført til klosterdammene. Ved Erkebispegården i Trondheim er det gravd ut en fiskedam og den siste erkebisp, Olav Engelbrektsen, hadde karuss på menyen [70].

Regnbueørret ble importert fra USA til Tyskland rundt 1880 og til Danmark 10 år senere. Danskene eksporterte øyerogn og yngel til Norge der den ble satt ut i elver og vann. Fisk satt ut så en imidlertid lite igjen av. Det ble også bygd en rekke dammer både med fersk- og sjøvann. Ingen ble noen økonomisk suksess og ørretfeberen ble derfor kortvarig [71].

Interessen for oppdrett av regnbueørret tok seg opp etter andre verdenskrig. I første omgang på hobbybasis, senere i noe større omfang. Det er anslått at det i 1963 var 60 damanlegg i Norge. Dette antallet hadde økt til 260 i 1970 (tallet inkluderer også nedlagte anlegg).

Mange er tildelt æren for å ha "funnet opp" lakseoppdrett, men det henger et "men" ved alle. Kunstig befruktning



Figur 3.1. Produksjon av laks og regnbueørret i Norge [3, 9]

allerede på 1950-tallet. De bygde et regnbueørret- og lakseklekkeri i Sykkylven og satte ut laks og regnbueørret i tre dammer med henholdsvis ferskvann, brakkvann og sjøvann. I 1959 satte de også ut ørret og laks i flytekasser

av laksefisk og klekking skal være utført av den franske munken Don Pinchon i det 14ende århundre. Et par hundre år senere (1763) skal den tyske løytnanten Jacobi utført en lignende befruktning og klekking [72]. Den første som publiserte produksjon av laksesmolt er skotten Shaw som greide å føre opp laks til smoltstadiet i ferskvann [73].

Det var imidlertid svenskene som utviklet teknologien til storskala utsetting av smolt som kompensasjon for kraftutbygging like etter andre verdenskrig. Det innbefattet også kommersiell produksjon av tørrfôr til lakseyngel [45]. Teknologien for kultivering av regulerte vassdrag ved utsetting av smolt ble raskt overført til Norge og allerede i 1968 ble det benyttet varmtvann i smoltproduksjonen i Mo i Rana.

Akvakulturproduksjonen av laks hadde derfor tilgjengelig teknologi for smoltproduksjon og også smolt tilgjengelig for utsetting i sjø fra eksisterende klekkerier.

Brødrene Olav og Karstein Vik fanget laks i kilenøter og fikk den til å leve i dammer på land

av tre på 10 x 10 m [71]. Den 8-kantede trerammen som ofte betegnes som Grøntvedtmerden ble opprinnelig tegnet og bygd av lensmannsbetjent Ingar Holberg på Smøla i 1961 etter ide et japansk anlegg avbildet i et magasin. Han delte tegningene med lensmann Arne Rathe som forbedret konstruksjonen ved å gjøre hjørnene mer fleksible.

Oppdrett av laks ses på som en unik norsk suksesshistorie med internasjonal forgrening [74]. Fra en sped start rundt 1970 har produksjonen økt til vel 1,3 millioner tonn i 2015 (Figur 3.1). Tanke om å kopiere suksessen over til andre arter kom tidlig, i stor grad smittet av optimismen i lakseoppdrettsnæringen og fordi det nesten var umulig å få tillatelse til oppdrett av laksefisk. Siden en allerede behersket klekking og produksjon av yngel, falt det naturlig å satse på torsk (*Gadus morhua*) [75]. Dessverre viste det seg langt mer komplisert å oppskalere og intensivere yngelproduksjonen enn antatt. Matfiskproduksjonen gav også flere utfordringer, blant annet sykdommer, kannibalisme, rømming og tidlig kjønnsmodning. Det medførte at produksjonskostnadene langt oversteg pris på villfanget torsk og tilgangen på vill torsk var god. Produksjonen kulminerte i 2010 med et kvantum på ca. 21 000 tonn og hele torseoppdrettsnæringen kollapset de påfølgende 3-4 år.

Blikket falt også på kveita (*Hippoglossus hippoglossus*) av flere årsaker. Kveita var en relativt sjelden fisk og den oppnådde høy pris. I tillegg var den en forskningsmessig stor utfordring. Bare noen få kveitelarver var fanget i naturen og en visste nesten ingenting om miljøkrav, fôr og tidlig utvikling. I 1985 ble de to første kveitelarvene som gikk gjennom en fullstendig metamorfose produsert. Først 15 år senere hadde en oppnådd en stabil yngelproduksjon som kunne danne grunnlag for en kommersiell matfiskproduksjon [75]. Produksjon av kveite er i dag økende og stabil tilgang på yngel for salg har gjort at interessen for å starte matfiskoppdrett av kveite er økende både i Norge og utlandet.

Akvakulturnæringen tiltrekker seg grundere. Det er søkt om tillatelse til oppdrett av en lang rekke arter. Bortsett fra produksjon av rensfisk for lakseoppdrettsnæringen og en liten produksjon av kveite og blåskjell har det vist seg svært vanskelig å få etablert levedyktige produksjonsanlegg. Det er nærliggende å tro at det skyldes undervurdering av kompleksiteten i produksjonskjeden fra oppdrett til prosessering og marked.

4 Produksjonspotensial i kyst og fjord

4.1 Dyrking av marine mikroalger

Alger er akvatiske autotrofe organismer. De er enten encellede, koloniale, filamentøse eller utgjøres av enkle vev [76]. Mikroalger, de mikroskopiske alger som forekommer i både ferskvann og saltvann, kan enten være autotrofe eller heterotrofe. De er i stand til å tilpasse seg ulike miljøforhold. Autotrofe mikroalger, som har teoretisk og faktisk fotosyntetisk effektivitet på henholdsvis 10 [77] og 3 % [78], kan betraktes som energi- og oksygenkilder for andre levende organismer. I motsetning til autotrofe kan heterotrofe mikroalger vokse i mørke ved å utnytte organiske forbindelser som energi og næring.

Mikroalger kan dyrkes i forskjellige systemer. Masseproduksjon av mikroalger utføres i autotrofe åpne dammer, autotrofe lukkede bioreaktorer eller heterotrofe lukkede fermentorer [79]. I disse dyrkingssystemene kan mikroalger dyrkes under forhåndsdefinerte vekstbetingelser designet for å øke produksjonen av proteiner (essensielle aminosyrer), fettsyrer (essensielle PUFA) og andre bioaktive forbindelser. Mikroalgerprodukter er inkludert i fôr og mat for å øke næringsverdien. De helsemessige fordelene vil bare bli oppnådd hvis både næringsstoffene og de bioaktive forbindelsene er biotilgjengelige for de dyr eller mennesker som konsumerer dem. Derfor er det avgjørende å velge riktig bearbeiding ikke bare for algene, men også for fôrråvarer / matvarer for å få utnyttet den ernæringsmessige verdi av mikroalger.

4.1.1 Muligheter for produksjon av mikroalger i Norge?

I 2015 var global produksjon av akvatiske planter, inkludert makro- og mikroalger, 29,4 millioner tonn (Basert på FAO-statistikk). Samme år ble det produsert 89 525 tonn *Spirulina* (biomasse av Cyanobacteria, også kalt "blågrønn alge"), priset til 357 millioner kroner. En rapport fra Det Kongelige Norske Vitenskaps Selskab (DKNVS) og Norges Tekniske Vitenskapsakademi (NTVA) oppgir at tangbaserte næringer høster 200 000 tonn tang og tare hvert år [11]. Rapporten "Verdiskaping basert på produktive hav i 2050" gir en prognose for produksjon av mikro- og makroalger til økonomiske verdi på 8 milliarder kr i 2030 og 40 milliarder kroner i 2050. Olafsen, Winther [11] vurderer vekstpotensialet for algebasert industri i Norge som svært stort. I dag er produksjonen av mikroalger i Norge mindre enn Norge 100 tonn/år, svært lite i forhold til den antatte globale produksjonen på ca. 50 000 tonn/år. Statlige finansieringsinstitusjoner har investert i mikroalgerforsknings- og utviklingsprosjekter. Dette har bidratt til å etablere pilotanlegg for mikroalgedyrking, og signaliserer at sektoren forbereder seg til en fremtidig vekst.

4.1.2 Hvordan realisere potensialet?

Den kalde og mørke vinteren i Norge er tilsynelatende ikke ideell for dyrking av autotrofe mikroalger. Imidlertid kan kuldetilpassede mikroalger trives godt Norge, og deres produktivitet (f.eks. av flerumettede fettsyrer, [80]) kan være sammenlignbar eller høyere enn for tilsvarende varmtvannsvarianter. Videre er det vist seg at mikroalger som vokser under sjøisen har et ekstremt lavt lysbehov [81]. Dokumenterte kuldetilpassede mikroalger inkluderer de grønne algene *Coccomyxa subellipsoidea*, *Haematococcus pluvialis* [82, 83], diatomeene *Fragilariopsis cylindrus*, *Navicula glaciei*, *Chaetoceros neogracile*, *Entomoneis kufferathii*, *Chaetoceros brevis*, *Thalassiosira pseudonana*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Fragilariopsis cylindrus*, *F. curta* og *Chlorophytene*

Chlamydomonas raudensis, *C. subcaudata*, *Chlorella subellipsoidea* og *Koliella antarctica*. Dette er hardføre mikroalger med spesifikke egenskaper. Noen av disse alger kan ha enzymer (fettsyre desaturaser) som tillater vekstuavhengig de novo-syntese av PUFAs [84]. Andre kan ha osmoprotektanter (høye konsentrasjoner av: sukkerarter, polyoler, aminosyrer etc.) eller metabolske enzymer som gjør mikroalgene i stand til å overleve ved lave temperaturer eller ekstrem uttørking [85]. Kuldetilpassede mikroalger kan beskytte seg mot UV-stråling om sommeren og tilpasse seg lite lys om vinteren ved å øke produksjonen av flerumettede fettsyrer (f.eks. eicosapentaensyre, EPA), knyttet til høyt pigment og lavt karbohydratinnhold [86]. De fleste mikroalger har svært effektive antioksidantsystemer, noe som bedrer deres evne til å motvirke skade fra forskjellige stressorer og beskytte fett mot oksydasjon [85]. Det finnes altså en stor mulighet for å dyrke kuldetilpassede mikroalger med spesifikke egenskaper også i kalde områder.

Det finnes store samlinger av kuldetilpassede mikroalger ved universitetene og forskningsinstitusjoner i Norge. Det er viktig å karakterisere mikroalger fra disse samlingene for å kartlegge deres nærings- og kommersiell verdi. Det må utvikles bioprosesser for de mest lovende variantene før de kan testes for pilot og storskala produksjon. Mikroalgene kan dyrkes i bioreaktorer med tilpasset belysning. Bioreaktorene kan også plasseres i spesialdesignede drivhus, om sommeren kan disse utnytte de eksisterende lysforhold, og om vinteren kan reaktorene beskyttes mot snø og kulde og belyst med lavintensivt lys. Høsting og post-høsting bearbeiding er en viktig nøkkel for vellykket etablering av en mikroalgeindustri. Mikroalgeinnhøstingsprosedyrer som fortykning og avvanning bør velges basert på mikroalger og ønsket sluttprodukt [87]. Posthøstingsprosesser, for å optimalt utbytte av de ønskede forbindelsene og biprodukter, bør inkludere energieffektive skånsom og effektiv knusing av celleveggene [88]. Videre skal det utvikles teknoøkonomiske modeller for de nordiske forholdene, basert på produksjons- og bioraffineringskostnader, og markedsverdien til kommersielle produktene utvunnet fra en bestemt mikroalge. Selv om produksjon av høyprisprodukter er det som er økonomisk bærekraftig for tiden vil sannsynligvis store volumbaserte systemer bli lønnsomme innen få år [89].

4.1.3 Flaskehalsar

Den primære utfordringen for den fremvoksende mikroalgerindustrien i Norge er å utvikle hensiktsmessig dyrkingsteknologi for de gjeldende klimaforholdene i regionen. Algedyrkningsanleggene kan være samlokalisert med fornybare energiproduksjonsanlegg, som kan gi nødvendig lys og varme for mikroalgerproduksjon. Høye produksjonskostnader og lav produksjonseffektivitet er de andre utfordringene som næringen må møte. Dyrking av alger i avløpsvann og gjenvinning av vann og næringsstoffer i produksjonssystemer kan i enkelte tilfeller redusere dyrkingkostnadene. Algeproduksjonssystemer integrert med landbasert fiskeoppdrettsanlegg eller andre biobaserte operasjoner kan ikke bare bidra til bioremediering av avløp, men også redusere produksjonskostnader for mikroalger.

4.2 Kulturbetinget høsting

Kulturbetinget høsting er definert som høsting av marin produksjon som følge av utsett av organismer eller fysiske innretninger som bidrar til økt produksjon og lettere tilgang til ressursen i deler av produksjonssyklusen. Dette skiller seg fra oppdrett eller dyrking hvor organismene i hele produksjonssyklusen holdes i innhegning eller på et substrat med formål å kontrollere tilgang og optimalisere produksjonsforhold.

Et eksempel på kulturbetinget høsting er havbeite hvor yngel produsert i kultur settes ut for å styrke grunnlaget for høsting av en bestand, gjennom økt rekruttering og høsting av samme organismene som settes ut. Det nasjonale forskningsprogrammet PUSH [90] som undersøkte mulighetene for havbeite i Norge, konkluderte at organismer som er lite mobile har det største potensiale for havbeite i Norge. Lovverk ble etablert for havbeite med hummer og stort kamskjell som de mest aktuelle artene og disse er forsøkt utviklet [8, 91]. I dag er havbeite regulert etter Akvakulturloven [27], hvor den som har tillatelse har eksklusiv rett, i et geografisk avgrenset område, til gjenfangst av den arten som settes ut. Tillatelse gis nå bare til stort kamskjell (*Pecten maximus*) og hummer (*Homarus gammarus*). Det er et krav om at dyrene som settes ut er stedeegne. Ønske om utsett av andre arter blir regulert etter Havressurslova [92], men det gis her ikke eksklusiv rett til gjenfangst. Formålet er ikke kommersiell virksomhet, men styrking av naturlige ressurser.

Et eksempel med utgangspunkt i havbeite som illustrerer grenseoppgang mot dyrking vil være utsett av kamskjell på bunn hvor gjerder beskytter mot predasjon fra krabbe slik at også siste del av produksjonssyklusen foregår i innhegning. Sammenlignet med tillatelse for oppdrett hvor det gis eksklusiv rett til bruk av et område vil det i havbeite være fri tilkomst og rett for andre å bruke området såfremt det ikke hindrer havbeitevirksomheten. Etablering av verneområder, for eksempel bevaringsområder for hummer, kommer ikke inn under kulturbetinget høsting.

Høsting av marine ressurser vil ofte være begrenset av markedsverdi knyttet til blant annet kvalitet og tilgang. Levendelagring og oppføring er tiltak som gjennomføres før høsting for å gi økt verdi og kapasitet på leveranse av et produkt, for dermed å utnytte et potensial for økt høsting av ressursen. Kulturbetinget høsting i form av levendelagring og oppføring kan også representere en økt utnyttelse av ulike marine ressurser.

Kulturbetinget høsting kan også være tiltak for å hente ut økt marin produksjon som følge av tilført næring eller endring av andre miljøforhold (for eksempel lys, saltholdighet). I integrert multitrofisk akvakultur (IMTA) blir avfall fra arter som fôres, utnyttet til produksjon av arter på et lavere nivå i næringskjeden [20, 93]. Målet er å resirkulere avfallet gjennom å dyrke arter som kan omsette avfallet til vekst. I Norge er det i første rekke blåskjell og tare som har vært forsøkt brukt for å resirkulere henholdsvis avfallspartikler og løste avfallsstoffer fra fiskeoppdrett. Disse artene er plassert i øverste vannlag nær fiskeoppdrettsanlegg for hele den konvensjonelle produksjonssyklusen og er derfor å betrakte som dyrking (se Tang og tare (Kapittel 4.3) og Dyrking av marine filterfødere (Kapittel 4.4)). Et IMTA med et direkte uttak av avfall gjennom slik dyrking av skjell, tunikater og tare er svært marginalt [20, 94-96]. Andre former for integrert akvakultur er å balansere utslipp fra fiskeoppdrett med uttak av høstet biomasse fra dyrking (for eksempel skjell, tunikater og tare) for et gitt område (fjord, kyststrekning). Løste avfallsstoffer (næringssalter) vil bli tatt opp av planteplankton som kan bli føde for filtrerende organismer. Det vil imidlertid være svært vanskelig å anslå effekt av dette i form av økt produksjon i kulturbetinget høsting. Tilsvarende vil være gjeldende for fisk og andre mobile organismer som tiltrekkes fiskeoppdrettsanlegg [97].

Ved økt kontroll på utslipp fra fiskeoppdrett slik det kan gjøres i lukkede eller landbaserte anlegg vil avfallet kunne tilføres en dyrket biomasse med formål å maksimere uttaket. Dette er kjent fra blant annet resirkulerings systemer (RAS) og akvakultur i dammer [20, 98]. Ny internasjonal litteratur [20, 94, 96, 99] på utvikling av IMTA for å ekstrahere og omsette avfall fra fiskeoppdrett konkluderer at organismer på bunn rett under anlegg har størst potensial for effektivt uttak og resirkulering av avfall. Bunnorganismer som naturlig forekommer under fiskeoppdrettsanlegg vil i ulik grad utnytte avfallet som blir tilført og de artene som øker sin produksjon vil være kandidater i kulturbetinget høsting. Tiltak for tilrettelegging av økt uttak av slik produksjon kommer inn under kulturbetinget høsting.

Grunnlaget for all marin primærproduksjon er lys og næring som ved gitte omstendigheter fotosyntetiserer plantebiomasse. Kystområder med god tilgang på næringsrikt dypere vannlag som tilføres øvre vannlag med økt tilgang på lys utgjør verdens mest produktive marine økosystemer, i såkalte «upwelling» områder [4]. I Norge har fjordene store dyp og volum med næringsrikt bassengvann som tidvis er et naturlig grunnlag for oppstrømning til lokalt økt primærproduksjon. Tiltak for å styre tilførsel av dette dypere næringsrike vannlaget til øvre vannlag er vist å gi økt konsentrasjon av planteplankton med et betydelig potensiale for økt produksjon i dyrking av filterfødere som blåskjell og sekkedyr. Kulturbetinget høsting er å legge til rette for styrt oppstrømningen av næringsrikt dypere vannlag til økt primærproduksjon for direkte utnyttelse (makroalger) eller til økt fødetilgang (mikroalger) for filtrerende organismer.

Denne rapporten vil gi en overordnet liste og kort vurdering av arter og metoder som er relevant i forhold til kulturbetinget høsting (Tabell 4.1). Det vil videre bli fokusert på følgende fire områder med utvalgte prioriterte arter hvor en mer inngående vurdering av potensiale og begrensninger blir utredet:

- Havbeite - stort kamskjell, hummer
- Levendelagring/oppføring - kråkeboller, stillehavsøsters
- Integrert havbruk - børstemark, sjøpølser
- Styrt oppstrømning av næringsrikt dypvann - blåskjell, tunikater

Havbeite er så langt bare tildelt for stort kamskjell og hummer [27]. Norge har imidlertid gode naturgitte betingelser for utsettinger av flere marine arter langs store deler av kysten. Havbeite forvaltes med krav om stedegenhet og dokumentasjon av andre miljøeffekter. Erfaringer og kunnskap har så langt vist at de største utfordringene for utvikling av havbeite er knyttet til lang produksjonssyklus, valg av lokaliteter og mangel på tilpassede virkemidler for næringsutvikling [8, 100].

Andre arter aktuell for havbeite blir regulert etter Havressurslova [92] uten eksklusiv rett til gjenfangst og dermed en juridisk forutsetning for å kunne utvikle kommersiell virksomhet. I senere tid har restaurering av flatøsters bestander blitt aktuelt i forbindelse med generell nedgang i bestander over store deler av Europa, endrete temperatur forhold langs kysten og trussel i forbindelse med spredning av stillehavsøsters [101]. Det er derfor igangsatt tiltak i en rekke EU-land (Tyskland, Nederland, Belgia og England) for å bygge opp den naturlige bestanden igjen. Dette innebærer både beskyttelse av eksisterende bestander, tilrettelegging for økt produksjon av naturlig yngel samt utsett av produsert yngel. Norge har kompetanse på produksjon av flatøsters-yngel, men en videre utvikling av utsett av flatøsters på bunn vil forutsette enerett til høsting som for andre arter i havbeite. Andre arter som haneskjell, hjerteskjell, kråkeboller og sjøkreps har i ulike sammenhenger vært lansert som mulige for fremtidig havbeite.

Tabell 4.1. Kandidater for kulturbetinget høsting med bruk av ulike metoder.

		Metode	Referanse
Stort kamskjell	<i>Pecten maximus</i>	Havbeite Levende lagring	[8]
Hummer	<i>Homarus gammarus</i>	Havbeite	[12]
Europeisk flatøsters	<i>Ostrea edulis</i>	Havbeite	
Kråkebolle	<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i>	Lagring/oppfôring	
Stillehavsøsters	<i>Crassostrea gigas</i>	Lagring/oppfôring	
Kongekrabbe	<i>Paralithodes camtschaticus</i>	Lagring/oppfôring	[13]
Snøkrabbe	<i>Chionoecetes opilio</i>	Lagring/oppfôring	[13]
Børstemark	<i>Capitella capitata</i> <i>Ophryotrocha spp.</i>	Integrert havbruk	[15]
Sjøpølse	<i>Sticopus tremulus</i>	Integrert havbruk	
Blåskjell	<i>Mytilus edulis</i>	Styrt oppstrømning	[19, 20]
Sekkedyr	<i>Ciona intestinalis</i>	Styrt oppstrømning	[21]

Levendelagring av en rekke fiskeslag har stått sentralt i tiltak for å bedre leveranse logistikk, bedre kvalitet og økonomi i deler av norske fiskerier (<https://nofima.no/nyhet/2013/01/lanserer-bok-om-levendelagring/>). Et eksempel er levendelagring av torsk, et fiske som er preget av en kort og hektisk sesong hvor der er stort potensial i å kunne levere fersk torsk på markedene gjennom hele året. Flere leverandører av skalldyr, bløtdyr og pigghuder bruker levendelagring for å sikre og utvide leveranse logistikk for dermed å bedre produkt kvalitet og økonomi i virksomheten. Med mulig råstofftilgang langs kysten er dette tiltak som har potensiale for økt utnyttelse av flere arter som ikke i dag utnyttes. Et godt tilpasset regelverk for levendelagring, oppfôring og matvare sertifisering synes å være av avgjørende betydning i utvikling og lønnsom drift. Flere nye arter med høy verdi og etterspørsel i eksportmarkeder har potensiale for levendelagring og oppfôring. I fisket av kongekrabbe (*Paralithodes camtschaticus*) og snøkrabbe (*Chionoecetes opilio*) er omfanget av levendelagring og fôring økende. Eksperimentelle forsøk viser at disse artene krever relativt mye plass i levendelager og under fôring for å unngå forringelse av kvalitet og dødelighet [13, 102]. Oppfôring av kråkebolle er under kommersialisering og kan bidra til å realisere målsetting om økt produksjon lavt i næringsnettet. Leverandør av stort kamskjell fisket fra ville bestander har holdt levendelager i havbeite, noe som representerer en form for kombinert drift i kulturbetinget høsting [8].

4.2.1 Havbeite

4.2.1.1 Stort kamskjell

Stort kamskjell (*Pecten maximus*) lever på sandbunn og har i Norge sin største utbredelse fra Vestlandet nord til Lofoten, hvor mye tyder på en økning i utbredelse nordover [103]. Havbeite med stort kamskjell har vært utviklet i Norge basert på produksjon av yngel i klekkeri og overføring til vekstanlegg på land eller i sjø for produksjon av setteskjell til havbeite. Internasjonalt er det Japan, Kina og Frankrike som driver kommersielt havbeite med kamskjell [104]. Japan dyrker om lag 400 000 tonn med kamskjellet *Patinopecten yessoensis* hvorav 250 000 kommer fra havbeite. Havbeite forgår nord i Japan hvor områder 1-10 km fra kysten på 10-80 meters dyp og driftes av kooperativer. Kina er verdens største produsent av kamskjell hvor det meste produseres i hengende kulturer. Havbeite med kamskjellet *P. yessoensis* drives i områder rundt øygruppen Zhangzidao nord i Gulehavet, på 10-40 meters dyp. Et av de største sjømatelskapene i Kina har her tilgang på et 4000 km² stort område hvor om lag halvparten brukes til utsetninger i havbeite. Det høstes om lag 30 000 tonn kamskjell fra havbeite. Havbeite med *Pecten maximus* i Brest-bukten i Frankrike ble utviklet på 1980-90 tallet. Siden sent på 1990 tallet er det satt ut opp mot 10 millioner kamskjellyngel årlig. Av de årlige fangstene i Brest-bukten på 300-400 tonn har 30-50 % vært kamskjell som er satt ut i havbeite.

I Norge ble utviklingsarbeidet startet sent på 1980 tallet. Kompetanse på klekkerisiden ble tidlig hentet fra Frankrike og England, mens forsknings og utviklingsarbeidet som ble gjort i Norge utover på 1990 og 2000 tallet bidro til at kompetansen på flere felter innen dyrking etter hvert ble blant den fremste internasjonalt. Norske forskere har sammenfattet internasjonal forsknings- og utviklingsarbeid innen yngelproduksjon av *P. maximus* i klekkeri [105] og status for forskning og utvikling av kamskjell dyrking i Europa [8].

Knyttet til utvikling av dyrking av stort kamskjell har det også vært utført grunnleggende biologisk forskning på kamskjell, blant annet larve økologi [106], reproduksjonsbiologi [107], fødeoptak [108], livshistorie strategi [109], populasjonsgenetikk [110].

Kapasiteten til yngelproduksjon hos klekkeriet Scalpro AS er i dag begrenset av etterspørsel. I takt med utviklingen av yngelproduksjon i klekkeri (1-5 mm yngel) er ulike metoder og utstyr utviklet for dyrking frem yngel for havbeite, enten i sjø eller i landanlegg [105]. Det gjort omfattende prøvedyrking langs kysten som gir godt kunnskapsgrunnlag om riktig miljø for dyrking og lokalisering [111-113]. Oppskalering av dyrking i mellomkultur har operert anlegg med yngelantall i skala flere millioner [114]. Samlet sett er det etablert kompetanse og strategier knyttet til sentrale forhold i mellomkultur som, overlevelse, vekst, yngelkvalitet, lokalisering og overordnet lønnsomhet, samt metoder og utstyr for transport av ulike størrelser yngel, avgjørende for kunne dyrke frem yngel for utsetting i havbeite [111, 114-116].

Dyrking på bunn i form av havbeite ble etablert som strategi tidlig på 1990 tallet [117]. De første utsett gjennomført i Norge viste imidlertid svært høy dødelighet som følge av predasjon fra taskekrabbe og det ble innen kort tid startet arbeid med utvikling av gjerder på bunn for å hindre taskekrabbe tilkomst til kamskjellene [114, 117]. Ulike typer gjerder ble testet av dyrkere også i oppskalering av produksjon [114]. Overvåking av eventuelle virkninger på bunnmiljø ble gjennomført med bakgrunn i målsettinger gitt i lovverket gjeldende for tillatelser for havbeite [118]. Kommersialisering av havbeite med bruk av gjerder lyktes imidlertid ikke, hovedsakelig grunnet saktere vekst enn antatt, lokalisering av havbeite som ble gjort på grunnlag av nærhet til bosted heller enn kjente biologiske kriterier for riktig lokalisering og sviktende tilgang på privat kapital og offentlige virkemidler [8, 100]. Et viktig aspekt ved lokalisering som kommer frem i ettertid er at kriteriet nærhet til dyrkerens bosted har vært for sterkt vektlagt sammenlignet med andre kriterier for riktig lokalisering som en allerede hadde god kunnskap om ved etablering av anleggene.

Valg av yngelstørrelse for utsett av kamskjell i havbeite er først og fremst bestemt av risiko for å bli spist av rovdyr. Ved utsett av kamskjell vil forekomst, sammensetning og størrelse av rovdyr i området og deres respons på kamskjellene som et økt mattilbud (tetthet) være avgjørende for risikoen [119, 120]. Tetthet av kamskjell på bunn har hovedsakelig vært et spørsmål om å utnytte tettheter som er antatt å være det maksimale (bæreevne) i naturlige bestander, for å minimere arealkrav og øke lønnsomhet. Generelt sett viser kunnskapsgrunnlaget at predasjon på kamskjell i havbeite med de tettheter som har vært benyttet så langt (opp til 10 per m²) er så høy at det er vurdert vanskelig å få til lønnsomhet [8, 119, 120].

Med bakgrunn i spørsmål knyttet til rekruttering til naturlige bestander langs kysten og videre utvikling av havbeite er det blant næringsaktører vært fremsatt forslag om utsett av yngel i lave tettheter for å styrke grunnlaget for fisket. Dette er i tråd med konklusjonen fra det internasjonale møtet referert til i Strand, Louro [8] om fremtidige utsikter for utvikling av havbeite som ligger i en nærmere kopling til fisket på naturlige bestander. Utnyttelse av eksisterende kapasitet for produksjon av yngel i klekkeri er begrenset av etterspørsel og det ble anbefalt å utvikle konsepter for hvordan akvakultur og havbeite kan bidra til å videre utvikle bærekraftige fiskerier på kamskjell (*P. maximus*). Også av erfaringer med utsett av små kamskjell i havbeite i andre deler av verden (New Zealand, Japan) støtter opp om en strategi med utsett av kamskjell i lavere tetthet samtidig som man velger å gå ned i størrelse på yngelen. Grunnlaget vil være at en i stedet for å velge en størrelse på yngel som kan motstå predasjon, bør tetthet være så lav at rovdirene ikke tiltrekkes kamskjellene som settes ut.

Det mangler data på utsett av kamskjell som kan representere gjenfangst i en situasjon med utsett i lave tettheter og mindre størrelse på yngel. Forventninger om gjenfangst kan i beste fall baseres på en form for kunnskapsbasert gjetning. Et utgangspunkt kan være å anslå hvilke tettheter som betraktes som lave i et slikt havbeite. Tettheter av kamskjell i havbeite har tidligere tatt utgangspunkt i antatt maksimal tetthet i naturlige populasjoner på 5-10 kamskjell m⁻², også antatt å representere maksimal bæreevne. I forvaltning av bestander hvor kamskjell fiskes med skrape regner man at tettheter på 0,1-0,2 kamskjell m⁻² er i god befatning. Basert på årlig dødelighetsrate på 0,15-0,2 som benyttes i bestandsforvaltning på voksne kamskjell [121], kan det betraktes som rimelig konservativt anslag å bruke 0,3 for kamskjell i havbeite. Forutsetter vi vekst tid på 4-6 år og årlig dødelighetsrate på 0,3 blir overlevelsen 11-24 %. Erfaringer fra havbeite med kamskjell større enn 70-80 mm og levendelagring med undermåls skjell fra fisket er at overlevelse er høy på store kamskjell. Det er derfor grunn til å

anta at dødeligheten avtar med alderen hos kamskjell i havbeite og at gjenfangsten dermed kan være høyere enn 25 %.

Markedet for levende kamskjell er godt og i Norge har vi store områder som kan benyttes til produksjon av kamskjell. I Trøndelag er bestandene gode og undersøkelser av de beskattede bestandene indikerer at det ikke er vesentlige endringer i bestanden av stort kamskjell i høsteområdene [8, 122]. Det fremholdes imidlertid som en utfordring å opprettholde bestander med tilgang på store skjell. I Hordaland er forekomstene av stort kamskjell mer variable, men gode bestander er registrert i flere områder. I tidligere undersøkelser i Sogn og Fjordane er det vist at enkelte årsklasser manglet i populasjonene [111].

Det mangler data på utsett av kamskjell som kan representere gjenfangst i en situasjon med utsett i lave tettheter og mindre størrelse på yngel. Metodisk vil det være utfordrende og kostnadskrevende å dokumentere overlevelse og de utsatte skjellenes bidrag i fangster. Videre er effektiv høsting av kamskjell en utfordring både med hensyn til kostnad og sikkerhet. Anvendelse av tilgjengelig undervannsteknologi er fortsatt begrenset med hensyn på kostnadsnivå.

Næringen ønsker å endre strategi for utsåing fra massive utsett i høy tetthet på et lite område til utsetting av lave tettheter over stort område som vil kunne styrke bestanden og gi mulighet for å kunne høste mer kontinuerlig.

Næringsaktører på Vestlandet har fremmet følgende eksempel for å illustrere potensiale i en strategi for utsetting i lave tettheter i havbeite. I fullskala feltforsøk i havbeite på 20 km² forutsettes det at 30 % av området er egnet til produksjon og effektiv høsting ved dykking og muligheter for ny overflatestyrt høsteteknologi. Med tettheten av kamskjell på 0,1 skjell/m² og utnyttelsesgrad på 75 % høstbare vil potensiale for høsting i området være 600.000 skjell. Dette har en verdi for fisker på 6-7 mill. kr, verdi til leverandør på 12-15 mill. kr og en markedsverdi på 40 mill. kr. Det forutsettes at en overlevelse fra yngel til konsumstørrelse på 25 % vil det kreve utsett av omkring 2 mill. Klekkeriet Scalpro AS i Hordaland har kapasitet til produksjon av 15-20 mill. yngel pr år. Fremtidig realisering av hele produksjonen gir et markeds potensial på over 400 mill. kr. Dette medfører en produksjon av 1 000 tonn kamskjell, som er samme størrelsesorden som produksjonen i Norge i dag. Vurderingen av markedet for stort kamskjell tilsier at et slikt volum er det fullt mulig å selge gjennom eksisterende markedskanaler. På sikt kan konseptet utvides til andre landsdeler i Norge.

4.2.1.2 Hummer

Utsett av europeisk hummer i havbeite har i Norge vært basert på produksjon av yngel i klekkerier. Formålet med utsettingene har vært/er å styrke fiskeriene og bestandsoppbygging i de områdene der hummerbestanden er sterkt redusert. Norge har i mange tiår satt ut oppdrettede organismer på havbeite, inkludert hummer. Historisk er det G.M. Dannevig som utviklet klekkesystemer i Havforskningsinstituttets forskningsstasjon Flødevigen på begynnelsen av 1900-tallet. Seinere ble det etablert kommersielle klekkerier i Trøndelag og Rogaland. Ellers i Europa finnes det kommersielle hummerklekkerier i Storbritannia (England, Skottland, Nord-Irland, Shetland) og Irland. I tillegg har det vært gjort forskning og utvikling (FoU) i Norge, Storbritannia, Irland og Tyskland. I Norge fikk havbeiteaktiviteten et oppsving på 1990-tallet ved oppretting av det nasjonale PUSH-programmet (Program for Utvikling og Stimulering av Havbeite) som gikk fra 1990 til 1997, med fokus på laks, røye, torsk og hummer. Av disse artene var det kun hummer som ble vurdert som samfunnsøkonomisk lønnsomt, med datatidens prisnivå [123, 124]. Kunnskapsgrunnlaget generert gjennom PUSH resulterte i at det ble etablert et lovverk for havbeite [27], hvor hummer var en av artene som det kan gis havbeitetillatelse.

Hummerfisket er i Norge i dag på et minimum sammenlignet med for ca. 70 år siden da fangstene i Norge utgjorde 30–40 % av det totale uttaket i Europa. I dag har fisket liten kommersiell betydning, men i kystområdene er det stor interesse for å bygge opp bestandene til tidligere nivåer. Det er også interesse for å drive kommersiell havbeite, etter Akvakulturloven [27], med tillatelse og eksklusiv gjenfangstrett. Mye av bakgrunnen for denne interessen er basert på kunnskapsgrunnlaget som ble fremskaffet gjennom PUSH-programmet hvor ca. 125 000 ett år gamle merkede hummeryngel ble satt ut ved Kvitsøy i Rogaland fra 1990 til 1994. Den utsatte hummeren rekrutterte til fisket, og utgjorde rundt 50 % av fangstene over flere år [91, 125]. Ved avslutningen i 2001 var den totale gjenfangsten 6,3 %. Den beste utsettingsgruppen hadde nådd en gjenfangst på nesten 14 %. Disse tallene er ikke justert for merketap eller fangst gjort av fritidsfiskere, og representerer derfor et minimumsestimert. Sammenlignet med andre utsettingsprosjekter i andre land med europeisk hummer er dette gode resultater. I løpet av prosjektperioden ble 25 000 individer undersøkt, hvorav 10 000 var havbeitehummer. Det ble ikke funnet forskjeller i biologiske parametere som vekst, reproduksjon (størrelse ved kjønnsmodning, fekunditet), vandring eller genetik når vill hummer ble sammenlignet med havbeitehummer [126]. Moksness, Stole [127] gjorde

økonomiske analyser og fant at havbeite kunne være økonomisk lønnsomt hvis produksjonskostnadene ble redusert og gjenfangsten økte til 15 %.

En rekke FoU prosjekter har lagt grunnlaget for dagens kunnskap om klekking og yngelproduksjon (blant annet [128, 129]). De største utfordringene knyttet til larvefasen er fôr og fôrutvikling. I tillegg kan bakterien *Leucatrix minor* forårsake stor dødelighet, men kan kontrolleres. Larvefasen fra klekking til stadium IV varer normalt ca. 2 uker ved 18°C. Utsetting av stadium IV larver har vært prøvd ut i flere ulike FoU prosjekter samt brukt/brukes kommersielt i USA og Canada. Stadium IV larver er for små til å merkes fysisk og i FoU prosjekt har derfor større yngel vært brukt for å sikre identifisering ved gjenfangst. Som for mange andre arter har det vist seg at klekkeriprodusert yngel ikke nødvendigvis har utviklet atferd og utseende tilpasset utsett i naturen. Aspaas, Grefsrud [130] og Agnalt, Grefsrud [131] har vist at det er mulig å trene klekkeriprodusert yngel ved å gi de skjellsand og skjul en periode før utsett og dette ga økt overlevelse i konkurranse med naive yngel (utrent). Forsøkene viste blant annet at trene yngel hadde tre ganger høyere overlevelse etter ni måneder i en hummerpark uten predatorer. Jorstad, Prodohl [132] viste at genetikk har en betydning ved at noen familier har bedre vekst og overlevelse enn andre. En kombinasjon av trening og avl er et felt som absolutt bør kunne utdypes ved utsetting av yngel, og kan potensielt resultere i høyere overlevelse enn erfaringene på Kvitsøy.

I enkelte områder i Norge er bestanden i rimelig god forfatning, men generelt er bestanden sterkt redusert sammenlignet med tidligere tider (før 1950-tallet). Historisk har hummer vært en viktig ressurs for kystsamfunnet. I tidligere tider var hummer eid av prester/grunneiere og etter en disputt om eiendomsrettigheter bestemte kongen av Danmark og Norge at all fisk og skalldyr utenom laks skulle være alles eiendom, derav allemannsretten. Hummer har en viktig plass i den norske kystkulturen. Gjenoppbygging av bestanden har de seinere årene fått økt fokus, blant annet gjennom etablering av flere verneområder. Muligheten til å drive fritidsfiske av hummer regnes som et felles gode. Mer kunnskap om genetikk og avl, nye metoder for å produsere yngel tilpasset et liv i naturen samt kritisk valg av utsettingsområder er viktige komponenter for en vellykket gjenoppbygging av hummerbestanden.

Markedet for levende hummer er godt både i Norge og i Europa. Per i dag er prisen høyere for europeisk hummer sammenlignet med amerikansk hummer. I Norge var minsteprisen til fisker høsten 2017 på 230,- Nkr per kg for hummer under 1,2 kg (<https://vnf.no/>). På grunn av den lave bestanden er etterspørselen større enn tilbudet. Dette legger grunnlaget for at denne arten er en svært aktuell art både til havbeite og oppdrett.

I havbeite er det høyest dødelighet like etter utsett. Mange ulike utsettingsmetoder har vært prøvd ut, men det har vært lite FoU knyttet til overlevelse. I havbeiteprosjektet på Kvitsøy, der naive yngel ble brukt, ble utsettingene gjort hovedsakelig i den tiden på året hvor temperaturen var lav og de viktigste predatorene lite aktive. Utfordringen i fremtidens havbeite med hummer blir å øke overlevelsen ytterligere. En strategi kan være å trene hummeryngel, i kombinasjon med avl som beskrevet over. En annen strategi er å sette ut hummerlarver. Ved å redusere perioden i klekkeriet er det vist for noen arter at de blir bedre tilpasset naturen. For å finne ut om dette også gjelder hummer må overlevelse dokumenteres. Dette har tidligere ikke vært mulig, men dagens teknologi med genetisk merking åpner for å sette ut hummer på et tidligere livsstadium. Dette vil også reduseres produksjonskostnadene som vil være et positivt insentiv for kommersiell drift.

Det er blitt utviklet landbasert teknologi for oppdrett av hummer som er skalerbar og som viser et stort lønnsomhetspotensial [133]. Det har også blitt utviklet produksjonsmetoder for helårlig klekking av yngel, noe som vil sikre en stabil rekruttering til landbaserte påvekstanlegg. Hummer er en av de skalldyrartene som har kommet lengst i arbeidet med å kontrollere verdikjeden, herunder utvikling av teknologi, biologisk forståelse og oppbygging av oppdrettskompetanse. Dette inkluderer også dokumentering av produktkvalitet, markedspotensial og high-end kunders betalingsvilje for semi-kommersielle volum i markedet. Hummer har derfor de beste forutsetninger til å utvikles videre som oppdrettsart i kommersiell skala. Produktet porsjonshummer er i tillegg eksklusivt, velrennert, har høyere etterspørsel enn tilbud, oppnår svært høye priser i markedet.

4.2.2 Levendelagring

4.2.2.1 Kråkeboller

Kråkebolle rogn blir tradisjonelt konsumert i en rekke asiatiske og europeiske land og serveres i økende grad også i land som Norge der kråkeboller ikke har tradisjoner som mat. På verdensbasis avtar fisket av kråkeboller på grunn av overfiske og etterspørselen øker derfor av kråkeboller i de asiatiske og europeiske markeder.

Tette bestander av grønn kråkebolle *Strongylocentrotus droebachiensis* dominerer indre og middels bølgeeksponert bunn langs kysten av Midt- og Nord-Norge i et nesten 2 000 km² stort område som strekker seg videre inn i Russland [134]. Tidligere var disse områdene dekket av tett tareskog men omtrent 1970 blomstret kråkebollebestandene opp og beitet ned tareskogen til en marin ørken. Bare i de mest bølgeeksponert områdene sto tareskogen igjen. De har siden holdt stand og beiter alt som forsøker å vokse opp. Tetthetene av kråkeboller kan være flere titalls per kvadratmeter på nedbeitet bunn og grunnet sult er de her generelt av dårlig kvalitet med hensyn på innhold og kvalitet av rogn [135]. I noen områder inneholder de også mye parasittiske nematoder (*Echinomermella matsi*) [136].

Fra 1990-tallet har kråkebollene begynt å dø ut i den sørlige delen av nedbeitingsområdet og grovt regnet 500 km² har kommet tilbake med tareskog langs kystrekningen fra Sjøla til kysten av Nordland [137]. Det er ikke kjent hva som førte til kråkebollens bestandsøkning i 1970, men temperaturøkning i kystvannet kan være en viktig årsak til at kråkebollene er i ferd med å trekke seg tilbake nå. Som en kaldtvannsort forventes kråkebollene å påvirkes negativt når temperaturen stiger og denne økningen har også ført til at krabber ekspanderer nordover [138]. Taskekrabber har grønne kråkeboller på menyen og bestandene øker raskt nordover. Global oppvarming kan derfor føre til at kråkebollene trekker seg videre nordover også i årene fremover. Selv om dette vil kunne redusere mulighetene for oppføring av denne arten, er der fortsatt circa 1 500 km² dominert av kråkebollene.

I Norge er det en svært begrenset historie med fiske av kråkeboller og følgelig er fisket ikke regulert. Det er et fritt fiske for alle som ønsker å delta. For tiden er det et selskap (Arctic Caviar AS) som ligger like nord for Bodø som har fisket kråkeboller i over tiår, og det er noen andre små fiskebedrifter som samler og selger små mengder kråkeboller [139].

Mengden av rogn (gonade) i en kråkebolle måles gjerne som Gonade indeks (GI), som er prosentandelen rogn i forhold til vekt av hele kråkebollen. En av de største utfordringene i et fiske er å kunne levere kråkeboller med høyt nok innhold og god nok kvalitet av rognen. Som beskrevet ovenfor har Norge et overskudd av kråkeboller men med for lav kvalitet. Dette er utgangspunktet for oppføringen som starter med innsamling av voksne individer med oppnådd markedsstørrelse som holdes i land eller sjøbaserte systemer i 6-12 uker. De blir i denne perioden matet enten en diett med naturlige makroalger eller produsert fôr som er egnet for at størrelsen og kvaliteten på rognen skal øke. Dette konseptet har blitt testet med suksess på en rekke arter kråkebolle fra hele verden. I tillegg til det økonomiske utbytte ved salg av produktet er der en rekke miljøfordeler knyttet til høstingen. Når kråkebollene fjernes fra de nedbeitede områdene, rekoloniseres området raskt av tare. Dette resulterer i en rask økning i produksjon og biologisk mangfold [140].

De første forsøkene på oppføring av kråkeboller i Norge var i landbaserte systemer ved Fiskeriforskning (nå NOFIMA) i 1994. Målet var å øke rogninnholdet av kråkeboller til en verdi som kunne omsettes i markedet. Det finnes ikke et typisk landbasert oppføringsanlegg i Norge, og de fleste fasiliteter konstruerer og bygger egne systemer. Effektiv fjerning av fast avfall, enkel tilgang til dyrene og god utnyttelse av ledig plass er nøkkelen til et vellykket landbasert system. Sjøbaserte systemer har fordelen at en slipper pumping eller behandling av vann. Dette eliminerer risikoen som følge av vannforsyningsavbrudd, og selv om sjøbaserte anlegg trenger ekstra utstyr til daglig drift sammenlignet med landbaserte systemer (båter etc.), er investeringene og driftskostnadene sannsynligvis lavere for sjøbaserte enn for landbaserte anlegg, spesielt for store anlegg. *S. droebachiensis* finnes naturlig oftest på steder med høy vannutveksling (dvs. høyere strømhastigheter). Kråkeboller i strømrrike områder har ofte større og bedre kvalitet på rognen enn i områder med lav vannbevegelse [141]. Det er sannsynlig at de høye kravene til vannmiljø for kråkebollene vil være enklest å møte i sjøbaserte anlegg der det er høy strøm og god vannkvalitet.

Det har vært en rekke forsøk på å utvikle oppføring av kråkeboller i kommersiell skala i Norge. Den største av disse var et selskap som heter ScanAqua, basert i Hammerfest i Nord-Norge. De drev et sjøbasert oppføringsanlegg og NOFIMA produserte fôr. De bearbeidet kråkebollene (fjernet rogn fra skallet) og sendte i perioden mellom 2004 og 2008 pakket rogn til markeder i Europa og Asia [142]. Arbeidskostnaden for bearbeiding samt vanskeligheter ved høsting i Nord-Norge ble oppgitt som de viktigste faktorene som gjorde driften ulønnsom. Denne erfaringen tilsier at den beste strategien for høsting i Norge vil være oppføring og eksport av levende kråkeboller. Det ville redusere arbeidskraftskostnader knyttet til produktet.

I de senere årene er det formulerte fôret utviklet i Norge blitt lansert i Japan og Canada gjennom utviklingen av forretningsmodellen URCHINOMICS for kommersiell oppføring av kråkeboller. I begge disse landene pågår det nå kommersielle forsøk, og lønnsomheten i oppføring av kråkeboller vil bli avklart innen de neste 6-12 månedene. I både Norge og Europa er det flere forskningsinstitutter og kommersielle selskaper som er interessert i URCHINOMICS, og det er for tiden arbeid for å utvikle næringen i Norge (www.urchinproject.com). Dette arbeidet

går samtidig med utvikling av et økt fiske på kråkeboller på Island, Grønland og i Irland. Fra et sjøbasert forsøk med oppføring i Lyngen i Nord-Norge (referanse) ble kråkeboller eksportert til Japan hvor de ble bearbeidet og solgt på Tsukiji-markedet, verdens største sjømat- og sjøpølse-marked [143]. Dette var de første kråkebollene oppført i et annet land som ble solgt i Japan.

En stor drivkraft for oppføring av kråkeboller i Norge de siste to tiår har vært utvikling av formulert fôr. Det første formulerte fôret var et våtfôr fremstilt med fiskeskinn som proteinkilde og transglutaminase som bindemiddel [144]. Stabilitetstester viste at det formulerte fôret kunne tåle sjøvann i opptil syv dager ved en temperatur på 14 C uten betydelig reduksjon av konsistens, noe som gjør den til et ideelt fôr for kråkeboller siden foring da kan reduseres til en gang per uke. I perioden 2004-2009 ble det utviklet flere formulerte ekstruderte typer tørrfôr [142]. Som for våtfôr var disse stabile i sjøvann, og de var derfor også egnet for fôrregimer til kråkeboller. Effekten av diettene på rogn utvikling ble testet på grønne kråkeboller, og resultatene fra både eksperimentell og kommersiell skala var meget lovende. NOFIMA har kommersialisert produksjonen av tørrfôr til kråkeboller. Fôret er testet på en rekke andre arter med svært lovende resultater og lisens for kommersialisering er overført til næringsaktør.

Det er veldig sterk økning i internasjonal etterspørsel etter kråkeboller Den grønne kråkebollen er en ettertraktet i både Asia og Europa. Island eksporterer hvert år 200 tonn av grønne kråkeboller til Frankrike [145]. Teknologien for oppføring av kråkeboller er tilgjengelig for både landbaserte og sjøbaserte systemer, selv om det kreves ytterligere utvikling. Tørrfôr utviklet av NOFIMA produseres nå kommersielt i Japan, og denne produksjonen er forventet å ekspandere til andre land. Tidligere har dette vært en av de viktigste begrensningene i utviklingen av oppføring av kråkeboller verden over.

I Norge er det fortsatt problemer rundt egnede metoder for høsting av tilstrekkelige mengder kråkeboller for å utvikle en industri. De ekstreme værforholdene i nord gjør det vanskelig for tradisjonelle dykkere å utøve effektiv høsting. Alternative teknikker utviklet de siste årene (for eksempel teinefiske) er lovende men er ikke påvist lønnsomt. Logistikken til å eksportere levende kråkeboller fra Nord-Norge er også utfordrende, men igjen har det de siste årene blitt gjort fremgang i både land- og luftbåren transport. En av de største utfordringene i Norge er at det ikke er etablert tradisjonelt fiske på ville bestander med tilhørende infrastruktur, bearbeiding og logistikk for eksport. Dette gjør det utfordrende for nye bedrifter som forsøker å utvikle oppføring av kråkeboller.

4.2.2.2 Stillehavsøsters

Utbredelsen av stillehavsøsters, *Crassostrea gigas*, er regnet som en bioinvasjon (se Kap Dyrking 4.4.3.4), og arten er svartelistet (dvs. at spredningen i norsk natur regnes som uønsket). Miljødirektoratet har utarbeidet en handlingsplan og har testet ut tiltak for å hindre en ytterligere bestandsøkning i utvalgte naturområder (som marine nasjonalparker, frednings- og friluftsområder). Denne forvaltningspraksisen kan representere et paradoks i forhold til potensialet som ligger i en utnyttelse av stillehavsøsters som en ny, nordisk ressurs [146].

Bestanden i Norge er økende og en ser for seg en fremtidig spredning og økende biomasse langs kysten. I de aller fleste land der stillehavsøsters er blitt en utfordring i kystsonen, har forvaltningen vært knyttet til en kommersiell utnyttelse i form av kombinasjon av høsting og oppdrett. I norske farvann er det i første omgang kun snakk om høsting av naturlige bestander.

Da østers er et svært ettertraktet sjømatprodukt som omsettes i store kvanta internasjonalt (5-6 millioner tonn pr år), er det gjort vurderinger av i hvilken grad vi kan utnytte forekomstene som en ressurs, samtidig som bestandene kan holdes i sjakk i de mest sårbare marine naturområdene. Miljødirektoratet har signalisert gjennom handlingsplanen at kommersielle høsting vil kunne ses på som et tiltak for å redusere bestanden og ytterligere spredning.

En næring er under utvikling [147], og det høstes stillehavsøsters fra bestander på Sørlandet. Med dagens regelverk i Norge vil alle skjell plasseres på mottaksanlegg og må gjennomgå rensing. Dette er et tiltak for å sikre mattryggheten, samtidig som den vil kunne gi næringsaktører bedre logistikk til levering. Dagens næringsaktører ønsker å se på muligheten for depotbanker eller midlertidig oppbevaring i sjø. Slik praksis vil måtte avklares i forhold til dagens regelverk.

Samtidig som arten regnes som invasiv og er svartelistet, ser vi på muligheten for å bruke den som en ny kystressurs. Det er allerede startet høsting av vill stillehavsøsters, både i Danmark, Sverige og Norge. Danmark

har hatt arten lenger enn i Norge, og det er etablert høsting fra bestander i Limfjorden, østersturisme i Vadehavet og det er nylig gitt tillatelse til yngelproduksjon.

I Norge består høstingen av håndplukking fra ville bestander på Sørlandet. Skjellene settes inn i mottaksanlegg med godkjent vannkvalitet i en nærmere definert periode før de pakkes og selges. Ved å utvikle hensiktsmessig logistikk, med områder hvor det samles opp større mengder østers (mottak eller depotbanker i sjø), vil det være mulig å øke denne formen for produksjon. Samtidig vil denne type mellomlagring kreve ny kunnskap knyttet til aspekter som sykdom, kvalitetsendringer og mattrygghet.

Det arbeides med å avklare hvilke forhold som må ligge til grunn for høsting og oppbevaring av stillehavsøsters. Disse kan deles inn i:

- Juridiske og forvaltningsmessige forhold som legger grunnlaget for høsting, oppbevaring, transport og omsetning av levende østers.
- Mattrygghet, som omfatter overvåking og kontroll av giftige alger, og næringsmiddelhygieniske forhold.
- Beregninger av bestandsstørrelse og kunnskap om dynamikken i bestandene.

Næringen ønsker å utnytte den voksende ressursen. Det er mulig at markedet dreies fra flatøsters til stillehavsøsters (slik det har skjedd i Mellom- og Sør-Europa).

Ved en økt utnyttelse av ville bestander blir det nødvendig med etablering av depotbanker/gjenutleggingsområder, oppsamling i skjelldyrkingsanlegg eller mottaksanlegg – eventuelt en kombinasjon av disse. Som for dyrking av stillehavsøsters må regelverket endres også for levende lagring. Utviklingen forutsetter en forvaltningsmessig tilpasning. Systemer må etableres for rensing av østersen i et levendelager for å sikre matvaretrygghet, for eksempel i forhold til norovirus.

4.2.3 Integrert havbruk

4.2.3.1 Børstemark

Ny internasjonal litteratur [20, 96, 148] på utvikling av IMTA for å ekstrahere og omsette avfall fra fiskeoppdrett viser at organismer på bunn (som børstemark) rett under anlegg har størst potensial for effektiv omsetning av fekalier og fôrrester.

Organisk avfall fra fiskeoppdrettsanlegg som sedimenterer til bunn på fjordlokaliteter med dyp på 200 meter kan lokalt (utstrekning i noen hundre meter) resultere i sterkt forhøyet forekomst, biomasse og produksjon av bunndyr [149]. Børstemark vil dominere den økte produksjonen og vil kunne være 50 ganger høyere enn på referanseområde. Også på andre typer bunn langs kysten vil børstemark forekomme i betydelige mengder under åpne fiskeoppdrettsanlegg. Arter som vanlig forekommer i høye tall på organisk belastet bløtbunn er *Capitella* spp og *Ophryotrocha* spp. På hardbunn er også funnet store mengder *Ophryotrocha* spp iblandet *Vigtornielle* spp. [150, 151]. Dette er opportunistiske arter som kan forkomme i svært høye tettheter. *Ophryotrocha sheldsi* er funnet i tettheter 100,000 individer/m² under fiskeoppdrett [150]. *Capitella* spp er funnet i tettheter opp til 200,000 individer/m² [152]. *Vigtornielle* spp opptrer oftest i lavere tettheter.

Formålet i integrert oppdrett er å resirkulere avfall fra fiskeoppdrett. Dette kan gjøres gjennom tekniske løsninger for oppsamling av avfallet for ilandføring før bearbeiding. Alternativt kan avfallet omsettes til biomasse av for eksempel børstemark der det sedimenterer og deretter høstes børstemarken. På bakgrunn av kunnskapen om hvordan arter på bunn under fiskeoppdrettsanlegg responderer på tilførsel av organisk avfall, er det de siste par årene innledet forsøk med formål å tilrettelegge for økt etablering av børstemark på kunstige substrater under oppdrettsanlegg. Disse gjør det mulig å effektivt høste denne biomassen i et opplegg for kulturbetinget høsting [15].

Oppsamling og ilandføring av avfall vil kunne være kilde til produksjon av børstemark kjent fra intensiv produksjon til ulik kommersiell anvendelse. Arter i familien *Nereidae* dyrkes i kommersielle anlegg, produsert for åte til sportsfiske, ingrediens i fôr til fisk og krepsdyr i akvakultur [153]. I senere år er de også brukt i resirkuleringsanlegg (RAS) for å ekstrahere/fjerne avfall/fôr i produksjon av japansk flyndre [154], ål [155], sea bream [156] and kveite [98]. Arten *Nereis* virker er vist å være effektiv i omsetning av fekalier og kan doble sin

kroppsvekt per måned. Børstemark i familien *Nereidae* er imidlertid ikke funnet i høyt antall under anlegg i Norge [149, 157].

Utpøvingen av kunstige substrat plassert ut under fiskeoppdrettsanlegg er designet med formål å innledende teste om børstemark kan etableres og høstes samt å prøve ut ulike substrat for om mulig å kunne optimalisere dette. Der er trolig tekniske, sikkerhetsmessige (i forhold til anlegget for fiskeoppdrett) og praktiske forhold som begrenser men også muliggjør en oppskalering av slik innhøsting. I tillegg til at eksisterende løsninger som står på bunn kan dekke større deler av påvirkningsområdet for fiskens avføring, vil utvikling av utstyr som kan plasseres i vannsøylen trolig kunne øke effektiviteten i opptaket av det sedimentert organisk avføring.

Resultater fra eksperimentelle forsøk viste at omsetning av fiskeavføring tilført børstemarkene *Ophryotrocha* og *Capitella* var henholdsvis 9 mg og 4 mg karbon (C) per gram tørrvekt børstemark (AFDW) per dag [15]. Forutsetter vi at det fra et fiskeoppdrettsanlegg sedimenteres 1 g C per kvadratmeter per dag (dette variere betydelig mellom 1 og 10 g C per kvadratmeter per dag) vil dette kreve henholdsvis 112 g *Ophryotrocha* og 250 g *Capitella*, begge per kvadratmeter, for å omsette alt nedfallet. Dette tilsvarer henholdsvis 62 tusen *Ophryotrocha* og 180 tusen *Capitella*, begge per kvadratmeter. Disse estimatene samsvarer med tettheter som er oppgitt i litteraturen for disse børstemarkene, vel og merke antatt å være høye tettheter og i et miljø med organisk belastning. Estimaten er å betrakte som potensiale for kapasitet mens reelle verdier fortsatt er ukjent. Opptakseffektiviteten for *Ophryotrocha* og *Capitella* (77 % og 63%) viser at henholdsvis 23 % og 37 % skilles ut som avføring fra børstemarkene. Våre data på dekningsgrad og biomasse av børstemark er basert på estimater etter opptak av rammene til overflaten. Informasjon fra visuell dokumentasjon av rammene på bunn viser at estimatene er betydelig underestimert grunnet tap av børstemark under heving av rammene. Denne informasjonen er ikke kvantitativ utover at vi antar tap av betydelige mengder, og det kan derfor bare brukes til en grov antagelse for korrigerer av estimatene.

Børstemark opptrer under oppdrettsanlegg som følge av tilførsel av organisk avfall fra fisk og produksjonen kan være i størrelsesorden 50 ganger høyere enn naturlig produksjon for børstemark. Høsting av biomasse fra denne produksjonen kan redusere virkningen av avfall fra fiskeoppdrett på bunnmiljøet. Det er sannsynlig at kjente tettheter med børstemark av slektene *Ophryotrocha* og *Capitella* vil kunne omsette 1 g C m⁻² dag⁻¹. Dette er å betrakte som konservativt siden sedimentering fra fiskeoppdrettsanlegg variere mellom 1 og 10 g C m⁻² dag⁻¹ og etablering av høye tettheter børstemark trolig vil kreve nedfall av avføring på vesentlig mer enn 1 g C m⁻² dag⁻¹. Forutsatt at hele arealet for et typisk fiskeoppdrettsanlegg på 100 000 m² representerer mulig utnyttelse av både bunnområdet og vannsøylen vil omsetning av 1 g C m⁻² dag⁻¹, netto veksteffektivitet på 10 % og et innhold av karbon per våtvekt børstemark på 5 % gi et årlig potensiale for høsting av 70 tonn børstemark. Det er estimert at avføring fra hele norsk fiskeoppdrett årlig representerer 75000 tonn C [158]. Forutsatt at børstemark tilrettelagt for høsting tar opp 20 % av dette og har en netto veksteffektivitet på 10 % vil dette ha et potensial på 30 000 tonn børstemark.

Selv om flere arter børstemark som produkt har et etablert marked er potensielle anvendelse ikke kjent for de mest aktuelle børstemarkene (*Ophryotrocha* og *Capitella*) for kulturbetinget høsting under oppdrettsanlegg. Av hensyn til smittehygiene kan de ikke representere en mulig førkilde til laksefisk. Anvendelse til konsum eller biomasse til føringrediens, for andre dyr enn laks og regnbueørret, vil møte lignende begrensninger i henhold til matvaresikkerhet som artene brukt i IMTA. Effektiv høsting av børstemark biomasse under oppdrettsanlegg gjennom økt mengde substrat for etablering og uttak vil kreve fysiske innretninger og operasjoner som kan påvirke sikkerhet og driftsforhold i eksisterende fiskeproduksjon.

4.2.3.2 Sjøpølser

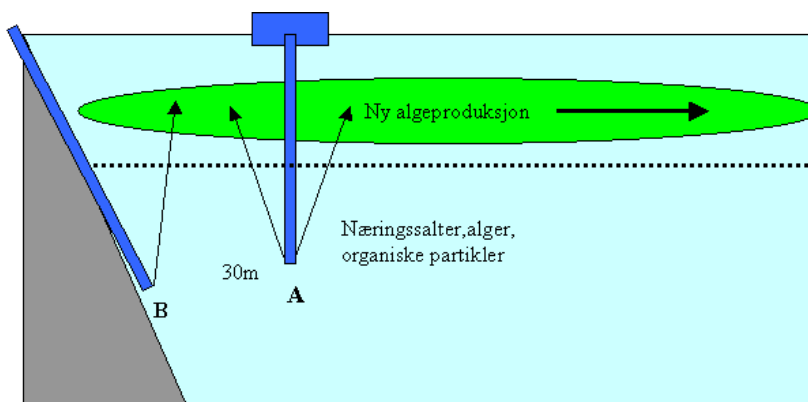
Rød sjøpølse *Parastichopus tremulus* har et stort godt betalende marked i Asia, og dette er bakgrunnen for betydelig interesse for fiskeing av denne arten i Norge [159]. Sjøpølsen er sediment spiser og utnytter det organiske (bakterier, mikroplankton, detritus etc.) fra det uorganiske (fin sand), fortrinnsvis på bløtbunn i fjordene eller på kysten hvor den oftest forekommer på opptil flere hundre meters dyp. Rød sjøpølse er selektiv på hvor den foretrekker å spise sediment og foretrekker områder med høyt innhold av organisk materiale i sedimentet for eksempel avføring fra bunndyr, gjerne der avføring finnes som partikler [160]. Sjøpølser i slekten *Sticopus* er vurdert å være effektive i å omsette avfall under fiskeoppdrettsanlegg [161, 162] og er antatt å ha et potensiale som kommersielt produkt og som bidrag til å redusere effekt av fiskeoppdrett på bunnmiljø [99] I Norge er rød sjøpølse vanlig på dype bunnområder ved fiskeoppdrettsanlegg og det er vist at de tar opp fettsyrer som kommer fra avføring fra oppdrettsfisk [163]. Der er dermed et potensial for tilrettelegging for økt produksjon (eventuelt aggregering) og kulturbetinget høsting av rød sjøpølse ved fiskeoppdrettsanlegg.

4.2.4 Styrte oppstrømning av næringsrikt dypvann

Oppstrømning av næringsrikt dypere vannlag ("oppvelling") er grunnlaget for verdens mest produktive marine økosystemer, deriblant kystområder for dyrking av lav-trofiske ressurser som skjell. Dypere vannlag i fjorder (basseng vann) inneholder næringsalter som naturlig er grunnlag for planteplanktonproduksjon i øvre vannlag. Kontrollert tilførsel av næringsalter fra dypere til øvre vannlag i fjorder er en metode som er vist å kunne gi grunnlag for bedre produksjonsforhold for planteplankton og beitere som blåskjell og sekkydyr [19, 164]. Basert på erfaringer fra forsøk med kontrollert oppstrømning av næringsrikt dypere vann i fjorder har bruk av fersk-/brakkvannsdrevet oppstrømning klare fortrinn med hensyn til både energibehov og biologisk produksjon (se Andersen, Strohmeier [19]).

Saltholdighet er bestemmende for sjøvannets tetthet og fersk-/brakkvannsdrevet oppstrømning baserer seg på å

Figur 4.1. Prinsippskisse for kontrollert oppstrømning lokalisert i Lysebotn, innerst i Lysefjorden. Prikket linje: dybden av eufotisk sone.



føre fersk- eller brakkvann ned til det dyp med forhøyete konsentrasjoner av næringsalter. Det lettere fersk/brakkvannet blander seg med det tyngre dypvannet, og stiger inntil tettheten er den samme som i det omgivende vann (for Lysefjorden typisk på 4–10 m dyp, like under sprangsjiktet). På veien opp blandes det med saltere næringsrikt vann, før det lagrer seg inn der det er nok lys for algeproduksjon (figur 4.1). Dette dypet kaller vi "innlagingsdyp". Vannet som strømmer opp fører også med seg organisk materiale og planteplankton fra dypere vannlag.

Næringsalter og resirkulert organisk materiale fører til ny produksjon av planteplankton, mens tilførselen av levende planteplankton trolig kan virke som "såkorn" i innlagingsdypet. I [19] er det redegjort for anlegg for oppstrømning som har vært drevet i Lysefjorden og resultater som viser effekter på produksjon hos blåskjell, samt mulige effekter på andre deler av økosystemet.

Kriterier for hvor egnet fjorder er for etablering av kontrollert oppstrømning er gitt ved fjordens terskeldyp, areal, dybdeforhold og tilgang på ferskvann i fjorden. I fjorder med terskel grunnere enn 20 meter vil utveksling av vannmasser med områder utenfor fjorden være begrenset, og slike fjorder vil kunne gi tilgang på næringsrikt bassengvann relativt grunt. De har ofte lang oppholdstid på vann i fjorden og dermed lav fortykning av planteplankton, mens produksjonskapasiteten vil kunne være begrenset av mengde næringsalter i bassengvannet. Fjorder med terskel ned mot 50 m og dypere, er ofte åpnere, har større areal og dybde, og dominerer arealmessig langs kysten. Fjordene vil ha god utskiftning av bunnvann, og har dermed i utgangspunktet betydelig større kapasitet for kontrollert oppstrømning. Etablering i slike fjorder vil imidlertid kreve tilsvarende større kapasitet på anlegg (mengde fersk-/brakkvann og lengde på rør) som henter det næringsrike vannet på større dyp.

Basert på klassifisering av vanntyper i kystvann (www.vannportalen.no) er det kartlagt fjorder med potensial for kontrollert oppstrømning. Totalt er 143 fjordområder med totalt areal på 4400 km² antatt egnet. Gjennomsnittlig størrelse er på 31 km². Dette er noe mindre enn arealet av Lysefjorden, som med sine 44 km² er 1 % av det totale potensielle areal på 4400 km². Anlegget i Lysefjorden er det første i full skala hvor det er vist at bruk av fersk-/brakkvann til oppstrømning av næringsrikt dypere vannlag kan gi 2-3 ganger høyere konsentrasjon av planteplankton [19, 165] og betydelig bedre vekst hos blåskjell [164, 166]. Utstrekningen av det påvirkete området i Lysefjorden varierer, men blir opp mot 20 km² [167]. Utstrekningen er i første rekke styrt av mengde oppstrømmende næringsrikt vann, strøm, vindforhold i fjorden og påvirkning fra hydrografiske forhold utenfor fjorden, men også optiske egenskaper for fjordens overflatevann og kystvann som kommer utenfra, er vist å ha betydning for endringer i sammensetning av planteplankton [168]. Generelt ser det ut til at økt tilførsel av næringsalter i liten grad gir høyere konsentrasjon av alger, men resulterer i et større influensområde (responser)

strekker seg lengre ut i fjorden). Dette er i første rekke forklart med lysbegrensning for produksjon av planteplankton og vanntransport utover fjorden.

Med bakgrunn i potensialet for dyrking og mulighetene for å studere effekter av tilførte næringsalter i et storskala økosystem har anlegget for oppstrømning i Lysefjorden vært gjenstand for betydelig interesse fra næringsaktører og forskningsmiljøer [169]. Anlegget i Lysefjorden er det første i sitt slag hvor potensialet for økt produksjon har vært dokumentert. Den gamle kraftstasjonen i Lysebotn (Lyse AS) er ferskvannskilde til eksisterende anlegg. I forbindelse med utbedring og modernisering av kraftstasjonen vil denne vannkilden ikke være tilgjengelig etter 2018-2019. Med målsetting å undersøke grunnlaget for finansiering av et nytt anlegg for oppstrømning i Lysebotn gjennomfører Blue Planet AS i 2018 et prosjekt for å utarbeide en investering og kostnadsanalyse for etablering av nytt anlegg i Lysefjorden og lignende fjordsystemer. Prosjektet skal identifisere de kommersielle mulighetene som ligger i å bruke ferskvann til å løfte opp næringsrikt sjøvann fra dypet – til kultivering av marine planter og dyr. Videre skal potensialet for forskningsaktivitet med tilhørende finansiering kartlegges. Prosjektet skal gi et beslutningsgrunnlag for eventuell ny etablering av anlegget for oppstrømning i Lysefjorden eller i andre fjorder.

4.2.4.1 Blåskjell

Blåskjell som dyrkes i influensområdet for oppstrømning av dypvann i Lysefjorden gir 24-95 % høyere utbytte vekt av bløtdeler enn blåskjell dyrket utenfor [10, 164]. Modellstudier for blåskjell dyrket i anlegg med bæreliner viser at bæreevnen er mest bestemt av fødekonsentrasjon og dernest av vannstrøm til anlegget [170]. Dette betyr at økt fødekonsentrasjon som følge av oppstrømning av næringsrikt dypvann vil ha svært god effekt på produktiviteten i blåskjellanlegg forutsatt at fordelingen av biomasse i anlegget maksimeres. Dette gir muligheter for effektiv utnyttelse av areal med hensyn på økt produksjon per arealenhet i fjorder med kontrollert oppstrømning.

Resultater fra en bæreevne modell for blåskjell dyrking i influensområdet for oppstrømningen i Lysefjorden viser at en ved en produksjonssyklus over to år kan oppnå en produksjons- kapasitet på 400-500 tonn /km² [19, 111, 171, 172]. Med en produksjonssyklus på 1 år vil produksjon kunne være om lag 700 tonn /km². Dette tilsvarer kapasitet i de mest produktive oppstrømningsområder for skjellproduksjon, som i de spanske «Rias»-buktene.

Betrakter man dyrking av blåskjell i bøyestrekkanlegg langs kysten med produksjon på 1 million tonn og forutsetter en produksjonskapasitet på 175 tonn /km² (inkludert tilfangs område for føde) [4, 111], vil dette totalt kreve et areal på 5715 km². Arealbeslag for selve anleggene (dekning av bæreliner) for en stående biomasse på 1 million tonn vil være i størrelse 100 km². Norsk fiskeoppdrett beslaglegger 40 km² (2010) med en stående biomasse på 2,7 millioner tonn. Beslaglagt areal for 1 millioner tonn blåskjell og 2,7 millioner tonn laksefisk utgjør henholdsvis 1,3 og 0,5 promille kyst- og fjordarealet. Dyrkes blåskjellene i fjorder med oppstrømning av næringsrikt dypvann vil behovet for areal halveres eller mer. Av fjordareal på 4400 km² som er antatt egnet til oppstrømning, vil 1 million tonn blåskjell kunne produseres på 2200 km², som er 35-40 % av behovet under naturlige forhold. Sett i relasjon til arealbruk og matproduksjon i kystsonen, vil kontrollert oppstrømning i en fjord kunne gi grunnlag for produksjonen som naturlig ville kreve 3 fjorder av samme størrelse. En kan dermed se for seg kontrollert oppstrømning som tiltak for å redusere arealbehovet for matproduksjon i fjorder. Potensialet for økt produksjon vil begrenses i henhold til økologisk bæreevne, som sier noe om hvor mye som kan produseres uten at miljøvirkningene overskrider fastsatte grenser.

Oppstrømning av næringsrikt dypvann gir økt konsentrasjon av planteplankton ofte med dominans av kiselalger (diatoméer), en gruppe alger med relativt lav risiko for toksinproduserende arter [4]. Økt tilførsel av føde uten toksiner vil føre til vekst av bløtdeler som bidrar til tynning av eventuell forekomst av gift i skjellene. Selv om aktiv avgiftning (nedbrytning og utskillelse av toksiner) har størst betydning for endring i konsentrasjon av toksiner i blåskjell, så vil fortynning av toksiner gjennom økt mengde bløtvev bidra vesentlig under gode vekstbetingelser slik det er vist innenfor oppstrømningsområdet i Lysefjorden [166]. En vil på denne måten ha gode muligheter for å sikre produksjon av giftfrie skjell i områder med oppstrømning av dypere vann.

4.2.4.2 Sekkedyr

Sekkedyr (*Ciona intestinalis*) vil i hovedtrekk også effektivt kunne utnytte den økte primærproduksjonen og konsentrasjon av føde som følge av kontrollert oppstrømning av næringsrikt dypere vannlag i fjorder. En sammenligning av blåskjell og tunikater med hensyn på utnyttelse av styrt oppstrømning i Lysefjorden konkluderte at artenes forskjellige produksjonssyklus sannsynligvis er mest avgjørende for hvor effektivt de omsetter økningen i fødekonsentrasjon til biomasse (Strand 2017). Blåskjell er antatt å kunne høstes etter om lag 1 år for bruk til føringredienser eller minst to år for humant konsum, mens sjøpung vokser over noen måneder sent på sommeren

til maksimal størrelse tidlig høst. Mengde lys (daglengde) vil være en viktig faktor for effekt av kontrollert oppstrømning av næringsrikt vann til øvre lag i fjorder og blåskjell vil dermed i større grad kunne utnytte hele sommersesongen enn sekkedyr som vokser mest 1-3 måneder etter at dagene er lengst.

Tunikater har en høyere tilbakeholdelse av de minste fødepartiklene (< 3-4 µm) enn blåskjell [173] men partikler av denne størrelse utgjør bare en liten del av den totale mengde økt føde som følger av kontrollert oppstrømning.

4.3 Makroalger

Tang og tare er et folkelig begrepet på marine makroalger som omfatter makroskopiske (store), fastsittende (de fleste) og flercellede alger. I Norge har vica.475 arter fordelt på 200 rødalger, 100 grønnalger og 175 brunalger. De store brunalgene dominerer vegetasjonen langs kysten, taresamfunn som stortare (*Laminaria hyperborea*) i sjøsonen og tangsamfunn som blæretang (*Fucus vesiculosus*) i strandsonen. Makroalgесamfunnene er viktige habitater for en rekke marine organismer og gir mat og beskyttelse for en rekke beitedyr i kystsonene. Tang- og tareskogene er viktige oppvekst- og beiteområder for mange fiskebestander og kan dermed ha betydning for

Tabell 4.2 Tare binder næringssalter og CO₂. Tabellen baserer seg på Andersen, Strohmeier [4], kvantumet på 20 mill. tonn er prognosene for makroalgeproduksjonen i 2050 [11]. Årlig utslipp av CO₂ i Norge var 53 mill. tonn i 2016 [14] Nitrogen og fosforinnhold er beregnet fra Lobban and Harrison [16], mens karboninnhold er beregnet fra Gundersen, Christie [17]

Biomasse (tonn)	1 mill. tonn	20. mill. tonn
Areal km ²	100	2 000
N (tonn)	4 600	92 000
P (tonn)	560	11 200
C (tonn)	100 000	2 000 000
CO ₂ (tonn)	360 000	7 200 000

fiskeriene. Høsting eller innsamling av makroalger har pågått langs kystene i århundrer og har vært en viktig aktivitet for kystsamfunnene, som jordforbedring og fôr, men også til mat og utvinning av kjemiske stoffer.

I naturlig miljø er produktiviteten i en tareskog ti ganger høyere enn for planteplankton. Dette skyldes at tare er forankret til en fast plass som sikrer god tilgang på lys [174]. Mange av artene er flerårige og danner en stabil, flerårig vegetasjon med høy primær- og sekundærproduksjon. Produktiviteten er sammenlignbar med produktiv terrestrisk skog [175]. Tare binder store mengder næringssalter og CO₂, opptil 3 kg C/m² og år, basert på vekstmålinger (biomassetilvekst) [176]. Tabell 4.2 viser beregnet binding av næringssalter og karbon med utgangspunkt i 1 og 20 millioner tonn tare. Kvantumet på 20 millioner tonn er prognosen for dyrking av tare i Olafsen, Winther [11].

I dag blir ca. 200 arter av makroalger dyrket globalt [177], hvorav ca. 10 arter eller slekter blir dyrket i store mengder intensivt, for eksempel brune alger *Laminaria japonica*, og *Undaria pinnatifida*, de røde alger *Porphyra*, *Euclima*, *Kappaphycus* og *Gracilaria* og de grønne alger *Monostroma* og *Enteromorpha* [178]. Makroalger har vist seg å kunne benyttes inne i mange ulike sammenhenger. I dag inngår makroalger i utvikling av biogass og biodiesel produksjon [179-182], helsekostprodukter, dyrefôr [183] og matingredienser [184]. I tillegg utvinnes det en rekke stoffer fra makroalger med stort brukspotensial (eks alginat fra brunalger og karragenan og agar fra rødalger). Dyrkingsbetingelsene har mye å si for innholdet av alginat der dyrking på strømutsatte lokaliteter generelt sett har et høyere innhold [185]. I de senere år har også utnyttelse av polyphenoler fått økt fokus. Polyphenoler, i hovedsak fra brunalger, har blitt utnyttet på grunn av antioksidant, antimikrobiell og antiinflammatoriske egenskaper [186, 187]. Det antas at det med økt forskning på nye anvendelsesområder for makroalger og videreføring av denne råvaren vil dette kunne bli en viktig næring. På verdensbasis produseres det ca. 27 millioner tonn av akvatiske planter, hovedsakelig makroalger [3]. Den globale makroalge produksjon er hovedsakelig i Asia (Kina, Indonesia, Japan). Omtrent 66 % av dyrket makroalgebiomasse går til human konsum, de resterende 33 % går i hovedsak til produksjon av bindestoffer som alginat, agar og carrageenan [177, 185, 188].

Makroalgehøsting i Norge er i dag hovedsakelig høsting av naturlige bestander av tare langs kysten [18]. I Norge høstes det 150 000 tonn våtvekt stortare (*Laminaria hyperborea*) og 20 000 tonn grisetang (*Asophyllum nodosum*), [3, 189]. Tarehøsting går hovedsakelig til alginatproduksjon (Dupont Nutrition Norge, tidligere FMC Biopolymer AS) og tanghøsting til tangmel (Algea AS). Selv med gode forvaltningsregimer av tare og utvidelse av høsteområdene er det usikkert om høsting av naturlige bestander vil kunne dekke fremtidig behov for råvarer [18]. Utenfor kysten av Nord-Norge har imidlertid rundt 2000 kvadratkilometer tareskog vært nedbeitet av kråkeboller i

opp mot 40 år. De siste årene er det registrert en betydelig tilbakegang av kråkeboller med påfølgende gjenvækt. Nedbeitingen av tareskog representerer et tap av stående biomasse på rundt 20 millioner tonn våtvekt og tilsvarende tapt produksjon per år [19].

Globalt produseres det omlag 18 millioner tonn rødalger, 10 millioner tonn brunalger og ca. 13 000 tonn grønnalger [3]. Produksjonen i Europa var i 2015 ca. 500 tonn med Frankrike og Irland som de største produsentene [3]. I dag er det innvilget ca. 300 tillatelsene til dyrking av tang og tare i Norge [38], alle tillatelser er innvilget i 2014 eller senere. I all hovedsak er det snakk om produksjon av sukkertare (*Saccharina latissima*), butare (*Alaria esculenta*), fingertare (*Laminaria digitata*) og søl (*Palmaria palmata*) [38]. Det foreligger tillatelse for å dyrke en rekke andre arter, men i produksjonen på disse tillatelsene er ukjent. Olafsen, Winther et al. (2012) har estimert en potensiell produksjon av marine makroalger i Norge på 4 millioner tonn innen 2030 og 20 millioner tonn innen 2050. Basert på en gjennomsnittlig årlig produksjon på 170 tonn/ha vil produksjonen i 2050 kreve 1200 km².

Selv om Norge har en lang kystlinje og med et økende antall tillatelser for kultivering av makroalger er det fortsatt lav total produksjon og aktiviteten er pågående i dag i noen få områder. Makroalge kultivering i Norge frem til i dag er karakterisert som pilot og forskningsaktivitet [18]. Det finnes en del kunnskap omkring dyrking av makroalger, spesielt fra Asia der makroalgerdyrking er storindustri i dag [190, 191].

4.3.1 Dyrking av tang og tare

Tare har det vi kaller diplohaplontisk heteromorph livssyklus med både en flercellet haploid generasjon og en flercellet diploid. Det vi forbinder med tareplanten er den diploide generasjonen. På tarebladene vil det til tider på året produseres haploide sporer som vil spire og danne egg og/eller spermatozoider. Etter befruktning av egget vil det utvikle seg en ny diploid generasjon [47].

Kultivering av makroalger kan foregå i sjø og/eller på land. I de fleste tilfeller vil reproduksjonen og produksjon av setteplanter foregå i kar på land. Setteplantene fester seg naturlig på substrat (tau) og disse overføres så til sjø. I sjø vil kultivering foregå enten i egne anlegg på strekk og i monokultur [192] eller som del av integrert multitrofisk akvakultur (IMTA) [193]. Monokulturer av makroalger dyrket på bøystrekk er den mest vanlige kultiveringsformen i dag. Ved IMTA er tanken at avfall fra en art vil kunne nyttiggjøres av en annen art lavere i næringsnettet. Ved dyrking av makroalger på eller i nærheten av fiskeoppdrett (IMTA) vil næringsalter fra fiskeoppdrett kunne nyttiggjøres av makroalger. For enkelte arter vil det kunne være snakk om etablering av landanlegg for produksjon. Dette vil være en kultiveringsmetode som egnet for noen få arter som har en høy pris og som er følsomme for bølger og strøm.

Dyrking av frittflytende makroalger i kar kan gi opp mot 10 kg våt algebiomasse pr. kvadratmeter oppløst karoverflate. Tankene holder biomassen samlet og ved hjelp av lufting og vannsirkulasjon kan algene holdes i sirkulasjon slik at hele biomassen får optimal lystilgang [175]. Kultur i tanker gir også mulighet for optimal gjødsling og epifyttkontroll.

Det er generelt vanskelig å kontrollere epifytter når tare og tang dyrkes i sjø eller i ufiltrert sjøvann. Ved dyrking på taustrekk i sjø har uønskete alger og dyr fri tilgang til alle overflater på den dyrkede makroalge. Epifyttisme på tang og tare på taustrekk i sjøen eller i landbaserte tanker kan til en viss grad kontrolleres ved å dyrke makroalgene med høy tetthet [194, 195].

På begynnelsen av 1970-tallet ble det rapportert at tareskogen forsvant samtidig som forekomsten av kråkeboller økte på kysten fra Midt-Norge og nordover. Det ble anslått at nærmere 2000 kvadratkilometer [134] frodig og artsrik tareskog var beitet ned og erstattet med naken steinbunn. I Porsangerfjorden har Havforskningsinstituttet, i samarbeid med Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA), Universitetet i Tromsø og Franzefoss Miljøkalk AS, etablert et prosjekt der man fjerner kråkeboller ved bruk av brent kalk for å restaurere tareøkosystemet. Innledende forsøk viser at kalkingsmetoden er effektiv, kråkebollebestanden reduseres øyeblikkelig og tarevegetasjonen vokser til på de behandlede lokalitetene. Gråsteinbit utfor kysten av Finnmark har kråkeboller øverst på menyen [196] og steinbitbestanden er i dag betydelig redusert. Utsetting av predatorfisk på kråkeboller som kyst-(fjord-) torsk, rødspette, steinbit og hyse kan være med på å holde kråkebollebestanden under kontroll. Gråsteinbit i den nyetablerte tareskogen vil kunne livnære seg på kråkeboller og skjell, og på den måten bidra til å hindre ny nedbeiting av tareskogen, samtidig som de selv blir en viktig ressurs, for eksempel i forbindelse med turistfiske. Reetablering av tareskogen med påfølgende ansamling av fiskeyngel, krepsdyr (som er føde for fisk)

totalt sett gi en klar økning av biomangfoldet. Det vil gi et svært stort samfunnsmessig utbytte gjennom potensial for økt kulturbetinget tarehøsting og muligens økt utbytte fra fiskeriene.

Det er en utfordring å dyrke tare til industriell anvendelse og prisene er lave, 170-200 kr/tonn [197]. Reetablering av tareskog og høsting av disse bestandene vil sannsynligvis være økologisk og økonomisk den mest bærekraftige løsning.

4.3.2 Produkter fra makroalger

I Norge har de naturlige høstede makroalgene hovedsakelig gått til produksjon av alginat og tangmel. I første fase av kultivering av makroalger har man fokusert på bioenergi. Dette har vist seg vanskelig på grunn av behov for stor biomasse (volum). Utfordringen har vært knyttet til teknologiutviklingen og at man i dag ikke har hatt tilgang til akvakultur lokaliteter for utvikling av nødvendig stor-skala produksjon [18]. I tillegg har markedsverdien for makroalger til bioenergi vært lav [18, 197, 198]. Det har vært pekt på nødvendigheten av å finne «høyverdi» produkter med utgangspunkt i makroalger [199]. Dette gir høyere markedsverdi samtidig som de kan dyrkes i noe mindre skala. Det foreligger en del kunnskap om kjemisk sammensetning i forskjellige arter av makroalger [200, 201]. Makroalgers høye innhold av proteiner, aminosyrer og mineraler nyttiggjøres allerede i dag som tilsetning til fôr og er i dag kommersielt tilgjengelige [201]. For en fremtidig næring er det viktig at man ser på muligheten til å utvinne nye kjemiske forbindelser og bruk av disse inn i marin ingrediensindustri.

I Asia benyttes størstedelen av kultiverte makroalger til mat. I Europa har man ikke hatt den samme tradisjon for å konsumere makroalger. I de senere årene har dette endret seg ved at man har større interesse for bruk av makroalger i og med at det har blitt mer tilgjengelig i dagligvarebutikker og at en del restauranter har fattet interesse for denne råvaren [11]. Det høye innholdet av karbohydrater, vitaminer, antioksidanter og i noen tilfeller proteiner gjør makroalger attraktive til mat (Olafsen, Winther et al. 2012). Samtidig skal man være oppmerksom på konsentrasjoner av arsen, kadmium og jod som vil kunne sette restriksjoner for bruk i human konsum [200]. Hvorvidt human konsum av makroalger blir viktig driver innen kommersiell aktivitet er usikkert, men vil kunne være et «nisje» produkt avhengig av hvilke arter som er aktuelle i dag og hvorvidt man finner nye arter med større potensiale. Det er i tillegg kjent en rekke andre forbindelser fra makroalger som anvendes i dag eller som potensielt vil kunne være produkter litt frem i tid [18].

Dyrking av makroalger i Norge begrenses primært av marked og pris. Dyrking av makroalger er i dag arbeidsintensivt og kostnadene ved produksjon blir derfor høye. Europa mangler tradisjon for tang og tare i mat og prisene for industriell anvendelse er lave. Kommersiell produksjon av makroalger vil kreve utvikling av effektive produksjonsregimer og helhetlig utnyttelse av produktene. Det bør vurderes å sette inn tiltak som stimulerer storskala produksjon med henblikk på industriell utnyttelse. Dyrking av tare kan på sammenlignes med skogbruk, bare at tare har en langt kortere omløpstid. Mens granskog har en omløpstid på 70-80 år og furu på 100-110 år har tare en omløpstid på ca. 1 år. For å benytte CO₂ bindingspotensialet for skog må vi vente 2-3 generasjoner mens vi ved dyrking av tare kan ta ut potensialet etter ett år.

4.3.3 Aktuelle arter

4.3.3.1 Sukkertare (*Saccharina latissima*)

Sukkertare er en stor, ettårig brunalge med et 1–2 m langt og 10–20 cm bredt, olivenbrunt, bølget blad, festet med en 10–30 cm lang stilk til stein og fjell. Veksten er sterkest om våren, da et nytt blad vokser ut samtidig som det gamle felles, slik at sukkertare beholder sin form og danner en permanent vegetasjon gjennom hele året. Om sommeren stopper veksten opp, og plantene begynner å utvikle sporer som produseres fram til neste vår. Sukkertare har en vid geografisk utbredelse på den nordlige halvkule, og finnes langs hele norskekysten (også på Svalbard) [202]. Sukkertare og fingertare har det høyeste teoretiske biometan utbyttet blant de irske brunalgene [203]. Innholdet av protein øker med næringssaltinnholdet i sjøvannet [204] og den kjemiske sammensetningen viser store sesongmessige svingninger [205].

4.3.3.2 Vanlig fjærehinne (*Porphyra umbilicalis*)

Vanlig fjærehinne er vanlig i fjæra og i bølgeslagssonen langs hele norskekysten. Festepunktet som fester fjærehinna til stein kan være spesielt hard i tørr tilstand, og er plassert i midten med blad som folder seg ut og

danner en rosett med diameter på 2–15 cm. Vanlig fjærehinne er medlem av den økonomisk verdifulle gruppen Porphyra, kjent ved det japanske navnet nori. Fjærehinne dyrkes i stor skala til mat i Asia [206].

Vanlig fjærehinne kan være en egnet kandidat for akvakultur, siden den har kort produksjonssyklus, rask vekst og høyt pigment og proteininnhold. Fjærehinne har en heteromorf generasjonsveksling som betyr at kjønnnet og ukjønnnet del av livssyklus ser forskjellig ut. Bladfasen, den algen man ser i fjæra, er ukjønnnet og kan danne sporer som vokser opp til en ny plante uten kjønnnet formering, eller den kan danne hann- og hunn-sporer. Når disse sporene frigis og befrukter hverandre danner de en mikroskopisk fase som kalles conchocelis-fasen [207]. Seksuell reproduksjon synes å være fraværende i bestander i Nordvest-Atlanteren, noe som kan forenkle produksjonen av setteplanter [208, 209].

4.3.3.3 Havsalat (*Ulva lactuca*)

Havsalat er den dominerende arten i grønnalgeslekta *Ulva* i Skandinavia, og finnes langs hele Norskekysten fra Oslofjorden til Finnmark. Havsalat er en ettårig grønnalge med salatliggende blad som blir 10-60 cm høye. De uregelmessige bladene sitter festet til underlaget med en liten hefteskive. Fargen på havsalat varierer fra mørkegrønn til lysegrønn, og når algen er fruktbar (fra april til september) kan man se en avfarget sone langs bladkanten. Havsalat er særbo med egne hann- og hunnplanter. Man kan finne havsalat hele året, men algen er best utviklet om våren og sommeren. Algen vokser på fjell, skjell og andre alger, fra strandsonen og ned til ca. 20 m dyp, og finnes både på utsatte og beskyttede lokaliteter. Hele algen kan anvendes både som mat og fôr. Unge planter som samles om våren smaker best [206].

Havsalat er utpekt som en mulig art for biologisk filtrering av avløpsvann fra fiskeoppdrettsanlegg eller annet vann med høyt innhold av næringssalter. Vi finner havsalat under ulike klima og praktisk talt overalt [210-212].

4.3.3.4 Fingertare (*Laminaria digitata*)

Fingertare er en brunalge som vokser på berg fra flomålet og ned til ca. 20 m dyp. Tallus er differensiert i et rotliggende hefteorgan, en stilk og en bladaktig plate. Vekstsonen er lokalisert til nedre del av platen. Stilk og hefteorgan er flerårig. Platen er mer eller mindre oppfliket, og sitter på den opptil 3 m lange bøyelige og glatte stilk. Fingertare er svært formvariabel. På utsatte steder kan taren være nesten stilkløs og ha lange, remlignende fliker. På beskyttede steder og på dypt vann er bladet bredere og tynnere, og har ofte hjerteformet basis ved overgangen til stilk, og er lite oppsplittet. Fingertare er utbredt i Nord-Atlanteren og Stillehavet. Arten er vanlig langs hele Norskekysten, fra Oslofjorden til Finnmark. Hele planten benyttes. Taren kan males opp til mel, eller den kan være utgangspunkt for utvinning av jod og alginater. Fingertare blir også vurdert som en aktuell art for biometanproduksjon [203]. Utbytte fra etanolproduksjonen fra fingertare er direkte relatert til laminarin innholdet og der maksimuminnholdet av laminarin ble funnet i juli. Maksimumverdiene av karbohydrater falt sammen med reduserte konsentrasjoner av aske og polyfenoler, noe som er gunstig i forhold til etanolfermentering [213].

4.3.3.5 Søl (*Palmaria palmata*)

Søl er en bladformet, litt læraktig rødalge som kan bli opptil 50 cm lang, men som vanligvis er 10-20 cm. Flere individer vokser ofte ut fra en felles liten hefteskive, uten noen tydelig stilk. Bladet kan være gaffeldelt i brede fliker, og har ofte brede utvekster (nye blad) i bladkanten. Fargen på nye skudd er frisk rød, mens eldre planter gjerne er mer mørkerøde. Søl er flerårig, men overvintret i redusert tilstand.

Søl er utbredt langs Atlanterhavskysten i Europa, fra Portugal til Baltikum. Arten finnes også langs kystene av Island og Færøyene, i arktisk Russland, arktisk Canada, Alaska, Japan og Korea. Søl er vanlig i Norge og er utbredt fra Oslofjorden til Finnmark. I Sverige finnes den langs vestkysten og et stykke inn i Øresund. Algen vokser ofte på tarestilker, og på fjell fra strandsonen og ned til ca. 20 m dyp. Plantene er best utviklet på utsatte lokaliteter [206].

Hele algen brukes, og søl kan samles hele året, men det sies at den er best tidlig på sommeren. Skal algen lagres lenge, bør man skylle den i ferskvann og la den tørke i solen. Søl har en god, litt nøtteaktig smak, og er lett fordøyelig.

4.3.3.6 *Butare (Alaria esculenta)*

Butare (*Alaria esculenta*) er en opptil tre meter fjærlignende tare som tidligere ble brukt til husdyrfôr, menneskeføde og gjødsel. Den liker best plasser kaldere enn 16 C med mye bølger, og fins derfor bare fra Mandal og nordover til Finnmark. På Svalbard er den vanlig sammen med fingertare.

Butare er, som andre tarer festet med flere tråder (heptar) til fast fjell. Stilken (stipes) er kort. Ulikt de andre tarene her til lands får stilken på butaren sporofyller, som er to rader med små mørkebrune blader fylt med sporer som brukes til formering. Et annet særtrekk er at stilken fortsetter som en del av avlange bladet (lamina) som utgjør det meste av butaren: Det blir opptil 20 cm bredt, flere meter langt, og fornyer seg hvert år vinterstid. Bladet vokser raskt fra januar til mai, men rives etterhvert her og der opp inn til midtribben (stilken) og får et rufsete utseende. Det kan bli 2-3 meter langt og er gulgrønt eller olivengrønt.

Butaren vokser ved lavvannsmaket, slik at ved fjære sjø blir den synlig i vannskorpa der den svaier frem og tilbake, ikke ulikt den bøyelige fingertaren, mens den stive stortaren er mer opprett og står lenger ut. Butaren kan også vokse litt lenger ut, ned til 20 meter hvis det er plass. På gode vokseplasser kan en kvadratmeter huse flere hundre butare. Fra oktober til mai slippes sporer ut av de små bladene som sitter på stilken [214].

Den består av sukker, proteiner, vitaminer og sporer. Opptil 42 prosent er alginsyre. Som menneskeføde foretrekkes den sprø stilken og utvekstene nede på stilken (sporofyllene). Oppdrett av butare gjøres i Irland der den renser vannet rundt anlegg for fiskeoppdrett [215]. Ved SINTEF utredet i 2009 butare som råstoff for biodrivstoff som bioetanol [197].

4.3.3.7 *Krusflik (Chondrus crispus)*

Krusflik og vorteflik er flerårige rødalger med lær- eller brusaktig konsistens, men de kan ellers ha svært variabelt utseende. Fargen er normalt lilla eller mørkerød, da det grønne klorofyllet i algene er dekket av det røde pigmentet fycoerytrin. Planter som vokser i strandsonen og som har vært utsatt for sterkt sollys kan være grønne eller avbleket. Krusflik er inntil 25 cm høy, flat og gjentatt gaffeldelt med 3-10 mm brede fliker, slik at den får vifteform. Krusflik er utbredt langs Atlanterhavets kyster i Europa (især i Irland) og Nord-Amerika. I Norge forekommer krusflik vanlig langs hele kysten fra Oslofjorden til Finnmark. I Sverige finnes algen langs vestkysten. Krusflik vokser på steiner og klipper fra strandsonen og ned til 15 m dyp.

Krusflik inneholder store mengder gelédannende polysakkarider, kjent som karragenan eller carrageenan. Videre finnes inntil 10 % proteiner, aminosyre, stivelse, galaktosid (floridosid), vitaminer (om sommeren mye vitamin A), mineraler (bl.a. mye jod) og sporstoffer.

4.4 Dyrking av marine filterfødere (filtrerende organismer)

Marine filtrerende organismer er dyr som fanger føde fra vannmassen over spesialiserte filtrerende strukturer. Disse dyrene er vanlige blant de virvelløse dyrene og noen eksempel er; svamper, maneter, leddormer, slangestjerner, dyreplankton, krill, skjell og sekkdyr. Det finnes også filtrerende organismer blant virveldyrene som fisker, fugler (flamingoer) og hval. I denne delen av rapporten ser vi på muligheten for dyrking av marine virvelløse filtrerende organismer.

Verdens behov for mat vil øke mye i de neste 20 årene [216]. I denne sammenhengen er det store forventninger til produksjon av marine filtrerende (virvelløse) arter. Dette skyldes at disse organismene er primærkonsumenter og beiter på den klart største føderessursen i det marine miljøet - planteplankton. I dag benyttes tilnærmet all dyrkede marine filtrerende organismer til mat for mennesker og på verdensbasis dyrkes det mest av filtrerende skjell (ca. 17 millioner tonn) i ikke fôret marin produksjon av dyr [217]. Som følge av det store potensialet for biomasseproduksjon kan slike organismer også bidra til å dekke det økende behovet for fôr, energi og andre etterspurte organiske molekyler. Filtrerende organismer utfører også en rekke andre økosystemtjenester som å rense vann for partikler, motvirke eutrofiering, binde karbon, forme strukturelle habitater for andre marine organismer, stabilisere habitater og i noen tilfeller også kystlinjer. I Norge dyrkes det per 2018 blåskjell, flatøsters, stort kamskjell og sekkdyr av de marine filtrerende organismene.

4.4.1 Dyrking av marine filtrerende organismer

4.4.1.1 Blåskjell



Figur 4.1. Verdi (NOK) og produksjon (tonn) av blåskjell i Norge. Merk at verdi fra omsetning av skjell er vesentlig høyere og at solgt volum er vesentlig lavere enn mengde presentert i figuren.

Fiskeridirektoratet registrerer mengde (tonn) og verdi av dyrkede blåskjell i Norge (høstet volum før vasking, sortering og pakking) og har data for perioden 2002 til 2016 (Figur 4.1). Volumet av dyrkede blåskjell var høyest i 2005 med 4885 tonn, hvoretter volumet avtok til 1609 tonn i 2009. Fra 2009 til 2016 har det vært en forholdsvis jevn men moderat økning til dagens produksjonsvolum på 2176 tonn. Verdien av dyrkede blåskjell økte markant i 2015 og 2016 (Figur 4.1). I dag er etterspørsel større enn

produksjon og det er dyrkningskapasiteten som begrenser produksjonen. Blåskjell dyrkes hovedsakelig langs kysten av Trøndelag og Nordland, og skjellene er utelukkende til human konsum. Det er antatt at produksjonen sysselsetter 35-40 årsverk. Det er også en pågående aktivitet for å undersøke om dyrkede blåskjell er egnet som ingrediens i fôr til oppdrettsfisk (se kunnskapsstatus).

Dyrking av blåskjell er basert på yngel fra settling av naturlig forekommende larver og naturlig føde. Det forbruker ikke ferskvann, tilføres ikke fôr, gjødsel, legemidler eller brukes aktiv seleksjon/avl. Produksjonen ansees som økologisk og arealeffektiv. Blåskjell dyrkes på tauverk i bøyestrekkanlegg, og konsumskjell høstes normalt etter to år i Sør-Norge og etter tre år i Nord-Norge.

Det råder i dag optimisme og investeringsvilje blant aktørene som er igjen i bransjen. Det Norske markedet har hatt en positiv utvikling de siste årene og det er bedre kontroll med flere faktorer som tidligere manglet for å lykkes med eksport av ferske blåskjell til EU. Målet til næringen å øke produksjonen av pakkede ferske blåskjell til 3 000 tonn i 2020 og 5 000 tonn i 2025. Det er forventet at økt volum vil bedre lønnsomheten i næringen.

4.4.1.2 Flatøsters

Det har vært en beskjeden men stabil produksjon av flatøsters de siste 10 årene. De siste årene har stillehavsøsters høstet på Sørlandet kommet inn i markedet, og denne kan på sikt erstatte noe av flatøstersen, med mindre økt oppmerksomhet fører til et større marked for både flatøsters og stillehavsøsters.

4.4.1.3 Sekkdyr

Det har vært dyrket sekkdyr (*Ascidacea*, *Tunicata*) i Asia i lang tid, med produksjon til human konsum i relativt liten skala som dominerende. Det dyrkes arter innen familier Styelidae og Pyuridae [218]. I tillegg til dyrking høstes vilt voksende sekkdyr i Asia, Russland og Chile. Tidligere var det også en aktivitet på dette i New Zealand, Australia, Middelhavet [218] og i Skandinavia. I Skandinavia er dyrking en relativt ny industri, med få aktører, som har fokusert på grønnsekkdyr (*Ciona intestinalis*). Industrien er rettet mot fiskefôr, bioenergi og

biopolymerindustrien (Ocean Bergen AS). Dette er en oppstartsindustri som per i dag er i pilotskala, og mye av utviklingen skjer nå på prosessering og produktutvikling.

Sekkdyr dyrkes på langliner i sjøen. Slik er produksjonsmetode og teknologien relativt lik den for skjell. På lik linje med blåskjell dyrking i Norge så er dyrking av sekkdyr basert på naturlig rekruttering av larver der vekst skjer gjennom opptak av naturlig føde, og ansees som økologisk og arealeffektiv.

4.4.1.4 Stort kamskjell

Kamskjell regnes som et verdifullt sjømatprodukt i global akvakultur med dyrking av 12 forskjellige arter, og en produksjon på 1,2 millioner tonn. Kina og Japan står for hele 90 % av produksjonen. I Europa er arten stort kamskjell (*Pecten maximus*) høyt verdsatt og det har derfor vært betydelig interesse for dyrking av denne.

I Norge ble utviklingsarbeidet med etablering av klekkeri og forsøksdyrking i hengende kulturer startet sent på 1980 tallet. Kompetanse på klekkerisiden ble tidlig hentet fra Frankrike og England, mens forsknings og utviklingsarbeidet som ble gjort i Norge utover på 1990 og 2000 tallet bidro til at kompetansen på flere felter innen dyrking etter hvert ble blant den fremste internasjonalt. Norske forskere har sammenfattet internasjonal forsknings- og utviklingsarbeid innen yngelproduksjon av stort kamskjell i klekkeri [219] og status for forskning og utvikling av kamskjell dyrking i Europa [220].

Scalpro AS har gjennomført forsøk med ørehenging av stort kamskjell i Ulvesundet i Øygarden kommune. Forsøkene viser at dyrkingen gav god vekst og lite begroing. Lokaliteten er lite påvirket av blåskjell. Selskapet ønsker å prøve dyrking ved ørehenging i større skala.

4.4.2 Kunnskapsgrunnlaget for dyrking av marine filtrerende organismer

Dyrking krever omfattende kunnskap om artens produksjonsbiologi og økologi. Globalt finnes klart mest kunnskap fra de kommersielt viktige artene, og i Norge har vi utstrakt kunnskap om dyrking av blåskjell, flatøsters og kamskjell og i økende grad for grønnsekkdyr. Dette gir et godt grunnlag for å utvikle produksjonen, men en storstilt dyrking vil kreve en vesentlig økning i forskning på produksjonsbiologi og økologi for å kunne realisere det store potensialet.

4.4.2.1 Blåskjell

Blåskjell vokser ved å beite på partikler i sjøvann og omdanne dette til vev. Tidsmessige og romlige endringer i fødekvantitet og tilgjengelighet vil derfor påvirke vekst, fysiologi og utbredelse [221-223]. Det meste av Norges kystvann har relativt lav konsentrasjon av føde sammenlignet med steder i verden hvor det produseres store kvanta av skjell. Samtidig varierer konsentrasjonen av føde mye i tid og rom langs Norskekysten.

Blåskjellenes spiseatferd er undersøkt for en utpreget fjordlokalitet [10, 173, 224] og en kystlokalitet [225, 226]. Resultatene viser at skjellene har høyere spiserate [225] og fanger små partikler (1-10 μm) dårligere [173] sammenlignet med blåskjell fra miljøer hvor det er mer føde. En annen klar forskjell er at skjellene svelger tilnærmet alle partikler som fanges på fødeapparatet. De skiller altså ikke ut «falske fekalier» (pseudofeces) som er vanlig i miljøer hvor det er mer føde. Selv om blåskjell fra våre farvann spiser betydelig fortere så er denne muligheten til å øke fødeopptaket begrenset. Når potensialet for å øke spiseraten er nådd er det konsentrasjonen av føde som hovedsakelig styrer vekst. Således er det vist at blåskjell med god tilgang på føde (klorofyll $a = 2,8 \text{ mg m}^{-3}$) har en noe redusert spiserate ($2,8 \text{ l g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) men oppnår betydelig høyere kjøttvekt (>30 %) sammenlignet med blåskjell med typisk tilgang på føde (klorofyll $a = 1,5 \text{ mg m}^{-3}$) og høy spiserate ($3,5 \text{ l g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) [10]. Dermed er kjennskap til lokal forekomst av føde i tid og rom samt dyrkningsorganismens fødefysiologiske respons viktig parametere i vurderinger av egnethet til lokaliteter og estimering av systemets produksjonsbæreevne, med avgjørende betydning for vekst, skjellkvalitet, produksjonstid og kostnader.

Miljøforhold varierer mye med dyp i det marine miljø. De største variasjonene finnes i og nært overflaten hvor blåskjell dyrkes. Her kan det være store variasjoner i temperatur, salinitet og fysisk påvirkning som bølgeslag og isskuring. Det er nødvendig å ha god kunnskap om de viktigste miljøforholdene som påvirker vekst og overlevelse hos blåskjell for å lokalisere dyrkningsanlegget på rett sted. Miljøforhold og forurensing er utfyllende beskrevet for dyrking av blåskjell i «Skjell- biologi og dyrkning» [227]. For en fremtidsrettet storskala dyrking av marine filtreere er det behov for utfyllende kunnskap om hvordan fødefysiologi og vekst varierer over gradienter i føde (kvantitet og

kvalitet) og miljøfaktorer (saltholdighet, temperatur etc.) fra fjord til kyst og fra sør til nord i landet. Denne kunnskapen trengs for å tilpasse produksjon til bæreevne (egnet lokalisering) og for å vurdere ringvirkninger aktiviteten kan ha i økosystemet (se avsnittet økosystemeffekter).

Undersøkelser viser at intensiv dyrking av blåskjell kan medføre redusert vanngjennomstrømning og uttømming av føde, med påfølgende redusert og variabel vekst i skjellanlegg [228-230]. Det er utviklet modeller for å beregne variasjoner i vekst, uttømming av føde, reduksjon av strømhastighet i skjellanlegg ved ulike utforming av anlegg (avstand og lengde til bæreliner) for forskjellige miljø (fødekonsentrasjon, strømhastighet og temperatur) [231, 232]. Modellene kan brukes til å vurdere en lokalitets egnethet eller å tilpasse biomasse etter lokalitetens produksjonsbæreevne, gitt kunnskap om vannbevegelse og fødekonsentrasjon.

Sjøstjerner og ærfugl er de vanligste rovdyrene på dyrkede blåskjell. Sjøstjerner kan komme på anlegg hengende i vannsøylen enten ved at de bunnskrå eller krype opp på utstyr som er i kontakt med bunnen. Vanlig korstroll er den vanligst sjøstjernen på blåskjellanlegg og kan i enkelte år forekomme i store tettheter. Den har et stort vekstpotensial og kan tidvis påvirke bestanden av dyrkede blåskjell. Ærfugl kan forekomme i store flokker og en enkelt fugl kan spise 2,5 kg blåskjell per dag. Det er kjent at ærfugl kan tømme blåskjellanlegg i løpet av noen uker [233]. Det finnes tiltak for å redusere predasjon fra ærfugl som avskyting og skremming (laser, lyd, fugleskremser etc.).

Overflaten til skjell vil normalt ha en eller annen form for begroing ettersom skjellene blir eldre. Assosiert flora og fauna er organismer som koloniserer skall eller blåskjelltauene. Det er funnet 24 slekter av assosiert fauna i forsøk med blåskjelltau [234]. I disse forsøkene økte diversiteten av assosiert fauna med tiden, og biomassen var dominert av sekkdyr. Flest arter av assosiert fauna ble funnet blant leddmark, leddyr og sekkdyr, men nesledyr, skjell, pigghuder, mosdyr og snegler ble også registrert. Begroingsorganismer som rur, kalkkrørrmark og sekkdyr er uønsket da de fester seg hardt til skallet, reduserer skjellkvaliteten, øker konkurransen om føde, vanskeliggjør produksjonen og medfører ekstra kostnader [235, 236]. Forekomst av assosiert flora og fauna varierer mellom lokaliteter og med miljøforhold. Skjellanlegg, både som fysisk struktur/skjul og føderessurs, tiltrekker seg også fisk og sjøfugl [237].

Norge har en god helsestatus på skjell. Det er helt avgjørende å beholde den gode helsestatusen. Funn av skjellparasitten *Marteilia* / *Paramarteilia* spp i blåskjell på Bømlo og sommerdødelighet forårsaket av herpesviruset OsHV-1 i Oslofjorden understreker viktigheten av å unngå import og flyttinger av skjell mellom ulike produksjonsområder. Produksjonen må følges opp med helsekontroll og overvåking.

Algetoksiner har gitt blåskjellnæringen utfordringer. Først fra 1998 til 2004 der Vestlandet og sørover var hardest rammet, hovedsakelig som følge av diaréfremkallende toksiner (DST). Fra 2004 flyttet problemet seg til Nord-Norge og bremsede utviklingen av blåskjellnæringen der. Mesteparten av produksjonen foregår nå i Trøndelag og på Helgeland. Disse områdene har stort sett hatt mindre problemer enn resten av landet, men i løpet av de siste årene har imidlertid algetoksiner blitt noe mer vanlig også her. Det har vært gjort mange forsøk på å løse problemene med algetoksiner med ulike former for avgiftning, og god tilgang på føde (giftfri) vil redusere konsentrasjon av gift i blåskjell som følge av økt vevsvekst (fortynning) [238]. Kontrollert oppstrømning av næringsrikt dypvann øker fødemengden av typisk giftfrie arter [239] og fremmer vevsvekst hos blåskjell [10] og kan således bidra til mindre utfordringer med giftige skjell. I dag unngås de mest utsatte lokalitetene og tilgang til skjell sikres med uttak fra giftfrie områder [240].

Blåskjelldyrkerne har gjennom de siste 30 årene opparbeidet mye kunnskap og erfaring. Dette inkluderer dyrking og røkting av ulike typer av skjellanlegg, sortering og reutsetting av skjell, høsting, egnede lokaliteter, variasjoner i vekst, forekomst av algetoksiner, predasjon fra rovdyr, forekomst av assosiert flora og fauna, påslag av yngel, etc. I forbindelse med å realisere planlagt vekst i dyrking av konsumskjell etterspør næringen (Håvard Åkerøy, Norgeskjell AS) mer kunnskap om:

Ærfugl. De siste årene har veksten i bransjen hovedsakelig vært begrenset av tilgang på skjell og ikke tilgang på marked. Tiltak for å øke produksjonen i sjøen har ikke gitt mer produksjon, noe som i hovedsak skyldes økende predasjon fra ærfugl. Det trengs kunnskap som kan gi nye driftsstrategier eller teknologi som reduserer tap av skjell som følge av ærfugl.

Det trengs kunnskap og teknologi som gjør at det kan produseres mer skjell på eksisterende lokaliteter. Eksempel på dette er tiltak som gjør at primærproduksjonen i sjøen øker lokalt slik at skjellene vokser raskere, får høyere

matinnhold og den enkelte lokalitet kan ha høyere biomasse. Se ellers tekst angående tilgang på føde, lokalisering og bæreevne og kapittel 4.2.4 om kontrollert oppstrømning av næringsrikt dypvann.

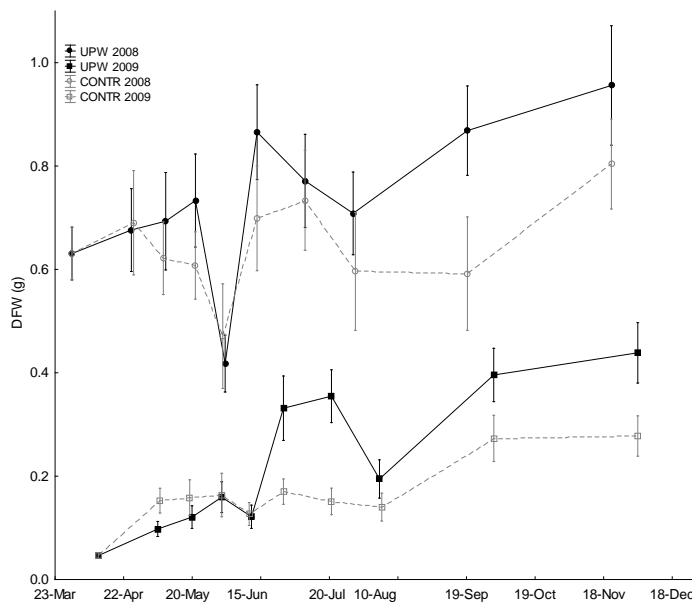
Andre begroingsorganismer og predatorer. Påslag av organismer som kalkrørsmark, sekkdyr og sjøstjerner medfører hvert år store tap for næringa. Problemene varierer sterkt fra lokalitet til lokalitet og fra år til år. Det trengs kunnskap som kan gi nye driftsstrategier eller teknologi som reduserer problemet med begroingsorganismer og sjøstjerner som fortrenger eller beiter på skjellene.

Myndighetskrav. Det er de senere årene gjort en del innstramninger fra myndighetene i forhold til system for klassifisering av lokaliteter, toksintesting, vann- og avfallshåndtering mm. Næringen oppfatter at en del av forskriftene er tilpasset fiskeproduksjon og er mindre relevant for oppdrett av blåskjell. Deler av regelverket er også tilpasset blåskjellnæringen lengre sør i Europa hvor man har andre utfordringer. Dette kommer spesielt sterkt til uttrykk i forhold til «nye arter» (hjerteskjell, sandskjell, knivskjell oa.) som høstes fra ville bestander i relativt små kvantum. Kostnader knyttet til nytt regelverk begrenser utviklingen av nye arter som følge av lav inntjening ved omsetning av små volum.

Arbeidsintensiv produksjon. Dyrking av blåskjell i sjø er i dag arbeidskrevende. For at næringen skal kunne være konkurransedyktige med vårt kostnadsnivå, er det nødvendig å utvikle mer rasjonelle og automatiserte metoder og utstyr.

Det er behov for kunnskap som kan gjøre forvaltning av næringen mindre «føre var» enn i dag. Bedre forståelse av skjellsykdommer, skjell som vektor for fiskesykdommer, mekanismer rundt opptak og avgivelse av algetoksiner, miljøeffekter av blåskjellproduksjon, risiko for spredning av uønskede arter ved transport av skjell mm vil kunne bøte på dette.

Fremmedstoffer og miljøgifter. Næringen lever av å selge sunn og miljøvennlig mat. Når det sås tvil om at blåskjell er sunt som følge av mikroplast og ulike miljøgifter kan dette ha en svært uheldig effekt i forhold til bransjens markedsmuligheter. Det er behov for kunnskap om opptak og effekter av mikroplast og miljøgifter i blåskjell.



Figur 4.2 viser høyere sesongmessig matinnhold (y-akse, tørrvekt (g)) for ett- (nederste to linjer) og to år gamle blåskjell (øverste to linjer) under økt konsentrasjon av naturlig føde (heltrukken linje) som følge av kontrollert oppstrømning av dypvann, sammenlignet med naturlig føde (stiplet linje) i Lysefjorden for året 2010 (x-akse) [10].

Dyrking av blåskjell som en fôrråvare er en ny aktivitet. I de senere år har mel av blåskjellkjøtt blitt testet som ingrediens i fôr til oppdrettsfisk, både med formål som attraktant og som fôrråvare (H. Sveier, Lerøy ASA). Som attraktant kan blåskjell medvirke til økt appetitt og tone ned ingredienser med mindre god smak. Blåskjellmel har tilsvarende proteininnhold og aminosyreprofil som fiskemel, og i forsøk med atlantisk laks er det ikke funnet forskjeller i vekst mellom fisk fôret med blåskjellmel eller kommersielt fiskefôr. Det er også funnet bedre smak og fastere tekstur av ørretfiltet når fisk ble gitt blåskjellmel [241]. Dette indikerer at blåskjell kan inngå som en fôringrediens til oppdrettsfisk, men dagens blåskjellmel har et relativt høyt innhold av aske. Dette skyldes rester av skall fra prosessering. Næringen jobber for å få ned innholdet av aske gjennom videreutvikling av prosesseringsteknikkene som brukes til å skille skallet fra bløtdelene.

Utbyttet av blåskjell som føringrediens er i store grad betinget tidspunkt for høsting da matinnhold og biokjemisk sammensetning varierer mye gjennom året hos filtrerende skjell i tempererte områder. Denne sesongmessige variasjonen er knyttet til tilgang på føde, sjøtemperatur og reproduksjonssyklusen til dyrene [10, 242-248]. Hos skjell er reproduksjonssyklus, matinnhold, lagring / forbruk av opplagsnæring, og kvalitet nært knyttet sammen [248, 249]. Det er betydelige forskjeller i hvordan disse egenskapene utvikler seg mellom ulike steder og til og med innenfor bestander [247]. Figur 4.2 indikerer også at blåskjellene som fikk økt konsentrasjon av naturlig føde; a) viste hurtigere gjenoppbygging av vev etter gyting (to øverst linjer), og b) ett år gamle blåskjell gjennomgikk reproduksjon og gyting. God kjennskap til lokal tilgang på føde er således nødvendig for å optimere dyrking og høsting av et høyt matinnhold hos blåskjell.

I en vurdering av utbytte av matinnhold av blåskjell til fôr er små skjell (2-5 cm skallengde) å foretrekke fremfor større skjell [250]. Dette skyldes at små skjell har et tynnere skall og høyere matinnhold i henhold til størrelse. Den sesongmessige variasjonen i det biokjemiske innholdet til matinnholdet (askefri tørrvekt til kjøttvev) varierer mellom 52-82 % for protein, 7-36 % for karbohydrater og 3-13 % for lipider [247]. Sesongmessig vekst og biokjemisk sammensetning er gitt den økofysiologiske responsen til miljøet og reproduksjonssyklusen til blåskjellene. Næringen etterspør denne kunnskapen for å optimere tidspunkt for høsting etter høyest matinnhold og best ernæringsverdi.

Produksjon og bruk av blåskjell til fôr trenger en integrert og effektiv løsning for separasjon av innmat og skall, samt konservering av biomassen. Matinnholdet hos blåskjell utgjør om lag 30 % av våtvekt ved høsting, noe som betyr transport av store volumer med lavt utbytte dersom skjellene ikke prosesseres hvor de høstes.

Innmaten må konserveres kort tid etter fjerning av skallet. Produksjon av ensilasje er en velkjent konserveringsmetode, og brukes blant annet til å konservere biprodukter fra fisk. En slik ensilasje gir et næringsrikt råmateriale til laksefôr [251, 252], men det gjenstår å prøve ut denne metoden for konservering av blåskjell. Videre må ensilasjen tørkes til blåskjellmel etter konsentrat.

Det legges vekt på at fôr skal være næringsrike. Det er lite rom for mye fyllstoffer uten ernæringsmessig verdi, som for eksempel mye aske eller fiber. Det er gjennomført forsøk hvor blåskjellmel (inklusive skallet) ble inkludert i fôrresepten [253]. Utfordringen med dette fôret var det høye askeinnholdet (50-60 %) som primært kom fra skallet til blåskjellene. Ocean Forest har forsøkt å skille vevet fra skallet med ulike skrupper og sentrifugeringsteknikker (H. Sveier, Ocean Forest / Lerøy). Det produserte blåskjellmelet har fortsatt for høyt innhold av aske til å være en egnet ingrediens i fiskefôr, og det er behov for å videreutvikle teknikker for å få ned askeinnholdet i blåskjellmel.

Utpøring og vurdering av blåskjell som føringrediens basert på produksjon og næringsinnhold er fånyttet dersom råstoffet ikke tilfredsstiller gjeldende krav til matsikkerhet. Det er derfor viktig å fremskaffe data over nivåer av uønskede stoffer i blåskjellmel for å dokumentere sikker bruk av ressursen. Dette inkluderer overføring av algetoksiner fra blåskjellmel til fiskefilet, og om uønskede stoffer påvirker fiskevelferd. Dokumentasjon av næringsinnhold og matsikkerhet gjennom produksjonssyklusen til blåskjell vil også bidra til å bestemme optimal tid for høsting av ønskede egenskaper (biomasse, biokjemisk sammensetning og energiinnhold).

4.4.2.2 Flatøsters

Dyrking av flatøsters skjer i to faser; yngelproduksjon og påvekst. Yngelproduksjonen kan gjøres i klekkeri eller på tradisjonelt vis i poller. Klekkeriproduksjon av flatøsters har vist seg å være krevende. Klekkerier i Frankrike, Danmark, Sverige og Norge har produsert flatøstersyngel, men erfaringene er variable. Utbyttet er uforutsigbart uten at det er funnet noen klar årsak til dette. Produksjon i poller er godt beskrevet og fungerer bra, men produksjonen er arbeidskrevende og driften av en poll krever god oppfølging. En stabil yngelproduksjon av flatøsters vil sannsynligvis fungere best som et samarbeid mellom klekkeri og poller.

Flatøsters dyrkes i kasser i både yngelfasen og påvekstfasen. Utfordringene er i prinsippet de samme som for blåskjell i forhold til god vanngjennomstrømming for å sikre nok føde. Her har utfordringene vært å balansere lav tetthet av skjell med rimelig begrenset arbeidsinnsats. Den beste kvaliteten får man utvilsomt dersom østersen holdes i enkeltkasser med god vannstrøm både over og under. I tillegg er det nødvendig med høy arbeidsinnsats i forhold til vasking eller skifte av kasser flere ganger per år. Her har det vært gjort utviklingsarbeid i forhold til mekanisering. På 1990-tallet ble det utviklet et halvintensivt system som kombinerte klekkeri- og pollteknologi. Det kan være hensiktsmessig å se på dette systemet og bygge videre på erfaringene derfra. Vekstfasen frem til

høstbar størrelse skjer i hengekulturer. Skjellene oppbevares gjerne i et mottaksanlegg med kontrollert vannkvalitet før de selges.

For både flatøsters, stillehavsøsters og andre skjell som spises rå er norovirus en stor utfordring. I Norge har en av næringsaktørene gjort en stor innsats i å utvikle en strategi basert på lagring i norovirusfritt dypvann i en periode på rundt tre uker, men her trengs oppfølging med forskning for å kvalitetssikring. Se videre diskusjon av dette under kapittel 4.4.5.2 Begrensinger.

4.4.2.3 Sekkdyr

Vi finner sekkdyr langs hele kysten av Norge og dyrene kan tidvis være den mest vanlige påvekstorganismen på nye strukturer i vannkolonnen. Industriell utnyttelse av sekkdyr i Norge har spesielt vært fokusert på grønnsekkdyr (*Ciona intestinalis*). Denne arten har vært en modellorganisme i evolusjonær utviklingsbiologi i over 100 år, genomet er sekvensert, og vi har en generell god biologisk forståelse om grønnsekkdyret i dets naturlige habitat [254].

Grønnsekkdyr er tvekjønnet og kjønncellene slippes fritt i vannkolonnen der eggene befruktes. Reproductiv alder varierer med temperatur, mattilgang og populasjon, og kjønnsmodning er mer avhengig av størrelse på dyret enn alder. Studier fra våre breddegrader indikerer at individer må bli 50-80 mm lange innen de blir kjønnsmodne [255-257]. Kjønnceller produseres kontinuerlig og man estimerer en total produksjon mellom 10 000-100 000 egg per individ [257, 258]. Utviklingstiden er avhengig av temperatur men generelt så vil befruktede egg klekke etter 1-3 dager [254]. Larven er pelagiske og bunnslår etter 2-10 dager [259]. Larvene vil da kunne spres 100-1000 meter avhengig av blant annet hydrografiske forhold [259]. Etter bunnslåing vil larvene gjennomgå en metamorfose og få sin karakteristiske voksne sylindereform, med en inn- og utstrømsifon for å filtrere partikler fra vannet. Levetiden er fra 3-6 måneder i varme breddegrader (ca. 15-25°C) til 1-2 år i kaldere områder (5-20°C) [255, 260, 261].

Vekst hos grønnsekkdyr varierer med mengde matpartikler og temperaturer. Petersen et al. [262] rapportert en maksimal vekstrate på 7.7 % (tørrvekt indre dyr). Data fra norske forhold (Ocean Bergen AS) viser en lengdevekst på ca. 2.4 % d⁻¹ hvilket er i samsvar med andre studier (tabell 5 i [263]). I en studie som sammenliknet evnen til å fange partikler hos blåskjell og grønnsekkdyr, så hadde grønnsekkdyr en effektivitet på 70 % for partikler i størrelsen 1 µm og opp, mens blåskjell hadde en effektivitet på 30-40 % på partikkelstørrelsen 2 µm og opp [173]. Det gjør at fødegrunnlaget kan være litt annerledes enn for andre filtrerende dyr, som for eksempel blåskjell, som har mindre effektiv fangst av disse små partikler.

Tettheten av dyr på forskjellige strukturer i akvakultursammenheng kan være opp til 10,000 individer per m² [264] men dette varierer og vi finner oftest tettheter tilsvarende ca. 2500 voksne individer per m² over hele vannkolonnen. Dybern [265] beskrev tettheter av grønnsekkdyr i naturlige miljøer og rapporterte fra 1500-5000 individer per m². Grønnsekkdyr lever fra overflaten ned til 500 m [254, 266], men vi finner den oftest på grunnere vann og ned til ca. 30-50 m dyp. Grønnsekkdyr er både temperatur- og salttolerant. Generelt tåler de temperaturer opptil 21°C uten stressadferd [267], men kan overleve ved opptil 30°C [255]. Tidligere studier har vist en toleranse mellom 8-22°C for normal eggutvikling og 6-24°C for larveutvikling [255]. Man har også observert stor variasjon i salttoleranse hos ulike populasjoner av grønnsekkdyr, med overlevelse ved saltholdigheter fra 11 til 35 ‰ [268]. En nylig studie viser at det er stor grad av fenotypisk plastisitet i populasjoners toleranse av ulike saltholdighet hos grønnsekkdyr, og at akklimatisering av foreldregenerasjonen er en viktig del av overlevelse til larver i nye miljøer [269].

Grønnsekkdyr har en ytre mantle som inneholder cellulose. Cellulosen er strukturell og bidrar til å opprettholde den sylindriske voksne formen. Lambert [270] viste at mantelen inneholder svovelsyre og saltsyre, og foreslo at mantelen av den grunn kan ha en antipredatorfunksjon. Man har observert at krabber må klippe opp mantelen for å spise den protein- og fettrike indre delen av dyret [257], og når vanlig korstroll spiser på grønnsekkdyr så unngår de mantelen [271]. Flere fiskearter har vært observert å spise grønnsekkdyr, men om disse fiskearter klarer å bryte ned mantelen og om grønnsekkdyr er å foretrekke fremfor annen føde er ikke kjent. Kjemisk sammensetning av indre dyr viser at de er rike på både proteiner og omega-3 fettsyrer, hvilket tilsier at deler av grønnsekkdyr er en god næringskilde for blant annet fisk. Preliminære studier med foring av grønnsekkdyr til laks er gjennomført med lovende resultater (pers. komm. Ocean Bergen AS).

Kommersielt dyrkes grønnsekkdyr på langline systemer. Størrelsen på anleggene vil være avhengig av tilgang på fødepartikler i hvert spesifikt økosystem. På lik linje med blåskjell så er det viktig å innhente kunnskap om fødegrunnlaget for sekkdyr. Modeller eksisterer per i dag for å estimere produksjon av filtrerende organismer

kultivert på langliner [232], og en vekstmodell er under utvikling (DEB). Dette kan gi industrien et mer nøyaktig estimat på produksjonskapasiteten for et gitt økosystem.

4.4.2.4 *Stort kamskjell*

Parallelt med forskning og kompetanseoppbygging ble det sent på 1980 tallet etablert privat utbygging av fullskala klekkeri og utprøving av metoder for dyrking i hengende kulturer. Produksjon av yngel ble utviklet og økt frem mot et nivå på 15 millioner 2 mm yngel og 2,5 millioner 15 mm yngel i perioden 1998-2011 [220, 272]. De største utfordringene knyttet til stabil produksjon var blant annet vannkvalitet, algeproduksjon og ombygging av klekkeri. Etter 2011 har produksjon vært dominert av 2 mm yngel til eksport. Utnyttelse av kapasiteten i yngelproduksjonen er i dag begrenset av etterspørsel.

I takt med utviklingen av yngelproduksjon i klekkeri (1-5 mm yngel) er ulike metoder og utstyr utviklet og anvendt for dyrking frem til 15-30 mm yngel, enten i sjø eller i landanlegg, klar for overføring til såkalt mellomkultur [219]. Et eksempel fra senere år i dette arbeidet er utvikling av et kostnadseffektivt landbasert yngelanlegg for vekst fra 1,5 mm til > 15 mm yngel [273]. Anlegget har 20 % høyere driftskostnader enn anlegg i sjø, men bedre overlevelse gir bedre lønnsomhet. I den såkalte mellomkultur, fra 15-30 mm til yngel klar for utsett i havbeite, er det gjort omfattende prøvedyrking langs kysten som gir godt kunnskapsgrunnlag om riktig miljø for dyrking og lokalisering [227, 274]. Oppskalering av dyrking i mellomkultur har operert anlegg med yngelantall i skala flere millioner. Samlet sett er det etablert kompetanse og strategier knyttet til sentrale forhold i mellomkultur som, overlevelse, vekst, yngelkvalitet, lokalisering og overordnet lønnsomhet, samt metoder og utstyr for transport av ulike størrelser yngel, avgjørende for kunne dyrke frem yngel for dyrking (ørehenging) eller utsetting i havbeite (se kapittel 4.2.1.1) [227, 275, 276].

4.4.3 **Aktuelle arter og bruk**

En vurdering av aktuelle arter for fremtidens dyrking i kyst og fjord er i stor grad betinget formålet med aktiviteten og innenfor hvilken tidshorisont en søker å oppnå målene. Med bakgrunn i et kortsiktig mål (<10 år) om å dyrke lavtrofisk biomasse for global matsikkerhet, før og/eller energi er det nærliggende å fokusere på arter med et antatt stort produksjons-potensial, og hvor det allerede er god kunnskap og kompetanse på produksjonsbiologi og økologi. Kunnskapsgrunnlaget for å forstå effekter på økosystemet og gi råd om relevant overvåking av storstilt dyrkning vil også være langt bedre for disse artene. En oppskalering av biomasse på kort sikt fremstår som lettest mulig ved å løse «flaskehalsen» i den pågående produksjonen av blåskjell, flatøsters og grønnsekkyr. På kort sikt kan også stillhavsøsters ha et stort potensial for dyrking, men da dette er en introdusert art må denne vurderes spesielt.

Gitt et lengre perspektiv (10+ år) for utvikling av dyrking av marine filtrerer åpner dette for andre arter og andre dyrkingsmetoder. Noen eksempler på arter er haneskjell, harpeskjell, urskjell, knivskjell og hjerteskjell. Disse artene er etterspurte som konsumskjell og oppnår relativt gode priser i markedet. Gitt god kjennskap til produksjonsbiologi og optimalisering av dyrkingsteknikker kan dette være arter for fremtiden. Det er ventet økende effekter av havforsuring og global oppvarming i tiden som kommer [23]. I denne forbindelse er det knyttet usikkerhet til om havforsuring vil påvirke utvikling og vekst av filtrerende organismer med skall. Global oppvarming med økt sjøtemperatur vil sannsynligvis bedre vilkårene for patogener og fremme spredning av patogener. Således øker risiko for sykdomsproblematikk for dyrkede organismer. Det er også økende fokus på opptak av mikroplast i næringskjeden, og spesielt i filtrerende organismer som renser store volumer av vann for partikler. Effekter av mikroplast på filtrerende organismer er så langt lite kjent, men det er knyttet bekymring til om mikroplast vil påvirke den ernæringsmessige verdien til matvaren. Utvelgelse av fremtidige arter til mat og eller biomasseproduksjon bør inkludere en vurdering av artens toleranse til forventede endringer i miljøet.

4.4.3.1 *Blåskjell*

Vi har lang erfaring med dyrking av blåskjell i Norge og god kjennskap til produksjonsbiologi. Konsumskjellindustrien produserer ikke tilstrekkelig i dag til å dekke etterspørselen og har mål om å ekspandere. Blåskjell er godt etablert som mat for mennesker og vil derfor ha en posisjon i forhold til å realisere et potensielt bidrag i global matsikkerhet [23].

Dyrking av blåskjell er basert på naturlig føde og naturlig forekommende larver. Det forbruker ikke ferskvann, tilføres ikke før, gjødsel, legemidler eller brukes seleksjon/avl, og produksjonen ansees som økologisk, arealeffektiv og bærekraftig. God kunnskap om produksjonsbiologi gir også gode forutsetninger for å belyse risiko for effekter på økosystemet, og for å gi råd om relevant overvåking. Blåskjell er også en art som viser gode

egenskaper som ingrediens i fôr, hvor det er et økende behov for marine råvarer globalt. Blåskjell kan også brukes til en rekke andre formål som mattilsetning og kosttilskudd, farmasøytiske muligheter, erstatte mikroplast, jordforbedring mm.

4.4.3.2 Flatøsters

Det er også lange tradisjoner med dyrking av flatøsters i Norge [277], og kunnskap er tilgjengelig for å kunne skalere opp produksjonen. Det er et godt betalende og relativt stabilt marked for ferske (levende) flatøsters av høy kvalitet. Flaskehalsene for flatøstersproduksjonen er tilgang på yngel, effektivisering av dyrkingen og matvaresikkerhet. En økning i sjøtemperatur er forventet å gi bedre vekst og reproduksjon hos Flatøsters.

4.4.3.3 Grønnsekkdyr

Grønnsekkdyr er en relativt ny dyrket art i Norge, hvor kunnskap om produksjonsbiologi og økologi er økende. Grønnsekkdyr er spesielt interessant som biomasseressurs mot biopolymer og dyreforindustrien. Største delen av høstet biomassen består av vann, og vannfjerning er viktig for lønnsomhet. Det er gjennomført preliminaire studier som har gitt lovende resultat med grønnsekkdyr som ingrediens i fiskefôr. Kjemisk sammensetning koplet til den økologisk bærekraftige volumproduksjonen gjør at denne organisme kan være med og løse utfordringer kring begrensede biomasseressurser.

Cellulosen fra grønnsekkdyr er også interessant (pers. komm. Ocean Bergen). Cellulosen har flere egenskaper som er annerledes enn cellulose fra planter. Spesialprodukter fra cellulose og behandlet cellulose (f. eks. til nanofibrillert cellulose) er en industri i vekst [278]. Dette inkluderer nisjeprodukter innen kosmetikk, medisin, mat- og materialeprodukter til storskala industri som emballasje, tekstil og bioenergi. Bærekraftig produksjon av material til denne industrien er viktig for kommersiell vekst.

4.4.3.4 Stillehavsøsters

Stillehavsøsters, *Crassostrea gigas*, er en av verdens største oppdrettsarter, med en årlig, global produksjon på flere millioner tonn. Arten er regnet som svært robust og tilpasningsdyktig, og dyrkes eller høstes både i Asia, Oceania, Afrika, Amerika og Europa, og i en rekke til dels ulike habitater og klimasoner.

Arten er blitt innført til Europa flere ganger. På 1400-tallet, (som såkalt Portugisisk østers, *Crassostrea angulata*) og senest i perioden fra 1965 til 1990-tallet. Dyrking av stillehavsøstersen utgjør den største delen av dagens europeiske skjellproduksjon.

Stillehavsøstersen ble innført til Skandinavia som oppdrettsart fra 1979, og ble i noen år produsert i klekkeri med etterfølgende vekstfase i hengekulturer. Dette foregikk til et stykke ut på 1990-tallet. Klekkeriene ble da lagt ned og dyrkingen av stillehavsøsters opphørte. Det ser ikke ut som om dyrkingen av stillehavsøsters i denne perioden førte til en spredning av arten i Skandinavia, selv om det har forekommet en begrenset, lokal reproduksjon på noen lokaliteter [279].

De første forekomstene av stillehavsøsters i Norge ble observert som enkeltskjell i begynnelsen av 2000-tallet. I 2006–2007 ble det registrert store mengder stillehavsøstersyngel langs den svenske Bohuslän-kysten nordover langs Oslofjordområdet og mot Sørlandet. Dette var starten på en spredning av stillehavsøsters i svenske og norske farvann [279]. Bestandsutviklingen har siden 2007 vært påvirket av temperaturforholdene i kalde vintre og varme somrer [280, 281]. Det har vært gytinger i flere somrer siden 2007, og det ser således ut som om stillehavsøstersen er tilpasset å kunne reprodusere i skandinaviske kystområder [282]. I noen områder er det etablert bestander som regnes som permanente og selvrekutterende. Vi ser en gradvis spredning nordover, og nordligste permanente bestand er for tiden i Rogaland. I 2008 ble den første større bestanden funnet på Hui i Tjøme kommune og i 2015 ble bestanden svært grovt stipulert til 10–15 000 tonn. Nye analyser tyder på at vi i 2016 minimum hadde en bestand på dobbelte av dette. Vi regner med at bestandene vil øke ytterligere, både i utbredelse og tettheter.

Bestanden i Norge er økende og en ser for seg en fremtidig spredning og økende biomasse langs kysten. I de aller fleste land der stillehavsøsters er blitt en utfordring i kystsonen, har forvaltningen vært knyttet til en kommersiell utnyttelse i form av kombinasjon av høsting og oppdrett. I norske farvann er det i første omgang kun snakk om høsting av naturlige bestander.

Utbredelsen av stillehavsøsters er regnet som en bioinvasjon, og arten er svartelistet (dvs. at spredningen i norsk natur regnes som uønsket). Miljødirektoratet har utarbeidet en handlingsplan og har testet ut tiltak for å hindre en ytterligere bestandsøkning i utvalgte naturområder (som marine nasjonalparker, frednings- og friluftsområder). Denne forvaltningspraksisen kan representere et paradoks i forhold til potensialet som ligger i en utnyttelse av stillehavsøsters som en ny, nordisk ressurs [146].

Stillehavsøsters er en kommersielt viktig art som vokser hurtig og dyrkes i stor skala over store deler av verden. Det er også en art hvor produksjonsbiologien er kjent fra dyrkningsområdene, men det er også en introdusert art som har betydelig utfordringer med sykdom. I motsetning til flatøsters er det relativt enkelt å produsere stillehavsøstersyngel i klekkerier. Det er sannsynligvis ingen begrensninger i hvor mye yngel det er mulig å produsere. I Norge er det i nyere tid ikke gitt tillatelser til klekkeriproduksjon av yngel. I henhold til akvakultur loven skal det ikke drives produksjon av svartelistede arter, med mindre det er grunnlag for dispensasjon fra dette. Det er nylig gitt slike tillatelser i Sverige og Danmark, under forutsetning av at produksjonen ikke skal føre til en ytterligere spredning av arten.

Ettersom stillehavsøstersen har spredd seg langs deler av kysten er det kommet forslag om dyrking og oppsamling av undermåls skjell til videre vekst i anlegg eller på depotbanker. Det er også etablert høsting, oppbevaring i levendelager og salg av stillehavsøsters (se kapittel 4.2.2.2). Siden arten er regnet som fremmed og invasiv er den svartelistet gis det derfor foreløpig ikke tillatelse til dyrking. Det er imidlertid gitt tillatelser til dyrking både i Sverige og Danmark. En vurdering av tillatelse til dyrking av stillehavsøsters langs norskekysten må inkludere en utredning av faren for ytterligere spredning og sykdom (OsHV-1).

Næringen ønsker å utnytte den voksende ressursen også gjennom muligheter for dyrking. Det er mulig at markedet dreies fra flatøsters til stillehavsøsters (slik det har skjedd i Mellom- og Sør-Europa).

Hvis det skal være mulig å dyrke stillehavsøsters må regelverket endres, og dyrkingen sannsynligvis baseres på klekkeriproduksjon hvor det brukes lokal, dokumentert sykdomsfri østers, og hvor dyrkingen skjer på en slik måte at den ikke forårsaker en ytterligere spredning av østers og/eller tilførsel av yngel til ville bestander der hvor en vekst av bestandene ikke er ønskelig.

4.4.3.5 *Bruk*

Dyrking av marine filtrerende organismer kan nyttes til langt mer enn økt matvareproduksjon, ingredienser til fôr og som energikilde. Det finnes for eksempel mye sekvensdata (DNA og protein) fra noen arter av dyrkede skjell [283] og sekkdyr [284]. Dette åpner for økt forståelse av organismens respons til miljøet og vår forståelse av endringer i klima, sykdom etc. Skjell (med assosierte samfunn av mikroorganismer) produserer en rekke bioaktive peptider, proteiner og metabolitter med potensiale som mattilsetning og kosttilskudd. De inneholder også flere familier av antimikrobielle peptider med farmasøytiske muligheter. Basert på forskning om skjellenes byssustråd og hvordan denne festes til et vått underlag er det utviklet en modell for selvreparerende polymere og vannbestandige limer [285-288]. Denne teknologien kan muliggjøre utvikling av f.eks. nye kirurgiske limer, kunstige ledd, kontaktlinser, og hud- og håkremmer [286, 287, 289]. Tradisjonelt er skallet til skjell benyttet som jordforbedring og det undersøkes om skallet kan nyttes som ingrediens i betong og om det kan erstatte mikroplast i hudkremmer. Skallet kan også lagre karbon, og det er estimert at skallene fra ett typisk norsk blåskjellanlegg (100 tonn) lagrer 2.8 tonn med CO₂ per år, med en verdi på 146 US\$ per år [290].

Unikt for sekkdyr er at de produserer cellulose [291]. Det kommer fra en genoverføring fra prokaryoter, så alle dyr i denne underrekken har byggesteinene til å produsere cellulose [292]. Cellulose er en høykvalitets biopolymer som kan utnyttes kommersielt innen bioenergi og materialteknologi. I tillegg har sekkdyr proteiner og en fettsyreprofil liknende fiskeolje (rik på omega-3 fettsyrer) som kan gi grunnlag som ingrediens i dyrefôr. Der er stort potensiale innen mulige bruksområder til marine filtrerende organismer. En storstilt dyrking av biomasse til mat, fôr eller energi vil sannsynligvis få synergieffekter gjennom alternativ bruk av unyttet biomasse som skall og andre unyttede deler av produksjonen.

4.4.4 *Dyrkningsmetoder*

Blåskjell dyrkes nesten utelukkende på tauverk i bøyestrekkanlegg i Norge (det finnes ett unntak hvor blåskjell dyrkes på bunn). Det jobbes med etablering av klekkerier i Nederland og New Zealand. Det er utviklet vekstanlegg og teknologi for effektiv røkting og høsting av skjellanlegg (blåskjell, kamskjell og østers) i Norge

(Smartfarm.no). Denne teknologien har et internasjonalt marked. Per i dag finnes størst kapasitet for høsting av skjell i New Zealand med 100 - 200 tonn per dag. Kommersielt dyrkes grønnsekkdyr på langline systemer.

Dyrking av flatøsters skjer i to faser; yngelproduksjon og påvekst. Yngelproduksjonen kan gjøres i klekkeri eller på tradisjonelt vis i poller. Produksjon i poller er godt beskrevet og fungerer bra, men produksjonen er arbeidskrevende og driften av en poll krever god oppfølging. En stabil yngelproduksjon av flatøsters vil sannsynligvis fungere best som et samarbeid mellom klekkeri og poller. På 1990-tallet ble det halvintensivt system som kombinerte klekkeri- og pollteknologi. Det kan være hensiktsmessig å se på dette systemet og bygge videre på erfaringene derfra. Vekstfasen frem til høstbar størrelse skjer i hengekulturer. Skjellene oppbevares gjerne i et mottaksanlegg med kontrollert vannkvalitet får de selges.

For fremtiden vil metoder som øker tilgang på naturlig føde i miljøet bedre betingelsene for dyrking av marine filtrerende organismer. Kontrollert oppstrømning av næringsrikt dypvann er et eksempel på dette og denne metoden er beskrevet i kapittel 4.2.4.

4.4.5 Potensiale og begrensinger

4.4.5.1 Potensiale

Science Advice for Policy by European Academies (SAPEA) har nylig gjennomgått muligheter for å få mer mat og biomasse fra havene [23]. Med utgangspunkt i biologi identifiserte de fire hovedområder; bedret forvaltning og utnyttelse i tradisjonelle fiskeri, fiske etter arter som i liten eller ingen grad nyttes i dag, dyrking av organismer som henter næringen direkte fra vannmassene og dyrking av organismer som tilføres fôr. Innenfor disse fire områdene presenteres 10 ulike muligheter med tilhørende potensial for økt mat og/eller biomasseproduksjon. Ut fra deres funn har dyrking av marine filtrerende organismer klart det største potensialet med en produksjon på mer enn 100 millioner tonn mat per år. Det antas at dette potensialet kan nås i løpet av 20-30 år gitt dagens vekstrater for disse organismene.

Global matproduksjon fra marin akvakultur er totalt dominert av organismer som befinner seg lavt i næringsnettet som makroalger, skjell og plantespisende fisk. Norge står internasjonalt i en særstilling med unike naturgitte forutsetninger for effektiv og bærekraftig produksjon, i første rekke grunnet store mengder vann, arealer i beskyttede kystområder [4], høy teknologisk kompetanse og samfunnsøkonomisk kapasitet sammenlignet med andre områder med tilgjengelig kystareal [293]. Disse unike naturgitte forholdene for produksjon er også gjeldende for produksjon av filtrerende organismer eller andre arter lavt i næringsnettet. Selv om store deler av norske kyst- og fjordområder betraktes som næringsfattige er mulighetene gode for å tilpasse produksjonsmetoder og gjøre tiltak for å utnytte et stort potensial. Dette kan gjøres ved å fordele biomasse slik at det er tilpasset lokal produksjonsevne eller ved å stimulere produksjon gjennom tiltak som kontrollert oppstrømning av næringsrikt dypere vann.

Den årlig gjennomsnittlig primærproduksjon fra planteplankton langs kyst og fjord er i skala $145 \text{ g C/m}^2/\text{år}$ [294]. Ny produksjon utgjør typisk 40 % av totalproduksjon gjennom året. Ny produksjon tilsvarer den teoretisk maksimale mengden organisk karbon som over tid kan høstes fra økosystemet. Økes tilførsel av næringsstoffer til ny produksjon vil kapasiteten for høsting øke. Bæreevne for blåskjell dyrking i kyst og fjord er estimert til 140-200 tonn/ $\text{km}^2/\text{år}$ under naturlige forhold [227, 295] (se også Strohmeier, Strand [294], kapittel 3). Disse tallene kan indikere produksjonskapasiteten til andre arter av filtrerende skjell med samme sesongmessige utnyttelse av primærproduksjonen, mens potensialet vil være lavere for arter hvor større deler av veksten faller utenfor årets primærproduksjon.

Dersom bæreevne for skjellproduksjon baseres på tilført næring gjennom kontrollert oppstrømning av næringsrikt dypvann (kapittel 4.2.4) er denne estimert til 400-500 tonn/ $\text{km}^2/\text{år}$ [296]. Økt produksjon per arealenhet gjennom bruk av kontrollert oppstrømning av næringsrikt dypvann gir dermed en bedre utnyttelse av areal. En stående biomasse på 1 million tonn blåskjell vil medføre et arealbehov til skjellanlegg på om lag 100 km^2 , og nytte føde fra et estimert areal tilsvarende ca. 5700 km^2 [294]. Dersom skjellene produseres i områder med kontrollert oppstrømning av næringsrikt dypvann reduseres dette arealet til størrelsesorden 2200 km^2 .

Det er et potensial for økning av flatøstersproduksjonen. Det er mye etablert kunnskap og erfaring om østersdyrking. Produksjonstiden er knyttet til lokalitetens egnethet, og i prinsippet lik produksjonstiden i Mellom-Europa (ca. 3-4 år). Det er en flaskehals knyttet til tilgang på yngel (se avsnitt i kunnskapsgrunnlag), og vi antar at

en fremtidig, stabil tilgang på yngel best kan gjøres som en kombinasjon og samarbeid mellom klekkeri og polldrif, basert på stedege stammer av dokumentert sykdomsfri østers. Hvis det er overskudd av dokumentert sykdomsfri yngel, vil det sannsynligvis også være et marked for denne. En tradisjonell produksjon av små volumer flatøsters gir relativt sett dårlig inntjening. Erfaringer fra tidligere dyrking av flatøsters tilsier at volumene i hvert anlegg bør økes, for å redusere de relative drifts- og arbeidskostnadene. Rett lokalisering er også sentralt, for å oppnå optimal vekst og finne de beste egnede produksjonsforholdene.

4.4.5.2 Begrensninger

I en global kontekst begrenses dagens biologiske potensial for dyrking av marine filtrerende organismer av: bekymring knyttet til spredning av fremmede arter, konkurranse om areal og stedvis utilstrekkelig vannkvalitet, spredning av sykdom og mangel på teknologi for dyrking i åpne havområder [23]. For fremtiden er det usikker om havforsuring vil påvirke utvikling og vekst av filtrerende organismer med skall, om opptak av mikroplast vil påvirke ernæringsverdi, og global oppvarming ventes å øke spredningen av patogener [23].

En storstilt dyrking av filtrerende organismer vil kreve forskning for å belyse risiko for effekter på økosystemet, slik at det kan gis råd om relevant overvåking. For våre farvann med generelt lave konsentrasjoner av føde antas det at spiseaktiviteten til store bestander av dyrkede filtrerende organismer vil ha innvirkning på økosystemet. Dette skyldes at store biomasser av dyrkede filtrerende organismer vil ha en viktig rolle i flyt av energi i fjord- og kystøkosystem, som følge av uttak av partikulært materiale fra store volumer av vann og deponering av fekalier på bunnen. Filtrerende organismer beiter på frittstående partikler som planteplankton og detritus, men de spiser også små dyreplankton som konkurrerer om den samme føden [297, 298]. Filtrerende organismene kan også endre bestanden og samfunnsstrukturen til planteplanktonet gjennom retensjon av ulike størrelser av føden [173, 299] og overbeiting kan i ytterste konsekvens medføre uttømming av plante- og dyreplanktonet [297, 300]. Nåværende nivå av blåskjell dyrking i norske fjorder viser liten påvirkning av syklus til næringsstoffer som følge av lave tettheter av blåskjell, og stort volum og kort oppholdstid på vann i fjordene [301].

For å bedre forståelsen av effekter på økosystemet som følge av beiting på føderessursen vil kopling av fysiske og biologiske modeller (som NorKyst800 [302] og NORWCOM [303, 304]) med vekstmodeller (som DEB og SFG) gi viktig innsikt. Dette sammen med økt kunnskap om hva filtrerende organismer beiter på kan gi et grunnlag for utvikling av økologiske modeller. Det er parameterisert vekstmodeller for blåskjell og grønnsekkyr [232, 305-307] under Norske betingelser og for stillhavsøsters i andre miljøer [307, 308].

Fødeopptaket gir næring til de filtrerende organismene, mens føden som ikke tas opp skilles ut som fekalier på sjøbunnen og som oppløste næringssalter [234]. Filtrerende organismer vil dermed omdanne og flytte næringssalter og partikulært materiale fra de frie vannmassene til sjøbunnen [309, 310]. Sedimenterte fekalier brytes ned til næringssalter ved hjelp av mikroorganismer eller lagres i sedimentet. Remineraliserte næringssalter vil sammen med utskilte næringssalter bidra til vekst av planteplankton og dermed bidra til produksjonen i økosystemet [311, 312]. Nedfall av fekalier og dyrkede organismer kan påvirke sedimentet og forekomst av fauna under dyrkningsstrukturen. Dette er vist under blåskjellanlegg i Lysefjorden, hvor man undersøkte konsekvensene av dårlig lokalisering og ineffektiv produksjonsmetode [313]. Som følge av store mengder nedfallskjell endret sedimentet karakter og tiltrakk seg store mengder beiteorganismer som sjøstjerner. Endringen i sediment-overflaten og den økte organiske tilførselen førte også til økt konsentrasjon av små kråkeboller. Det ble stedvis påvist anoksiske forhold i sedimentet, som er en konsekvens av fekalier som bunnsår på sedimentet, og det ble registrert endring i sammensetning og antall av arter og individer. Remineralisering av fekalier og regenerering av næringssalter er undersøkt i Norske fjorder [234, 301, 310]. Imidlertid viser undersøkelser av andre skjellanlegg at bunnpåvirkningene vanligvis er små, og risikoen for vesentlige effekter er liten ved dagens produksjon. Det er derfor ikke pålagt bunnovervåking av norske blåskjellanlegg inntil videre [314].

Høye tettheter av r-selekterte organismer [315] øker sannsynligheten for en vellykket reproduksjon. Således kan store mengder av befruktede egg fra dyrkede organismene og/eller assosiert flora og fauna frigjøres i systemet, og på sikt kan disse artene bli mer forekommende i området. Det samme kan antas for sjøstjerner og kråkeboller i økosystemer hvor det dyrkes blåskjell da disse artene ofte aggregerer under blåskjellanlegg. Det skyldes antakeligvis at nedfall av blåskjell fra anlegget (fra høsting, bølgebevegelse, ærfugl etc.) gir dyrene økt tilgang på føde eller skjulesteder.

Skjell dyrkingen i Europa har de siste 40 årene vært preget av sykdommer som i mange områder har ført til massedød av skjell. Skjell har et immunsystem som i liten grad er adaptivt, og innførsel av en sykdom i et nytt område kan få dramatisk effekt med dødelighet som i liten grad lar seg håndtere eller bekjempe. Sykdommer kan være en viktig regulerende faktor i ville skjellbestander, og årsak til store tap i dyrkingsanlegg. Flyttinger av

smittebærende skjell til oppdrett har resultert i at flere sykdommer har blitt spredd ut over nesten alle dyrkingsområder i Europa. De mest dramatiske eksemplene er bonamiose og marteiliose hos flatøsters og sommerdødelighet av stillehavsosters. Bonamiose er forårsaket av den encellede parasitten *Bonamia ostreae* / *B. exitiosa*, som er hovedårsaken til en reduksjon av høsting og dyrking av flatøsters på i størrelsesorden 80%. Marteiliose er forårsaket av parasitten *Marteilia refringens* (*Paramarteilia* spp.) og affiserer både flatøsters og blåskjell. Dødeligheten er variabel. Sommerdødelighet hos stillehavsosters er forårsaket av et herpesvirus (OsHV-1). I Norge er det påvist *Marteilia* / *Paramarteilia* spp. i to bestander av blåskjell, OSHV-1 i ville stillehavsosters i Oslofjord-området og det er mistanke om en enkelt påvisning av *Bonamia* spp. i en flatøstersbestand på Sørlandet. Norge har en god helsestatus på skjell, og erfaringer og informasjon fra Mellom-Europa tilsier at det ikke må importeres levende skjell til norske dyrkingsanlegg. Det må heller ikke flyttes skjell med ukjent helsestatus.

Per i dag vet vi lite om sykdom hos grønnsekkyr, men noen parasitter er påvist i naturlig forekommende populasjoner [316-320]. Effekten av disse parasittene er lite kjent og få studier har sett på effekten i en storskala kultur for grønnsekkyr. Erfaring fra 9 år med pilotskala kultivering av grønnsekkyr i Øygarden i Hordaland har ikke påvist parasitter som har hatt effekt på produksjonen (pers. komm. Ocean Bergen). Det har gjort funn av tarmparasitter innen subclassen gregarina, men det er uklart om denne tarmparasitt har noen effekt på grønnsekkyrene [321].

I Norge har kunnskap om algetoksiner i forhold til skjellnæringen stort sett vært fokusert mot blåskjell dyrking og noe villfangsting av kamskjell. Diaregivende toksiner (DST) hemmet utviklingen av blåskjellnæringen på Vest- og Sørlandet fra 1998 til 2004 og senere i Nord Norge. Trøndelag og Nordland har hatt relativt små utfordringer med algetoksiner men trenden er nå økende. Dagens strategi for å unngå algetoksiner innebærer å unngå utsatte lokaliteter og ha tilgang til skjell fra flere ulike lokaliteter. Utfordringen i forhold til algetoksiner er imidlertid at ulike arter både tar opp og skiller ut de ulike algetoksinene med ulike hastigheter, og her trengs det mer forskning.

Skjell kan bli kontaminert av vann som inneholder spor av kloakk og/eller gjødsel. Det er en særlig fare knyttet forbundet med norovirus i vinterhalvåret, som gir en fare for matforgiftning når skjellene konsumeres rå eller lett varmebehandlet. Østers og andre skjell som skal konsumeres rå må komme fra områder med tilfredsstillende vannkvalitet og oppbevares i mottaksanlegg med rent vann i en periode før omsetning. Se ellers tekst under østers.

4.5 Marin fisk

Det er urealistisk at nye oppdrettsarter skal etableres i et "laksoppdrettsperspektiv" med forventning om store produksjonskvantum i løpet av kort tid. Nye oppdrettsarter må gis tid å etablere en kunnskapsbase som gjør produksjonen robust og bærekraftig. Vi bør se etter arter og metoder der også oppdrett i mindre skala kan bli en lønnsom næring. Alle aktuelle arter har spesifikke miljøkrav. Oppdrettssystemer må utvikles med hensyn til dette, og regelverk må tilpasses til de nye artenes krav.

For at oppdrett av en fiskeart skal være ressursmessig bærekraftig kreves at den kan produseres med høyt filetutbytte samtidig som den er lite energi og plasskrevende og kan vokse og trives godt på fôr som har et høyt innhold av lavtrofiske råstoffer. Oppdrett av marin fisk, og særlig oppdrett av laks og regnbueørret, baseres i stor grad på råstoff fra planter produsert på land. Raps og soya blir i høy grad brukt som erstatning for marine oljer og proteiner i lakseoppdrett, men det blir stilt spørsmålstegn ved bærekraften på lang sikt på grunn av mangel på dyrkingsareal, ferskvann og gjødsel.

Tilgang på marine oljer som inneholder de langkjedete omega-3 fettsyrene EPA og DHA og marint protein kan bli en begrensende faktor. Her arbeides det intensivt med ulike alternative fôrkilder, for eksempel utvikling av genmodifiserte planter som produserer EPA og DHA og gjennom dyrking av mikroalger. Det er også åpnet for utprøving av nye fôrtyper basert på protein fra insekter [322]. Muligheten for å bruke alternative, marine, fôrkilder basert på lavtrofiske råstoffer kan bli et viktig kriterium ved valg av nye oppdrettsarter. Utvikling av nye fôrtyper basert på råstoff som mikroalger, tunikater, tare, krill, zooplankton (*Calanus*), børstemark, blåskjell og insekter bør være en integrert aktivitet i utvikling av nye fiskearter for oppdrett. Det bør også utredes hvorvidt noe av de enorme forekomstene av mesopelagisk fisk effektivt kan benyttes til fôrproduksjon.

Produksjonen av rensefisk til bruk i lakseoppdrett er økende. I 2012 var det 5 selskaper som drev med oppdrett av rensefisk, mens det i 2016 hadde øket til 24. I samme perioden økte antall tillatelser fra 15 til 52 (Figur 4.3). Det meste av økningen kommer av oppdrett av rognkjeks (*Cyclopterus lumpus*), hvor salg av oppdrettet fisk har

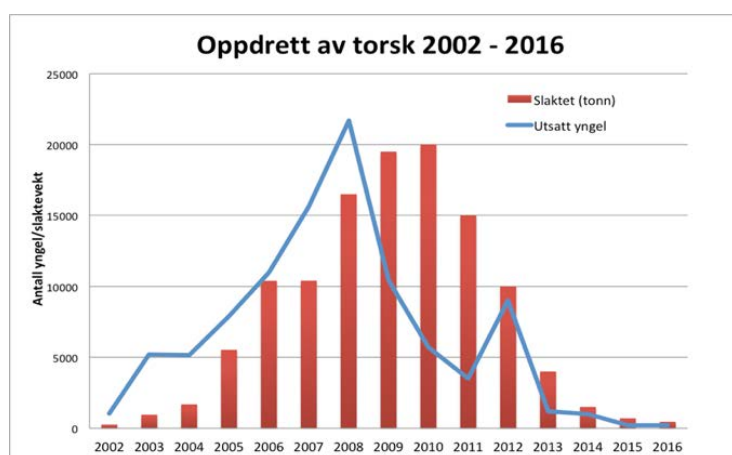
gått fra i underkant av en halv million individ i 2012 til nesten 16 millioner i 2016. Den andre rensefiskarten som blir oppdrettet er berggyllt (*Labrus bergylta*), hvor salget har variert kraftig mellom 95 000 og 1,35 million solgte individ. I 2016 ble det solgt i overkant av seks hundre tusen (Tabell 1.3) berggyllt.

4.5.1 Oppdrett av marin fisk – status og kunnskapsgrunnlag

Oppdrett av andre arter enn laks, ørret og regnbueørret er regulert i forskrift om tillatelse til akvakultur av andre arter enn laks, ørret og regnbueørret [39], og omfatter andre fiskearter samt akvakultur av bløtdyr, krepsdyr og pigghuder.

4.5.1.1 Torskefisk

Det første torskelekkeriet ble etablert i Flødevigen i 1886 med formål å sette ut yngel for å styrke bestanden av vill fisk [323]. En stor forsknings- og utviklingsinnsats ble lagt på oppdrett av torsk (*Gadus morhua*) fra slutten av 1980-tallet. Torskeoppdrett var i rask utvikling i begynnelsen av 2000-tallet, med produksjonstall rundt 20 000 tonn i 2009 og 2010 [6]. En kombinasjon av sykdomsproblemer, rømming, fallende priser, tidlig kjønnsmodning og god tilgang på villfanget gjorde at utviklingen stoppet opp og det meste av oppdrettsvirksomheten ble avviklet (Figur 4.2).



Figur 4.2 Torskeoppdrett: Utsatt torsk yngel og slaktet kvantum [6].

Torskeavlspogrammet (NOFIMA) som ble etablert i Tromsø i 2002, har vært opprettholdt frem til i dag. De siste to årene har interessen for å drive oppdrett av torsk økt, særlig i Nord-Norge. Denne interessen kan skyldes suksessen med levendelagring av villfanget torsk, og det er etablert tre aktive matfiskanlegg, to i 2016 og et i 2017. Alle har satt ut yngel fra torskeavlspogrammet ved NOFIMA. Fra 2018 vil Havlandet A/S produsere yngel for salg fra egen avlsstamme. Begge yngelprodusentene har yngel fra femte generasjon oppdrettstorsk. I de årene det ble drevet storskala kommersielt oppdrett av torsk i Norge ble det opparbeidet mye kunnskap både for torsk og marine arter generelt, som vil være svært nyttig i en fremtidig marin

satsning. Metodene for årstidsuavhengig reproduksjon, startfôring og yngelproduksjon av torsk er kjent [324, 325], og tidlig utvikling og krav til ernæring og oppdrettsmiljø er beskrevet blant annet gjennom CODE-prosjektet [326, 327]. Videre er torskens genom sekvensert [328] (https://www.ensembl.org/Gadus_morhua/Info/Index). Systematisk avlsarbeid over fire generasjoner har resultert i betydelig bedre tilvekst (Atle Mortensen, NOFIMA, pers. com.). Utfordringene som gjenstår er i stor grad knyttet til håndtering av sykdom og helse og deponering av fett i leveren. Spesielt sykdommen francisellose, som slo ut mye av torskeproduksjonen i Sør-Norge, har en ennå ikke fått under kontroll. Skjelettdeformiteter hos torsk yngel har også vært et betydelig problem. Tidlig kjønnsmodning har gjennomgående vært et stort problem i torskeoppdrett og er fortsatt en utfordring som må løses, både med tanke på optimal vekst og i forhold uønsket gyting i merd. Det er viktig å forhindre rømming og gyting i merd. Egg fra oppdrettstorsk som gyter i merden sprer seg i de omgivende vannmassene og gjenfangst av avkommet viser at det har god overlevelse [329, 330]. Utvikling av metoder for å lage steril oppdrettstorsk bør derfor være en prioritert forskningsoppgave sammen med utvikling av vaksiner mot francisellose og utvikling av effektive fôrtyper.

Kunnskapen og erfaringen som er opparbeidet innen torskeoppdrett vil være svært nyttig også i oppdrett av de nærbeslektede torskefiskartene hyse og sei. Reproduksjon, startfôring og yngelproduksjon av disse beherskes, men optimalisering av produksjonen vil være nødvendig. Oppdrett av hyse (*Melanogrammus aeglefinus*) er forsøkt, særlig i Canada og Skottland [331-335]. Hyse har stort sett de samme utfordringene som torsk i oppdrett, med tidlig kjønnsmodning og forholdsvis stor energideponering i lever [334, 336]. Forsøk med merdoppdrett tyder på at hyse ikke tåler høye sjøtemperaturer like godt som torsk og sei.

Lysing (*Merluccius merluccius*) er en meget ettertraktet art på de søreuropeiske fiskemarkedene. Noen forsøk er gjort med yngelproduksjon uten hell. Dette skyldes problemer med stamfiskhold, eggproduksjon og klekking av egg, svært lav overlevelse på tidlige stadier samt utbredt kannibalisme [337, 338]. Akvakulturproduksjon av lysing vil sannsynligvis bli svært utfordrende.

Oppdrettet torskefisk konkurrerer i markeder med tilgang på relativt billig villfanget fisk. Oppdrett av torskefisk vil derfor kreve en stor og effektiv produksjon som kan dra nytte av fortrinnene til akvakultur slik som forutsigbar leveranse, volum og kvalitet.

4.5.1.2 Kveite

Kveite (*Hippoglossus hippoglossus*) er etablert som kommersiell oppdrettsart og produksjonen av matfisk økte fra 1 243 til 1 623 tusen tonn, fra 2015 til 2017 [6]. Lang generasjonstid hos hunnfisken gjør avlsarbeid utfordrende. Det er likevel viktig å få etablert et systematisk avlsarbeid for å hindre innavl og med utvelgelse av stamfisk som viser god vekst, er robuste i forhold til sykdom og som gir stabil og høy kvalitet på egg. Riktig ernæring for stamfisken gjennom hele oppveksten er også avgjørende for å sikre godt gyteresultat. Avhengighet av levendefôr i startfôring er utfordrende, og tilpassing av formulert fôr til tidlig tørrfôrtilvenning har blitt prioritert. Kveite er avhengig av de samme fôrressursene som laks og har slik sett de samme utfordringene når det gjelder bærekraftige fôrressurser. Vi har god kunnskap om sykdom og helse på tidlige livsstadier. Så langt har vi ikke hatt store sykdomsproblemer hos større kveite, men med økende produksjon og mer fisk i de ulike oppdrettssystemene er det sannsynlig at problemer med sykdom og smittespredning vil tilta. En stor del av matfiskproduksjonen foregår i merder og rømming er dermed en utfordring som må tas alvorlig. Gjenfangstdata fra England og Danmark etter henholdsvis rømming av enkeltindivid og kontrollerte utsetninger av merket kveite viser at kveite større enn 1 kg kan klare seg godt og svømme meget langt av gårde (egne observasjoner). Det er i samarbeid med industrien utviklet metoder for masseproduksjon av rene hunnfisk-bestander (all female; Babiak, Babiak [339]) og kunnskapen som er bygget opp i forbindelse med det vil være en naturlig begynnelse på arbeid med å finne gode metoder for å lage en steril oppdrettskveite. Kveitegenomet er nylig sekvensert (Rubin, Edvardsen, Norberg, m. fl. upublisert) og vil bli et viktig verktøy både i utvikling av avlsprogram og for bedre forståelse av biologiske mekanismer knyttet til utviklingsbiologi, vekst, ernæring og kjønnsmodning.

Kveite er den største flatfiskarten, den kan nå 4 m lengde og 300 kg [340] og en alder av minst 50 år [341]. Den har sin naturlige utbredelse i hele Nord-Atlanteren, fra Biscayabukten til Svalbard, Island og Nord-Amerika. Verdens Naturvernunion (IUCN) har rødlistet den som sterkt truet, og bestanden i hele Nord-Atlanteren er lav selv om fisket nord for 62°N har økt de siste ti år. Vill hannkveite blir vanligvis kjønnsmoden fra ca.7 års alder og 55 til 60 cm lengde, mens hunkveiten modner ved 10-11 år og fra ca.110 cm lengde. Hunnfisken er som regel betydelig større enn hannfisken, men der finnes unntak (Tørstein Halstensen, pers medd.; egne observasjoner). Kjønnsmoden kveite gyter fra desember til april i gytegroper som ligger i gytefelt på 200-700 m dyp [342]. Den er en porsjonsgyter, med ca.8-10 eggporsjoner som blir gytt med 3-5 døgn intervall [343, 344]. Eggene er pelagiske og ca.3 mm i diameter, og en stor hunnfisk kan gyte opp til 7 millioner egg. Etter befruktning stiger eggene i vannsøylen hvor de klekker etter ca.18 døgn. Lys hemmer klekkeprosessen [345], og gjennom de tidlige livsstadier utvikles øyet i kveitelarven slik at den etter hvert tåler lys og kan jakte på byttedyr [346]. Svært lite er kjent om kveitelarver i naturen, da de ikke er funnet mer enn noen få ganger. Det aller meste av kunnskap om utvikling gjennom tidlige livsstadier stammer derfor fra kveite i oppdrett.

Kveite gyter som regel ikke naturlig i oppdrettssystemer og en er avhengig av å stryke egg og melke for befruktning. For å få egg av god kvalitet må hunnfisken strykes så nær tidspunktet for ovulasjon (eggslipp) som mulig [343]. Videre må temperaturen før gytesesongen være lavere enn 9°C, og ikke være høyere enn 6°C i gyteperioden. Høyere temperatur i stamfiskkaret vil gi lavere eggoverlevelse. Beregninger av relativ fekunditet, dvs. antall egg per kg, viser at både villfanget og oppdrettet hunkveite gir ca. 12 000 egg per kg (Norberg, Hamre mfl., in prep.).

Kveiteyngel blir i dag produsert i gjennomstrømningsystemer, med egginkubering i 250 l-inkubatorer, klekking og plommesekkfase i silo (5 m³) med svært lav gjennomstrømning og startfôring med levende fôrorganismer (*Artemia*) i åpne kar, fulgt av tørrfôrtilvenning etter at larvene har bunnslått og har gått gjennom metamorfose [347-355]. Feilpigmentering og ufullstendig øyevandring etter metamorfose var tidligere flaskehals i yngelproduksjon. Disse er nå løst med bedre ernæring og fôringsrutiner i perioden hvor larvene får levendefôr [350-352].

Yngelproduksjon av kveite var i mange år ustabil, med periodevis høy dødelighet på grunn av infeksjon med nodavirus (VNN) [356, 357] og aquareovirus [358]. Et målrettet arbeid i oppdrettsnæringen har gjort at en i dag har kontroll med disse virusinfeksjonene og produksjon av yngel er nå stabil og forutsigbar.

Resirkulasjon av vann (RAS) kan være aktuelt i startfôringsfasen og for produksjon av settefisk i størrelse 100-500g. Det vil være en kostnadseffektiv måte å holde fisken ved optimal temperatur for å sikre høy vekstrate og kortere produksjonstid. Det er tidligere vist at optimal temperatur for tilvekst i kveite avtar med økende størrelse [359]. Hannene blir kjønnsmodne ved 2-3 års alder og 1- 4 kg, med lavere vekst og endret kvalitet som konsekvens [360, 361]. Bruk av kontinuerlig lys har ikke vært effektivt for å kontrollere tidlig kjønnsmodning i hannkveite [361-363], selv om det fungerer godt for å styre gytetidspunkt i stamfisk. Det er derfor tatt i bruk teknologi for å produsere bestander av kveite som består av 100 % hunnfisk ("all female") [339, 364]. Flere ulike konsept og systemer for matfiskoppdrett av kveite er i bruk, både landbasert og i sjø. Det største produksjonsvolumet kommer fra merdoppdrett, gjerne med hyller som fisken kan legge seg på. Landanlegg har også vist seg å kunne fungere meget godt. I tillegg er en prototype for lukket anlegg i sjø testet.

Tidligere forsøk har vist at kveite kan vokse til en størrelse av 500 g i sitt første leveår [361]. Dette vekstpotensialet er ikke realisert i dagens oppdrettssystemer. Det er til nå ikke rapportert om store sykdomsproblemer i påvekstfasen av kveite i oppdrett. Forekomst av aggresjon mellom fisk, med øyenapping og såkalte «tapere» som resultat er et velferdsproblem [365]. Noe av dette kan være et resultat av tidlig kjønnsmodning og økt aggresjon i hanfisk.

4.5.1.3 Piggvar

Piggvar (*Scophthalmus maximus*) er først og fremst en oppdrettsart i Sør-Europa. I Norge har Stolt Sea Farm et anlegg for matfiskproduksjon i Kvinesdal der det utnyttes varme fra et industrianlegg, og hvor det årlig produseres rundt 200 tonn piggvar. Den totale produksjonen av piggvar i Europa ligger på ca. 10 000 ton, hvor det aller meste kommer fra Spania.

4.5.1.4 Flekksteinbit

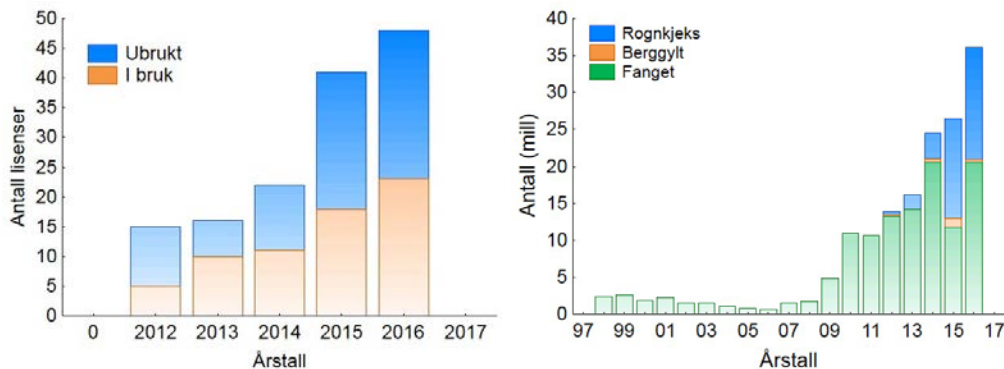
Flekksteinbit (*Anarhicas minor*) ble prøvd som oppdrettsart rundt år 2000, med en total produksjon på ca. 100 tonn fra 1999-2007. Den har fått fornyet interesse de siste årene, med ett kommersielt anlegg (Aminor A/S) som satser på landbasert oppdrett av denne arten i Nordland. Aminor oppgir at de legger inn ca. 260 000 rognkorn til klekking årlig, og de forventer å slakte 75 tonn egenprodusert fisk med ukentlige uttak fra høsten 2018. I 2021 forventes det at ca. 500 tonn steinbit er slakteklare fra dette anlegget. En tilleggsverdi ligger i at skinnen går an å bearbeide og bruke til ulike formål.

Flekksteinbit har en nordlig utbredelse og har fremst vært vurdert som kandidat for oppdrett i Nord-Norge og på Island, siden den har god vekst ved lave temperaturer. Fangstene av vill flekksteinbit gikk kraftig ned i midten på 1980-tallet, men har etter det vært stabile. De siste årene har fangstene økt, og var 3 635 tonn i 2015 [3]. Yngelproduksjonen er forholdsvis enkel, og arten er tilsynelatende robust i oppdrett da det er registrert lite sykdomsproblemer. Den tåler høy tetthet. Den største utfordringen i dag oppgis å være stamfiskhold og produksjon av tilstrekkelig mengde rogn av god kvalitet (Willy Sandaa, Aminor A/S, pers. medd.).

4.5.1.5 Rognkjeks

Rognkjeks (*Cyclopterus lumpus*) er ikke mye brukt som matfisk her til lands. Rognen er riktig nok regnet som en delikatess, og filet fra rognkall (hanfisk) blir benyttet som matfisk på Island og i Canada. For tiden er det ikke kommersielt fiske på denne arten i Norge. Derimot har rognkjeks vist seg som en god rensefisk i lakseoppdrett. Etter hvert som medikamentell avlusning av laks har måttet gi tapt på grunn av resistens har bruk av rensefisk overtatt som et viktig hjelpemiddel for å holde lakselusen under kontroll. Tradisjonelt har dette vært gjort med villfanget leppefisk, men leppefisk er relativt varmekjære arter som ikke trives godt i de nordlige fylkene eller om vinteren. For å kunne tilby nok fisk på rett størrelse uavhengig av årstid drives det et omfattende oppdrett av rognkjeks. Den legger store egg, som klekker til en godt utviklet larve. Yngelen er derfor relativt lett å produsere. Antall oppdrettere har økt raskt i antall og det samme har produksjonen av rognkjeks (Figur 4.3).

Utfordringene i oppdrett med denne arten er i dag er noen produksjonslidelser som katarakt. Den er også svært sårbar for en rekke bakterie sykdommer. For å få bukt med disse problemene er det pågående prosjekter på ernæring og helse.



Figur 4.3. Antall oppdrettere (rognkjeks) og totalt antall rensefisk brukt i lakseoppdrett. [7]

4.5.1.6 Berggyllt

Berggyllt (*Labrus bergylta*) er en art som først og fremst har interesse som rensefisk i lakseoppdrett. Det er begrenset tilgang på villfanget berggyllt. I 2017, som hadde ny rekord i antall fanget berggyllt, ble det fanget rundt 2 millioner ville berggyllt (av ca. 28 millioner leppefisk fanget) til bruk som lusespiser i oppdrettsmerder. Det ble tidlig klart at villfanget berggyllt ikke kunne dekke etterspørselen fra lakseoppdretterne. På slutten av 90-tallet ble de første berggylltene produsert ved Havforskningsinstituttet. I 2009 startet Marine Harvest som den første kommersielle aktøren opp med produksjon av berggyllt, og i årene etter var det et par andre som prøvde det samme, men disse gav opp etter kort tid. I 2014 startet Havlandet Marin Yngel opp en kommersiell berggyllteproduksjon, først sesong med innkjøpte larver fra Marine Harvest, og fra 2015 med egenproduserte larver. Lerøy starter opp produksjon av berggyllt nå i 2018. Havforskningsinstituttet har i en årrekke produsert berggyllter i liten skala i forbindelse med forskningsprosjekt, men fra 2017 startet de opp en linjeproduksjon av berggyllt til bruk i andre forskningsprosjekt.

Det har vist seg at berggyllt er en komplisert art å produsere, og det gjenstår en del utfordringer som må løses før berggyllt kan produseres med stor overlevelse fra egg til settefisk. Berggyllt er kresen på føret, og det gjenstår arbeid før en har et godt og funksjonelt fôr til alle stadier. Det er i dag stor dødelighet ved overgang fra levende fôr til formulert fôr. Et annet problem er at yngelen går sammen i store, tette klumper av fisk ved nesten alle typer forstyrrelser. Disse tette klumpene kan være over 1 meter i diameter i store kar med mye fisk, og miljøet inne i disse klumpene er svært ugunstig for fisken. Dette skjer fra yngelen er rundt 30-35 dager og kan være en stor utfordring i mange kar. Det jobbes mye med for å forbedre overlevelsen i alle faser av larve/yngelproduksjonen. (Tabell 1.3).

4.5.2 Nye kandidatarter

4.5.2.1 Lomre

Lomre finnes på grunt vann fra Biscaya til Kvitsjøen og Island. Villfanget lomre er godt betalt, særlig på de nordiske fiskemarkedene (Tabell 4.1). Tilgang på stamfisk og hold i grunne utendørs tanksystemer eller merder vurderes å være rimelig enkelt. Forsøk gjennomført av Fiskeriforskning (nå: NOFIMA) tidlig på 2000-tallet viste at stamfisk av lomre er robust og tilpasser seg fangenskap godt, og at det er forholdsvis enkelt å befrukte og klekke egg [366]. Overlevelsen gjennom startfôring var noe lav, men det forventes at dette kan bedres, dagens kunnskapsnivå tatt i betraktning. Lomre av begge kjønn blir naturlig kjønnsmodne fra ca. 2-3 års alder og det er ventet at det vil kunne være noen utfordringer knyttet til vekst og alder ved kjønnsmodning i oppdrett.

4.5.2.2 Rødspette

Rødspetten har lange tradisjoner som matfisk i de nordiske landene. Fra midt på 1990-tallet og ti år fremover var bestanden i Nordsjøen og Skagerrak nær kritisk gytebestandsnivå, men har etter det økt kraftig og er i dag

klassifisert til å ha full reproduksjonsevne, og fisket er bærekraftig [367]. I dag fiskes det hovedsakelig på populasjoner som består av små individer. Rødspette er en flatfisk som tilhører familien *Pleuronectidae*, og kjennetegnes ved sine røde flekker på den gyllenbrune overflaten. Som de fleste flatfiskarter er rødspetten porsjonsgyter, og gytetiden strekker seg fra januar til juni. Villfanget rødspette er sjelden mer enn ca. 50 cm og 1 kg, men langt større individer er beskrevet [341]. Vi vet lite om veksten til rødspette i naturen, men eldre undersøkelser har vist at yngelstadiet har spesifikke vekstrater tilsvarende torsk. Rødspetten er kjønnsmoden fra ca. 30 cm størrelse, og hunfisken blir større enn hanfisken [368]. I naturen ernærer rødspette seg hovedsakelig på bunndyr som børstemark, mollusker og pigghuder, og i mindre grad på annen fisk. Rødspetten er kjent for å tolerere en stor grad av variasjoner i saltholdighet, og gytende bestander antas blant annet å være lokalisert i saliniteter lavere enn 5 ppt utenfor Bornholm. I tidlige forsøk med oppdrett av yngel [369] lot nyklekte rødspettelarver seg startfôre på en diett av u-anrikede *Artemia*. I et startfôringsforsøk, ikke ulikt det som beskrives av Rollefson, oppnådde Shelbourne, Riley [370] i underkant av 50 % overlevelse og gjennomsnittsvekter på 5 gram etter 80 dager [368, 370], mens Adron og medarbeidere rapporterte overlevelse gjennom metamorfose på ca. 20 % etter startfôring direkte med formulert fôr [371].

4.5.2.3 Sei

Sei (*Pollachius virens*) er utbredt i hele Atlanterhavet. Den blir kjønnsmoden etter 5-6 år og gyter på kystbankene fra Lofoten og sørøver på relativt store dyp (100 til 200m). Målt i oppfisket kvantum er seien vår femte viktigste fiskeart. Fangstvolumet har ligget mellom 150 000 og 200 000 tonn årlig siden 1970 tallet [3]. Verdien av fisket i 2017 var om lag 1.3 milliarder kroner og kiloprisen på villfanget, sløyd sei var mellom kr 6,80 og 9,90 (Tabell 4.1). Ved Havforskningsinstituttet har det blitt utført en rekke forsøk med sei, inklusive omfattende undersøkelser på langtidslagring av sei i merd rundt 1980. Yngel har blitt produsert [372], og eggutvikling og eggproduksjon er inngående studert [373]. Disse forsøkene indikerer at yngelproduksjon er overkommelig. Det foreligger få data fra påvekstfasen hos oppdrettet sei. Vill yngel av sei tar seg regelmessig inn i laksemerder. Disse vokser opp på laksefôr. Mye tyder imidlertid på at seien er godt egnet til å gå i merder og at «lakseteknologi» kan benyttes. Sei vil ha et høyere filetutbytte enn torsk og hyse og kan være egnet til høyintensiv produksjon.

4.5.2.4 Tykkleppet multe

Tykkleppet multe (*Chelon labrosus*) er vanlig forekommende i middelhavsområdet, hvor det også blir drevet noe oppdrett av arten. Dens naturlige utbredelsesområde er fra Nord-Afrika opp til Island, og den har vid toleransegrense for salinitet. Selv om denne multen vanligvis regnes som varmtvannsart, er gyting observert så langt nord som Irland [374], noe som tyder på at den kan reprodusere i forholdsvis kaldt vann. I Norge blir den fremfor alt fanget langs sørlandskysten. Larvene lever utelukkende av zooplankton, mens større fisk er omnivor og gjerne spiser alger og krepsdyr. Tykkleppet multe er en fet fisk og kan oppnå en størrelse på 75 cm og 4,5 kg (www.fishbase.org), hvor hunnene generelt er større enn hanfisken. I dag blir yngel for oppdrett enten fanget vill, eller produsert i semi-ekstensive mesokosmos-systemer [375]. Videre vekst skjer fremfor alt i jord-dammer og andre landbaserte systemer. Det er vanskelig å finne gode vekstdata for fisk som er større enn 80-100g og produksjonstall for akvakultur mangler. Tidlige forsøk med ulike fôrtyper tyder på at selv om tykkleppet multe er omnivor og foretrekker en diett basert på alger i naturen, så vokser den bedre når den blir fôret med dietter med høyt innhold av fiskeprotein [333].

4.5.2.5 Stør

Størfamilien inneholder 27 arter hvorav ingen reproduserer naturlig i Norge. Likevel er den europeiske støren (*Acipenser sturio*) regelmessig blitt funnet langs kysten helt opp til Finnmark, men funnene er usikre de siste 50 årene. Denne arten er, som de fleste stører anadrom, men utbygging og forurensing av gyteområdene i de store kontinentale elvene har gjort at den nå er kritisk truet [376]. Den mest kjente av størene er Belugaen (*Huso huso*) som er opphavet til den kjente belugakaviaren. Denne arten sies å kunne oppnå en lengde på 8 meter og veie innpå 2000 kg og er således en av de største fiskene. Det er allerede en betydelig aktivitet i oppdrett av flere størarter (se f. eks. [377, 378]). Kjøttet oppnår svært gode priser i markedet. I de senere årene har det også blitt rapportert om metoder for å løsne egg fra gonadene uten å ta livet av fisken, slik at samme individ kan høstes for kaviar flere ganger. Flere rapporter har konkludert med at stør ikke vil kunne etablere seg i norsk fauna med selvreproduserende populasjoner, selv om det finnes vassdrag som teoretisk vil kunne tilfredsstillte størens krav til gyteområder. Den eneste størarten, og også den mest euryhaline, som har blitt fanget/observert i norske farvann er den europeiske støren (*Acipenser sturio*). Denne er sterkt utryddingstruet, og utsettingsforsøk i Østersjøen har ikke hatt den ønskede effekten på den gjenværende populasjonen. Atlantisk stør (*Acipenser oxyrinchus*) har tidligere hatt gyteelver i Middelhavet og Østersjøbassenget, men sannsynligvis på grunn av en kombinasjon av forurensing samt overfiske, er denne arten nå nesten helt borte.

4.5.3 Aktuelle arter:

Minstepris i Norge for villfanget fisk av noen av de arter vi har vurdert er angitt nedenfor, i tabell 4.3, sammen med auksjonspris for de samme artene i Sverige (Göteborg og Smögen) og Danmark (Hanstholm og Hirtshals). Prisene er ikke helt sammenlignbare siden de baserer seg på utropspris for dagsfangster i Sverige og Danmark, men kan allikevel gi en oppfatning om eksportverdi til de nordeuropeiske fiskemarkedene.

Med dagens kunnskap om intensiv yngelproduksjon av en rekke andre marine arter vil startfôring frem til yngel av både rødspette, lomre, sei og multe sannsynligvis være forholdsvis enkelt å få til. Egg- og larvestørrelser tilsier at standard levendefôr med hjuldyr og *Artemia* kan fungere godt. Metodene som benyttes for blant annet kveite i sirkulære selvrensende kar vil sannsynligvis kunne benyttes direkte på disse artene. Rødspette er en art som man i flere sammenhenger har noe erfaring med, men den har ikke vært forsøkt oppdrettet til «spisbar størrelse». Det samme gjelder for lomre, hvor det er gjort innledende arbeid med yngelproduksjon [366]. Det er kommersiell akvakulturproduksjon av stør i en rekke land. I tillegg er der kultiveringsprogrammer gående for europeisk stør. Yngelproduksjon av stør beherskes godt.

Det mangler derimot informasjon om vekstrater og ernæringskrav i påvekstfasen for disse artene. For påvekst av rødspette og lomre må det utredes hvilke systemer og temperaturer som er best egnet. For alle oppdrettsarter er det svært viktig at ernæringsbiologi, inkludert utvikling av bærekraftig vekstfôr, er en integrert del i forskning og utvikling. Robuste avlsprogrammer bør etableres for alle nye arter i oppdrett.

4.5.3.1 Torsk og torskefisk

Oppdrett av torsk og hyse er etablert i kommersiell skala, men det har vist seg vanskelig å få en bærekraftig økonomi i produksjonen. Dette skyldes biologiske faktorer som sykdom, tidlig kjønnsmodning, lavt filetutbytte og akkumulering av fett i lever, men også lav pris i markedet (Tabell 4.3). Oppdrett av torsk skjer i dag i liten skala, etter at akvakulturproduksjonen av torsk kollapset rundt 2010. Potensialet vil avhenge av at en klarer å markedsføre oppdrettstorsk som et eget produkt ned stabil kvalitet, som er tilgjengelig året rundt. Sei er vurdert som kandidat til ny art i oppdrett, fordi den sannsynligvis kan produseres effektivt i merder og tilsynelatende tåler feitere fôr enn torsk. Det er per i dag meget god tilgang på villfanget sei, og den har lav pris (Tabell 4.3).

Tabell 4.3. Minstepris/dagspris i februar 2018 for noen marine fiskearter i Norge, Sverige og Danmark. Prisen varierer i forhold til størrelse. For kveite er kiloprisen høyest for fisk <20 kg og lavest for fisk fra 65kg -2m (100kg): kveite over 2m lengde fisket i Norge må kastes ut igjen grunnet høyt innhold av miljøgifter. For de andre artene er kiloprisen høyere for større fisk enn mindre.

Art	Minstepris (NO) rund*	Minstepris (NO) sløyd*	Gjennomsnittspris (SE)*	Gjennomsnittspris (DK)*
Kveite	-	35,00 - 65,00	84,25 - 160,00	78,00
Lomre	-	15,00 - 17,50**	31,00 - 88,00	51,10 - 82,24
Rødspette	5,91 - 6,96	6,50 - 7,00**	16,00 - 76,00	16,75 - 40,74
Sei	4,24 - 6,24	6,80 - 9,90	16,05 - 23,00	8,07 - 15,00
Piggvar	Fri pris	Fri pris	100,00 - 184,20	71,79 - 215,00
Torsk	11,53 - 14,70	17,75 - 22,50	24,60 - 67,15	18,60 - 38,00
Steinbit***	6,10 - 7,02	10,00 - 11,50	31,00 - 49,00	19,18 - 56,54
Lysing	-	Fri pris	35,85 - 42,35	21,92 - 38,00

*Pris i henholdsvis NOK, SEK og DKK. Auksjonsprisene i Sverige og Danmark er hentet i februar 2018, **sløyd med hode,

***fleksteinbit i Norge, gråsteinbit i Sverige og Danmark

Kilder: Norges Råfisklag (<http://www.rafisklaget.no/portal/page/portal/NR/PrisogStatistikk/Minstepris>), Smögens fiskauktion (<http://www.smogens-fiskauktion.com/prisnoteringar>), Göteborgs fiskauktion (<http://www.gfa.se/prisnoteringar/>), Fiskeauktion.dk (<http://www.fiskeauktion.dk/Prices>).

4.5.3.2 Kveite

Kveite er en kommersiell oppdrettsart, men produksjonskvantumet er begrenset (Tabell 1.3) Produksjonen av kveite, spesielt settefiskproduksjonen, er komplisert. Det er derfor lite trolig at kveite vil bli en art der det produseres store kvanta, men arten har fortsatt et utnyttet potensial. Det gjenstår å få etablert et avlssystem, å optimalisere yngelproduksjon og for å utvikle gode systemer for videre vekst. Perioden når kveitelarvene er avhengig av å spise levende byttedyr er lang i forhold til mange andre arter. Produksjon av levendefôr og røkting ved startfôring er svært arbeidskrevende, og nærings sammensetningen på byttedyrene er ikke optimal. En stor utfordring er derfor å redusere eller eliminere avhengigheten av levende fôrorganismer og utvikle et godt formulert fôr som larvene vil spise og som gir riktig utvikling. Videreutvikling av gode systemer for startfôring med godt mikrobielt miljø har også høy prioritet og resirkulering vil kunne være viktig for å oppnå dette.

4.5.3.3 Lomre

Innledende forsøk med yngelproduksjon ble gjort ved NOFIMA i begynnelsen av 2000-tallet [366]. Disse forsøkene viste at det lar seg gjøre å produsere yngel av denne arten, og den kunnskap vi i dag har bygget opp fra yngelproduksjon av kveite og torsk vil være svært nyttig. Viktige forskningsoppgaver vil være optimalisering av stamfiskhold og utvikling i tidlige stadier, inkludert effekter av ernæring og oppdrettsmiljø på velferd og helse. Tidlig kjønnsmodning kan bli en utfordring og må ha spesielt fokus. Som for rødspetten, mangler det kunnskap om videre vekst, helse og sykdom, samt optimale vekstfôr i påvekstfasen og de fleste av utfordringene innen forskning og utvikling av lomre i oppdrett vil være de samme som for rødspetten.

4.5.3.4 Rødspette

Tidlig arbeid viser at yngelproduksjon av rødspette kan være forholdsvis enkelt å få til [369] [368, 370], og at den kan begynne å spise formulert fôr meget raskt etter klekking [371].

Videre vekst, alder og størrelse ved kjønnsmodning i oppdrett er ikke undersøkt og vil være viktige forskningsoppgaver sammen med velferd, helse og sykdom. Utvikling av vekstfôr som sikrer bærekraftig ressursutnyttelse må prioriteres og gå hånd i hånd med forskning innen produksjonsbiologi, velferd og helse, og utvikling av oppdrettsteknologi

4.5.3.5 Tykkleppet multe

Tykkleppet multe blir regnet som en varmekjær art, og en ser for seg bruk av resirkulering både i yngelproduksjon og videre vekst opp til en viss størrelse, med en periode i lukkede eller åpne anlegg i sjø den siste tiden frem til slakting. Mulighetene for å utvikle fôr basert på vegetabiliske råvarer, inkludert alger, er meget gode siden alger er en naturlig del av føden for multe etter larvestadiet. Selv om tidlige forsøk viste bedre vekst med fôr basert på animalsk protein [333], vil en med dagens teknologi og kunnskap om fiskeernæring være bedre i stand til å kunne utvikle gode, alge-baserte fôr med god effekt på vekst, helse og velferd for denne arten.

4.5.3.6 Stør

For de fleste av størartene drives det en akvakulturproduksjon og globalt produseres det omlag 100 000 tonn. Det produseres også settefisk i forbindelse med utsettingsprogrammer for å hjelpe eller reetablere stammer i de opprinnelige områdene. Det finnes en mengde litteratur på området, blant annet komplette produksjonsmanualer for flere av artene [378, 379]. Oppdrett av stør til matfisk vil sannsynligvis kunne skje i merd dersom det blir gitt slik tillatelse.

4.5.4 Nye arter med mulig potensial

4.5.4.1 Uer

Uer (*Sebastes norvegicus*) er en god og undervurdert matfisk som har en forholdsvis høy pris på det asiatiske markedet, grunnet sin røde farge. Hvordan uer vil tilpasse seg oppdrett er ikke undersøkt og det mangler data på vekst og reproduksjon i fangenskap. Arten kan imidlertid være interessant på lengre sikt.

4.5.4.2 *St Petersfisk*

St Petersfisk (*Zeus faber*) er en art fra sørligere farvann som er begynt å bli mer vanlig også i norske farvann. Det er rapportert om flere fangster av kjønnsmoden fisk på Vestlandet, noe som tyder på at den kan være i stand til å reprodusere seg her. St Petersfisken er en ettertraktet matfisk med høy pris, men det mangler kunnskap om hvordan den tilpasser seg oppdrett.

5 Konklusjon

Det er en erkjennelse at de største bidragene til fremtidig økt marin produksjon må komme lavere i næringsnettet enn det som i dag praktiseres, og vi trenger nye løsninger til økt bærekraft i eksisterende produksjon og økt produksjon i både økosystemer og for spesifikke sjømatprodukter [23]. Jordens biologiske produksjon er omtrent likt delt mellom land og hav, men kun 2 % av kaloriinntaket og 15 % av proteininntaket til mennesker kommer fra havet. Dette er ikke lenger holdbart gitt ernæringsbehovet til en økende befolkning og overforbruk av landbaserte ressurser. Samtidig blir havet varmere og mer surt, og velstanden øker for en større andel av verdens befolkning. Det globale samfunnet må samhandle for å sikre retten til fremtidige generasjoner til et sunt og produktivt hav. Det vitenskapelige råd er entydig og peker på bærekraftig dyrking og fangst av lavtrofiske nivåer som måten å øke den globale matproduksjonen [26]. Det største og mest gjennomførbare potensialet for global produksjon er dyrking av marine filtrerende organismer som mat for mennesker eller sammen med dyrking av alger (tang og tare) som en mer økologisk kilde til fôr for akvakultur av marine krepsdyr og fisk [23, 26].

5.1 Mikroalger

Generelt er mikroalger encellede autotrofe eller heterotrofe akvatiske organismer som trives under svært forskjellige forhold, inkludert i klimatiske forhold som i kalde som i Norge. Det finnes store muligheter for å dyrke kuldetilpassede mikroalger med spesifikke egenskaper i kalde områder. Det siste tiåret har vi vært vitne til en stor og økende interesse for dyrking av mikroalger som kilde til viktige forbindelser som nutraceuticals, mat og dyrefôr. Selv om det ennå ikke er en blomstrende global industri, blir det gjort investeringer over hele verdikjeden for å utvikle en økonomisk levedyktig mikroalgebasert industri. Gjennom offentlig og privat finansiering av den fremvoksende mikroalgebaserte industrien, kan Norge styrke sin eksisterende bioøkonomi. Videre vil slike tiltak bidra til nasjonal og global matvaresikkerhet. Godkjenning av mikroalger som ikke-konvensjonelle fôr/matkilder kan ikke bare redusere overutnyttelse av naturressurser, men også ta opp den forutsagte fremtidige mat- og energikrisen.

5.2 Kulturbetinget høsting

I kulturbetinget høsting oppnås økt produksjon og lettere tilgang til en ressurs gjennom utsett av organismer eller fysiske innretninger i deler av produksjonssyklusen. Der er potensiale og begrensninger for kulturbetinget høsting, gjennom havbeite av stort kamskjell og hummer, lewendelagring/oppføring av kråkeboller og stillehavsøsters, integrert havbruk med børstemark og sjøpølser, og styrt oppstrømning av næringsrikt dypvann for økt produksjon av blåskjell og tunikater.

Erfaringene med stort kamskjell i havbeite gir et kunnskapsgrunnlag for utvikling av en havbeitestrategi som ligger i en nærmere kopling til fisket på naturlige bestander, i et kulturbetinget fiske. Kompetanse er bygget opp for kommersiell produksjon av yngel i klekkeri og grunnlag for lokalisering og strategi for havbeite. Bruk av vesentlig lavere tettheter i utsetninger enn tidligere praksis er forventet å gi bedre overlevelse. Påvist effekt av utsetninger, lang produksjonstid og effektiv høsting synes å være største utfordringer. Stort kamskjell er lav-trofisk og bidrar dermed til å realisere noe av det største produksjonsgrunnlaget vi har for økt matproduksjon langs kysten.

Fisket av europeisk hummer er i dag på et minimum og har liten kommersiell betydning sammenlignet med for ca. 70 år siden da fangstene utgjorde 30–40 % av det totale uttaket i Europa. Med sin høye markedsverdi har interessen vært stor for oppdrett og utsett av klekkeriprodusert hummer for å gjenoppbygge bestandene og styrke fiskeriene. Et viktig kunnskapsgrunnlag for havbeite er fra aktiviteter på Kvitsøy hvor det er oppnådd høye gjenfangster. Historisk har hummer vært en viktig ressurs for kystsamfunnet, og har i dag sin største betydning gjennom fritidsfiske. Produksjonskostnader i klekkeri inkludert fôrutvikling, overlevelse ved utsett og riktig valg av utsettingsområder synes å være de største utfordringene. Hummer som ressurs har viktig og eksklusiv posisjon i kystkulturen og økt produksjon vil dermed bidra til betydelig verdiskapning langs kysten.

Oppføring av grønn kråkebolle til produkt med høyt rogn-innhold kan bidra til utnyttelse av en betydelig og godt kjent kystressurs. Produktet har høy markedsverdi og kommersialisering av oppføring pågår og produksjon av fôr er startet til et internasjonalt marked. Effektiv høsting og utfordringer med teknologi og leveranse logistikk synes å være største utfordringer. Både kråkeboller og det tarebaserte fôret som utvikles er lav-trofisk og bidrar potensielt til å realisere en økt matproduksjon langs kysten.

Utbredelsen av stillehavsøsters i Norge er regnet som en bioinvasjon, og arten er svartelistet (dvs. at spredningen i norsk natur regnes som uønsket). Samtidig ser man (i Skandinavia) på muligheten for å bruke den som en ny kystressurs, gjennom høsting av bestander og hold i mottaksanlegg for sikring av kvalitet før de selges. Utvikling av slik levendelagring (eller depotbanker i sjø) gir muligheter for utvikling av denne formen for kulturbetinget høsting. Juridiske forhold knyttet til høsting og omsetning, mattrygghet, kunnskap om dynamikken i bestandene synes å være største utfordringene. Stillehavsøsters er lav-trofisk og bidrar dermed til å realisere noe av det største produksjonsgrunnlaget vi har for økt matproduksjon langs kysten.

Organisk avfall fra fiskeoppdrettsanlegg som sedimenterer til bunn kan lokalt resultere i sterkt forhøyet forekomst, biomasse og produksjon av bunndyr. Produksjon hos børstemark under oppdrettsanlegg kan være i størrelsesorden 50 ganger høyere enn naturlig produksjon. Høsting av denne børstemarkproduksjonen til biomasse formål kan også redusere virkningen av avfall fra fiskeoppdrett på bunnmiljøet. Mulig anvendelse av de mest produktive artene børstemark (*Ophryotrocha* og *Capitella*) og tekniske løsninger for høsting synes å være største utfordringer. Et typisk fiskeoppdrettsanlegg (100 000 m²) har et årlig potensiale for høsting av 700 tonn børstemark, mens avføring fra hele norsk fiskeoppdrett har et potensial på 30 000 tonn. Børstemark under fiskeoppdrettsanlegg resirkulerer akvakultur avfall og bidrar dermed til å øke bærekraften i økt matproduksjon langs kysten.

Rød sjøpølse har et stort godt betalende marked i Asia. Den er vurdert å være effektive i å omsette avfall under fiskeoppdrettsanlegg og der er potensiale for tilrettelegging for økt produksjon (eventuelt aggregering) og kulturbetinget høsting av rød sjøpølse. Kunnskap om forekomst og tekniske løsninger for høsting synes å være største utfordringer. Rød sjøpølse under fiskeoppdrettsanlegg resirkulerer akvakultur avfall og bidrar dermed til å øke bærekraften i økt matproduksjon langs kysten.

Kontrollert tilførsel av næringsalter fra dypere til øvre vannlag i fjorder er vist å kunne gi grunnlag for bedre produksjonsforhold for planteplankton og dermed kulturbetinget høsting gjennom dyrking av for eksempel beitere som blåskjell (*Mytilus edulis*) og sekkedyr (*Ciona intestinalis*). Blåskjell som dyrkes i influensområdet for oppstrømning av dypvann er vist å gi 24-95 % høyere utbytte av bløtdeler enn blåskjell dyrket utenfor. Arealbehov for dyrkingsanlegg for blåskjellene i fjorder med oppstrømning av næringsrikt dypvann vil halveres eller mer sammenlignet med naturlig kapasitet. Det er i Norge kartlagt 143 fjordområder med totalt areal på 4400 km² antatt egnet for kontrollert oppstrømning. 1 million tonn blåskjell vil kunne produseres på 2200 km², som er 35-40 % av behovet under naturlige forhold. Sett i relasjon til arealbruk og matproduksjon i kystsonen, vil kontrollert oppstrømning i en fjord kunne gi grunnlag for produksjonen som naturlig ville kreve 3 fjorder av samme størrelse. Kunnskap om virkning av kontrollert oppstrømning på økosystemet i fjorder og betydning av beiting fra filtrerende arter på planktonsamfunnet synes å være de største begrensningene. Kulturbetinget høsting gjennom kontrollert oppstrømning av næringsrikt dypere vannlag i fjorder er en unik utnyttelse av lav-trofisk produksjon som kan gi et stort bidrag til å realisere noe av det største produksjonsgrunnlaget vi har for økt matproduksjon langs kysten.

Av kandidatene i kulturbetinget høsting anbefales utvikling av styrt oppstrømning av næringsrikt dypere vannlag i fjorder som en unik og utprøvd ny løsning for økt utnyttelse av lav-trofisk produksjon, med potensiale for et relativt meget stort bidrag til økt mat- og biomasseproduksjon i fjorder. Videre anbefales oppføring av grønn kråkebolle med tarebasert fôr som gir ny utnyttelse av to godt kjente og viktige lav-trofiske ressurser på kysten. Integrerte løsninger for å utnytte den sterkt forhøyete produksjonen lokalt under fiskeoppdrett anbefales for å realisere et stort potensial for biomasse produksjon og økt bærekraft gjennom resirkulering av avfall i eksisterende havbruk.

5.3 Makroalger

Vekstkraften i tareskogøkosystemet gir oss unike muligheter til økt matproduksjon. Stående biomasse av stortare er beregnet til 50-60 mill. tonn våtvekt Det er anslått at nærmere 2000 kvadratkilometer (Sivertsen 1997) frodig og artsrik tareskog var beitet ned av kråkeboller. De siste årene er det registrert en betydelig tilbakegang av kråkeboller med påfølgende gjenvekst. Det er behov for mer kunnskap omkring effekten av omfattende restaurering, gjennom kalking eller reintroduksjon av naturlige fiender av kråkeboller. Reetablering kan ha stor betydning for rekruttering av ulike fiskeslag og vil kunne resultere betydelig økt høstepotensial av tare i områder som i dag anses som «lav produktive». Reetablering av tidligere habitater og høsting av viltvoksende tare vil i en kort tidshorisont sannsynligvis være den eneste lønnsomme måte å skaffe råstoff til industriell produksjon av bioenergi eller alginater.

Det er også nødvendig å igangsette forskningsaktivitet for å fremskaffe kunnskap omkring ulike aspekter ved dyrking av makroalger. Denne forskningen må være målrettet og underbygge kommersiell utvikling. For at man

skal kunne utnytte potensialet i makroalger som ressurs er det nødvendig å øke produksjonen. I denne fasen er det nødvendig med utvikling av effektive kultiveringsstrategier, tekniske løsninger knyttet til anlegg, utsetting og høsting, transport (MACROSEA) [18]. I tillegg vil det være avgjørende om man har tilgang til store arealer i sjø. Monokulturer av makroalger i industriell skala er svært areal krevende. I kystsonen er det flere bruker interesser knyttet til arealbruk, og storskala makroalgekultivering vil kunne resultere i arealkonflikt i kystsonene.

5.4 Dyrking av marine filterfødere

Potensialet for global mat og biomasseproduksjon av marine filtrerende organismer er estimert til mer enn 100 millioner tonn per år på verdensbasis [23]. Det antas at dette potensialet kan nås i løpet av 20-30 år gitt dagens vekstrater for disse organismene.

Hvordan kan Norge bidra til å nå en slik målsetning? På kort sikt foreslås det her å løse «flaskehals» i dyrkingen av blåskjell og grønnsekkyr for å oppskalere biomasseproduksjon. I tillegg bør tillatelse til dyrking av stillhavsøsters vurderes spesielt. Av de arter som dyrkes i Norge i dag har vi klart mest erfaring og kunnskap med dyrking av blåskjell. Vi har god kjennskap til produksjonsbiologi og økologi for blåskjell dyrket under norske forhold. Dette gir kunnskap om risiko for effekter på økosystemet og grunnlag for å gi råd om overvåkning. Blåskjell er også en art som det dyrkes mye av globalt og det har lang tradisjon som mat. Konsumskjellindustrien har mål om å ekspandere og produserer ikke tilstrekkelig i dag til å dekke etterspørselen. Blåskjell har en eksisterende posisjon i forhold til å bidra til å dekke en forventet fremtidig økning i globalt matbehov på 70 % frem mot 2050 [23]. Næringen har identifisert flaskehals i produksjonen både med tanke på dyrking av konsumskjell og som forråvare. Dyrking av 1 million tonn blåskjell vil redusere mengden av føde i vannmassene fra et estimert areal tilsvarende 5700 km², eller 2200 km² ved bruk av kontrollert oppstrømning av næringsrikt dypvann. Tilgang på areal vil kunne begrense dyrking av marine filtrerende organismer. En realisering av det store potensialet for dyrking av blåskjell og andre arter lavt i næringsnettet vil kreve en sterk teknologisk utvikling. Dette kan gjøres som teknologioverføring fra andre fremtredende industrisektorer i Norge, eller tilpassing av eksisterende teknologi internasjonalt.

Gitt et lengre perspektiv (10+ år) for utvikling av dyrking av marine filterere åpner dette for andre arter og andre dyrkingemetoder. Disse artene må være etterspurte som konsumskjell og oppnå relativt høye priser i markedet. Det er ventet økende effekter av havforsuring og global oppvarming i tiden som kommer [23]. I denne forbindelse er det knyttet usikkerhet til om havforsuring vil påvirke utvikling og vekst av filtrerende organismer med skall. Global oppvarming med økt sjøtemperatur vil sannsynligvis bedre vilkårene for patogener og fremme spredning av patogener. Således øker risiko for sykdomsproblematikk for dyrkede organismer. Det er også økende fokus på opptak av mikroplast i næringskjeden, og spesielt i filtrerende organismer som renser store volumer av vann for partikler. Effekter av mikroplast på filtrerende organismer er så langt lite kjent, men det er knyttet bekymring til om mikroplast vil påvirke den ernæringsmessige verdien til matvaren. Utvelgelse av fremtidige arter til mat og eller biomasseproduksjon bør inkludere en vurdering av artens toleranse til forventede endringer i miljøet.

5.5 Oppdrett av marin fisk

Norge har i dag en stor, merdbasert produksjon av laks og regnbueørret. Produksjon av kveite er økende, men fortsatt ubetydelig sammenlignet med laks og regnbueørret. Oppdrett av torsk og flekksteinbit skjer hos noen få aktører i Nord-Norge, og det er en liten men stabil matfiskproduksjon av piggvar hos i Kvinesdal i Vest-Agder. I Meløy kommune i Nordland er det også et landbasert anlegg for produksjon av stør-arter. Dagens produksjon er i eksperimentell skala. De nye artene som er foreslått er alle naturlig hjemmehørende i norsk fauna, de har ulike ernærings- og miljøkrav og vi har varierende bakgrunnskunnskap til deres biologi. Med unntak av stør og tykkleppe multe vet vi også at det fins etablerte gytebestander av de ulike artene i Norge. Europeisk stør og tykkleppe multe forekommer eller har forekommet i norske farvann.

Det vil være naturlig å prioritere forskning på arter der det er etablert kommersiell produksjon. Erfaringsmessig er usikkerheten stor og kostnadene svært høye ved etablering av helt nye fiskearter i oppdrett.

For oppdrett av alle nevnte arter er det fortsatt flaskehals relatert til stamfisk, yngelkvalitet, sykdom og helse, samt kontrollert kjønnsmodning. Videre er det nødvendig med forskning som gir grunnlag for at forvaltning og utarbeiding av regelverk tilpasset de nye oppdrettsartene.

Torskefisk (torsk, sei og hyse) vurderes som de mest aktuelle artene for kvantumsproduksjon i merder i sjø. Vi har god kunnskap knyttet til stamfiskhold og yngelproduksjon av artene, og for torsk er det allerede et godt etablert avlsprogram. Europeisk stør kan muligens også produseres i merder langs norskekysten.

Vi vurderer flatfiskartene lomre og rødspette som gode, nye, oppdrettskandidater. Da som nisjeprodukter rettet mot et nordeuropeisk marked. Vi har god kunnskap og lang erfaring innen yngelproduksjon av flatfisk som kan overføres, men mangler data på videre vekst til kommersiell størrelse.

Rensefisk som rognkjeks og berggylt er nøkkelarter for håndtering av luseproblemene i lakseoppdrett. Utvikling av oppdrettsteknologi for disse artene drives fram av lakseoppdretterne. Det er imidlertid også her et behov for å ivareta behovet forvaltningen har med hensyn til bærekraft og dyrevelferd.

Internasjonalt er det en stor og etablert produksjon av stør, i land som Iran, Russland og USA. I Norge er det kun gitt tillatelse til oppdrett av stør i ett landbasert anlegg. En risikovurdering er nødvendig hvis merdoppdrett av europeisk stør skulle bli aktuelt.

I en videre differensiering kan også arter som tykkleppet multe, St. Petersfisk og uer være aktuelle arter. Særlig multen vil være interessant å utrede, siden den er en algepisser og en derfor vil kunne utvikle fôr basert på plantebaserte råvarer.

6 Referanser

1. Fiskeridirektoratet. *Laks, regnbueørret og ørret*. Akvakultur 2017 [cited 2017].
2. Fiskeridirektoratet. *Biomassestatistikk*. 2017 [cited 2017; Available from: <http://www.fiskeridir.no/content/download/8937/109241/version/55/file/biostat-forforbruk-tab03->].
3. FishstatJ. *FishstatJ - FAO Global Fishery and Aquaculture Statistics*. FishstatJ - FAO Global Fishery and Aquaculture Statistics 2017 [cited 2017; Available from: <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>].
4. Andersen, S., T. Strohmeier, H.K. Strand and O. Strand, *Karbonfangst og matproduksjon i fjorder*, in *Rapport fra Havforskningen* 2014. p. 1-129.
5. Fiskeridirektoratet. *Akvakulturstatistikk (tidsserier)*. 2017 [cited 2018 26 Feb.]; Available from: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Akvakulturstatistikk-tidsserier>.
6. Fiskeridirektoratet. *Andre marine fiskearter*. Akvakulturstatistikk (tidsserier) 2018 [cited 2018 2 mars]; Available from: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Andre-marine-fiskearter>.
7. Fiskeridirektoratet. *Rensefisk*. Akvakulturstatistikk - tidsserier 2018 [cited 2018 2 mars]; Available from: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Rensefisk>.
8. Strand, Ø., A. Louro and P.F. Duncan, *European Aquaculture*, in *Scallops*, S.E. Shumway and J.P. Parsons, Editors. 2016, Elsevier Science: Oxford, UK. p. 859-890.
9. SSB. *Akvakultur*. 2017 26 October 2017 [cited 2018 20 Feb]; Available from: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/fiskeoppdrett/aar>.
10. Strohmeier, T., Ø. Strand, M. Alunno-Bruscia, A. Duinker, R. Rosland, J. Aure, S.R. Erga, L.J. Naustvoll, H.M. Jansen and P.J. Cranford, *Response of *Mytilus edulis* to enhanced phytoplankton availability by controlled upwelling in an oligotrophic fjord*. Marine Ecology Progress Series, 2015. **518**: p. 139-152.
11. Olafsen, T., U. Winther, Y. Olsen and J. Skjermo, *Verdiskaping basert på produktive hav i 2050*. 2012: Trondheim, Norway. p. 77.
12. Agnalt, A.-L., *Stock enhancement of European lobster (*Homarus gammarus*) in Norway; Comparisons of reproduction, growth and movement between wild and cultured lobster*, in *Department of Biology*. 2008, University of Bergen. p. 56.
13. Siikavuopio, S.I., P. James, B.R. Olsen, T.H. Evensen and A. Mortensen, *Holding wild caught red king crab, *Paralithodes camtschaticus*: effects of stocking density and feeding on survival and meat content*. Aquaculture Research, 2016. **47**(3): p. 870-874.
14. SSB. *Utslipp av klimagasser*. 2016 [cited 2018 27 feb.]; Available from: <https://www.ssb.no/klimagassn/>.
15. Anon., *Årsrapport til Fiskeridirektoratet - Lerøy Vest AS - forskningsstillatelse H-ØN-46*. 2018, Lerøy ASA: Bergen.
16. Lobban, C.S. and P.J. Harrison, *Seaweed ecology and physiology*. 1994, Cambridge: Cambridge University Press.

17. Gundersen, H., H.C. Christie, H. de Wit, K.M. Norderhaug, T. Bekkby and M.G. Walday, *Utredning om CO₂-opptak i marine naturtyper*, in *NIVA Rapport*. 2011, NIVA: Oslo. p. 26.
18. Stevant, P., C. Rebours and A. Chapman, *Seaweed aquaculture in Norway: recent industrial developments and future perspectives*. *Aquaculture International*, 2017. **25**(4): p. 1373-1390.
19. Andersen, S., T. Strohmeier, H.K. Strand and Ø. Strand, *Karbonfangst og matproduksjon i fjorder*, in *Rapport fra Havforskningen*. 2014, Havforskningsinstituttet: Bergen. p. 129.
20. Strand, Ø., H.M. Jansen, Z. Jiang and S.M.C. Robinson, *Perspectives on bivalves providing regulating services*, in *Goods and Services of Marine Bivalves*, A.C. Smaal, et al., Editors. (in press), Springer Publisher.
21. Strand, Ø., *Carrying capacity of native low-trophic resources for fish feed ingredients - the potential of tunicate and mussel farming*. , in *Sluttrapport til Norges forskningsråd, prosjektnr 234128*. 2017, Havforskningsinstituttet: Bergen.
22. FAO. *International trade in fishery commodities by principal importers and exporters*. 2014; Available from: <http://www.fao.org/fishery/docs/STAT/summary/a3ybc.pdf>.
23. SAPEA, *Food from the oceans: how can more food and biomass be obtained from the oceans in a way that does not deprive future generations of their benefits?*, in *Evidence Review Report No. 1*. 2017, Science Advice for Policy by European Academies: Berlin. p. 99.
24. FAO, *The State of World Fisheries and Aquaculture 2014*. 2014: Rome. p. 233.
25. FAO, *How to feed the world 2050*. 2009, FAO: Rome. p. 35.
26. SAM, *Food from the oceans*, in *Scientific opinion*. 2017, European Commission. Directorate-General for Research and Innovation: Brussels. p. 62.
27. Akvakulturloven, *Lov om akvakultur (akvakulturloven)*, N.-o. fiskeridepartementet, Editor. 2005, Lovdata: Oslo.
28. Akvakulturforskriften, *Forskrift om drift av akvakulturanlegg (akvakulturdriftsforskriften)*, in *FOR-2008-06-17-822*, N.-o. fiskeridepartementet, Editor. 2008, Lovdata: Oslo.
29. Glover, K.A., B.E. Grøsvik, V. Husa, Ø. Karlsen, T. Kristiansen, B.O. Kvamme, S. Mortensen, O.B. Samuelsen, L.H. Stien and T. Svåsand, *Risikorapport norsk Fiskeoppdrett 2018*, in *Fisken og havet*, E.S. Grefsrud, et al., Editors. 2018. p. 182.
30. Anonym, *Sjømat 2025 – hvordan skape verdens fremste havbruksnæring 2012*, FHL, Fiskeri- og Havbruksnæringens Landsforening: Oslo. p. 38.
31. NFD. *Regjeringen skrur på trafikklyset*. 2017 [cited 2017 07 Dec.]; Available from: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/regjeringen-skrur-pa-trafikklyset/id2577032/>.
32. Produksjonsområdeforskriften, *Forskrift om produksjonsområder for akvakultur av matfisk i sjø av laks, ørret og regnbueørret (produksjonsområdeforskriften)*, F.o. næringsdepartementet, Editor. 2017, Lovdata: Oslo.
33. Ådlandsvik, B., *Forslag til produksjonsområder i norsk lakse- og ørretoppdrett.*, in *Rapport fra Havforskningen*. 2015, Havforskningsinstituttet. p. 59.
34. Stortingsmelding, *Forutsigbar og miljømessig bærekraftig vekst i norsk lakse- og ørretoppdrett*, N.-o. fiskeridepartementet, Editor. 16 (2014-2015), Nærings- og fiskeridepartementet: Oslo.
35. Fiskeridirektoratet. *Lønnsomhetsanalyse for matfiskproduksjon; Fôrpris per kg 2008-2016*. 2016 [cited 2018 20 feb]; Available from: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Loennsomhetsundersokelse-for-laks-og-regnbueoerret/Matfiskproduksjon-laks-og-regnbueoerret>.

36. Gjedrem, T., N. Robinson and M. Rye, *The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: A review*. *Aquaculture*, 2012. **350-353**: p. 117-129.
37. Thodesen, J., B. Grisdale-Helland, S.J. Helland and B. Gjerde, *Feed intake, growth and feed utilization of offspring from wild and selected Atlantic salmon (*Salmo salar*)*. *Aquaculture*, 1999. **180**(3-4): p. 237-246.
38. Fiskeridirektoratet. *Akvakulturregisteret - pr 12.02.2018*. 2018 [cited 2018 14.02]; Available from: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Registre-og-skjema/Akvakulturregisteret>.
39. FOR, *Forskrift om tillatelse til akvakultur av andre arter enn laks, ørret og regnbueørret*, N.-o. fiskeridepartementet, Editor. 2004-12-22-1799, Lovdata: Oslo.
40. Spares, A.D., M.J. Dadswell, M.P. Dickinson and M.J.W. Stokesbury, *A critical review of marine adaptability within the anadromous Salmoninae*. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2015. **25**(3): p. 503-519.
41. Staurnes, M., *DIFFERENCE BETWEEN SUMMER AND WINTER IN GILL NA-K-ATPASE ACTIVITY AND HYPOOSMOREGULATORY ABILITY OF SEAFARMED ANADROMOUS ARCTIC CHAR (*SALVELINUS-ALPINUS*)*. *Comparative Biochemistry and Physiology a-Physiology*, 1993. **105**(3): p. 475-477.
42. Grefsrud, E.S., K. Glover, B.E. Grøsvik, V. Husa, Ø. Karlsen, T. Kristiansen, B.O. Kvamme, S. Mortensen, O.B. Samuelsen, L.H. Stien and T. Svåsand, *Risikorapport norsk skeoppdrett 2018*, in *Fisken og havet*. 2018.
43. Ytrestoyl, T., T.S. Aas and T. Asgard, *Utilisation of feed resources in production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway*. *Aquaculture*, 2015. **448**: p. 365-374.
44. Auchterlonie, N. *Marine Ingredients and their Continuing Importance in Aquafeeds*. 2017 [cited 2018 10.01. 2018]; Available from: <http://www.iffonet/system/files/Aquaculture%20UK%20-%20June%202017%20-%20Neil%20Auchterlonie.pdf>.
45. Torrissen, O., R.E. Olsen, R. Toresen, G.I. Hemre, A.G.J. Tacon, F. Asche, R.W. Hardy and S. Lall, *Atlantic Salmon (*Salmo salar*): The "Super-Chicken" of the Sea?* *Reviews in Fisheries Science*, 2011. **19**(3): p. 257-278.
46. Mattilsynet, *Retningslinje til behandling av søknader etter forskrift 17. juni 2008 nr. 823 om etablering og utvidelse av akvakulturanlegg, zoobutikker m.m.*, in 30636, Mattilsynet, Editor. 2016, Mattilsynet.
47. Fredriksen, S. and I.K. Sjøtun, *Risikovurdering ved utsetting av ikke-stedegen tare*, in *Miljødirektoratet rapport*. 2015, Universitetet i Oslo & Universitetet i Bergen: Oslo. p. 11.
48. Shetty, M., B. Maiti, K.S. Santhosh, M.N. Venugopal and I. Karunasagar, *Betanodavirus of Marine and Freshwater Fish: Distribution, Genomic Organization, Diagnosis and Control Measures*. *Indian Journal of Virology*, 2012. **23**(2): p. 114-123.
49. Sandlund, N., B. Gjerset, O. Bergh, I. Modahl, N.J. Olesen and R. Johansen, *Screening for Viral Hemorrhagic Septicemia Virus in Marine Fish along the Norwegian Coastal Line*. *Plos One*, 2014. **9**(9).
50. Wallace, I.S., A. Gregory, A.G. Murray, E.S. Munro and R.S. Raynard, *Distribution of infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) in wild marine fish from Scottish waters with respect to clinically infected aquaculture sites producing Atlantic salmon, *Salmo salar* L*. *Journal of Fish Diseases*, 2008. **31**(3): p. 177-186.

51. Wiklund, T. and I. Dalsgaard, *Occurrence and significance of atypical Aeromonas salmonicida in non-salmonid and salmonid fish species: A review*. Diseases of Aquatic Organisms, 1998. **32**(1): p. 49-69.
52. Samuelsen, O.B., A.H. Nerland, T. Jorgensen, M.B. Schroder, T. Svasand and O. Bergh, *Viral and bacterial diseases of Atlantic cod Gadus morhua, their prophylaxis and treatment: a review*. Diseases of Aquatic Organisms, 2006. **71**(3): p. 239-254.
53. Hjeltnes, B., B. Bang-Jensen, G. Bornø, A. Haukaas and C.S. Walde, *Fiskehelserapporten 2017*, in *Veterinærinstituttet rapportserie*. 2018, Veterinærinstituttet: Oslo.
54. Birkbeck, T.H., S.W. Feist and D.W. Verner-Jeffreys, *Francisella infections in fish and shellfish*. Journal of Fish Diseases, 2011. **34**(3): p. 173-187.
55. Colquhoun, D.J. and S. Duodu, *Francisella infections in farmed and wild aquatic organisms*. Veterinary Research, 2011. **42**.
56. Kearn, G., *Monogeneans the ultimate fish parasite*. . The biologist, 2011. **58**: p. 28-32.
57. Oldham, T., H. Rodger and B.F. Nowak, *Incidence and distribution of amoebic gill disease (AGD) - An epidemiological review*. Aquaculture, 2016. **457**: p. 35-42.
58. Brooker, A.J., A.P. Shinn and J.E. Bron, *A review of the biology of the parasitic copepod Lernaecera branchialis (L., 1767) (Copepoda : Pennellidae)*. Advances in Parasitology, Vol 65, 2007. **65**: p. 297-341.
59. Heuch, P.A., P.A. Jansen, H. Hansen, E. Sterud, K. MacKenzie, P. Haugen and W. Hemmingsen, *Parasite faunas of farmed cod and adjacent wild cod populations in Norway: a comparison*. Aquaculture Environment Interactions, 2011. **2**(1): p. 1-13.
60. Powell, M.D. and A.K. Gamperl, *Effects of Loma morhua (Microsporidia) infection on the cardiorespiratory performance of Atlantic cod Gadus morhua (L)*. Journal of Fish Diseases, 2016. **39**(2): p. 189-204.
61. Hauge, M. *Parasittsykdommen marteiløse funnet i blåskjell på Vestlandet*. 2017 [cited 2018 03 april]; Available from: https://www.imr.no/nyhetsarkiv/2017/mars/parasittsykdommen_marteiløse_funnet_i_blauskjell_pa_vestlandet/nb-no.
62. Bower, S.M. *Synopsis of infectious diseases and parasites of commercially exploited shellfish: table of contents*. . 2011 2017-01-24 16-02-2018.]; Available from: [Http://:www.dfo-mpo.gc.ca/science/aah-saa/diseases-maladies/toc-eng.html#mol](http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/aah-saa/diseases-maladies/toc-eng.html#mol). .
63. FAO, *Culture of kelp (Laminaria japonica) in China*. , in *Training manual 89/5 UMDP/FAO Regional Seafarming project RAS/86/024*. 1989.
64. Costa-Pierce, B.A., *Aquaculture in Ancient Hawaii*. Bioscience, 1987. **37**(5): p. 12.
65. Rabanal, H.R., *History of aquaculture*, in *ASEAN/SF*. 1988, ASEAN/UNDP/FAO: Manila, Philipines. p. 13.
66. FAO, *The State of World Fishery and Aquaculture 2016. Contributing to food security and Nutrition for all*. 2016, FAO. p. 200.
67. Carr, M.E., M.A.M. Friedrichs, M. Schmeltz, M.N. Aita, D. Antoine, K.R. Arrigo, I. Asanuma, O. Aumont, R. Barber, M. Behrenfeld, R. Bidigare, E.T. Buitenhuis, J. Campbell, A. Ciotti, H. Dierssen, M. Dowell, J. Dunne, W. Esaias, B. Gentili, W. Gregg, S. Groom, N. Hoepffner, J. Ishizaka, T. Kameda, C. Le Quere, S. Lohrenz, J. Marra, F. Melin, K. Moore, A. Morel, T.E. Reddy, J. Ryan, M. Scardi, T. Smyth, K. Turpie, G. Tilstone, K. Waters and Y. Yamanaka, *A comparison of global estimates of marine primary production from ocean color*. Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography, 2006. **53**(5-7): p. 741-770.

68. Friedrichs, M.A.M., M.E. Carr, R.T. Barber, M. Scardi, D. Antoine, R.A. Armstrong, I. Asanuma, M.J. Behrenfeld, E.T. Buitenhuis, F. Chai, J.R. Christian, A.M. Ciotti, S.C. Doney, M. Dowell, J. Dunne, B. Gentili, W. Gregg, N. Hoepffner, J. Ishizaka, T. Kameda, I. Lima, J. Marra, F. Melin, J.K. Moore, A. Morel, R.T. O'Malley, J. O'Reilly, V.S. Saba, M. Schmeltz, T.J. Smyth, J. Tjiputra, K. Waters, T.K. Westberry and A. Winguth, *Assessing the uncertainties of model estimates of primary productivity in the tropical Pacific Ocean*. Journal of Marine Systems, 2009. **76**(1-2): p. 113-133.
69. Fjellheim, A., *Fauna i endring - spredning av dyr med eksempler fra ferskvann i Vest-Norge*. Stavanger Museum Årbok, 2008. **118**(113-127).
70. Nordeide, S.W. and A.K. Hufthammer, *Fiskedam i Erkebispegården i Trondheim*. Spor - fortidsnytt fra midt-norge, 1993. **8**(1): p. 44-45.
71. Møller, D. and A. Haaland, *Pionertid ca. 1945-1973*. Over den leiken ville han rå. Norsk havbruksnærings historie., ed. E. Hovland, et al. Vol. V. 2014, Bergen: Fagbokforlaget.
72. Francis, F., *Fish culture, a practical guide to the modern system of breeding and rearing fish*. 1865, London, UK: Routledge, Warne and Routledge.
73. Shaw, J., *Account of some experimental observations on the development and growth of salmon fry, from the exclusion of ova to the age of two years*. Trans. R. Soc. Edinb., 1840. **14**: p. 547-566.
74. Hovland, E., D. Møller, A. Haaland, N. Kolle, B. Hersoug and G. Nævdal, eds. *Over den leiken ville han rå. Norsk havbruksnærings historie*. Norges Fiskeri- og Kysthistorie. Vol. V. 2014, Fagbokforlaget: Bergen. 467.
75. Nævdal, G. and E. Hovland, *Lang dags ferd - hvor hen? Marine arter i norsk havbruk.*, in *Over den leiken ville han rå. Norsk havbruksnærings historie.*, E. Hovland, et al., Editors. 2014, Fagbokforlaget: Bergen. p. 353-390.
76. Guiry, M.D., *HOW MANY SPECIES OF ALGAE ARE THERE?* Journal of Phycology, 2012. **48**(5): p. 1057-1063.
77. Melis, A., *Solar energy conversion efficiencies in photosynthesis: Minimizing the chlorophyll antennae to maximize efficiency*. Plant Science, 2009. **177**(4): p. 272-280.
78. de Vree, J.H., R. Bosma, M. Janssen, M.J. Barbosa and R.H. Wijffels, *Comparison of four outdoor pilot-scale photobioreactors*. Biotechnology for Biofuels, 2015. **8**.
79. Smetana, S., M. Sandmann, S. Rohn, D. Pleissner and V. Heinz, *Autotrophic and heterotrophic microalgae and cyanobacteria cultivation for food and feed: life cycle assessment*. Bioresource Technology, 2017. **245**: p. 162-170.
80. Hulatt, C.J., O. Berecz, E.S. Egeland, R.H. Wijffels and V. Kiron, *Polar snow algae as a valuable source of lipids?* Bioresource Technology, 2017. **235**: p. 338-347.
81. Hancke, K., L. Lund-Hansen, C., M.L. Lamare, S. Højlund Pedersen, M.D. King, P. Andersen and B.K. Sorrell, *Extreme Low Light Requirement for Algae Growth Underneath Sea Ice: A Case Study From Station Nord, NE Greenland*. Journal of Geophysical Research: Oceans 2018.
82. Chekanov, K., E. Lobakova, I. Selyakh, L. Semenova, R. Sidorov and A. Solovchenko, *Accumulation of Astaxanthin by a New Haematococcus pluvialis Strain BMI from the White Sea Coastal Rocks (Russia)*. Marine Drugs, 2014. **12**(8): p. 4504-4520.
83. Klochkova, T.A., M.S. Kwak, J.W. Han, T. Motomura, C. Nagasato and G.H. Kim, *Cold-tolerant strain of Haematococcus pluvialis (Haematococcaceae, Chlorophyta) from Blomstrandhalvoya (Svalbard)*. Algae, 2013. **28**(2): p. 185-192.

84. Morgan-Kiss, R.M., J.C. Priscu, T. Pockock, L. Gudynaite-Savitch and N.P.A. Huner, *Adaptation and acclimation of photosynthetic microorganisms to permanently cold environments*. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 2006. **70**(1): p. 222-+.
85. Lyon, B.R. and T. Mock, *Polar Microalgae: New Approaches towards Understanding Adaptations to an Extreme and Changing Environment*. Biology (Basel), 2014. **3**(3): p. 56-80.
86. Mock, T. and B.M.A. Kroon, *Photosynthetic energy conversion under extreme conditions - II: the significance of lipids under light limited growth in Antarctic sea ice diatoms*. Phytochemistry, 2002. **61**(1): p. 53-60.
87. Barros, A.I., A.L. Goncalves, M. Simoes and J.C.M. Pires, *Harvesting techniques applied to microalgae: A review*. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2015. **41**: p. 1489-1500.
88. Vanthoor-Koopmans, M., R.H. Wijffels, M.J. Barbosa and M.H.M. Eppink, *Biorefinery of microalgae for food and fuel*. Bioresource Technology, 2013. **135**: p. 142-149.
89. Ruiz, J., G. Olivieri, J. de Vree, R. Bosma, P. Willems, J.H. Reith, M.H.M. Eppink, D.M.M. Kleinegris, R.H. Wijffels and M.J. Barbosa, *Towards industrial products from microalgae*. Energy & Environmental Science, 2016. **9**(10): p. 3036-3043.
90. Moksness, E., *Lessons from the Norwegian Sea Ranching Programme (PUSH)*. Fisheries Science, 2002. **68**: p. 896-899.
91. Agnalt, A.-L., K.E. Jørstad, T. Kristiansen, E. Nøstvold, E. Farestveit, H. Næss, O.I. Paulsen and T. Svåsand, *Enhancing the European lobster (Homarus gammarus) stock at Kvitsøy Islands; Perspectives of rebuilding Norwegian stocks*, in *Stock Enhancement and Sea Ranching. Developments, Pitfalls and Opportunities*, K.M. Leber, et al., Editors. 2004, Blackwell Publishing Ltd.: Oxford. p. 415-426.
92. Havressurslova, *Lov om forvaltning av villlevande marine ressurser in LOV-2008-06-06-37*. 2008, Nærings- og fiskeridepartementet: Oslo.
93. Troell, M., A. Joyce, T. Chopin, A. Neori, A.H. Buschmann and J.-G. Fang, *Ecological engineering in aquaculture - Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems*. Aquaculture, 2009. **297**(1-4): p. 1-9.
94. Filgueira, R., C.J. Byron, L.A. Comeau, B. Costa-Pierce, P.J. Cranford, J.G. Ferreira, J. Grant, T. Guyondet, H.M. Jansen, T. Landry, C.W. McKindsey, J.K. Petersen, G.K. Reid, S.M.C. Robinson, A. Smaal, R. Sonier, O. Strand and T. Strohmeier, *An integrated ecosystem approach for assessing the potential role of cultivated bivalve shells as part of the carbon trading system*. Marine Ecology Progress Series, 2015. **518**: p. 281-287.
95. Broch, O.J., I.H. Ellingsen, S. Forbord, X. Wang, Z. Volent, M.O. Alver, A. Handa, K. Andresen, D. Slagstad, K.I. Reitan, Y. Olsen and J. Skjermo, *Modelling the cultivation and bioremediation potential of the kelp Saccharina latissima in close proximity to an exposed salmon farm in Norway*. Aquaculture Environment Interactions, 2013. **4**(2): p. 187-206.
96. Brager, L.M., P.J. Cranford, H. Jansen and O. Strand, *Temporal variations in suspended particulate waste concentrations at open-water fish farms in Canada and Norway*. Aquaculture Environment Interactions, 2016. **8**: p. 437-452.
97. Callier, M.D., C.J. Byron, D.A. Bengtson, P.J. Cranford, S.F. Cross, U. Focken, U.M. Jansen, P. Kamermans, A. Kiessling, T. Landry, F. O'Beirn, E. Petersson, R.B. Rheault, Ø. Strand, K. Sundell, T. Svåsand, G.H. Wikfors and C.W. McKindsey, *Attraction and repulsion of mobile wild organisms to finfish and shellfish aquaculture: a review*. Reviews in Aquaculture, 2017. **0**: p. 1-26.

98. Brown, N., S. Eddy and S. Plaud, *Utilization of waste from a marine recirculating fish culture system as a feed source for the polychaete worm, Nereis virens*. *Aquaculture*, 2011. **322**: p. 177-183.
99. Cubillo, A.M., J.G. Ferreira, S.M.C. Robinson, C.M. Pearce, R.A. Corner and J. Johansen, *Role of deposit feeders in integrated multi-trophic aquaculture - A model analysis*. *Aquaculture*, 2016. **453**: p. 54-66.
100. Magnesen, T., *Scallop aquaculture in Norway – political vision, oil money but no commercialization strategy.*, in *Book of Abstracts*. 2007, 16th International Pectinid Workshop,: Halifax, Nova Scotia, Canada.
101. Bodvin, T., S. Mortensen, A. Jelmert, Ø. Strand and E.S. Grefsrud, *Handlingsplan for europeisk flatøsters, Ostrea edulis L.*, in *Rapport Havforskningsinstituttet*. 2011, Havforskningsinstituttet: **Bergen**. p. 24.
102. Siikavuopio, S.I., P. James, B.R. Olsen, T.H. Evensen, A. Mortensen and S.H. Olsen, *Holding wild Snow crab, Chionoecetes opilio: Effects of stocking density and feeding on survival and injury*. *Aquaculture Research*, 2016. **48**(4): p. 1590-1595.
103. Olsen, J.E., *Kamskjell styrker sin posisjon i nord*, in *Fiskeribladet Fiskaren*. 2017.
104. Shumway, S.E.a. and J.P. Parsons, *Scallops, Biology, ecology, aquaculture and fisheries*. Vol. 40. 2016, Oxford, UK.: Elsevier Science.
105. Andersen, S., G. Christophersen and T. Magnesen, *Spat production of the great scallop (Pecten maximus): a roller coaster. A review*. *Canadian Journal of Zoology*, 2011. **89**: p. 579–598.
106. Kaartvedt, S., D.L. Aksnes and J.K. Egge, *Effect of light on the vertical distribution of Pecten maximus larvae*. *Marine Ecology Progress Series*, 1987(40): p. 195-197.
107. Strand, Ø. and A. Nylund, *The reproductive cycle of the scallop Pecten maximus (Linnaeus 1758) from two populations in Western Norway, 60oN and 64oN.*, in *An International Compendium of Scallop Biology and Culture.*, S.E. Shumway and P.A. Sandifer, Editors. 1991, World Aquaculture Society: Baton Rouge, LA. USA. p. 95-105.
108. Strohmeier, T., Ø. Strand, P. Cranford and *Clearance rates of the great scallop (Pecten maximus) and blue mussel (Mytilus edulis) at low natural seston concentrations*. *Marine Biology*, 2009(156): p. 1781-1795.
109. Chauvaud, L., Y. Patry, A. Jolivet, E. Cam, C. Legoff, Ø. Strand, G. Charrier, J. Thébault, P. Lazure, K. Gotthard and J.e. Clavier, *Variation in size and growth of the great scallop Pecten maximus along a latitudinal gradient*. *PLOS ONE*, 2012. **7**(5): p. e37717.
110. Morvezen, R., G. Charrier, P. Boudry, L. Chauvaud, F. Breton, Ø. Strand and J. Laroche, *Genetic structure of a commercially exploited bivalve, the great scallop Pecten maximus, along the European coasts*. *Conservation Genetics*, 2016. **17**(1): p. 57-67.
111. Hovgaard, P., S. Mortensen and Ø. Strand, *Skjell – biologi og dyrking*. . 2001: Kystnæringen forlag. . 255.
112. Strand, Ø. and E. Brynjeldsen, *On the relationship between low winter temperatures and mortality in juvenile scallops, Pecten maximus L., cultured in western Norway*. *Aquaculture Research*, 2003. **34**: p. 1417-1422.
113. Skjæggestad, H. and T. Magnesen, *Strategiplan for havbeite med kamskjell i Norge*. 2005, Department of Biology, University of Bergen.: Bergen, Norway. p. 35.
114. Magnesen, T., *Scallop aquaculture in Norway*. *Bull Aquaculture Assoc Can*, 2009. **107**: p. 49-54.

115. Minchin, D., G. Haugum, H. Skjaeggstad and Ø. Strand, *Effect of air exposure on scallop behaviour, and implications for subsequent survival in culture*. *Aquaculture International*, 2000. **8**: p. 169-182.
116. Minchin, D., H. Skjaeggstad, G. Haugum and Ø. Strand, *Righting and recessing ability of wild and naive cultivated scallops*. *Aquaculture Research*, 2000. **31**: p. 473-475.
117. Strand, Ø., E.S. Grefsrud, G.A. Haugum, G. Bakke, E. Helland and T. Helland, *Release strategies in scallop (*Pecten maximus*) sea ranching vulnerable to crab predation.*, in *Stock Enhancement and Sea Ranching*, K. Leber, et al., Editors. 2004, Blackwell Science: Oxford, Surrey, UK.
118. Strand, Ø., T. Strohmeier and E.S. Grefsrud. *Impact of fenced scallop (*Pecten maximus*) sea-ranching on benthic fauna?* in *18th International Pectinid Workshop.*, 2011. Qingdao, P.R.China.
119. Grefsrud, E.S., *Predation on cultured and wild scallops *Pecten maximus* L. by the crab *Cancer pagurus* L.* 2006, University of Bergen. p. 44.
120. Magnesen, T. and K.J. Redmond, *Potential predation rates by the sea stars *Asterias rubens* and *Marthasterias glacialis*, on juvenile scallops, *Pecten maximus*, ready for sea ranching*. *Aquaculture International*, 2012. **20**: p. 189–199.
121. Duncan, P.F., A.R. Brand, Ø. Strand and E. Foucher, eds. *The European Scallop Fisheries for *Pecten maximus*, *Aequipecten opercularis*, *Chlamys islandica*, and *Mimachlamys varia**. *Scallops*, ed. S.E. Shumway and G.J. Jay Parsons. 2016, Elsevier Science,; Oxford. 781-858.
122. Magnesen, T. *Scallop aquaculture in Norway – political vision, oil money but no commercialisation strategy.* . in *16th International Pectinid Workshop*. 2007. Halifax, Nova Scotia, Canada.
123. Anon., *Havbeiteprogrammet PUSH: Styrets sluttrapport. (Summary report of all stock-enhancement and sea-ranching projects with European lobster (*Homarus gammarus*), Atlantic cod (*Gadus morhua*), Atlantic salmon (*Salmo salar*), and Arctic char (*Salvelinus alpinus*) funded by the Norwegian Sea Ranching Programme 1990-1997.) Norges Forskningsråd*. 1998, Norges Forskningsråd: Oslo. p. 60.
124. Borthen, J., A.L. Agnalt and G.I. van der Meeren, *A bio-economical evaluation of a stock-enhancement project of European lobster; The simulation model LOBST.ECO with some preliminary results*, in *Stock Enhancement and Sea Ranching.*, B. Howell, E. Moksness, and T. Svåsand, Editors. 1999, Blackwell Science,; Oxford. p. 583–596.
125. Agnalt A-L, v.d.M.G., Jørstad KE, Næss H, Farestveit E, Nøstvold E, Svåsand T, Korsøen E, Ydstebø L. 1999. , *Stock enhancement of European lobster (*Homarus gammarus*): a large-scale experiment off south-western Norway (Kvitsøy)*. , in *Stock Enhancement and Sea Ranching*, B.R. Howell, E. Moksness, and T. Svåsand, Editors. 1999, Blackwell Science. p. 401-419.
126. Agnalt, A.-L., *Fecundity of the European lobster (*Homarus gammarus*) off southwestern Norway after stock enhancement: do cultured females produce as many eggs as wild females?* *Ices Journal of Marine Science*, 2008. **65**(2): p. 164-170.
127. Moksness, E., R. Stole and G. van der Meeren, *Profitability analysis of sea ranching with Atlantic salmon (*Salmo salar*), Arctic charr (*Salvelinus alpinus*), and European lobster (*Homarus gammarus*) in Norway*. *Bulletin of Marine Science*, 1998. **62**(2): p. 689-699.
128. Kristiansen, T.S., A. Drengstig, A. Bergheim, T. Drengstig, I. Kollsgård, R. Svendsen, E. Nøstvold, E. Farestveit and L. Aardal, *Development of methods for intensive farming of*

- European lobster in recirculated seawater. Results from experiments conducted at Kvitsøy lobster hatchery from 2000 to 2004.* Fisken og havet, 2004(6): p. 52.
129. Drenngstig, A., T. Drenngstig, A.L. Agnalt, K. Jørstad and E. Farestveit, *Utvikling av metoder for stabil produksjon av hummeryngel med gode vekstegenskaper – Sluttrapport til Vestlandsrådet for prosjektperioden 2007 - 2009.* 2009, Norwegian Lobster Farm Drift AS: Kvitsøy, Norway. p. 42.
130. Aspaas, S., E.S. Grefsrud, A. Ferno, K.H. Jensen, H. Trengereid and A.L. Agnalt, *An Enriched Environment Promotes Shelter-Seeking Behaviour and Survival of Hatchery-Produced Juvenile European Lobster (Homarus gammarus).* Plos One, 2016. **11**(8).
131. Agnalt, A.L., E.S. Grefsrud, E. Farestveit and K.E. Jorstad, *Training camp-A way to improve survival in European lobster juveniles?* Fisheries Research, 2017. **186**: p. 531-537.
132. Jorstad, K.E., P.A. Prodohl, T.S. Kristiansen, M. Hughes, E. Farestveit, J.B. Taggart, A.L. Agnalt and A. Ferguson, *Communal larval rearing of European lobster (Homarus gammarus): Family identification by microsatellite DNA profiling and offspring fitness comparisons.* Aquaculture, 2005. **247**(1-4): p. 275-285.
133. Drenngstig, A., A.-L. Agnalt, A. Reime, B. Evensen, J.M. Homme, P. Aanonsen and A.O.f.V.M.F.s. Bergheim, 001-3-13. 31s., *Kan næringsutvikling basert på kunnskap gir fremtidig konkurransekraft. Konsolidering av 20 års akkumulert kunnskap for å øke lønnsomheten i oppdrett av hummer.* 2013, Vest Marin: Kvitsøy. p. 32.
134. Sivertsen, K.M., *Dynamics of sea urchins and kelp during overgrazing of kelp forests along the Norwegian coast.*, in *Norwegian College of Fishery Science.* 1997, University of Tromsø. p. 127.
135. Ling, S.D., R.E. Scheibling, C.R. Johnson, A. Rassweiler, N. Shears, S.D. Connell, A. Salomon, K.M. Norderhaug, A. Perez-Matus, J.C. Hernandez, S. Clemente, L. Blamey, B. Hereu, E. Ballesteros, E. Sala, J. Garrabou, E. Cebrian, M. Zabala and D.h.d.o.r. Fujita, *Global regime-shift dynamics of catastrophic sea urchin overgrazing.* Philosophical Transactions B., 2015. **270**: p. 20130269.
136. Jones, G.M. and N.T. Hagen, *Echinomermella matsi sp.n., an endoparasitic nematode from the sea urchin Strongylocentrotus droebachiensis in northern Norway.* Sarsia, 1987. **72**(3-4): p. 202-212.
137. Norderhaug, K.M. and H.C. Christie, *Sea urchin grazing and kelp re-vegetation in the NE Atlantic.* Marine Biology Research, 2009. **5**(6): p. 515-528.
138. Fagerli, C.W., K.M. Norderhaug, H. Christie, M.F. Pedersen and S. Fredriksen, *Predators of the destructive sea urchin Strongylocentrotus droebachiensis on the Norwegian coast.* Marine Ecology Progress Series, 2014. **502**: p. 207-218.
139. James, P., C. Noble, S. Siikavuopio, R. Sloan, C. Hannon, G. Þórarinsdóttir, N. Ziemer and J. Lochead, *Sea Urchin Fishing Report*, in *Internal Nofima Report 2016*, NOFIMA: Tromsø. p. 21.
140. Araujo, R.M., J. Assis, R. Aguillar, L. Airoidi, I. Barbara, I. Bartsch, T. Bekkby, H. Christie, D. Davoult, S. Derrien-Courtel, C. Fernandez, S. Fredriksen, F. Gevaert, H. Gundersen, A. Le Gal, L. Leveque, N. Mieszkowska, K.M. Norderhaug, P. Oliveira, A. Puente, J.M. Rico, E. Rinde, H. Schubert, E.M. Strain, M. Valero, F. Viard and I. Sousa-Pinto, *Status, trends and drivers of kelp forests in Europe: an expert assessment.* Biodiversity and Conservation, 2016. **25**(7): p. 1319-1348.

141. James, P.J., P. Heath and M.J. Unwin, *The effects of season, temperature and initial gonad condition on roe enhancement of the sea urchin *Evechinus chloroticus**. *Aquaculture*, 2007. **270**(1-4): p. 115-131.
142. James, P., S. Siikavuopio and A. Mortensen, *Sea Urchin Aquaculture in Norway*. . *Echinoderm Aquaculture*. , ed. N. Brown and S. Eddy. 2015, New Jersey: Wiley Blackwell.
143. James, P., T. Evensen and A. Samuelsen, *Commercial scale roe enhancement in Norway: Enhancement, transport and market assessment*. , in *Nofima Internal Report 2017*, NOFIMA: Tromsø. p. 22.
144. Mortensen, A., S.I. Siikavuopio and J. Raa, *Use of transglutaminase to produce a stabile sea urchin feed*. *Sea Urchins-Fisheries and Ecology: Proceedings of the International Conferences on Sea Urchin Fisheries and Aquaculture*. Puerto Varas, Chile March 25-27, ed. J.M. Lawrence and O. Guzman. 2004, Lancaster, PA, USA: DEStech Publications Inc. .
145. Stefánsson, G., H. Kristinsson, N. Ziemer and C. Hannon, *Markets for Sea Urchins: A Review of Global Supply and Markets*. , in *Skýrsla Matís 2017*, Matís Reykjavik, Iceland. p. 45.
146. Mortensen, S., T. Bodvin, A. Strand, M.W. Holm and P. Dolmer, *Effects of a bio-invasion of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) in five shallow water habitats in Scandinavia*. *Management of Biological Invasions*, 2017. **8**(4): p. 543-552.
147. Ekanger, A., *Østersluringen*, in www.nrk.no. 2017, NRK: Oslo.
148. Filgueira, R., T. Guyondet, G.K. Reid, J. Grant and P.J. Cranford, *Vertical particle fluxes dominate integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) sites: implications for shellfish-finfish synergy*. *Aquaculture Environment Interactions*, 2017. **9**: p. 127-143.
149. Kutti, T., P.K. Hansen, A. Ervik, T. Hoisaeter and P. Johannessen, *Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. II. Temporal and spatial patterns in infauna community composition*. *Aquaculture*, 2007. **262**(2-4): p. 355-366.
150. Paxton, H. and A. Davey, *A new species of *Ophryotrocha* (Annelida: Dorvilleidae) associated with fish farming at Macquarie Harbour, Tasmania, Australia*. *Zootaxa*, 2010(2509): p. 53-61.
151. Eikje, E.M., *Benthic Impacts of Fish-Farm Waste on Hard Bottom Habitats, the Ecology of Opportunistic Epifauna Polychaetes*, in *Institutt for Biologi*. 2013, Universitetet i Bergen. p. 61.
152. Nickell, L.A., K.D. Black, D.J. Hughes, J. Overnell, T. Brand, T.D. Nickell, E. Breuer and S.M. Harvey, *Bioturbation, sediment fluxes and benthic community structure around a salmon cage farm in Loch Creran, Scotland*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2003. **285**: p. 221-233.
153. Olive, P.J.W., *Polychaete aquaculture and polychaete science: a mutual synergism*. *Hydrobiologia*, 1999. **402**: p. 175-183.
154. Honda, H. and K. Kikuchi, *Nitrogen budget of polychaete *Perinereis nuntia* fed on the feces of Japanese flounder*. *Fisheries Science*, 2002. **68**(6): p. 1304-1308.
155. Garcia-Alonso, J., C.T. Muller and J.D. Hardege, *Influence of food regimes and seasonality on fatty acid composition in the ragworm*. *Aquatic Biology*, 2008. **4**(1): p. 7-13.
156. Bischoff, A.A., P. Fink and U. Waller, *The fatty acid composition of *Nereis diversicolor* cultured in an integrated recirculated system: Possible implications for aquaculture*. *Aquaculture*, 2009. **296**(3-4): p. 271-276.

157. Bannister, R.J., T. Valdemarsen, P.K. Hansen, M. Holmer and A. Ervik, *Changes in benthic sediment conditions under an Atlantic salmon farm at a deep, well-flushed coastal site*. Aquaculture Environment Interactions, 2014. **5**(1): p. 29-47.
158. Torrissen, O., P.K. Hansen, J. Aure, V. Husa, S. Andersen, T. Strohmeier and R.O. Olsen, *Næringsutslipp fra havbruk – nasjonale og regionale perspektiv*, in *Rapport fra havforskningen*. 2016, Havforskningsinstituttet: Bergen. p. 18.
159. Ringvold, H., *Sjøpølsefiske i Norge - fleip eller fakta?* Naturen, 2017. **1**: p. 27-32.
160. Hauksson, E., *FEEDING BIOLOGY OF STICHOPUS-TREMULUS, A DEPOSIT-FEEDING HOLOTHURIAN*. Sarsia, 1979. **64**(3): p. 155-160.
161. Hannah, L., C.M. Pearce and S.F. Cross, *Growth and survival of California sea cucumbers (Parastichopus californicus) cultivated with sablefish (Anoplopoma fimbria) at an integrated multi-trophic aquaculture site*. Aquaculture, 2013. **406**: p. 34-42.
162. Yokoyama, H., *Growth and food source of the sea cucumber Apostichopus japonicus cultured below fish cages - Potential for integrated multi-trophic aquaculture*. Aquaculture, 2013. **372**: p. 28-38.
163. Olsen, S.A., A. Ervik, O.B. Samuelsen, S. Meier, P.K. Hansen and V. Husa, *Tracing particulate fish farm effluents in marine sediments and benthic fauna using fatty acids and stable isotope (δ^{13} & $\delta^{15}N$) analyses*. (in prep).
164. Strohmeier, T., Ø. Strand, M. Alunno-Bruscia, A. Duinker, R. Rosland, J. Aure, S.R. Erga, L.J. Naustvoll, H.M. Jansen and P. Cranford, *Growth and physiological response of Mytilus edulis to enhanced phytoplankton availability by controlled upwelling of nutrient-rich deep water in an oligotrophic fjord*. Marine Ecology Progress Series, 2015. **518**: p. 139–152.
165. Aure, J., Ø. Strand, S.R. Erga and T. Strohmeier, *Primary production enhancement by artificial upwelling in a western Norwegian fjord*. Marine Ecol. Prog. Ser. , 2007. **352**: p. 39-52.
166. Rosland, R., M. Alunno-Bruscia, A. Duinker, Ø. Strand and T. Strohmeier, *A DEB based analysis of growth and toxin elimination processes in mussels (Mytilus edulis) exposed to Diarrhetic Shellfish Toxins (DST)*. in *DEB 2013 - third DEB symposium*. 2013: Texel, Netherlands.
167. Strand, Ø., *Growth performance and detoxification of mussels cultured in a fjord enhanced by forced upwelling of nutrient rich deeper water*. 2013, Institute of Marine Research: Bergen, Norway.
168. Erga, S.R., N. Ssebiyonga, Ø. Frette, B. Hamre, J. Aure, Ø. Strand and T. Strohmeier, *Dynamics of phytoplankton distribution and photosynthetic capacity in a western Norwegian fjord during coastal upwelling: Effects on optical properties*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2012. **97**: p. 91-103.
169. Strand, Ø., *Introduction - Research history in the Lysefjord*. , in *Konferanse om Marin Produksjon i Lysefjorden*. 2016: Preikestolen Fjellstue.
170. Rosland, R., C. Bacher, Ø. Strand, J. Aure and T. Strohmeier, *Modelling growth variability in longline mussel farms as a function of stocking density and farm design*. . Journal of Sea Research, 2011. **66**: p. 318-330.
171. Aure, J., Ø. Strand and A. Skaar, *Fremtidige muligheter for havbruk i Lysefjorden*. , in *Fisken og havet*. 2001, Institute of Marine Research: Bergen. p. 30.

172. Filgueira, R., J. Grant, Ø. Strand, L. Asplin and J. Aure, *A simulation model of carrying capacity for mussel culture in a Norwegian fjord: role of induced upwelling*. *Aquaculture*, 2010. **308**: p. 20-27.
173. Cranford, P.J., T. Strohmeier, R. Filgueira and Ø. Strand, *Potential methodological influences on the determination of particle retention efficiency by suspension feeders: *Mytilus edulis* and *Ciona intestinalis**. *Aquatic Biology*, 2016. **25**: p. 61-73.
174. Lüning, K., *Seaweeds. Their Environment, Biogeography, and Ecophysiology*. . 1990, New York: Wiley.
175. Luning, K. and S.J. Pang, *Mass cultivation of seaweeds: current aspects and approaches*. *Journal of Applied Phycology*, 2003. **15**(2-3): p. 115-119.
176. Abdullah, M.I. and S. Fredriksen, *Production, respiration and exudation of dissolved organic matter by the kelp *Laminaria hyperborea* along the west coast of Norway*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2004. **84**(5): p. 887-894.
177. Zemke-White, W.L. and M. Ohno, *World seaweed utilisation: An end-of-century summary*. *Journal of Applied Phycology*, 1999. **11**(4): p. 369-376.
178. Wikfors, G.H. and M. Ohno, *Impact of algal research in aquaculture*. *Journal of Phycology*, 2002. **37**: p. 968-974.
179. Montingelli, M.E., K.Y. Benyounis, B. Quilty, J. Stokes and A.G. Olabi, *Optimisation of biogas production from the macroalgae *Laminaria* sp at different periods of harvesting in Ireland*. *Applied Energy*, 2016. **177**: p. 671-682.
180. Kerrison, P.D., M.S. Stanley, M.D. Edwards, K.D. Black and A.D. Hughes, *The cultivation of European kelp for bioenergy: Site and species selection*. *Biomass & Bioenergy*, 2015. **80**: p. 229-242.
181. Chen, H.H., D. Zhou, G. Luo, S.C. Zhang and J.M. Chen, *Macroalgae for biofuels production: Progress and perspectives*. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2015. **47**: p. 427-437.
182. Hughes, A.D., M.S. Kelly, K.D. Black and M.S. Stanley, *Biogas from Macroalgae: is it time to revisit the idea?* *Biotechnology for Biofuels*, 2012. **5**.
183. Molina-Alcaide, E., M.D. Carro, M.Y. Roleda, M.R. Weisbjerg, V. Lind and M. Novoa-Garrido, *In vitro ruminal fermentation and methane production of different seaweed species*. *Animal Feed Science and Technology*, 2017. **228**: p. 1-12.
184. Mabeau, S. and J. Fleurence, *Seaweed in food products: biochemical and nutritional aspects*. *Trends in Food Science & Technology*, 1993. **4**(4): p. 103-107.
185. McHugh, D.J., *A guide to the seaweed industry.*, in *FAO Fisheries Technical Paper*. 2003, FAO: Rome. p. 1-118.
186. Pandey, K.B. and S.I. Rizvi, *Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease*. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2009. **2**(5): p. 270-278.
187. Zhang, Q., J. Zhang, J. Shen, A. Silva, D.A. Dennis and C.J. Barrow, *A simple 96-well microplate method for estimation of total polyphenol content in seaweeds*. *Journal of Applied Phycology*, 2006. **18**(3-5): p. 445-450.
188. Glicksman, M., *UTILIZATION OF SEAWEED HYDROCOLLOIDS IN THE FOOD-INDUSTRY*. *Hydrobiologia*, 1987. **151**: p. 31-47.

189. Frigstad, H., E. Dahl, F. Moy, K. Næs, J.A. Knutsen and Ø. Kaste, *Mulighetskartlegging for kystbaserte næringer i Agder*, in *Hi-rapport*. 2017, Havforskningsinstituttet & NIVA: Bergen. p. 79.
190. Peteiro, C., N. Sanchez and B. Martinez, *Mariculture of the Asian kelp *Undaria pinnatifida* and the native kelp *Saccharina latissima* along the Atlantic coast of Southern Europe: An overview*. Algal Research-Biomass Biofuels and Bioproducts, 2016. **15**: p. 9-23.
191. Grote, B., *Recent developments in aquaculture of *Palmaria palmata* (Linnaeus) (Weber & Mohr 1805): cultivation and uses*. Reviews in Aquaculture, 2017. **0**: p. 1-17.
192. Fernand, F., A. Israel, J. Skjermo, T. Wichard, K.R. Timmermans and A. Golberg, *Offshore macroalgae biomass for bioenergy production: Environmental aspects, technological achievements and challenges*. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2017. **75**: p. 35-45.
193. Wang, X.X., L.M. Olsen, K.I. Reitan and Y. Olsen, *Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture*. Aquaculture Environment Interactions, 2012. **2**(3): p. 267-283.
194. Bidwell, R.G.S., J. McLachlan and N.D.H. Lloyd, *Tank cultivation of Irish Moss, *Chondrus crispus**. Botanica Marina, 1985. **28**(3): p. 87-97.
195. Walls, A.M., M.D. Edwards, L.B. Firth and M.P. Johnson, *Successional changes of epibiont fouling communities of the cultivated kelp *Alaria esculenta*: predictability and influences*. Aquaculture Environment Interactions, 2017. **9**: p. 57-71.
196. Falk-Petersen, I.B., P. Kanapathippilai, R. Primicerio and T.K. Hansen, *Size, locality and seasonally related feeding preferences of common wolffish (*Anarhichas lupus* L.) from north-Norwegian waters*. Marine Biology Research, 2010. **6**(2): p. 201-212.
197. Handå, A., S. Forbord, O.J. Broch, R. Richardsen, J. Skjermo and K.I. Reitan, *Dyrking og anvendelse av tare, med spesiell fokus på bioenergi i nordområdene*, in *SINTEF Rapport*. 2009: Trondheim. p. 32.
198. Skjermo, J., I.M. Aasen, J. Arff, O.J. Broch, A. Carvajal, H. Christie, S. Forbord, Y. Olsen, K.I. Reitan, T. TRustad, J. Sandquist, R. Solbakken, K.B. Steinhovden, B. Wittgens, R. Wolff and A. Handå, *A new Norwegian bioeconomy based on cultivation and processing of seaweeds: Opportunities and R&D needs*, in *SINTEF A25981*. 2014: Trondheim.
199. Broch, O.J., J. Skjermo and A. Handå, *Potensialet for storskala dyrking av makroalger i Møre og Romsdal*, in *SINTEF Fiskeri og havbruk reports*. 2016, SINTEF Fiskeri og Havbruk: Trondheim. p. 66.
200. Duinker, A., I.S. Roiha, H. Amlund, L. Dahl, E.-J. Lock, T. Kögel, A. Måge and B.T. Lunestad, *Potential risks posed by macroalgae for application as feed and food - a Norwegian perspective*, in *NIFES Reporet*. 2016, NIFES: Bergen. p. 24.
201. Stevant, P., H. Marfaing, T. Rustad, I. Sandbakken, J. Fleurence and A. Chapman, *Nutritional value of the kelps *Alaria esculenta* and *Saccharina latissima* and effects of short-term storage on biomass quality*. Journal of Applied Phycology, 2017. **29**(5): p. 2417-2426.
202. Moy, F., H. Christie and H. Steen, *1.7 Redusert forekomst av sukkertare*, in *Fisken og Havet*, T. Svåsand, et al., Editors. 2006, Havforskningsinstituttet: Bergen. p. 36-41.
203. Tabassum, M.R., A. Xia and J.D. Murphy, *Potential of seaweed as a feedstock for renewable gaseous fuel production in Ireland*. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2017. **68**: p. 136-146.

204. Mortensen, L.M., *Remediation of nutrient-rich, brackish fjord water through production of protein-rich kelp *S-latissima* and *L-digitata**. Journal of Applied Phycology, 2017. **29**(6): p. 3089-3096.
205. Mols-Mortensen, A., E.A.G. Ortind, C. Jacobsen and S.L. Holdt, *Variation in growth, yield and protein concentration in *Saccharina latissima* (Laminariales, Phaeophyceae) cultivated with different wave and current exposures in the Faroe Islands*. Journal of Applied Phycology, 2017. **29**(5): p. 2277-2286.
206. Rueness, J. and H. Steen, *Dyrking og utnyttelse av marine makroalger*, in *Fisken og havet*, K.K. Boxaspen, et al., Editors. 2008, Havforskningsinstituttet: Bergen. p. 68-71.
207. Steinhovden, K.B. and S. Forbord, *Nye muligheter med dyrking av norsk nori*. Norsk Fiskeoppdrett, 2013(12): p. 43-46.
208. Green, L.A. and C.D. Neefus, *Effects of temperature, light level, and photoperiod on the physiology of *Porphyra umbilicalis* Kutzing from the Northwest Atlantic, a candidate for aquaculture*. Journal of Applied Phycology, 2016. **28**(3): p. 1815-1826.
209. Blouin, N.A., J.A. Brodie, A.C. Grossman, P. Xu and S.H. Brawley, *Porphyra: a marine crop shaped by stress*. Trends in Plant Science, 2011. **16**(1): p. 29-37.
210. Neori, A., T. Chopin, M. Troell, A.H. Buschmann, G.P. Kraemer, C. Halling, M. Shpigel and C. Yarish, *Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture*. Aquaculture, 2004. **231**(1-4): p. 361-391.
211. Mata, L., A. Schuenhoff and R. Santos, *A direct comparison of the performance of the seaweed biofilters, *Asparagopsis armata* and *Ulva rigida**. Journal of Applied Phycology, 2010. **22**(5): p. 639-644.
212. Ben-Ari, T., A. Neori, D. Ben-Ezra, L. Shauli, V. Odintsov and M. Shpigel, *Management of *Ulva lactuca* as a biofilter of mariculture effluents in IMTA system*. Aquaculture, 2014. **434**: p. 493-498.
213. Schiener, P., K.D. Black, M.S. Stanley and D.H. Green, *The seasonal variation in the chemical composition of the kelp species *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Saccharina latissima* and *Alaria esculenta**. Journal of Applied Phycology, 2015. **27**(1): p. 363-373.
214. Skjermo, J., S. Forbord, K.B. Steinhovden, C. Kvaløysæter, H. Haarstadstrand, S. Svenning and A. Handa, *Mat fra dyrket tare: Produksjon av norsk "wakame" fra butare*, in *SINTEF Rapport*. 2015, SINTEF: Trondheim. p. 23.
215. Kraan, S., A. Verges Tramullas and M.D. Guiry, *The edible brown seaweed *Alaria esculenta* (Phaeophyceae, Laminariales): hybridization, growth and genetic comparisons of six Irish populations*. Journal of Applied Phycology, 2000. **12**(6): p. 577-583.
216. Godfray, H.C.J., J.R. Beddington, I.R. Crute, L. Haddad, D. Lawrence, J.F. Muir, J. Pretty, S. Robinson, S.M. Thomas and C. Toulmin, *Food security: the challenge of feeding 9 billion people*. science, 2010. **327**(5967): p. 812-818.
217. Olsen, Y., *How can mariculture better help feed humanity?* Frontiers in Marine Science, 2015. **2**: p. 46.
218. Lambert, G., R.C. Karney, W.Y. Rhee and M.R. Carman, *Wild and cultured edible tunicates: a review*. Management of Biological Invasions, 2016. **7**(1): p. 59-66.
219. Andersen, S., G. Christophersen and T. Magnesen, *Spat production of the great scallop (*Pecten maximus*): a roller coaster*. Canadian Journal of Zoology, 2011. **89**(7): p. 579-598.

220. Strand, Ø., A. Louro and P.F. Duncan, *European Aquaculture, in Scallops: Biology, ecology, aquaculture and fisheries*. 2016, Elsevier Science: Oxford. p. 859-890.
221. Graf, G., W. Bengtsson, U. Diesner, R. Schulz and H. Theede, *Benthic responses to sedimentation of a spring phytoplankton bloom - process and budget*. *Marine Biology*, 1982. **67**(2): p. 201-208.
222. Smaal, A.C., J.H.G. Verhagen, J. Coosen and H.A. Haas, *Interaction between seston quantity and quality and benthic suspension feeders in the oosterschelde, The Netherlands*. *Ophelia*, 1986. **26**: p. 385-399.
223. Mayzaud, P., J.P. Chanut and R.G. Ackman, *Seasonal-changes of the biochemical-composition of marine particulate matter with special reference to fatty-acids and sterols*. *Marine Ecology-Progress Series*, 1989. **56**(1-2): p. 189-204.
224. Strohmeier, T., Ø. Strand, M. Alunno-Bruscia, A. Duinker and P.J. Cranford, *Variability in particle retention efficiency by the mussel *Mytilus edulis**. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2012. **412**(0): p. 96-102.
225. Strohmeier, T., O. Strand and P. Cranford, *Clearance rates of the great scallop (*Pecten maximus*) and blue mussel (*Mytilus edulis*) at low natural seston concentrations*. *Marine Biology*, 2009. **156**(9): p. 1781-1795.
226. Strohmeier, T., *Feeding behavior and bioenergetic balance of the great scallop (*Pecten maximus*) and the blue mussel (*Mytilus edulis*) in a low seston environment and relevance to suspended shellfish aquaculture*, in *Department of Biology*. 2009, The University of Bergen: Bergen. p. 63.
227. Hovgaard, P., S. Mortensen and Ø. Strand, *Skjell: biologi og dyrking*. 2001: Kystnæringen.
228. Strohmeier, T., J. Aure, A. Duinker, T. Castberg, A. Svardal and O. Strand, *Flow reduction, seston depletion, meat content and distribution of diarrhetic shellfish toxins in a long-line blue mussel (*Mytilus edulis*) farm*. *J. Shellfish Res.*, 2005. **24**(1): p. 15-23.
229. Strohmeier, T., A. Duinker, O. Strand and J. Aure, *Temporal and spatial variation in food availability and meat ratio in a longline mussel farm (*Mytilus edulis*)*. *Aquaculture*, 2008. **276**(1-4): p. 83-90.
230. Cranford, P.J., L. William, Ø. Strand and T. Strohmeier *Phytoplankton depletion by mussel aquaculture: high resolution mapping, ecosystem modeling and potential indicators of ecological carrying capacity*. *Ecological carrying capacity in shellfish aquaculture.*, 2008. 1-5 DOI: <http://www.ices.dk/products/CMdocs/CM-2008/H/H1208.pdf>.
231. Aure, J., T. Strohmeier and O. Strand, *Modelling current speed and carrying capacity in long-line blue mussel (*Mytilus edulis*) farms*. *Aquaculture Research*, 2007. **38**(3): p. 304-312.
232. Rosland, R., C. Bacher, O. Strand, J. Aure and T. Strohmeier, *Modelling growth variability in longline mussel farms as a function of stocking density and farm design*. *Journal of Sea Research*, 2011. **66**(4): p. 318-330.
233. Hanssen, S.A. and K.E. Erikstad, *Kyst og havbruk 2009*. 2009: p. 189-191.
234. Jansen, H.M., O. Strand, T. Strohmeier, C. Krogness, M. Verdegem and A. Smaal, *Seasonal variability in nutrient regeneration by mussel *Mytilus edulis* rope culture in oligotrophic systems*. *Marine Ecology-Progress Series*, 2011. **431**: p. 137-149.
235. Locke, A. and M. Carman, *Ecological interactions between the vase tunicate (*Ciona intestinalis*) and the farmed blue mussel (*Mytilus edulis*) in Nova Scotia, Canada*. *Aquatic Invasions*, 2009. **4**(1): p. 177-187.

236. Fitridge, I., T. Dempster, J. Guenther and R. de Nys, *The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review*. Biofouling, 2012. **28**(7): p. 649-669.
237. Callier, M.D., C.J. Byron, D.A. Bengtson, P.J. Cranford, S.F. Cross, U. Focken, H.M. Jansen, P. Kamermans, A. Kiessling and T. Landry, *Attraction and repulsion of mobile wild organisms to finfish and shellfish aquaculture: a review*. Reviews in Aquaculture, 2017.
238. Duinker, A., M. Bergslien, O. Strand, C.D. Olseng and A. Svoldal, *The effect of size and age on depuration rates of diarrhetic shellfish toxins (DST) in mussels (Mytilus edulis L.)*. Harmful Algae, 2007. **6**(2): p. 288-300.
239. Aure, J., O. Strand, S.R. Erga and T. Strohmeier, *Primary production enhancement by artificial upwelling in a western Norwegian fjord*. Marine Ecology-Progress Series, 2007. **352**: p. 39-52.
240. Anon, *Rapport fra arbeidsgruppen for fremtidig lokalitetsstruktur i blåskjllnæringen*, in *Rapport til Fiskeri- og kystdepartementet 2010*.
241. Árnason, J., M. Ohf, R. Björnsdóttir, B.L. Larsen, B.T. Björnsson, K. Sundell, A.-C. Hansen, E. Holen, E. Espe, O. Lindahl and S. Kalsdóttir, *Local fish feed ingredients for competitive and sustainable production of high-quality aquaculture feed*. 2015.
242. Baird, R., *Measurement of condition in mussels and oysters*. ICES Journal of Marine Science, 1958. **23**(2): p. 249-257.
243. Baird, R.H., *Factors affecting growth and condition of mussels (Mytilus edulis L.)*. Fish. Invest. Minist. Agric. Fish Food London, 1966. **Ser. II**(25): p. 1-33.
244. de Zwaan, A. and D. Zandee, *Body distribution and seasonal changes in the glycogen content of the common sea mussel Mytilus edulis*. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology, 1972. **43**(1): p. 53-58.
245. Dare, P. and D. Edwards, *Seasonal changes in flesh weight and biochemical composition of mussels (Mytilus edulis L.) in the Conwy Estuary, North Wales*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1975. **18**(2): p. 89-97.
246. Pieters, H., J. Kluytmans, W. Zurburg and D. Zandee, *The influence of seasonal changes on energy metabolism in Mytilus edulis (L.). I. Growth rate and biochemical composition in relation to environmental parameters and spawning*. Cyclic phenomena in marine plants and animals, 1979: p. 285-292.
247. Okumuş, İ. and H.P. Stirling, *Seasonal variations in the meat weight, condition index and biochemical composition of mussels (Mytilus edulis L.) in suspended culture in two Scottish sea lochs*. Aquaculture, 1998. **159**(3): p. 249-261.
248. Strohmeier, T., A. Duinker and O. Lie, *Seasonal variations in chemical composition of the female gonad and storage organs in Pecten maximus (L.) suggesting that somatic and reproductive growth are separated in time*. Journal of Shellfish Research, 2000. **19**(2): p. 741-747.
249. Gabbott, P. *Storage cycles in marine bivalve molluscs: a hypothesis concerning the relationship between glycogen metabolism and gametogenesis*. in *Ninth European Marine Biology Symposium*. 1975. Aberdeen University Press: Aberdeen, UK.
250. Duinker, A., L. Haland, P. Hovgaard and S. Mortensen, *Gonad development and spawning in one and two year old mussels (Mytilus edulis) from Western Norway*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2008. **88**(7): p. 1465-1473.
251. Espe, M., H. Sveier, I. Høggøy and E. Lied, *Nutrient absorption and growth of Atlantic salmon (Salmo salar L.) fed fish protein concentrate*. Aquaculture, 1999. **174**(1): p. 119-137.

252. Sveier, H., *The physical qualities and composition of dietary proteins; effects on utilisation and metabolism in Atlantic salmon (Salmo salar L.)*. 2004, University of Bergen: Bergen.
253. Berge, G.M. and E. Austreng, *Blue mussel in feed for rainbow trout*. Aquaculture, 1989. **81**(1): p. 79-90.
254. Carver, C., A. Mallet and B. Vercaemer, *Biological synopsis of the solitary tunicate Ciona intestinalis*. 2006: Bedford Institute of Oceanography Dartmouth, Nova Scotia.
255. Dybern, B.I., *The life cycle of Ciona intestinalis (L.) f. typica in relation to the environmental temperature*. Oikos, 1965: p. 109-131.
256. Cirino, P., A. Toscano, D. Caramiello, A. Macina, V. Miraglia and A. Monte, *Laboratory culture of the ascidian Ciona intestinalis (L.): a model system for molecular developmental biology research*. Mar Mod Elec Rec, 2002.
257. Carver, C., A. Chisholm and A. Mallet, *Strategies to mitigate the impact of Ciona intestinalis (L.) biofouling on shellfish production*. Journal of Shellfish Research, 2003. **22**(3): p. 621-631.
258. Yamaguchi, M., *Growth and reproductive cycles of the marine fouling ascidians Ciona intestinalis, Styela plicata, Botrylloides violaceus, and Leptoclinum mitsukurii at Aburatsubo-Moroiso Inlet (Central Japan)*. Marine Biology, 1975. **29**(3): p. 253-259.
259. Jackson, A., *Ciona intestinalis. A sea squirt. Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Sub-programme [on-line]*. Marine Biological Association of the United Kingdom, 2005. **cited 03/02/2006**.
260. Berrill, N.J., *The development and growth of Ciona*. J. Mar. Biol. Assoc. U. K. , 1947. **26**: p. 615-616.
261. Tursi, A., *Some Aspects of Fixation in Ciona intestinalis(L.), Tunicata*. Vie et milieu. Paris, 1980. **30**(3): p. 243-251.
262. Petersen, J.K., O. Schou and P. Thor, *Growth and energetics in the ascidian Ciona intestinalis*. Marine Ecology Progress Series, 1995. **120**(1-3): p. 175-184.
263. Petersen, J.K., O. Schou and P. Thor, *GROWTH AND ENERGETICS IN THE ASCIDIAN CIONA-INTESTINALIS*. Marine Ecology Progress Series, 1995. **120**(1-3): p. 175-184.
264. Troedsson, C., E.M. Thompson, J. Li, J.M. Bouquet, T. Magnesen and C. Schander, *Tunicol - A New Marine Biofuel*. 2011: WO2011/158215.
265. Dybern, B., *Biotope choice in Ciona intestinalis L. Influence of light*. Zool Bidr Uppsala, 1963. **39**: p. 589-601.
266. Brunel, P., L. Bossé and G. Lamarche, *Catalogue of the marine invertebrates of the estuary and Gulf of Saint Lawrence*. 1998: NRC Research Press.
267. Petersen, J.K. and H.U. Riisgard, *Filtration capacity of the ascidian ciona-intestinalis and its grazing impact in a shallow fjord*. Marine Ecology Progress Series, 1992. **88**(1): p. 9-17.
268. Dybern, B.I., *Settlement of sessile animals on eternite slabs in two polls near Bergen*. Sarsia, 1967. **29**(1): p. 137-150.
269. Renborg, E., K. Johannesson and J. Havenhand, *Variable salinity tolerance in ascidian larvae is primarily a plastic response to the parental environment*. Evolutionary ecology, 2014. **28**(3): p. 561-572.
270. Lambert, G., *Ecology and natural history of the protochordates*. Canadian Journal of Zoology, 2005. **83**(1): p. 34-50.

271. Gulliksen, B. and S.H. Skjæveland, *The sea-star, Asterias rubens L., as predator on the ascidian, Ciona intestinalis (L.), in Borgenfjorden, North-Trøndelag, Norway*. Sarsia, 1973. **52**(1): p. 15-20.
272. Magnesen, T., Ø. Bergh and G. Christophersen, *Yields of great scallop, Pecten maximus, larvae in a commercial flow-through rearing system in Norway*. Aquaculture International, 2006. **14**(4): p. 377-394.
273. Magnesen, T. and G. Christophersen, *Large-scale raceway nursery for improved scallop (Pecten maximus) spat production*. Aquacultural engineering, 2007. **36**(2): p. 149-158.
274. Strand, O. and E. Brynjeldsen, *On the relationship between low winter temperatures and mortality of juvenile scallops, Pecten maximus L., cultured in western Norway*. Aquaculture Research, 2003. **34**(15): p. 1417-1422.
275. Minchin, D., H. Skjaeggstad, G.A. Haugum and O. Strand, *Righting and recessing ability of wild and naive cultivated scallops*. Aquaculture Research, 2000. **31**(5): p. 473-474.
276. Minchin, D., G. Haugum, H. Skjaeggstad and O. Strand, *Effect of air exposure on scallop behaviour, and the implications for subsequent survival in culture*. Aquaculture International, 2000. **8**: p. 169-182.
277. Bøhle, B., *Østers og østerskultur i Norge. Utnytting av østerspoller på Skagerrakkysten, in Flødevigen meldinger*. 1984. p. 21.
278. Cowie, J., E. BILEK, T.H. Wegner and J.A. Shatkin, *Market projections of cellulose nanomaterial-enabled products*. Tappi Journal, 2014. **13**(6).
279. Wrange, A.L., J. Valero, L.S. Harkestad, O. Strand, S. Lindegarth, H.T. Christensen, P. Dolmer, P.S. Kristensen and S. Mortensen, *Massive settlements of the Pacific oyster, Crassostrea gigas, in Scandinavia*. Biological Invasions, 2010. **12**(5): p. 1145-1152.
280. Mortensen, S., A. Strand, T. Bodvin, A. Alfjorden, C.K. Skar, A. Jelmert, A. Aspan, L. Saelemyr, L.J. Naustvoll and J. Albretsen, *Summer mortalities and detection of ostreid herpesvirus microvariant in Pacific oyster Crassostrea gigas in Sweden and Norway*. Diseases of Aquatic Organisms, 2016. **117**(3): p. 171-176.
281. Strand, A., E. Blanda, T. Bodvin, J.K. Davids, L.F. Jensen, T.H. Holm-Hansen, A. Jelmert, S. Lindegarth, S. Mortensen, F.E. Moy, P. Nielsen, P. Norling, C. Nyberg, H.T. Christensen, B. Vismann, M.W. Holm, B.W. Hansen and P. Dolmer, *Impact of an icy winter on the Pacific oyster (Crassostrea gigas Thunberg, 1793) populations in Scandinavia*. Aquatic Invasions, 2012. **7**(3): p. 433-440.
282. Dolmer, P., M.W. Holm, Å. Strand, S. Lindegarth, T. Bodvin, P. Norling and S. Mortensen, *The invasive Pacific oyster, Crassostrea gigas, in Scandinavian coastal waters: a risk assessment on the impact in different habitats and climate conditions.*, in *Fisken og havet*. 2014, Havforskningsinstituttet: Bergen. p. 67.
283. Paola, V., G. Marco, S. Domeneghetti, N. Sharma, A. Pallavicini and R. Umberto, *Biotechnologies from marine bivalves*, ed. A.C. Smaal, et al. In press: Springer.
284. Satoh, N., Y. Satou, B. Davidson and M. Levine, *Ciona intestinalis: an emerging model for whole-genome analyses*. TRENDS in Genetics, 2003. **19**(7): p. 376-381.
285. Waite, J.H., *Mussel adhesion—essential footwork*. Journal of Experimental Biology, 2017. **220**(4): p. 517-530.
286. Ryu, J.H., S. Hong and H. Lee, *Bio-inspired adhesive catechol-conjugated chitosan for biomedical applications: A mini review*. Acta biomaterialia, 2015. **27**: p. 101-115.

287. Nichols, W.T., *Designing biomimetic materials from marine organisms*. Journal of nanoscience and nanotechnology, 2015. **15**(1): p. 189-191.
288. Krogsgaard, M., V. Nue and H. Birkedal, *Mussel-Inspired Materials: Self-Healing through Coordination Chemistry*. Chemistry-A European Journal, 2016. **22**(3): p. 844-857.
289. Wu, C., P. Han, X. Liu, M. Xu, T. Tian, J. Chang and Y. Xiao, *Mussel-inspired bioceramics with self-assembled Ca-P/polydopamine composite nanolayer: preparation, formation mechanism, improved cellular bioactivity and osteogenic differentiation of bone marrow stromal cells*. Acta biomaterialia, 2014. **10**(1): p. 428-438.
290. Filgueira, R., T. Strohmeier and Ø. Strand, *Regulating services of bivalve molluscs in the context of the carbon cycle and implications for ecosystem valuation*, ed. A.C. Smaal, et al. In press: Springer.
291. Matthyse, A.G., K. Deschet, M. Williams, M. Mazz, A.R. White and W.C. Smith, *A functional cellulose synthase from ascidian epidermis*. PNAS, 2004. **101**: p. 986-991.
292. Sagane, Y., K. Zech, J.M. Bouquet, M. Schmid, U. Bal and E.M. Thompson, *Functional specialization of cellulose synthase genes of prokaryotic origin in chordate larvaceans*. Development, 2010. **137**: p. 1483-1492.
293. Oyinlola, M., G. Reygondeau, C. Wabnitz, M. Troell and W. Cheung, *Global estimation of areas with suitable environmental conditions for mariculture species*. PLoS ONE, 2018. **13**(1): p. e0191086.
294. Strohmeier, T., H.K. Strand and Ø. Strand, *Karbonfangst og matproduksjon i fjorder*. 2014.
295. Aure, J., Ø. Strand and A. Skaar, *Framtidige muligheter for havbruk i Lysefjorden*. 2001.
296. Filgueira, R., J. Grant, O. Strand, L. Asplin and J. Aure, *A simulation model of carrying capacity for mussel culture in a Norwegian fjord: Role of induced upwelling*. Aquaculture, 2010. **308**(1-2): p. 20-27.
297. Maar, M., T.G. Nielsen, K. Bolding, H. Burchard and A.W. Visser, *Grazing effects of blue mussel *Mytilus edulis* on the pelagic food web under different turbulence conditions*. Marine Ecology-Progress Series, 2007. **339**: p. 199-213.
298. Prins, T. and V. Escaravage, *Can bivalve suspension-feeders affect pelagic food web structure?*, in *The comparative roles of suspension-feeders in ecosystems.*, R.F. Dame and S. Olenin, Editors. 2005, Springer: Dordrecht. p. 31-52.
299. Møhlenberg, F. and H.U. Riisgard, *Efficiency of particle retention in 13 species of suspension feeding bivalves*. Ophelia, 1978. **17**(2): p. 239-246.
300. Prins, T.C., A.C. Smaal and R.F. Dame, *A review of the feedbacks between bivalve grazing and ecosystem processes*. Aquatic Ecology, 1998. **31**: p. 349-359.
301. Jansen, H.M., *Bivalve nutrient cycling*. 2012, Wageningen: Wageningen, The Netherlands. p. 152.
302. Albretsen, J., *NorKyst-800 report no. 1: User manual and technical descriptions*, in *Fisken og havet*. 2011, Havforskningsinstituttet. p. 46.
303. Skogen, M.D., E. Svendsen, J. Berntsen, D. Aksnes and K.B. Ulvestad, *Modelling the primary production in the North Sea using a coupled three-dimensional physical-chemical-biological ocean model*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1995. **41**(5): p. 545-565.
304. Aksnes, D.L., K.B. Ulvestad, B.M. Balino, J. Berntsen, J.K. Egee and E. Svendsen. *Ecological modeling in coastal waters - towards predictive physical-chemical-biological simulation-models*. 1995.

305. Rosland, R., O. Strand, M. Alunno-Bruscia, C. Bacher and T. Strohmeier, *Applying Dynamic Energy Budget (DEB) theory to simulate growth and bio-energetics of blue mussels under low seston conditions*. Journal of Sea Research, 2009. **62**(2-3): p. 49-61.
306. Filgueira, R., R. Rosland and J. Grant, *A comparison of scope for growth (SFG) and dynamic energy budget (DEB) models applied to the blue mussel (Mytilus edulis)*. Journal of Sea Research, 2011. **66**(4): p. 403-410.
307. Pouvreau, S., Y. Bourles, S. Lefebvre, A. Gangnery and M. Alunno-Bruscia, *Application of a dynamic energy budget model to the Pacific oyster, Crassostrea gigas, reared under various environmental conditions*. Journal of Sea Research, 2006. **56**(2): p. 156-167.
308. Bourlès, Y., M. Alunno-Bruscia, S. Pouvreau, G. Tollu, D. Leguay, C. Arnaud, P. Gouletquer and S. Kooijman, *Modelling growth and reproduction of the Pacific oyster Crassostrea gigas: advances in the oyster-DEB model through application to a coastal pond*. Journal of Sea Research, 2009. **62**(2): p. 62-71.
309. Kitchell, J.F., R.V. Oneill, D. Webb, G.W. Gallepp, S.M. Bartell, J.F. Koonce and B.S. Ausmus, *Consumer regulation of nutrient cycling* Bioscience, 1979. **29**(1): p. 28-34.
310. Jansen, H.M., O. Strand, M. Verdegem and A. Smaal, *Accumulation, release and turnover of nutrients (C-N-P-Si) by the blue mussel Mytilus edulis under oligotrophic conditions*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2012. **416**: p. 185-195.
311. Prins, T.C., V. Escaravage, A.C. Smaal and J.C.H. Peeters. *Nutrient cycling and phytoplankton dynamics in relation to mussel grazing in a mesocosm experiment* 1995.
312. Newell, R.I.E., *Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: A review*. Journal of Shellfish Research, 2004. **23**(1): p. 51-61.
313. Hansen, P.K., Ø. Strand and T. Strohmeier, *Impact of mussel farming on a shallow site*, in *International Symposium on Integrated Coastal Zone Management*. 2007: Arendal.
314. Hansen, P.K., L. Asplin and A. Ervik, *Miljøovervåking av skjell- og matfiskanlegg*. 2002, Havforskningsinstituttet Bergen.
315. Boyce, M.S., *Restitution of gamma-and K-Selection as a Model of Density-Dependent Natural Selection*. Annual Review of Ecology and Systematics, 1984. **15**(1): p. 427-447.
316. Ciancio, A., S. Scippa and C. Izzo, *Ultrastructure of vegetative and sporulation stages of Haplosporidium ascidiarum from the ascidian Ciona intestinalis L*. European journal of protistology, 1999. **35**(2): p. 175-182.
317. Ciancio, A., S. Scippa and M. Cammarano, *Ultrastructure of trophozoites of the gregarine Lankesteria ascidiae (Apicomplexa: Eugregarinida) parasitic in the ascidian Ciona intestinalis (Protochordata)*. European Journal of Protistology, 2001. **37**(3): p. 327-336.
318. Scippa, S., A. Ciancio and M. de Vincentiis, *Observations on an apicomplexan microparasite from the pericardic body of Ciona intestinalis L.(Protochordata)*. European Journal of Protistology, 2000. **36**(1): p. 85-88.
319. Saad, G.A., *A Coccidian Parasite Inhabiting the GI Tract and Leucocytes of Styela plicata (Lesuaer, 1823) and Ciona intestinalis (Linnaeus, 1767) Sampled from the Arabian Gulf (Saudi Arabia)*. International Journal of Marine Science, 2016. **6**.
320. Mita, K., N. Kawai, S. Rueckert and Y. Sasakura, *Large-scale infection of the ascidian Ciona intestinalis by the gregarine Lankesteria ascidiae in an inland culture system*. Diseases of aquatic organisms, 2012. **101**(3): p. 185-195.
321. Kazazic, A., *Investigating the interaction between Apicomplexa, Gregarine, and the benthic tunicate Ciona intestinalis*, in *Developmental Biology and Physiology*. 2017, Bergen: Bergen.

322. Bryne, J. *Protix is launching the first insect fed salmon brand*. 2018; Available from: <https://www.feednavigator.com/Article/2018/02/09/Protix-is-launching-the-first-insect-fed-salmon-brand#.Wn35P4-x7ZM.twitter>.
323. Danielssen, D.S., A. Sollie and S. Tveite. *Torskeutklekkingens historie - Flødevigen*. 2014 [cited 2018; Available from: https://www.imr.no/filarkiv/2014/07/torskeutklekkingens_historikk.pdf/nb-no.
324. Norberg, B., C.L. Brown, A. Halldorsson, K. Stensland and B.T. Bjornsson, *Photoperiod regulates the timing of sexual maturation, spawning, sex steroid and thyroid hormone profiles in the Atlantic cod (Gadus morhua)*. *Aquaculture*, 2004. **229**(1-4): p. 451-467.
325. van der Meeren, T. and V.P. Ivannikov, *Seasonal shift in spawning of Atlantic cod (Gadus morhua L.) by photoperiod manipulation: egg quality in relation to temperature and intensive larval rearing*. *Aquaculture Research*, 2006. **37**(9): p. 898-913.
326. van der Meeren, T., O. Karlsen, A. Mangor-Jensen, I. Ronnestad and K. Hamre, *Copepods enhance growth and development in Atlantic cod (Gadus morhua L.) larvae*. *Commun Agric Appl Biol Sci*, 2013. **78**(4): p. 461-4.
327. Karlsen, O., T. van der Meeren, I. Ronnestad, A. Mangor-Jensen, T.F. Galloway, E. Kjorsvik and K. Hamre, *Copepods enhance nutritional status, growth and development in Atlantic cod (Gadus morhua L.) larvae - can we identify the underlying factors?* *PeerJ*, 2015. **3**: p. e902.
328. Star, B., A.J. Nederbragt, S. Jentoft, U. Grimholt, M. Malmstrom, T.F. Gregers, T.B. Rounge, J. Paulsen, M.H. Solbakken, A. Sharma, O.F. Wetten, A. Lanzen, R. Winer, J. Knight, J.H. Vogel, B. Aken, O. Andersen, K. Lagesen, A. Tooming-Klunderud, R.B. Edvardsen, K.G. Tina, M. Espelund, C. Nepal, C. Previti, B.O. Karlsen, T. Moum, M. Skage, P.R. Berg, T. Gjoen, H. Kuhl, J. Thorsen, K. Malde, R. Reinhardt, L. Du, S.D. Johansen, S. Searle, S. Lien, F. Nilsen, I. Jonassen, S.W. Omholt, N.C. Stenseth and K.S. Jakobsen, *The genome sequence of Atlantic cod reveals a unique immune system*. *Nature*, 2011. **477**(7363): p. 207-10.
329. Jorstad, K.E., H. Ottera, T. van der Meeren, G. Dahle, O.I. Paulsen, G. Bakke and T. Svasand, *Genetic marking of farmed Atlantic cod (Gadus morhua l.) and detection of escapes from a commercial cod farm*. *Ices Journal of Marine Science*, 2014. **71**(3): p. 574-584.
330. Jorstad, K.E., T. Van Der Meeren, O.I. Paulsen, T. Thomsen, A. Thorsen and T. Svasand, *"Escapes" of eggs from farmed cod spawning in net pens: Recruitment to wild stocks*. *Reviews in Fisheries Science*, 2008. **16**(1-3): p. 285-295.
331. Hamlin, H.J. and L.J. Kling, *The culture and early weaning of larval haddock (Melanogrammus aeglefinus) using a microparticulate diet*. *Aquaculture*, 2001. **201**(1-2): p. 61-72.
332. Chambers, M.D. and W.H. Howell, *Preliminary information on cod and haddock production in submerged cages off the coast of New Hampshire, USA*. *Ices Journal of Marine Science*, 2006. **63**(2): p. 385-392.
333. Davies, S.J., M.T. Brown and M. Camilleri, *Preliminary assessment of the seaweed Porphyra purpurea in artificial diets for thick-lipped grey mullet (Chelon labrosus)*. *Aquaculture*, 1997. **152**(1-4): p. 249-258.
334. Davie, A., C.M. de Quero, N. Bromage, J. Treasurer and H. Migaud, *Inhibition of sexual maturation in tank reared haddock (Melanogrammus aeglefinus) through the use of constant light photoperiods*. *Aquaculture*, 2007. **270**(1-4): p. 379-389.
335. Davie, A., C.M. De Quero, J. Treasurer and H. Migaud, *Photoperiod regulation of sexual maturation in haddock (Melanogrammus aeglefinus)*. *Cybium*, 2008. **32**(2): p. 326-326.

336. Nanton, D.A., S.P. Lall and M.A. McNiven, *Effects of dietary lipid level on liver and muscle lipid deposition in juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L.* Aquaculture Research, 2001. **32**: p. 225-234.
337. Bjelland, R.M. and A.B. Skiftesvik, *Larval development in European hake (*Merluccius merluccius* L.) reared in a semi-intensive culture system.* Aquaculture Research, 2006. **37**(11): p. 1117-1129.
338. Nande, M., M. Perez, D. Costas and P. Presa, *A workflow management system for early feeding of the European hake.* Aquaculture, 2017. **477**: p. 80-89.
339. Babiak, J., I. Babiak, S. van Nes, T. Harboe, T. Haugen and B. Norberg, *Induced sex reversal using an aromatase inhibitor, Fadrozole, in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.).* Aquaculture, 2012. **324**: p. 276-280.
340. Robins, C.R. and G.C. Ray, *A field guide to Atlantic coast fishes of North America.* . 1986, Boston, U.S.A. : Houghton Mifflin Company.
341. Muus, B.J. and P. Dahlström, *Collins guide to the sea fishes of Britain and North-Western Europe.* 1974: Collins, London, UK. .
342. Nielsen, J.G., *Pleuronectidae.* Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean. , ed. P.J.P. Whitehead, et al. Vol. 3. 1986, Paris, France: UNESCO.
343. Norberg, B., V. Valkner, J. Huse, I. Karlsen and G.L. Grung, *OVULATORY RHYTHMS AND EGG VIABILITY IN THE ATLANTIC HALIBUT (*HIPPOGLOSSUS-HIPPOGLOSSUS*).* Aquaculture, 1991. **97**(4): p. 365-371.
344. Murua, H. and F. Saborido-Rey, *Female Reproductive Strategies of Marine Fish Species of the North Atlantic.* Journal of Northwest Atlantic Fishery Science, 2003. **33**: p. 23-31.
345. Helvik, J.V. and B.T. Walther, *ENVIRONMENTAL PARAMETERS AFFECTING INDUCTION OF HATCHING IN HALIBUT (*HIPPOGLOSSUS-HIPPOGLOSSUS*) EMBRYOS.* Marine Biology, 1993. **116**(1): p. 39-45.
346. Helvik, J.V., O. Drivenes, T. Harboe and H.C. Seo, *Topography of different photoreceptor cell types in the larval retina of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*).* Journal of Experimental Biology, 2001. **204**(14): p. 2553-2559.
347. Mangor-Jensen, A., T. Harboe, J.S. Henno and R. Troland, *Design and operation of Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L., egg incubators.* Aquaculture Research, 1998. **29**(12): p. 887-892.
348. Harboe, T., S. Tuene, A. Mangorjensen, H. Rabben and I. Huse, *Design and Operation of an Incubator for Yolk-Sac Larvae of Atlantic Halibut.* Progressive Fish-Culturist, 1994. **56**(3): p. 188-193.
349. Harboe, T., A. Mangor-Jensen, K.E. Naas and T. Naess, *A tank design for first feeding of Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L., larvae.* Aquaculture Research, 1998. **29**(12): p. 919-923.
350. Hamre, K. and T. Harboe, *Artemia enriched with high n-3 HUFA may give a large improvement in performance of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) larvae.* Aquaculture, 2008. **277**(3-4): p. 239-243.
351. Hamre, K. and T. Harboe, *Critical levels of essential fatty acids for normal pigmentation in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) larvae.* Aquaculture, 2008. **277**(1-2): p. 101-108.

352. Harboe, T., A. Mangor-Jensen, M. Moren, K. Hamre and I. Ronnestad, *Control of light condition affects the feeding regime and enables successful eye migration in Atlantic halibut juveniles*. Aquaculture, 2009. **290**(3-4): p. 250-255.
353. Hamre, K., G. Baeverfjord and T. Harboe, *Macronutrient composition of formulated diets for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*, L.) juveniles, II: protein/lipid levels at low carbohydrate*. Aquaculture, 2005. **244**(1-4): p. 283-291.
354. Gomes, A.S., Y. Kamisaka, T. Harboe, D.M. Power and I. Ronnestad, *Functional modifications associated with gastrointestinal tract organogenesis during metamorphosis in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*)*. BMC Developmental Biology, 2014. **14**.
355. Gomes, A.S., A.E.O. Jordal, K. Olsen, T. Harboe, D.M. Power and I. Ronnestad, *Neuroendocrine control of appetite in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*): Changes during metamorphosis and effects of feeding*. Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology, 2015. **183**: p. 116-125.
356. Grotmol, S. and G.K. Totland, *Surface disinfection of Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus* eggs with ozonated sea-water inactivates nodavirus and increases survival of the larvae*. Diseases of Aquatic Organisms, 2000. **39**(2): p. 89-96.
357. Grotmol, S., G.K. Totland, K. Thorud and B.K. Hjeltne, *Vacuolating encephalopathy and retinopathy associated with a nodavirus-like agent: A probable cause of mass mortality of cultured larval and juvenile Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus**. Diseases of Aquatic Organisms, 1997. **29**(2): p. 85-97.
358. Blindheim, S., A. Nylund, K. Watanabe, H. Plarre, B. Erstad and S. Nylund, *A new aquareovirus causing high mortality in farmed Atlantic halibut fry in Norway*. Archives of Virology, 2015. **160**(1): p. 91-102.
359. Jonassen, T.M., A.K. Imsland and S.O. Stefansson, *The interaction of temperature and fish size on growth of juvenile halibut*. Journal of Fish Biology, 1999. **54**(3): p. 556-572.
360. Roth, B., M.D. Jenssen, T.M. Jonassen, A. Foss and A. Imsland, *Change in flesh quality associated with early maturation of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*)*. Aquaculture Research, 2007. **38**(7): p. 757-763.
361. Norberg, B., F.A. Weltzien, O. Karlsen and J.C. Holm, *Effects of photoperiod on sexual maturation and somatic growth in male Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.)*. Comparative Biochemistry and Physiology B-Biochemistry & Molecular Biology, 2001. **129**(2-3): p. 357-365.
362. Imsland, A.K. and T.M. Jonassen, *Growth and age at first maturity in turbot and halibut reared under different photoperiods*. Aquaculture International, 2003. **11**(5): p. 463-475.
363. Imsland, A.K. and T.M. Jonassen, *The relation between age at first maturity and growth in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) reared at four different light regimes*. Aquaculture Research, 2005. **36**(1): p. 1-7.
364. Hendry, C.I., D.J. Martin-Robichaud and T.J. Benfey, *Hormonal sex reversal of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.)*. Aquaculture, 2003. **219**(1-4): p. 769-781.
365. Greaves, K. and S. Tuene, *The form and context of aggressive behaviour in farmed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.)*. Aquaculture, 2001. **193**(1-2): p. 139-147.
366. Mortensen, A., Ø.J. Hansen, S. Karlsen, S. Løken, G.H. Valle and T. Dale, *Lomre (*Microstomus kitt*, L.), en kandidat for oppdrett?* 2004: Fiskeriforskning. p. 13.

367. ICES. *Rødspette i Nordsjøen og Skagerrak*. 2018 [cited 2018 6 mars]; Available from: https://www.imr.no/radgivning/kvoterad/kvoterad_for_2018/ices-rad_for_bestandane_i_nordsjoen/rodspette_i_nordsjoen_og_skagerrak/nn-no.
368. Shelbourne, J.E., *Marine fish culture in Britain. II. A plaice rearing experiment at Port Erin, Isle of Man, during 1960, in open sea water circulation*. J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer, 1963. **28**: p. 70-79.
369. Rollefson, G., *Kunstig oppdrett av flyndreyngel. Artificial rearing of juvenile flounder*. In: Godske, C.L. (red) *Forskning og Fremsteg*. J.W. Eides forlag, Bergen, 1946: p. 91-113.
370. Shelbourne, J.E., J.D. Riley and G.T. Thacker, *Marine fish culture in Britain. I. Plaice rearing in closed circulation at Lowestoft, 1957-1960*. J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer, 1963. **28**: p. 50-69.
371. Adron, J.W., A. Blair and C.B. Cowey, *Rearing of Plaice (Pleuronectes-Platessa) Larvae to Metamorphosis Using an Artificial Diet*. Fishery Bulletin, 1974. **72**(2): p. 353-357.
372. van der Meeren, T. and T. Lonoy, *Use of mesocosms in larval rearing of saithe Pollachius virens (L.), goldsinny Ctenolabrus rupestris (L.), and corkwing Crenilabrus melops (L.)*. Aquacultural Engineering, 1998. **17**(4): p. 253-260.
373. Skjaeraasen, J.E., J.A. Devine, J.A. Godiksen, M. Fonn, H. Ottera, O.S. Kjesbu, B. Norberg, O. Langangen and O. Karlsen, *Timecourse of oocyte development in saithe Pollachius virens*. Journal of Fish Biology, 2017. **90**(1): p. 109-128.
374. Muus, B.J. and J.G. Nielsen, *Sea Fish*. . Scandinavian Fishing Year Book. 1999. 340.
375. Khemis, I.B., D. Zouiten, R. Besbes and F. Kamoun, *Larval rearing and weaning of thick lipped grey mullet (Chelon labrosus) in mesocosm with semi-extensive technology*. Aquaculture, 2006. **259**(1-4): p. 190-201.
376. Birstein, V.J., W.E. Bemis and J.R. Waldman, *The threatened status of acipenseriform species: A summary*. Environmental Biology of Fishes, 1997. **48**(1-4): p. 427-435.
377. Bronzi, P. and H. Rosenthal, *Present and future sturgeon and caviar production and marketing: A global market overview*. Journal of Applied Ichthyology, 2014. **30**(6): p. 1536-1546.
378. Bronzi, P., H. Rosenthal and J. Gessner, *Global sturgeon aquaculture production: an overview*. Journal of Applied Ichthyology, 2011. **27**(2): p. 169-175.
379. Chebanov, M.S. and E.V. Galich, *Sturgeon Hatchery Manual*, in *FAO FISHERIES AND AQUACULTURE TECHNICAL PAPER 558*. 2013, FAO: Ankara. p. 303.

Retur: Havforskningsinstituttet, Postboks 1870 Nordnes, NO-5817 Bergen

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Institute of Marine Research

Nordnesgaten 50 – Postboks 1870 Nordnes

NO-5817 Bergen

Tlf.: +47 55 23 85 00

E-post: post@hi.no

www.hi.no

