

2020:01128 - Åpen

# Rapport

## Bærekraftig fôr til norsk laks

### Forfattere

Karl Andreas Almås (red.), Kjell D. Josefsen (red.), Svein Helge Gjørund, Jorunn Skjeremo, Silje Forbord, Sepideh Jafarzadeh, Haavard Sletta, Inga Aasen, Andreas Hagemann, Matilde Skogen Chauton, Ida Aursand, Jan Ove Evjemo, Rasa Slizyte, Inger B Standal, Leif Grimsmo, Marit Aursand.



# Rapport

## Bærekraftig fôr til norsk laks

**EMNEORD:**Havbruk  
Fiskefôr**VERSJON**

1 utg

**DATO**

2020-11-02

**FORFATTER(E)**

Karl Andreas Almås (red.), Kjell Josefsen (red.), Svein Helge Gjøsund, Jorunn Skjermo, Silje Forbord, Sepideh Jafarzadeh, Haavard Sletta, Inga Aasen, Andreas Hagemann, Matilde Skogen Chauton, Ida Aursand, Jan Ove Evjemo, Rasa Slizyte, Inger B Standal, Leif Grimsmo, Marit Aursand.

**OPPDRAGSGIVER**

SINTEF konsernsatsing

**OPPDRAGSGIVERS REF.**

Oppdragsgivers referanse

**PROSJEKTNR**

102022227

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

117 inkl. 1 vedlegg

### Sammendrag


I rapporten er 23 ulike råvarer vurdert ut fra tre kriterier:

- Hvor mye råvare kan være tilgjengelig?
- Kan råvaren bidra til å dekke det framtidige behovet for protein og EPA/DHA?
- Kan dette fremskaffes på en bærekraftig måte til en akseptabel pris?

I tillegg er det sett som en fordel at råvarene kan produseres eller høstes i Norge. Etter vurderingen står 7 av 23 råvarekilder igjen som realistiske bidragsyttere for å dekke det framtidige fôrbehovet, hvorav tre er i storskala industriell produksjon Norge har en nasjonal ambisjon om vekst i lakseproduksjonen opp mot 5 millioner tonn i 2050. Dette vil kreve opp mot 6 millioner tonn tørt fôr. Dersom veksten ikke skal dekkes ved økt import av soya, må ca. 75 % av proteinet fremstilles fra andre råvarer og gjennom andre industrielle prosesser enn de vi har i dag. i dag (pelagisk fisk, marint restråstoff og soya), mens fire krever utvikling og/eller oppskalering (mesopelagisk fisk, grasprotein, dyrking av mikroalger og hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer). Spesielt mesopelagisk fisk er en nøkkel til å dekke det framtidige fôrbehovet.

**UTARBEIDET AV**

Karl A. Almås

**SIGNATUR**

Karl A. Almås (Nov 3, 2020 12:36 GMT+1)

**KONTROLLERT AV**

Kjell D. Josefsen

**SIGNATUR**

Kjell D. Josefsen (Nov 5, 2020 13:17 GMT+1)

**GODKJENT AV**

Marit Aursand

**SIGNATUR****RAPPORTNR**

2020:01128

**ISBN**

978-82-14-06436

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1	2020-11-02	1. utg

---

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>INNLEDNING</b> .....	<b>10</b>
2.1	Globalt behov for fôr. ....	10
2.2	Nasjonale behov.....	10
2.3	Dagens fiskefôr.....	11
	<b>VURDERING AV ULIKE RÅVARER</b> .....	<b>15</b>
3.1	Marine kilder.....	15
3.1.1	Fisk .....	15
3.1.1.1	Pelagisk fisk.....	16
3.1.1.2	Mesopelagisk fisk.....	18
3.1.2	Zooplankton.....	20
3.1.2.1	Raudåte.....	20
3.1.2.2	Nordlig krill .....	23
3.1.2.3	Andre zooplankton .....	25
3.1.3	Høsting av viltvoksende tang og tare .....	26
3.1.3.1	Stortare .....	27
3.1.3.2	Grisetang.....	27
3.1.3.3	Viltvoksende tare og tang som fôr til fisk .....	28
3.1.4	Restråstoff fra sjømatindustrien.....	30
3.1.4.1	Potensialet i dag og i framtiden.....	30
3.1.4.2	Dagens utnyttelse og prosessering av restråstoffet.....	31
3.1.4.3	Regelverk .....	32
3.2	Plantebaserte råvarer .....	35
3.2.1	Importerte råvarer, soya .....	35
3.2.1.1	Verdensproduksjonen .....	35
3.2.1.2	Genmodifisert (GMO) soya.....	36
3.2.1.3	Avskoging og andre utfordringer.....	37
3.2.2	Andre, i hovedsak importerte, vegetabiliske råvarer .....	40
3.2.2.1	Oljevekster .....	40
3.2.2.2	Vegetabiliske proteiner .....	41
3.2.3	Norske protein og oljevekster .....	46
3.2.4	Skog.....	48
3.2.4.1	Trevirke .....	48
3.2.4.2	Barnåler og løv .....	49

3.2.5	Halm og gras .....	50
3.2.5.1	Halm.....	50
3.2.5.2	Gras.....	50
3.3	Restråstoff fra slaktning av varmblodige dyr og fjørfe .....	52
3.3.1	Fjørfe.....	53
3.3.2	Annet .....	53
3.3.3	Samlet vurdering .....	54
3.4	Dyrkede organismer.....	55
3.4.1	Insekter .....	55
3.4.1.1	Insektlarver som fôr.....	55
3.4.1.2	Produksjonsvolum på kort og lang sikt.....	57
3.4.1.3	FoU-behov og industriaktører .....	58
3.4.2	Lavtrofiske organismer .....	61
3.4.2.1	Børstemark .....	61
3.4.2.2	Gammaridaer (tanglopper, marflo, m.m.).....	65
3.4.2.3	Tunikater (sekkedyr).....	68
3.4.2.4	Muslinger og skjell .....	70
3.4.3	Hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer – encelleprotein og encelle-olje.....	72
3.4.3.1	Sukkere som råstoff.....	72
3.4.3.2	Naturgass (metan) som råstoff.....	76
3.4.3.3	CO <sub>2</sub> som råstoff.....	78
3.4.3.4	Syntesegass som råstoff .....	81
3.4.3.5	Andre karbonkilder som råstoff.....	82
3.4.4	Fototrofe mikroorganismer – mikroalger og blågrønnbakterier.....	85
3.4.4.1	Mikroalger som fôr til fisk og dyr.....	85
3.4.4.2	Industriell produksjon av mikroalger.....	85
3.4.4.3	Storskala dyrking av mikroalger.....	86
3.4.4.4	Prosessutvikling .....	88
3.4.4.5	Industrielle aktører og IPR .....	89
3.4.5	Makroalger (tang og tare).....	92
3.4.5.1	Makroalger som kilde til komponenter i fôr til fisk.....	93
3.4.5.2	Dyrking av tare – status .....	94
3.4.5.3	Industrielle aktører og IPR .....	95
3.5	Mikronæringsstoffer i fôr.....	98
3.6	Muligheter på tvers, synergier.....	98
<b>4</b>	<b>OPPSUMMERENDE TABELLER .....</b>	<b>99</b>
4.1	Råvaretilgang .....	99
4.2	Tilgang på protein og EPA/DHA .....	100
4.3	Pris på protein og EPA/DHA.....	101

4.4	De ulike råvarenes bærekraft .....	102
4.4.1	Krill .....	102
4.4.2	Mesopelagisk fisk.....	103
4.4.3	Restråstoff fra fiskeproduksjon .....	103
4.4.4	Makroalger .....	103
4.4.5	Mikroalger .....	104
4.4.6	Insekter .....	104
4.4.7	Biprodukter fra fjørfeproduksjon .....	104
4.4.8	Soya.....	105
4.4.9	Sammenligning av karbonfotavtrykk av ingredienser .....	105
<b>5</b>	<b>KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER.....</b>	<b>107</b>
5.1	Helhetlig vurdering .....	107
5.2	Bidrag til fiskefôr i 2050 .....	112
5.3	Industristrategi.....	112
5.3.1	Morgendagens fôrindustri.....	112
5.3.1.1	Ressursgrunnlaget .....	112
5.3.1.2	Teknologistatus.....	114
5.3.2	FoU-behov .....	115
<b>6</b>	<b>VEDLEGG.....</b>	<b>117</b>

#### BILAG/VEDLEGG

---

Vedlegg 1: Bidrag fra SINTEF

---

## 1 SAMMENDRAG

Norge har en nasjonal ambisjon om vekst i oppdrettsproduksjonen mot 5 millioner tonn i 2050. Dette vil kreve tilgang på opp mot 6 millioner tonn tørt fôr. Dersom veksten ikke skal dekkes gjennom økt import av soya, vil ca. 75 % av proteinet måtte fremstilles fra andre råvarer og gjennom andre industrielle prosesser enn de vi har i dag. I rapporten er 23 ulike råvarer vurdert ut fra tre kriterier:

- Hvor mye råvare kan være tilgjengelig?
- Kan råvaren bidra til å dekke det framtidige behovet for protein og EPA/DHA?
- Kan dette fremskaffes på en bærekraftig måte til en akseptabel pris?

I tillegg er det sterkt ønskelig at råvarene kan produseres eller høstes i Norge. Datagrunnlaget både når det gjelder kvantum av råvarene som nyttes i dag og estimert kvantum som som kan tas ut i 2050, og ikke minst prisen på protein og EPA/DHA fra de ulike råvarene, er for flere råvarer begrenset. Rapporten vil bli revidert hvis bedre basert og eventuelt ny informasjon foreligger.

Muligheter som ble vurdert i rapporten inkluderer:

Høsting av pelagisk fisk – vil fortsatt gi et viktig bidrag i 2050 både som proteinkilde og kilde til EPA og DHA, men fangstvolumet kan ikke forventes å øke vesentlig i forhold til i dag. Snarere kan konkurranse fra direkte konsum føre til at mindre blir tilgjengelig for produksjon av fiskefôr.

Høsting av mesopelagisk fisk – en meget stor og i dag nesten uutnyttet ressurs. Forventet å gi et meget store bidrag til fôret i 2050, både som proteinkilde og kilde til EPA og DHA.

Høsting av raudåte – en stor potensiell ressurs, men fangsten er krevende og medfører at produktene (protein og EPA/DHA) i dag er for dyre for bruk i bulk fiskefôr.

Høsting av nordlig krill – flere arter og en stor potensiell ressurs til både protein, EPA og DHA, men per i dag er kommersiell fangst i norske havområder forbudt. Antarktisk krill høstes i dag og inngår i noen grad i fiskefôr, men denne fangsten skjer utenfor norske havområder.

Høsting av små zooplankton – en enorm potensiell ressurs, men fangsten er meget krevende og kostbar fordi organismene er så små. Protein, EPA og DHA fra denne ressursen er i dag alt for dyre for bruk i bulkfôr til laks.

Høsting av viltvoksende tang og tare – en mulig proteinkilde, men utvinning av fordøyelig protein (for fisken) er dyrt og potensialet er begrenset, ikke minst fordi en betydelig økt høsting ikke er ønsket.

Restråstoff fra sjømatindustrien – en betydelig ressurs som vil øke i takt med veksten i oppdrettsnæringen, men bruk av restråstoff fra laks i laksefôr er begrenset til lakseolje. Denne kan imidlertid bidra til å dekke behovet for EPA og DHA. Restråstoff fra annen fisk vil fortsatt være kilde til både protein og EPA/DHA, men volumet av restråstoffet fra annen fisk vil ikke øke vesentlig i årene framover.

Restråstoff fra slaktning av varmblodige dyr – en mulig proteinkilde, men det er store begrensninger på hva som kan brukes i fôr til matproduserende dyr og fisk pga av risiko for overføring av TSE, og i tillegg er totalt potensial begrenset.

Soyaproteinkonsentrater – globalt en enorm ressurs og den viktigste proteinkilden i dagens fôr (40-45 % av proteinet). Soya kan ikke dyrkes i Norge og det er ønskelig å redusere andelen soya-protein i fôret, men soyaprotein forventes å være en viktig ingrediens i laksefôr også i 2050. En stadig økende andel av den soya som dyrkes er genmodifisert og det kan bli en utfordring for fôrindustrien å framskaffe tilstrekkelige mengder ikke-GMO soya i årene framover.

Andre vegetabiliske protein- og oljekilder – globalt en enorm ressurs, men bare et mindre antall arter kan dyrkes i Norge og potensialet for norsk produksjon er begrenset. Vegetabiliske proteiner som hvete- og maisgluten, som i dag utgjør 25-28 % av proteinet, vil pga sine funksjonelle egenskaper, trolig også inngå i fôret i 2050, og vil være basert på import. Rapsolje er i dag den viktigste oljen ved siden av fiskeolje i fôret. Noe camelinaolje, som utvinnes fra frøene av oljedodre, brukes også. Begge planter kan dyrkes i Norge, men produksjonspotensialet er begrenset og det er sannsynlig at importerte planteoljer vil dominere også i 2050.

Utvinning av protein fra gras – en potensiell kilde til protein i fôr til laks. Gras kan dyrkes over store deler av landet og proteinproduksjonen per areal er relativt høy. Fiberresten etter proteinutvinningen kan fortsatt benyttes til fôr for drøvtyggere. Teknologien må utvikles videre, men trolig er gras den potensielt største norske planteproteinkilden.

Produksjon av insektlarver – en mulig proteinkilde, men i dag for kostbar. Det er restriksjoner på hva larvene kan føres på dersom de skal kunne benyttes som fôr til laks, og dette begrenser produksjonspotensialet.

Produksjon av børstemark – en mulig kilde til både protein og EPA/DHA, men i dag er produksjonskostnadene alt for høye til at dette er en aktuell fôrkilde i bulkfôr til laks.

Produksjon av gammaridaer (tanglopper, marflo, m.m.) – en mulig kilde til både protein og EPA/DHA, men i dag er produksjonskostnadene alt for høye til at dette er en aktuell fôrkilde i bulkfôr til laks.

Produksjon av tunikater (sekkedyr) – en mulig kilde til både protein og EPA/DHA, men i dag er produksjonskostnadene for høye til at dette er en aktuell fôrkilde i bulkfôr til laks.

Produksjon av muslinger og skjell – en mulig kilde til både protein og EPA/DHA, men etterspørres også som mat, og dette kan gjøre det vanskelig å konkurrere på pris med andre fôrkilder.

Dyrking av hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer (bakterier, sopp, gjær og thraustochytrider), dvs. ikke-fototrofe mikroorganismer – mulige kilder til både protein og EPA/DHA ved fermentering. Encelleprotein framstilt ved fermentering av sukker er i dag for kostbart, men produksjon av EPA/DHA-rike oljer til fôr kan være økonomisk lønnsomt. Produksjon av encelleprotein til fôr ved fermentering av metan kan også være økonomisk lønnsomt, mens autotrofe prosesser basert på CO<sub>2</sub> eller syngass er mulige framtidige prosesser.

Kjemisk/biokjemisk omforming av lignocellulose (trevirke og halm) til sukker for bruk i fermenteringsprosesser – potensialet er betydelig, men sukker framstilt fra lignocellulose er i dag dyrere enn glukose og sukrose fra tradisjonelle kilder som maisstivelse, sukkerroer og sukkerrør.



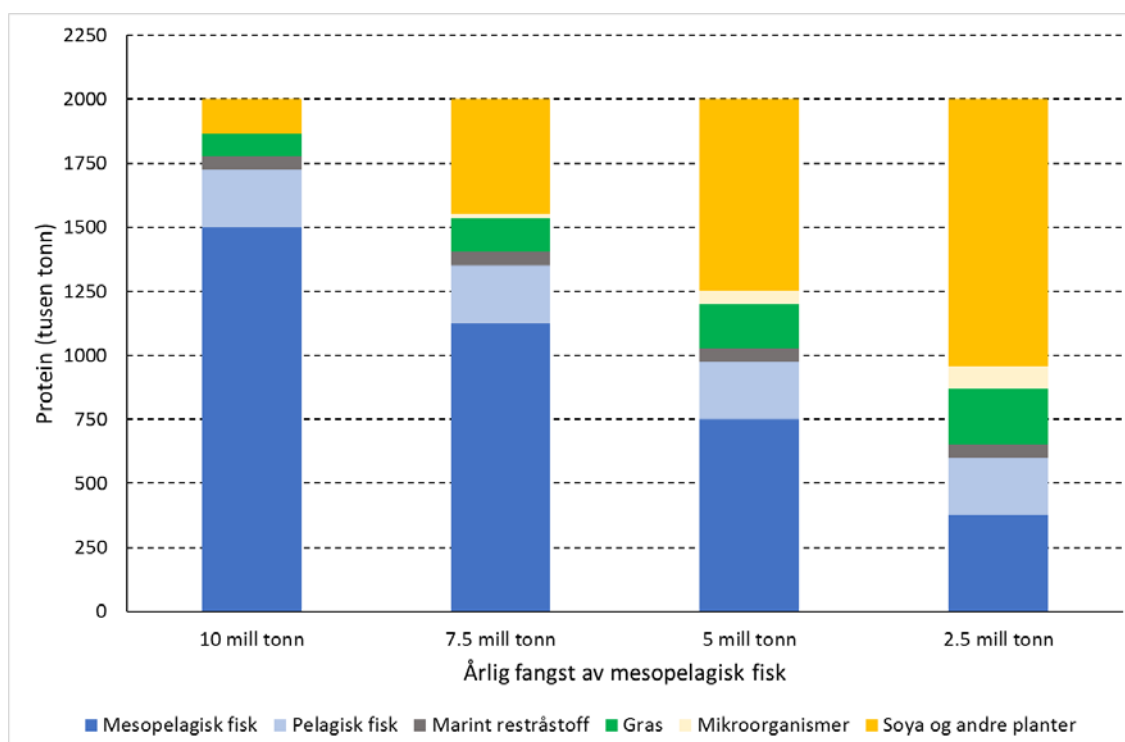
Dyrking av mikroalger – en mulig kilde til både protein og EPA/DHA, men per i dag er produktene for dyre for bruk i bulkfôr til laks. Produksjonen krever store arealer og de rimeligste produksjonsløsningene (åpne dam-systemer) passer bedre i mer solrike og varmere land enn Norge.

Dyrking av tare – en mulig kilde til protein, men innholdet av protein i tare er lavt og utvinningen av fordøyelig protein er kostbar. Dyrkingsteknologien må også oppskaleres dersom dette skal bli en viktig proteinkilde. Dagens dyrking er rettet mot konsummarkedet.

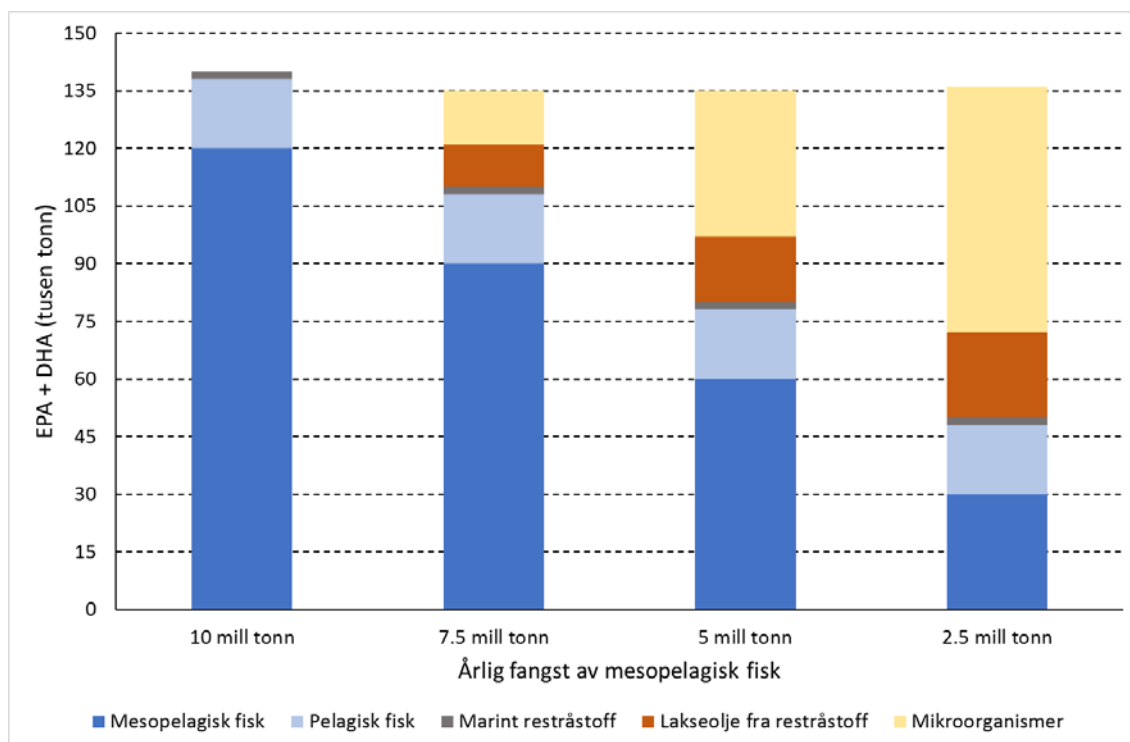
Etter vurderingen står 7 av 23 råvarekilder igjen som realistiske bidragsyttere for å dekke det fremtidige fôrbehovet, hvorav tre er i storskala industriell produksjon i dag, mens fire krever utvikling og/eller oppskalering:

Industriell produksjon i dag	Krever utvikling og/eller oppskalering
Pelagisk fisk Marint restråstoff Soya og andre proteinrike vekster	Mesopelagisk fisk Protein fra gras Hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer Mikroalger

Den mest kritiske enkeltfaktoren for å fremskaffe nok fôr basert på norske råvarer i 2050, er at vi lykkes med å oppskalere høsting og fremstilling av fôr fra mesopelagisk fisk. Avhengig av fangst-volumet kan denne råvaren bidra med opp til 75 % av proteinbehovet ([Figur 1-1](#)) og 89 % av behovet for EPA/DHA ([Figur 1-2](#), neste side). Norske forskningsmiljø og norsk industri har spesielt gode forutsetninger for å bli globalt ledende på dette området.



**Figur 1-1** Mulige kilder for å dekke behovet for protein (2 mill tonn) til fôr i 2050 gitt ulike fangst-nivåer av mesopelagisk fisk.



**Figur 1-2** Mulige kilder for å dekke behovet for EPA/DHA (135 tusen tonn) til fôr i 2050 gitt ulike fangstnivåer av mesopelagisk fisk. Mikroorganismer inkluderer både hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer og fototrofe mikroalger.

Den prioriteringen det her legges opp til for å dekke fôrbehovet basert på norske råvarer i 2050, må ikke medføre at forskning knyttet til andre råvarekilder trappes ned. Når perspektivet er mer enn 30 år, er det ikke usannsynlig at det vil utvikles råvarer og prosesser vi ikke kjenner eller ser muligheten for å utnytte i dag. Mange mulige råvarer faller i dag gjennom på kvantum og/eller pris, men nye eller endrede forhold kan gjøre dem høyst aktuelle i fremtiden. Videre forskning på høsting av andre marine arter (nordlig krill, raudåte, m.m.), konvertering av halm og trevirke og/eller dyrking av nye organismer (insekter, gammaridaer, tunikater, børstemark, tare, m.m.) kan også lede til andre anvendelser enn til fôr (humant konsum, ingredienser, etc.) som kan bære fremstillingskostnadene. Det er også mulig at fremstilling av disse produktene vil gå inn som viktige trinn i en kjede for å muliggjøre en sirkulær økonomi.

## 2 INNLEDNING

### 2.1 Globalt behov for fôr.

Akvakultur er den hurtigst voksende produksjonen av animalsk protein i verden. FNs matvareorganisasjon FAO anslår at i 2030 vil akvakultur stå for 2/3 av den sjømaten som bringes til veie. Akvakultur er også en av de mest ressurseffektive måtene å fremstille animalsk protein på. Det brukes mindre fôr, vann og landområder slik at karbonfotavtrykket blir betydelig lavere enn ved landbasert husdyrproduksjon.

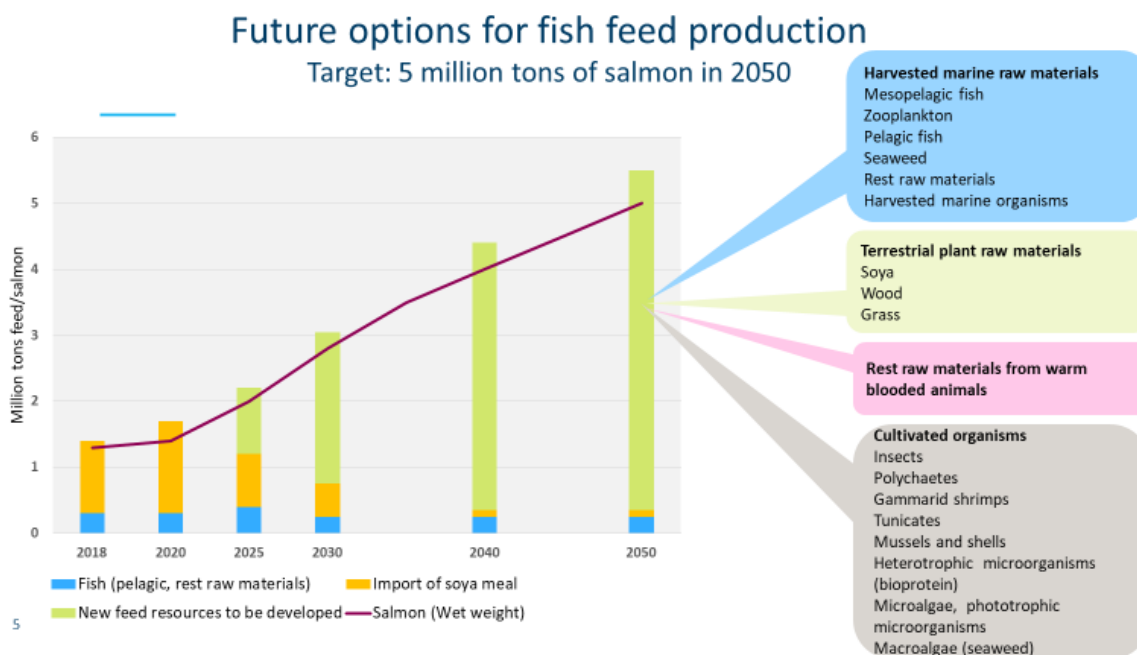
Dersom vi skal kunne ta ut det totale potensialet som akvakultur representerer må produksjonen bli enda mer bærekraftig. Fiskefôr er fortsatt avhengig av villfanget fisk som anchoveta og sardiner som konverteres til fiskeolje og fiskemel, og landarealer for dyrking av f.eks. soya. Det er grenser for hvor mye disse fôrkildene kan vokse i årene fremover. Hvis vi kan fremskaffe alternative fôrkilder som kan gå inn i "mainstream aquaculture" både nasjonalt og globalt, har sektoren potensial for seks ganger økning av den sjømatproduksjonen næringen står for i dag. Dette tilsvarer ca. 2/3 av det kjøttet FAO har beregnet det vil være behov for for fremtidige generasjoner, i henhold til ekspertrapporten fra *The High-Level Panel for a Sustainable Ocean Economy* [1].

Det gjøres derfor en betydelig innsats internasjonalt for å identifisere og utvikle nye råvarer som kan anvendes i fiskefôr, herunder fremstilling av bioprotein ved hjelp av mikroorganismer, høsting av biomasse på lavere trinn i havets næringskjede, produksjon av insekter eller krepsdyr, og bioteknologisk konvertering av terrestriske råstoff som skog og gress til proteiner.

### 2.2 Nasjonale behov

Norge er i dag verdens største produsent av oppdrettslaks. Vi har en nasjonal ambisjon om vekst opp mot 5 millioner tonn i 2050, noe som innebærer 4-5x økning fra dagens nivå. For å oppnå denne veksten er det ulike utfordringer som må løses, herunder miljøutfordringer som lus, rømming og utslipp. Hovedutfordringen på litt lengre sikt er imidlertid tilgang på nok fôr. Norske oppdrettere, fôrleverandører, myndigheter og forskningsmiljø er i dag opptatt av denne problemstillingen. Det foreligger flere initiativ, herunder utvikling av mesopelagisk fiske, dyrking av ulike marine organismer, konvertering av plantebaserte materialer til protein og dyrking av insekter. De ulike mulighetene er imidlertid ikke satt inn i en kontekst der de blir vurdert opp mot hverandre med tanke på mulige produksjonsvolum, mulige produksjonskostnader, miljøkonsekvenser og bærekraft. Dette er nødvendig for å gjøre fornuftige valg og slik løse den "fôrknipa" norske oppdrettsnæringen vil stå i om noen år.

Et tenkt fremtidsbilde for hvordan dette kan betraktes med vår nasjonale produksjon av laks som utgangspunkt er vist i [Figur 2-1](#) (neste side). Gitt en produksjon av laks på 5 millioner tonn i 2050, må nye fôrkilder skapes og oppskaleres. Til høyre i Figur 2-1 listes råvaremuligheter som i teorien kan inngå i en fôrproduksjon. Totalt er 23 mulige råvarekilder vurdert. Det foregår i dag industriell fôrproduksjon på basis av noen av disse råvarene mens andre er i sin spede begynnelse og krever betydelig utvikling og oppskalering for å kunne gi signifikante bidrag.



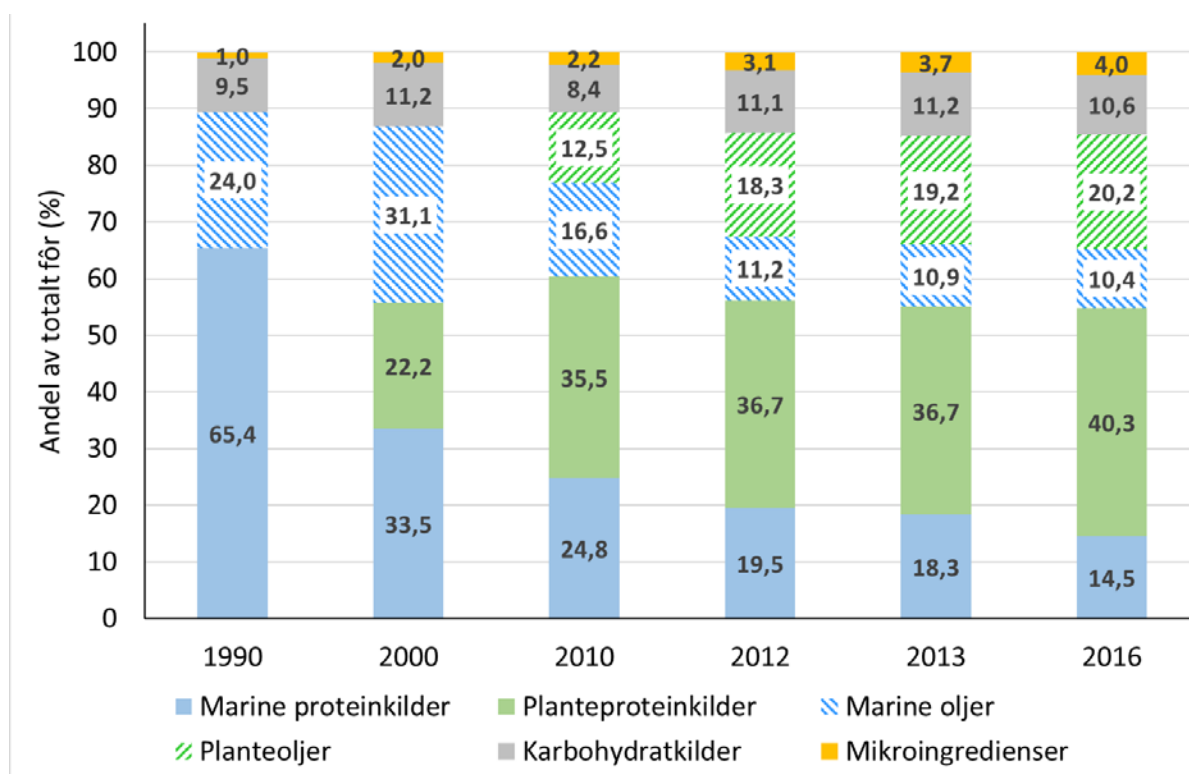
**Figur 2-1** Et mulig fremtidsbilde av fôrproduksjon i til laks i Norge ved produksjon av 5 millioner tonn laks i 2050.

Denne rapporten gjennomgår systematisk disse råvarene og gjør vurderinger ut fra ernæringsmessig egnethet, hvor mye som kan bringes til veie og til hvilken pris, teknologisk status, mulighetene for oppskalering og karbonfotavtrykket ved en slik produksjon. Målet er å peke på 3-5 råvaremuligheter som bør prioriteres, for deretter å foreslå en nasjonal strategi for å kommersialisere disse.

## 2.3 Dagens fiskefôr

Laksefôr består av ca. 1/3 protein og 1/3 olje. Fram til slutten av 1990-tallet var fiskemel den dominerende proteinkilden og fiskeolje den eneste oljen i fôret. Denne andelen er nå sterkt redusert, og vegetabiliske ingredienser dominerer (Figur 2-2, neste side). I 2016 utgjorde soyaproteinkonsentrat 19 % av fôret, hvete og hvetegluten til sammen 17,9 %, mens rapsolje og camelinaolje til sammen utgjorde 19,8 %. Marine proteinkilder utgjorde samlet 14,5 % av fôret og marine oljer 10,4 % [2].

Med dagens lakseproduksjon på 1,3 million tonn årlig, er fôrforbruket ca. 1,6 millioner tonn, som tilsvarer vel 500 tusen tonn av hhv protein og olje. I 2016 utgjorde importert soyaproteinkonsentrat 310 tusen tonn. Olje er den viktigste energikilden for vekst, men bidrar også med de essensielle flerumettede omega-3 fettsyrene DHA [dokosaheksaensyre, 22:6(n-3)] og EPA [eikosapentaensyre, 20:5(n-3)]. Derfor benyttes fortsatt 5-10 % fiskeolje i fôret, tilsvarende 2,2 % EPA/DHA (35 000 tonn årlig) [2]. Siden nesten all tilgjengelig fiskeolje allerede utnyttes, og innholdet i fôret ikke bør reduseres ytterligere, er alternative kilder til EPA/DHA et absolutt krav for framtidig vekst i norsk lakseproduksjon. For næringens rennømmé er det dessuten viktig å erstatte mest mulig av fôret med så bærekraftige råstoffer som mulig.



**Figur 2-2** Sammensetningen av laksefôr 1990-2016 [2].

Produksjon av 5 millioner tonn laks per år i 2050 vil kreve anslagsvis 2 millioner tonn protein og 2 millioner tonn olje, inkludert ca 135 tusen tonn EPA/DHA. Dette er basert på dagens totale fôrfaktor som både inkluderer den faktiske fôrfaktoren knyttet til laksens utnyttelse av fôret og ulike svinn i prosessen. En eventuell redusert total fôrfaktor ned mot 1.1 kg fôr per kg laks vil kunne redusere fôrbehovet ned mot 5.5 millioner tonn, eller med ca 10 %. I beregningene i denne rapporten har vi imidlertid tatt utgangspunkt i dagens situasjon.

To millioner tonn protein er et enormt tall. I årene 2016-2019 var den årlige totale norske fangsten av villfisk 2.0-2.5 millioner tonn [3]. Antar vi i gjennomsnitt 10 vekt% protein tilsvarer fangsten av villfisk 200-250 tusen tonn protein, som kun kan dekke 10-13 % av proteinbehovet til norsk oppdrettsnæring i 2050.

Dagens produksjon er basert på marint råstoff i form av pelagisk fisk og restråstoff (samlet ca. 25 %) og plantebasert råstoff (ca. 75 %), vesentlig soya [2]. Vi kan ikke forvente at det økte fôrbehovet kan dekkes gjennom økt tilgang på pelagisk fisk. Snarere må vi forvente en nedgang ettersom stadig mer pelagisk fisk går rett til konsum og mengden restråstoff avtar. Det er heller ingen grunn til forvente økt tilgang på ikke genmodifisert soya fra Brasil eller andre viktige produsentland, selv om enkelte Øst-Europeiske land satser på ikke genmodifisert soya som et "nisjeprodukt".

Produksjon av laks og andre oppdrettsarter avhenger ikke utelukkende av tilgangen på egnede fôrråvarer, men også prisen på dem. Nye eller utradisjonelle fôrråvarer bør derfor ikke være betydelig dyrere enn dagens råvarer dersom de skal være interessante i bulkfôr til laks. Start- og yngelfôr er en annen historie, ettersom fôrmengdene som trengs er små, samtidig som fôropptak, helse og overlevelse av yngelen blir viktige parametere.

De to viktigste komponentene i nye fôrkilder vil være protein og de essensielle flerumettede omega-3 fettsyrene EPA og DHA, men noen fôrkilder kan også bidra med andre kostnadsdrivende komponenter. Dersom fôr basert på nye fôrkilder smaker godt for fisken og/eller inneholder fordøyelsesfremmende komponenter kan dette også øke fôropptak og vekst. Som det vil framgå senere i rapporten, varierer estimert pris for protein og/eller EPA/DHA i mulige nye fôrkilder betydelig i den grad det i det hele tatt foreligger prisestimer. Mange av de nye fôrkildene er så langt bare studert i laboratoriet eller i pilotskala, og en eventuell oppskalering til produksjon i industriell skala vil trolig redusere produksjonskostnadene og dermed prisen per kg produkt.

Protein utgjør omkring 1/3 del av fôret. Viktige proteinkilder i fôret er bl.a. fiskemel og soya-proteinkonsentrat. Avhengig av råvaren kan prisen på råprotein og ekte protein estimeres til henholdsvis 11-23 kr/kg og 12-30 kr/kg (Tabell 2-1). Kvaliteten på proteinråvaren, dvs i hvilken grad innholdet av essensielle aminosyrer svarer til fiskens behov, proteintetthet (totalt proteininnhold) i råvaren og innholdet av uønskede komponenter er blant faktorene som spiller inn, men et grovt referansetall for protein fra nye eller utradisjonelle fôrråvarer kan være **ca 30 kr/kg protein**.

**Tabell 2-1** Dagens prisnivå per kg råprotein og protein for noen aktuelle proteinråvarer

Fôrvare	Fôrvare (NOK per kg)	Råprotein (g/100 g)	Estimert Protein (g/100 g)	Pris for råprotein (NOK/kg)	Pris for protein (NOK/kg)
Fiskemel, ulike kvaliteter	17-18	67-71	60-64	25-27	28-30
Soyaproteinkonsentrat (SPC)	8-10	64-72	57-65	11-16	12-18
Hvete	2		-		-
Hvetegluten	14	~80	-	17-18	-
Guarmel	6-7	53-55	-	11-13	-

Fett (oljer) utgjør omkring 1/3 del av fôret, og tilsettes både som energikilde og for å tilføre fôret de essensielle flerumettede omega-3 fettsyrene EPA og DHA. I dag er fiskeolje hovedkilden for EPA og DHA, og blant annet avhengig av hvilken fisk oljen er framstilt fra kan EPA + DHA utgjøre 16-32 vekt% av oljen. Verdien av EPA/DHA i fiskeoljen kan estimeres ut fra prisforskjellen mellom fiskeolje med et gitt innhold av EPA/DHA og rapsolje (Tabell 2-2). Et alternativt oljeprodukt fra en ny eller utradisjonell kilde bør således kunne leveres til en pris som tilsvarer omkring **70 kr/kg for EPA/DHA** for å være økonomisk interessant som kilde til disse fettsyrene i dag. Men som påpekt over, er tilgangen på fiskeolje i ferd med å bli begrensende for videre vekst i oppdrettsnæringen og trolig kan dette presse prisen på EPA/DHA-rike oljer noe oppover.

**Tabell 2-2** Dagens prisnivå for noen oljer benyttet i fiskefôr og estimert prisnivå for EPA/DHA som komponent i olje.

Olje	Pris (NOK/kg)	Innhold av EPA/DHA i oljen (%)	Verdi av EPA/DHA (NOK/kg)*
Fiskeolje, ulike kvaliteter	21-25	18-27	63-73
Rapsolje	ca 7.5	-	-
Camelinaolje	ca 8	-	-

\* Verdien av EPA/DHA i oljen er beregnet som [(pris fiskeolje)-(pris rapsolje)]/(% EPA + % DHA)

### **Protein, råprotein, aminosyrer og essensielle aminosyrer**

Protein er bygget opp av aminosyrer. Totalt finnes vel 20 ulike aminosyrer pluss noen modifiserte utgaver av enkelte aminosyrer. Fotosyntetiske organismer (planter, makro- og mikroalger) og de aller fleste mikroorganismer (bakterier, sopp, gjær, etc.) kan lage alle aminosyrene selv, men mange høyerestående "dyr" som mennesker, laks og insekter, kan ikke lage alle aminosyrene selv, og må da få tilført disse i kosten. De aktuelle aminosyrene kalles da essensielle aminosyrer for denne arten. Kvaliteten på protein vurderes i førsammenheng ofte ut fra i hvilken grad innholdet av essensielle aminosyrer matcher behovet hos den som skal spise føret. Laks, insekter og mennesker har ikke helt de samme essensielle aminosyrer, men det er betydelig grad av overlapping.

I førsammenheng benyttes ofte begrepet råprotein. Dette er en parameter som stammer fra en tid med dårligere analysemuligheter enn i dag, men er fortsatt vanlig brukt. Råprotein (%) beregnes ut fra førråvarens innhold av nitrogen (%) som blir multiplisert med en korreksjonsfaktor, ofte 6.25, for å estimere innholdet av protein (%). For fiskemel og soyamel utgjør virkelig protein 86-92 % av råprotein, slik at forskjellen mellom råprotein og virkelig protein ikke er dramatisk. Men i en del andre førråvarer kan innholdet av råprotein være veldig mye høyere enn virkelig protein. Eksempelvis inneholder bakterier omkring 50 % (av tørrvekt) virkelig protein, mens innholdet av råprotein kan være 70 %. I fettfritt insektmel av svart soldatflue-larver er innholdet av virkelig protein om lag det halve av innholdet av råprotein. I slike tilfeller er det svært viktig å klargjøre om man snakker om råprotein eller virkelig protein både med tanke på førverdi og pris per kg protein. Dessverre blir det ikke alltid klart spesifisert hva som menes, og spesielt for mer utradisjonelle førråvarer kan forskjellen, som illustrert over, bli stor.

### **Referanser**

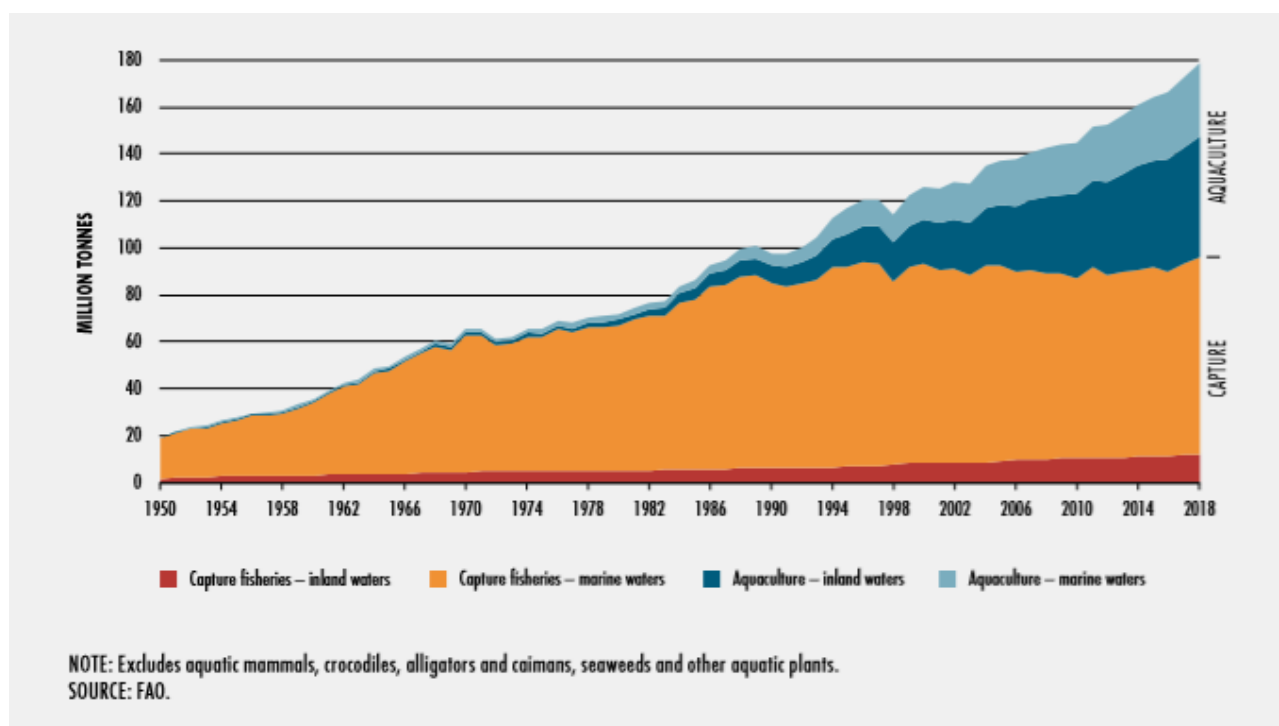
1. Costello C., L. Cao, Gelcich et. A. (2019) The future of food from the sea. *"The High level Panel for a sustainable ocean Economy."* World Resource Group.
2. Aas, T. S., Ytrestøyl, T. og Åsgard, T. 2019. Utilization of feed resources in the production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway: An update for 2016. *Aquaculture Reports* **15**: 10
3. Fiskeridirektoratets statistikk, 2019. <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur>

### 3 VURDERING AV ULIKE RÅVARER

#### 3.1 Marine kilder

##### 3.1.1 Fisk

I 2018 var verdens totale fiskeproduksjon 179 millioner tonn (Figur 3-1). Av dette gikk 156 millioner tonn (87 %) direkte til humant konsum tilsvarende et årlig forbruk globalt på 20.5 kg per capita. Det resterende, ca 22 millioner tonn, gikk alt overveiende til produksjon av fiskemel og fiskeolje. Akvakultur sto for 46 % av den totale fiskeproduksjonen og 52 % av det som gikk til humant konsum.



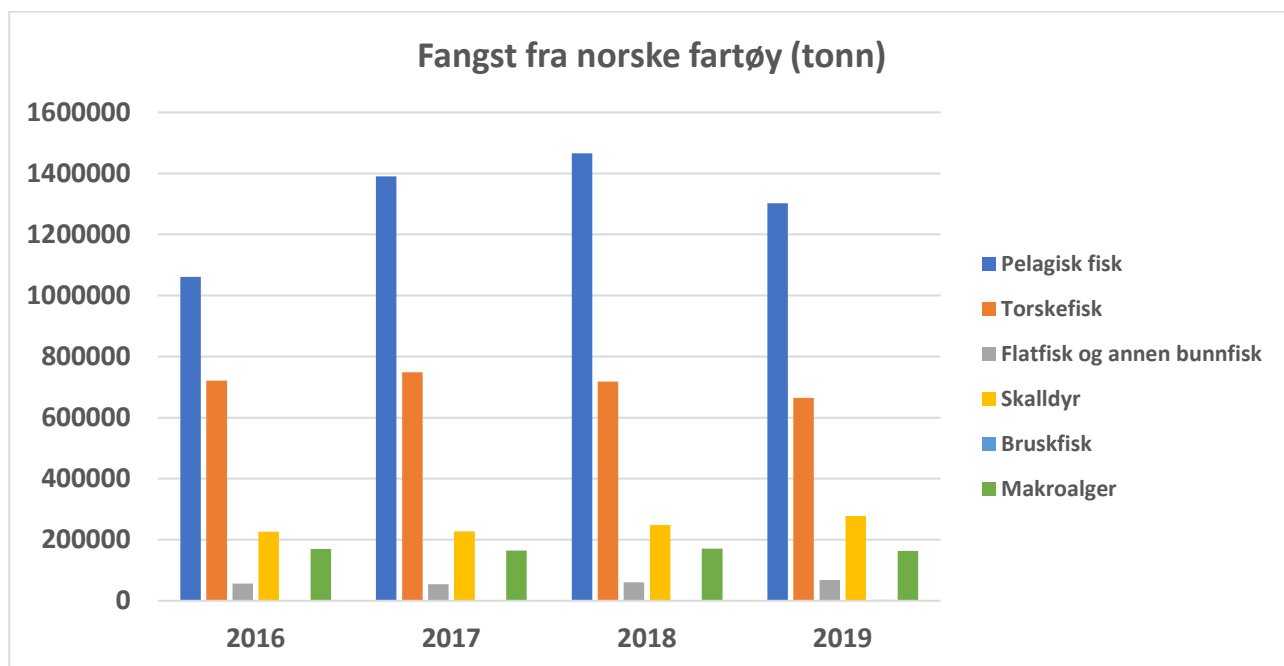
**Figur 3-1** Verdens produksjon av villfanget fisk og akvakultur. (FAO, 2020) [1]

Fra 1950 til 1990 økte verdens fiskefangster fra 20 til 90 millioner tonn [1]. Dette tilsvarer en vekst på knapt 4 % per år. Etter ca. 1990 flatet imidlertid fangsten ut. Det globale villfisket nådde i 2018 sitt høyeste nivå noen gang med en total fangst på 96,4 millioner tonn, derav 84,4 millioner tonn fra marin sektor. Det kan ikke forventes vekst i årene fremover.

I løpet av de siste 50 år er andelen fisk som høstes innenfor et bærekraftig regime gått ned fra 90 % i 1974 til 67 % i 2015. I 2015 ble 60 % av fangsten høstet fra såkalte helt utnyttede fiskestammer, mens kun 7 % ble høstet fra fiskestammer som ennå ikke var fullt utnyttet [1]. For å bringe alle fiskeressurser inn under bærekraftige høstingsregimer har FN's bærekraftsmål inkludert et mål om å stoppe overfiske og bringe fiskestammer som i dag belastes for mye over i bærekraftige høstingsregimer.

De totale norske fiskefangstene har de siste 5 år ligget stabilt på 2,2-2,6 millioner tonn. [Figur 3-2](#) ( neste side) viser hvordan denne fangsten fordeler seg mellom de ulike gruppene.





**Figur 3-2** Marin fangst og høsting fra norske fartøy 2016-19 (Fiskeridirektoratets statistikk) [6].

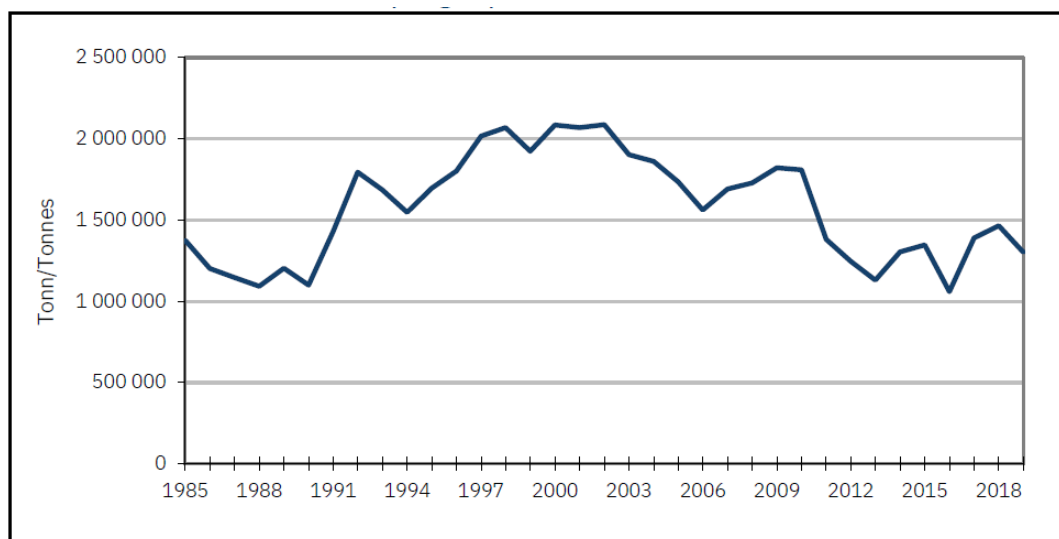
### 3.1.1.1 Pelagisk fisk

Pelagisk fisk er fiskestammer som beveger seg fritt i havområdene. De utgjør noen av de artene det høstes mest av i verden. Selv om disse artene også vesentlig går til konsum, er det blant de små pelagiske fiskeslagene vi finner råvarene til mel- og oljeindustrien. Den viktigste enkeltarten er anchoveta (*Engraulis ringens*). Fangstvolumet varierer, men det kan høstes opp mot 7 millioner tonn utenfor kysten av Sør-Amerika. Av de 15 fiskeslagene det fangstes mest av i verden er ca. 2/3 pelagiske.

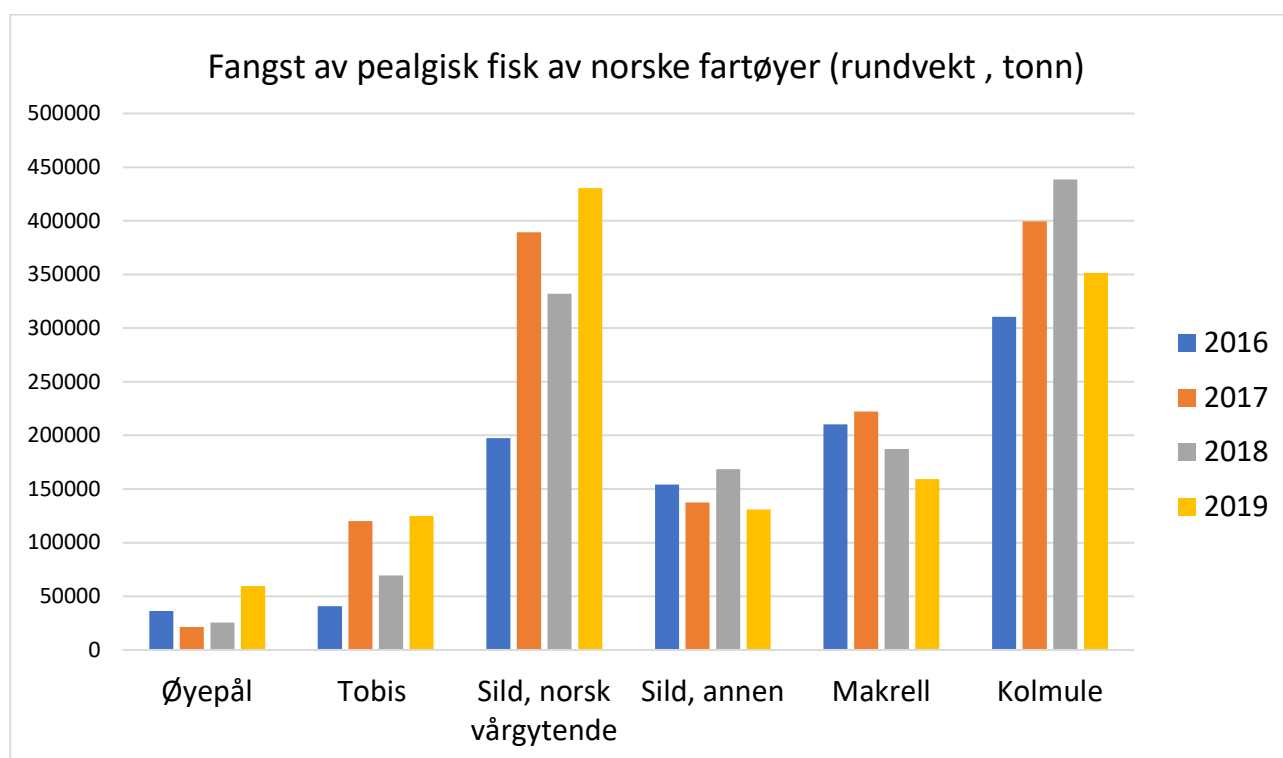
De mest kjente norske pelagiske artene er sild, makrell, lodde og brisling. Men også kolmule, hestemakrell, tobis og øyepål er viktige pelagiske fiskeslag. [Figur 3-3](#) ( neste side) viser total fangst av pelagisk fisk til norske fartøy fra 1985 og til i dag. Den totale fangsten har i perioden ligget mellom 1 og 2 millioner tonn. Prisen på sild og makrell har i de senere år ført til at mye pelagisk fisk som tidligere gikk til oppmaling, i dag går direkte til konsum. Det kan derfor ikke forventes økt andel norsk pelagisk fisk til fôrproduksjon i årene fremover, selv om restråstoffet kan gå til produksjon av mel og olje.

Fangsten av noen pelagiske arter de siste årene er vist i [Figur 3-4](#) ( neste side). Det fremgår at de dominerende artene er norsk vårgytende sild, kolmule og makrell.

Fiskeolje og fiskemel var tidligere de to viktigste ingrediensene i fôr til laks, men i de senere år har andelen marint protein og fett i fôret gått nedover (se [Figur 2-2](#), side 12). Dette skyldes både at laksenæringen har vokst betydelig og at en stadig større andel av den pelagiske fisken som fangstes, går direkte til konsum.



**Figur 3-3** Fangst av pelagisk fisk til norske fartøy [6].



**Figur 3-4** Fangst av pelagisk fisk til norske fartøyer (tonn rundvekt) [6].

I 2016 utgjorde marine proteiner fra mel og oljeproduksjon 14.5 % (se Figur 2-2) tilsvarende ca. 190 000 tonn. Herav ble 115 000 tonn produsert på basis av fangster i Nord-Atlanteren. Marine oljer (10,4 %), utgjorde totalt ca. 126 000 tonn, og omtrent halvparten kom fra fisk fanget i Nord-Atlanteren. Hvis en antar et fettinnhold på 8-14 % og et proteininnhold på 16-22 % for pelagiske fiskeslag [7], betyr dette at mellom 50 og 65 % av den pelagiske fisken som fangstes fra norske fartøy i dag går inn i laksefôret.

### 3.1.1.2 Mesopelagisk fisk

Samtidig med nedgangen i de kommersielle fiskeressursene har det vært søkt etter andre biologiske ressurser i havet som det er mulig å høste, herunder planteplankton, zooplankton (f.eks. krill og raudåte) og mesopelagisk fisk. Mesopelagisk fisk finnes i alle verdenshav fra Antarktis i sør til Arktis i nord og representerer en biomasse betydelig større enn andre fiskerier. Bestandsestimatene varierer fra 1000 til 10 000 millioner tonn [2, 3], noe som først og fremst viser at dette er svært usikkert. En betydelig mengde er også forventet å være til stede i Nord-Atlanteren innenfor norsk økonomisk sone. Selv om det er antatt at det finnes betydelige forekomster, er det fortsatt mangel på både på biologisk og økologiske kunnskap om denne ressursen.

En fiskeressurs kan bli kalt mesopelagisk dersom den tilbringer dagen i mesopelagisk sone som defineres av lys, temperatur og dybde. Det vanligste kriteriet for dybde er mellom 200 og 1000 meter. Vanligvis foretar de en døgnvandring der de kommer opp til 200 meter eller helt opp til overflaten i løpet av natten. Det er så langt beskrevet relativt få eksempler på kommersiell utnyttelse, men det er beskrevet fangster fra Sør-Afrika, Vest-Afrika, Sørvest-Australia, i Gulven utenfor Oman og sør for Island, der det i 2009 og 2010 ble landet henholdsvis 40 000 og 18 000 tonn mesopelagisk fisk (laksesild eller pearlside, *Maurolicus muellery*) [5].

Hvis oppdrettsnæringen skal vokse er det nødvendig å øke tilgangen til omega-3 fettsyrer og protein. Bærekraftig høsting fra havet er en god måte å gjøre dette på, og det foregår i Norge et betydelig utviklingsarbeid for å etablere en verdikjede for høsting, landing og prosessering av mesopelagisk fisk. Målet er å fremstille produkter som kan foredles til fiskefôr, konsumprodukter eller marine ingredienser av høyere verdi. I samarbeid med fiskebåtrederiene Birkeland og Liegruppen og ingrediensprodusenten Biomega har SINTEF Ocean de siste årene hatt gående prosjekter rettet mot dette. Utgangspunktet er at mesopelagisk fisk, i første rekke laksesild (*M. muellery*) og nordlig lysprikkfisk (*Benthosema glaciale*) er utnyttede ressurser som kan høstes og utnyttes til f.eks. fiskefôr. Laksesild har en biokjemisk sammensetning som gjør den ettertraktet til dette formålet (Tabell 3-1).

Resultatet av pågående prøvefiske etter laksesild var i 2018 17 tonn og i 2019 2000 tonn. Det er flere utfordringer med å etablere kommersiell høsting og utnyttelse av mesopelagisk fisk i Norge. Dette går både på forvaltning, deteksjon, høstemetoder, fangst-håndtering og bearbeiding av biomassen som høstes. Neste skritt vil være å fremstille selve fiskefôret.

**Tabell 3-1** Sammensetningen av oppmalt laksesild (*Maurolicus muellery*) [7].

Komponent	Innhold
Vann	68.2 - 76.0 % av våtvekt
Protein	13.5 - 16.8 av våtvekt
Lipid	4.3 - 15.8 % av våtvekt
Omega-3	24.5 % i gj.snitt av ekstrahert lipid
EPA + DHA	22.0 % i gj.snitt av ekstrahert lipid

Det foregår i dag en spredt og relativt lite omfattende forskning på mesopelagisk fisk. Dette omfatter både oseanografi og biologi, herunder karakterisering av ulike arter. Norge har med sin utviklingsinnsats rettet mot å skape et kommersielt fiskeri en unik mulighet til å opparbeide et forsprang og realisere en ny marin næring slik det er beskrevet i regjeringens havstrategi [4]. To pågående EU-Horizon 2020-prosjekter: Sustainable management of mesopelagic resources (SUMMER) og Ecologically and economically sustainable mesopelagic Fisheries (MEESO) har som mål å dekke

viktige kunnskapshull når det gjelder muligheter for bærekraftig (miljømessig og økonomisk) utnyttelse av mesopelagisk fisk. SINTEF Ocean deltar i begge, sammen med flere andre norske partnere, og MEESO ledes av Havforskningsinstituttet.

Det vil i tillegg være et forvaltningsmessig spørsmål både i Norge, EU og internasjonalt hvordan et slikt fiske skal reguleres og styres. Dette reiser en rekke spørsmål som må avklares før det åpnes for kommersielt fiske [5]. En mulighet er å opprette et helt nytt fiskeri. Et alternativ er å legge dette som tilleggsvirksomhet til allerede eksisterende fiskerier.

En tenkt årlig fangst på 1 million tonn laksesild (våtvekt) kan basert på tallene i Tabell 3-1, gi omkring 150 tusen tonn protein og omkring 20 tusen tonn EPA + DHA, tilsvarende 7-8 % av proteinbehovet og omkring 15 % av behovet for EPA og DHA i 2050. En årlig fangst på 1 million tonn laksesild er et betydelig volum, tilsvarende nær halvparten av dagens norske fangstvolum (se Figur 3-2).

### **Referanser**

1. FAO, The State of World Fisheries and Aquaculture. 2018 Meeting the Sustainable Development Goals. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 2018
2. Gjøsæter, J., og Kawaguchi, K. 1980. *A review of the world resources of mesopelagic fish*. FAO Tech. Fish. Pap. 193 (1080)151.
3. Irigoien, X. *et al.* 2014. Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean. *Nat. Commun.* 5 (1), 3271.
4. Regjeringens havstrategi: Ny vekst, stolt historie. 2017.
5. Standal, D. og Grimaldo, E. 2020. Institutional nuts and bolts for a mesopelagic fishery in Norway. *Marine Policy* 119: 104043
6. Fiskeridirektoratets statistikk, 2019
7. Brækkan, O.R. 1976. Fiskets gang 35, 595.

### 3.1.2 Zooplankton

Zooplankton (dyreplankton) kan være kilde til både protein og omega-3 fettsyrer i fôr til laks.

Zooplankton er frittlevende, heterotrofe organismer i vannmassene. De lever på mikroalger, mindre zooplankton, bakterier, og annet som driver i vannmassene. Gruppen omfatter blant annet maneter (fra cm til meter i størrelse), krill (20-60 mm), raudåte (3-4 mm), små kopepoder (<2 mm), og mikroskopiske protozoer. Den samlede årlige produksjonen av zooplankton i norske farvann er ikke kjent, men estimerer for produksjon av raudåte er 200-300 millioner tonn [16] og for nordlig krill (flere arter) knapt 300 millioner tonn [5]. Basert på målinger i Barentshavet 1988-2017 [9] var biomassen (tørrvekt) av zooplankton <2 mm i Barentshavet i gjennomsnitt 5 ganger større enn biomassen av zooplankton >2 mm. Ekstrapolerer vi disse tallene til alle norske farvann er den totale produksjonen av zooplankton i norske farvann kanskje 2-4 milliarder tonn per år. Fangst av zooplankton, og spesielt små zooplankton, er imidlertid en utfordring og vi har begrenset kunnskap både om hvor de finnes i høye konsentrasjoner og hvordan de skal fanges på en måte som gjør fangsten økonomisk lønnsom. Spesielt gjelder dette dersom zooplankton skal konkurrere med mer tradisjonelle fôrråstoffer som kilde til protein og lipid i bulkfôr til laks.

Raudåte har blitt høstet i Norge i begrenset omfang siden 1950-tallet, med årlige fangster opp mot 50 tonn, og det er også gjort forsøk med fangst av nordlig krill. Imidlertid utviklet verken fisket etter raudåte eller krill seg videre fra 1970-tallet. Ved årtusenskiftet oppstod ny interesse for fangst av raudåte, og de siste 20 år er det utført betydelig FoU i Norge rundt høsting og utnyttelse av zooplankton. I samme periode (2006) ble det innført forbud mot fiske av dyreplankton, samtidig som det ble etablert to bedrifter som baserer seg på forsøksstillatelser for fiske av disse.

En åpning for fangst av krill og andre arter av dyreplankton enn raudåte kan være interessant mht grunnlaget for utviklingen av et større fiske og industri basert på zooplankton. Dersom flere arter kan fiskes av samme fartøy og med tilsvarende fangstteknologi, fangsthåndtering og prosess teknologi, kan det utvide fangstsesongen og drifts- og investeringsgrunnlaget for både fartøy og landindustri.

#### 3.1.2.1 Raudåte

Raudåte (*Calanus finmarchicus*) anses som den største høstbare arten i Norskehavet og er en potensiell kilde til både protein og omega-3 fettsyrer i fôr til laks. Estimert av stående biomasse og årlig biologisk produksjon varierer, bl.a. med hvilke havområder man inkluderer, men stående biomasse anses å være i størrelsesorden 30 millioner tonn eller høyere, mens årlig produksjon er estimert til 2-300 millioner tonn eller mer [16]. Biokjemisk sammensetning av raudåte er gitt i [Tabell 3-2](#).

Mens fiskeolje i stor grad består av triglyserider, og krillolje kjennetegnes ved høyt innhold av fosfolipider, består calanusolje av betydelige mengder voksesterer. Disse fungerer som et energilager hos raudåta, og spesielt ved høsting på sensommer og vinter er innholdet høyt og kan utgjøre opp mot 50 % av tørrvekten og 85 % av totalt lipid [12]. Voksesterne har også en rolle i å regulere oppdrift. Voksesterer i raudåte består av

**Tabell 3-2** Biokjemisk sammensetning av raudåte (*C. finmarchicus*) [1].

Komponent	Innhold
Vann	72.5 % av våtvekt
Protein	16.9 % av våtvekt
Lipid	3.9 % av våtvekt
Aske	2.0 % av våtvekt
Omega-3	13-33 % av totalt lipid
EPA + DHA	8.5-13.6 % av totalt lipid

estere av lang-kjedede alkoholer og langkjedede fettsyrer; 20:1n-29 og 22:1n-11. Det er også triglyserider, fosfolipider, steroler og frie fettsyrer i calanusolje, i varierende mengder gjennom året [12].

Flere studier har vist at calanusolje kan tilsettes fiskefôr [1]. En studie fra 2009 viste 30 % av lipidene i laksefôr kunne erstattes med calanusolje uten negative effekter, mens høyere andel ga redusert vekst, trolig på grunn av det høye innholdet av voksesterer [13]. utfordringer med for høy andel av voksesterer i fiskefôr er også vist i fôringsstudier på kveite [14]. Raudåte inneholder også astaxantin, marine proteiner og andre attraktanter (peptider, m.m.), og resultater på kveite viste god fordøybarhet og vekst når raudåtemel ble tilsatt i fôret [15].

### ***Calanus AS er i dag viktigste kommersielle avtager av raudåte***

Calanus AS har siden 2002 hatt tillatelse til å drive forsøksfiske av raudåte etter nærmere vilkår. De første årene var tillatelsen på inntil 100 tonn pr. år, senere inntil 1000 tonn pr. år. De faktiske årlige fangstene har økt fra noen få tonn innledningsvis til over 500 tonn i 2015. Calanus AS har utviklet og patentert fangst- og prosess teknologi både for høsting av raudåte basert på flytetral, og for produksjon av høyverdi-produkter som kosttilskudd til humant konsum og attraktanter og funksjonelle ingredienser i dyrefôr og startfôr innen oppdrett. I 2020 tok fôrprodusenten Skretting inn hydrolysat av raudåte i kommersielt fôr til leppefisk [7, 8], primært som smaksfremmer/attraktant.

### ***Forvaltningsplan i 2019 åpnet for fangst av inntil 8 tusen tonn innenfor og 246 tusen tonn utenfor 1000 m dybdekoten***

I mars 2019 ble en forvaltningsplan for raudåte vedtatt [2], som åpnet for fiske av inntil 254 000 tonn årlig. Forbudet mot fangst av krill og andre dyreplankton ble opprettholdt [3]. Av totalkvoten på 254 000 tonn må 246 000 tonn fiskes utenfor 1000 m dybdekoten. Inntil 3000 tonn kan fiskes innenfor denne dybdekoten, dvs. kystnært. I tillegg ble Calanus AS tildelt en prøvetillatelse som ga rett til å høste inntil 5000 tonn årlig kystnært til og med 2022. Fisket på den kystnære kvoten på 3000 tonn krever en egen avgrenset tillatelse. Det er åpnet for å gi inntil 10 slike tillatelser, og det er så langt tildelt 8 [4]. For fiske utenfor 1000 m dybdekoten er der ingen begrensning i antall tillatelser som kan gis. Litt forenklet kan man si at de fleste fartøy som har andre fiskerettigheter/deltakeradganger, og som er egnet for å drive med flytetral, kan få slik tillatelse. Så langt er det tildelt 5 tillatelser for fiske utenfor 1000 m dybdekoten. Alle tillatelser gjelder flytetral, det vil si at det per i dag ikke er tillatt å høste raudåte med andre redskap enn flytetral.

### ***Fangst av begrenset kvote (8 tusen tonn) innefor 1000 m dybdekoten mest aktuelt i dag***

Det har vært størst interesse for de avgrensede tillatelsene innenfor 1000 m dybdekoten. Dette skyldes at Calanus AS har opparbeidet en viss erfaring og kunnskap om forekomst av konsentrasjoner av raudåte som er økonomisk fangstbare med dagens teknologi. Mens største årlige fangster før innføringen av Forvaltningsplanen var på vel 500 tonn, er det nå mulig å fiske inntil 8000 tonn kystnært. Rent fangstmessig virker det realistisk å kunne fiske hele denne kvoten i dag, men det er uklart om og når der er et marked for 8000 tonn raudåte til den kostnaden dagens fangstteknologi innebærer. På kort sikt vil Calanus AS være den største avtageren av fangst, og deres marked og markedsutvikling vil være avgjørende for omfanget av den kystnære fangsten.

### ***Teknologiutvikling må til før fangst utenfor 1000 m dybdekoten er aktuelt***

Dersom raudåte skal bli et kvantitativt vesentlig bidrag til fiskefôr, må det utvikles et tilstrekkelig energi- og kostnadseffektivt fiske av den vesentlig større kvoten utenfor 1000 m dybdekoten. I høringsrunden til forvaltningsplanen kommenterte Havforskningsinstituttet at det totale uttaket av raudåte kunne være på 10 % eller mer av biomassen ( $\geq 3$  mill. tonn), og savnet nærmere begrunnelse for hvorfor totalkvoten var satt så lavt som 254 000 tonn ( $<1$  % av biomassen). I den grad det lykkes å utvikle teknologi for storskala høsting av raudåte, virker det derfor ikke usannsynlig at totalkvoten kan økes vesentlig. For fangst av raudåte utenfor 1000 m dybdekoten finnes det imidlertid lite eller ingen erfaring. Det er ventet at forekomstene her vil være mer spredt og konsentrasjonene lavere enn kystnært. Selv om andre teknologier er foreslått og under utprøving, er det fremdeles flytetral som fremstår som det mest nærliggende redskapet. Grunnleggende utfordringer er teknologi for å kartlegge og finne interessante konsentrasjoner av raudåte, tauemotstand for finmasket flytetral, klogging av masker, og eventuelt teknologi eller metoder for oppkonsentrering av raudåte før oppsamling.

Det finnes ikke i dag et ferdig system for kartlegging og leting etter raudåte i kommersiell sammenheng. Det er bl.a. uklart hvor langt sonar- og ekkoloddteknologien har kommet på dette området og hvordan man best kan utnytte informasjonen slik teknologi gir for zooplankton. Teknologier og systemer som kan være relevante alene eller i kombinasjon, er satellittdata og numeriske simuleringer basert på oseanografiske modeller og økosystemmodeller; stasjonære, mobile autonome eller fartøybaserte målestasjoner med sonar-/ekkolodd teknologi (multifrekvens ekkolodd, AZFP, Kongsberg Simrad WBAT/EK80, o.l.); og tradisjonell leting, prøvetaking og erfaringsoppbygging som i det kystnære fisket. Noen sentrale teknologi- og kunnskapsmiljø i Norge er Kongsberg Simrad, HI, UiT, NTNU og SINTEF. HI og SINTEF ble i 2020 tildelt Sentre for forskningsdrevet innovasjon (SFI) som omhandler deteksjon og fangst av marine ressurser på lavere trinn i næringskjeden.

Dagens forvaltningsplan og raudåtetillatelse forutsetter bruk av flytetral. Avgjørende for fangstoperasjonen er derfor konsentrasjonen av raudåte, nødvendig fangstareal for en gitt fangstmengde, og de hydrodynamiske egenskapene til flytetralen. En tidvis kritisk utfordring for zooplankton-trål er klogging, som kan forekomme i form av midlertidig kledning av trålen pga. selve fangsten av raudåte, og som mer fastsittende klogging pga.

I det Forskningsråd-finansierte prosjektet OASIS2 ved Calanus AS inngår bl.a. utvikling av en kommersiell løsning for dette, basert på et "bobletral"-konsept fra et tidligere samarbeidsprosjekt mellom Calanus AS, SINTEF og andre. Det gjenstår å se om dette blir teknologisk og operasjonelt realiserbart, og om det i så fall innebærer en energi- og fangstmessig gevinst. SINTEF og NTNU, i tillegg til Calanus AS og redskapsleverandøren NOFI AS, har kjernekompetanse på disse områdene. SINTEF har flere publikasjoner og rapporter om fangstteknologi for raudåte-/zooplankton, bl.a. om hydrodynamiske egenskaper til planktonnett, oppkonsentrering i sjø, seleksjon, m.m. Vi kjenner ikke til andre miljø nasjonalt eller internasjonalt som er tilsvarende aktive på området. Det meste av beslektede vitenskapelige publikasjoner gjelder krill i Antarktis, oseanografisk småskala sampling av plankton, o.l.

maner, kjede- eller slimdannende alger, o.l. Ved lave konsentrasjoner kan man tenke seg løsninger for å oppkonsentrere raudåte i sjøen før oppsamling, eller ved å generere transport av større vannmasser gjennom en oppsamlingsenhet (f.eks. en flytetral)

### **Dagens fangstvolum er lite og går til høyverdiprodukter**

Selv om kvoten ble satt til 254 000 tonn i 2019, var mengden som ble høstet lav (352 tonn). Olje fra raudåte blir benyttet til høyverdi omega-3 produkter for humant konsum, mens protein-fraksjonen (mel/hydrolysat) går til høyverdi fôringredienser (hovedsakelig attraktant i startfôr/rekeoppdrett). I dag blir råstoffet frosset ombord, og videre prosessering til olje- og proteinfraksjon skjer på land.

### **Potesialet for raudåte som kilde til protein og EPA/DHA i bulk fiskefôr**

En tenkt årlig fangst på 1 million tonn raudåte (våtvekt) kan basert på tallene i Tabell 3-2, gi ca 170 tusen tonn protein og omkring 4 tusen tonn EPA + DHA, tilsvarende 8-9 % av proteinbehovet og omkring 3 % av behovet for EPA og DHA til fiskeoppdrett i 2050. En million tonn er i norsk sammenheng et betydelig fangstvolum, om lag det halve av dagens norske fangst av fisk (kfr Figur 3-2, side 16). En million tonn raudåte er betydelig mer enn dagens forvaltningsplan tillater, men godt innenfor et forsvarlig høstingsregime.

Kostnadene ved fangst og prosessering av raudåte til raudåtemel og calanusolje er ikke offentlig kjent. Levende raudåte har et tørrstoffinnhold på 20 % [17] til 27 % [1]. Antar vi 40 % protein og 30 % olje i tørrstoffet tilsvarer dette 80-108 g protein og 60-81 g olje per kg våtvekt raudåte. Med en estimert verdi på 27 kr/kg protein og 23 kr/kg olje tilsvarer dette 2.16-2.92 kr i form av protein og 1.38-1.86 kr i form av olje, samlet 3.54-4.78 kr per kg våtvekt. Andre verdifulle stoffer som astaxanthin kommer i tillegg, men grovt sett er verdien av 1 kg våtvekt raudåte i sjøen omkring 4-5 kr som kilde til bulkfôr til laks. Verdien av raudåte som råstoff til ulike høyverdi-produkter er vesentlig høyere, men tallet viser at det kreves en effektiv fangst- og prosesseringsteknologi dersom man skal oppnå lønnsom produksjon av mel og olje fra raudåte til bulkfôr til laks. Raudåte er også et relativt lite krepsdyr (2-4 mm) og som nevnt over stiller dette store krav til fangstteknologien. Spesielt gjelder dette hvis fangsten i all hovedsak skal foregå utenfor 1000 m dybdekoten. Antar vi at dagens fangst og prosesseringskostnader er i området 10-100 kr per kg våtvekt innebærer dette at i dag er prisen på mel og olje fra raudåte er 2-25x høyere enn aktuell markedspris. Raudåtemel (71 % protein) omsettes i dag for omkring 14 kr/kg, eller ca 20 kr/kg protein, og raudåteolje (22 %) for ca 19 kr/kg. Trolig er dette biprodukter og/eller overskudd fra produksjon av høyverdi-produkter som omsettes for det markedet er villig til å betale.

### **3.1.2.2 Nordlig krill**

Nordlig krill omfatter flere arter; storkrill (*Meganyctiphanes norvegica*, 45 mm) og småkrill (*Thysanoessa inermis*, 35 mm, *T. longicaudata*, 20 mm, og *T. raschii*, 20-25 mm). I likhet med raudåte er de en potensiell kilde til både protein og omega-3 fettsyrer i fôr til laks, men per i dag er ikke kommersiell fangst av nordlig krill tillatt i norske farvann.

Årlig krillproduksjon i Norskehavet og Barentshavet er beregnet til ca. 287 millioner tonn [5]. Det er imidlertid betydelig usikkerhet knyttet til beregningene, da redskaper som pelagisk trål og planktonnett som benyttes i dag, ikke er optimale for å gjøre kvantitative mengdeberegninger av krill. I årene som kommer vil man gå mer over til å benytte en spesiallaget krilltrål og ekkolodd som vil gi et bedre bilde på storskala fordeling og mengde i tid og rom [5]. Den biokjemiske sammensetningen av krill varierer betydelig gjennom året [10]. Krill akkumulerer lipid som opplagsnæring om



sommeren, høsten og tidlig på vinteren når næringstilgangen er god. Lipidinnholdet når et minimum på ettervinteren og våren. Biokjemisk sammensetning av nordlig krill er vist i Tabell 3-3.

Ved Island er det gjort forsøk på fangst av nordlig krill ved direkte pumping av sjøvann med høy konsentrasjon av nordlig krill [6]. En sentral del av konseptet er at pumpeinntaket er utstyrt med blått

**Tabell 3-3** *Biokjemisk sammensetning av nordlig krill [10].*

Komponent	<i>Thysanoessa spp.</i>	<i>M. norvegica</i>
Protein	32-50 % av tørrstoff	32-50 % av tørrstoff
Frie aminosyrer	5-10 % av tørrstoff	5-10 % av tørrstoff
Lipid	12-50 % av tørrstoff	12-50 % av tørrstoff
EPA	5-38 % av totale fettsyrer	3-17 % av totale fettsyrer
DHA	1-32 % av totale fettsyrer	4-29 % av totale fettsyrer

lys, som tiltrekker krill og andre dyreplankton. Det er uklart hvor effektivt konseptet var i forsøkene, og over hvor lang tid det var effektivt, og om det også kan være relevant for raudåte. Det er kjent at lys kan virke tiltrekkende på dyreplankton, og at strøm forbi lokal topografi eller konstruksjoner og lignende kan skape bakevjer med høye konsentrasjoner av dyreplankton. Dette er imidlertid prosesser som foregår over noe tid. Slike konsentrasjoner kan derfor "tømmes" dersom man høster eller samler dem opp på en effektiv måte. Man kan ikke uten videre legge til grunn en vedvarende høy konsentrasjon ved kontinuerlig oppsamling/pumping.

Erfaringene med nordlig krill i fôr til laks synes begrensede, men antarktisk krill (*Euphausia superba*) blir i dag fangstet og i noen grad benyttet i fôr til laks, og dette kan gi noen indikasjoner mht muligheter og utfordringer. Antarktisk krill-produkter (mel, hydrolysat, ekstrakter) virker som smaksattraktanter i fôret og stimulerer opptaket av fôr. Krill inneholder også fargestoffet astaxanthin i signifikante mengder. Utfordringer inkluderer et høyt innhold av fluor, kobber og kadmium. Krillskallet er også bygget opp av kitin, som i store mengder påvirker laksens vekst negativt. Ved å fjerne skallet kan innholdet av både kitin og fluor, som i stor grad er bundet i skallet, reduseres (basert på Sørensen *et al.* [11]).

### **Potensialet for nordlig krill som kilde til protein og EPA/DHA i bulk fiskefôr**

Antar vi i gjennomsnitt 22 % tørrstoff i krill og 40 % protein av tørrstoff, må det fanges om lag 880 tusen tonn krill (våtvekt) for å oppnå et utbytte på 100 tusen tonn protein, tilsvarende 5 % av det estimerte behovet til fiskeoppdrett i 2050. Dette fangstvolumet tilsvarer 0.3 % av den estimerte årlige produksjonen av nordlig krill (287 mill. tonn), eller kanskje omkring 3 % av den stående bestanden. Samtidig vil man høste 15-20 tusen tonn EPA + DHA, som utgjør 10-15 % av det estimerte behovet for disse fettsyrene i 2050.

Kostnadene ved fangst og prosessering av nordlig krill er ikke kjent. Markedsprisen for krillmel (Antarktisk krill) er for tiden ca 2800 USD/tonn (ca 27 kr/kg), som basert på 22 % tørrstoff og 75 % av tørrstoff fra krill i ferdig mel gir en verdi av våtvekt krill på ca 4.5 kr/kg. Men her er oljen trolig høstet i tillegg slik at verdien av 1 kg Antarktisk krill i sjøen trolig er i området 5-6 kr/kg. Et første estimat er at verdien av nordlig krill i sjøen som bulkfôr til laks er i samme område. Nordlig krill er ca 10x større enn raudåte noe som bør forenkle fangsten, og videre prosessering er etablert teknologi. Kommersiell fangst av nordlig krill som fôr til bulk laksefôr synes således mer nærliggende enn kommersiell fangst av raudåte, men som nevnt over er ikke kommersiell fangst tillatt i Norge i dag.

Estimatene for årlig produksjon i norske farvann av raudåte (ca 300 millioner tonn) og nordlig krill (ca 287 millioner tonn) er heller ikke veldig ulike.

### 3.1.2.3 Andre zooplankton

Den samlede årlige produksjonen av zooplankton i norske farvann er trolig godt over 1 milliard tonn (se over). Planktonic AS har hatt en forsøksstillatelse for fangst tilsvarende den beskrevet for *Calanus* AS, men i vesentlig mindre skala (<50 tonn/år) og med fokus på andre og mindre arter av zooplankton. Planktonic retter seg mot høykost-produkter, spesielt startfôr til forskjellige oppdrettsarter.

Ifølge Planktonic kan særlig produksjonen av små kopepoder være svært stor pga. høy tilvekst i sommermånedene og flere generasjoner pr. sesong, og kan overstige produksjonen av raudåte. De mener det bør kunne åpnes for tilnærmet fritt fiske etter små kopepoder, fordi de vil høstes senere på året (sommer-høst) enn raudåte (sen vinter-vår), og man unngår i større grad problemstillinger rundt bifangst av fiskeyngel og mattilgangen for denne (Marin fagdag, november 2014).

#### Referanser

1. Pedersen, A. M., Vang, B., og Olsen, R. L. 2013. Oil from *Calanus finmarchicus*. Composition and Possible Use: A Review. *J. Aquatic Food Product Technol.*, 130624075632007.
2. Nærings- og fiskeridepartementet. 2019. Forskrift om regulering av høsting av raudåte i 2019, <https://lovdata.no/-dokument/LTI/forskrift/2019-03-13-213>),
3. Fiskeridirektoratet. 2019. J-38-2019: Forskrift om høsting av krill og andre dyreplankton, <https://www.fiskeridir.no/Yrkesfiske/Regelverk-og-reguleringer/J-meldinger/Gjeldende-J-meldinger/J-38-2019>
4. Fiskeridirektoratet. 2020. Tildeling av avgrenset raudåtetrållatillatelse, <https://www.fiskeridir.no/Yrkesfiske/-Nyheter/2020/0120/Tildeling-av-avgrenset-raudaatetraallatillatelse> .
5. Havforskningsinstituttet. 2019. Tema: Arktisk krill, <https://www.hi.no/hi/temasider/arter/arktisk-krill>.
6. Kvile, K. 2020. Fiskeribladet. Denne fiskeredskapen kan åpne opp for et nytt fiskeri i Norge, <https://fiskeribladet.no/teknisk/nyheter/?artikkel=70843>.
7. Ilaks. 2020. Skretting tar raudåte inn i kommersielt fôr. <https://ilaks.no/skretting-tar-raudate-inn-i-kommersielt-for/>
8. Merdkanten. 2020. Utvider havets festbord for leppefisk. <https://www.skretting.com/nb-NO/merdkanten2/-merdkanten-1-2020/raudate-i-clean-soft/>
9. Institute of Marine Research. 2020. Average biomass of zooplankton in the Barents Sea. Environmental monitoring of Svalbard and Jan Mayen (MOSJ). URL: <http://www.mosj.no/en/fauna/marine/zooplankton-biomass.html>
10. Sæther, O. 1986. *Biochemistry of North Atlantic Krill*. PhD-thesis. Dept. of Biotechnology, The Norwegian Institute of Technology, Trondheim
11. Sørensen, M., Berge, G.M., Thomassen, M., Ruyter, B., Hatlen, B., Ytrestøyl, T., Aas, T.S. og Åsgård, T. 2011. *Today's and tomorrow's feed ingredients in Norwegian aquaculture*. Nofima report 52/2011.
12. Bergvik, M., Leiknes, O., Altin, D., Dahl, K. R. & Olsen, Y. 2012a. Dynamics of the Lipid Content and Biomass of *Calanus finmarchicus* (copepodite V) in a Norwegian Fjord. *Lipids*, 47, 881-895.
13. Bøgevik, A. S., Henderson, R. J., Mundheim, H., Olsen, R. E. & Tocher, D. R. 2011. The effect of temperature and dietary fat level on tissue lipid composition in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed wax ester-rich oil from *Calanus finmarchicus*. *Aquaculture Nutrition*, 17, E781-E788.
14. Colombo-Hixson, S. M., Olsen, R. E., Milley, J. E. & Lall, S. P. (2011). Lipid and fatty acid digestibility in *Calanus* copepod and krill oil by Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture*, 313, 115-122.
15. Colombo-Hixson, S. M., Olsen, R. E., Tibbetts, S. M. & Lall, S. P. (2013). Evaluation of *Calanus finmarchicus* copepod meal in practical diets for juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Aquaculture Nutrition*, 19, 687-700.
16. Aksnes, D. L. and J. Blindheim 1996. Circulation patterns in the North Atlantic and possible impact on population dynamics of *Calanus finmarchicus*. *Ophelia* 44, 7-28.
17. Bantle, M., Eikevik, T.M. og Rustad, T. 2009. Atmospheric freeze-drying of *Calanus finmarchicus* and its effects on proteolytic and lipolytic activities. 4th Nordic Drying Conference, Reykjavik, Iceland, June 17th to 19th 2009.

### 3.1.3 Høsting av viltvoksende tang og tare

Makroalger (tang og tare) er en potensiell kilde til protein i fôr til laks, men bare i meget begrenset grad til omega-3 fettsyrer.

Viltvoksende tang, spesielt grisetang (*Ascophyllum nodosum*) har i århundre vært benyttet som fôr til husdyr langs kysten av Norge. Tangmel (se under) brukes fortsatt som tilskudd i fôr til husdyr. Tare har, av praktiske grunner, vært mindre benyttet til fôr enn tang som vokser lett tilgjengelig i tidevannssonen i fjæra. Men som vist i [Tabell 3-4](#), representerer tare en langt større biomasse enn tang langs norskekysten. De store tareskogene er imidlertid svært viktige for økosystemet langs kysten hvor de fungerer både som oppvekstområder, skjul og matfat for de mange ulike pelagiske (frittlevende) og bentiske (fastsittende) organismene som lever der. Denne undersjøiske skogen fungerer også som en bølgedemper som påvirker vannstrømmen. Dette må tas hensyn til ved høsting av viltvoksende tang og tare. Den samlede årlige produksjonen av tang, tare og ålegras langs norskekysten er på mer enn 80 millioner tonn (våtvekt) ([Tabell 3-4](#)), tilsvarende kanskje 12 millioner tonn tørrvekt. Den biokjemiske sammensetningen av noen tarearter er gitt i [Tabell 3-5](#).

**Tabell 3-4** Estimert årlig viltvoksende produksjon [1] og høsting av viltvoksende bestander [2], begge våtvekt, av de vanligste tang og tareartene, samt ålegras langs norskekysten. Høstingen er i dag begrenset til stortare, grisetang og litt blæretang.

Tare/Tang	Estimert årlig produksjon [1000 tonn]	Årlig høsting [1000 tonn]
Stortare ( <i>Laminaria hyperborea</i> )	59 000	130 - 180
Sukkertare ( <i>Saccharina latissima</i> )	20 000	-
Butare ( <i>Alaria esculenta</i> )	?	-
Fingertare ( <i>Laminaria digitata</i> )	?	-
Grisetang ( <i>Ascophyllum nodosum</i> )		10-20
Blæretang ( <i>Fucus vesiculosus</i> )	900	-
Sagtang ( <i>Fucus serratus</i> )		-
Ålegras ( <i>Zostera marina</i> )	100	-

**Tabell 3-5** Innhold av protein og lipid i de vanligste norske tareartene. I disse tareartene utgjør tørrvekt oftest 10-20 % av våtvekt.

	Sukkertare, ( <i>S. latissima</i> ) (g/100 g tørrvekt)	Fingertare ( <i>L. digitata</i> ) (g/100 g tørrvekt)	Stortare ( <i>L. hyperborea</i> ) (g/100 g tørrvekt)	Butare ( <i>A. esculenta</i> ) (g/100 g tørrvekt)
Protein <sup>A</sup>	5-10	5-8	4-8	9-12
Lipid	0.7-3.3 <sup>C</sup>	0.9 <sup>D</sup>	0.3 – 0.8 <sup>B</sup> / 1.1 <sup>D</sup>	1.5 <sup>D</sup>
Omega-3	0.14-0.28 <sup>C</sup>	0.3 <sup>D</sup>	0.01 – 0.06 <sup>B</sup> / 0.2 <sup>D</sup>	0.3 <sup>D</sup>
DHA + EPA	0.07-0.14 <sup>C</sup>	0.1 <sup>D</sup>	0.001 – 0.006 <sup>B</sup> / 0.06 <sup>D</sup>	0.07 <sup>D</sup>

<sup>A</sup> Schiener *et al.* [3]. <sup>B</sup> Foseid *et al.* [4]. <sup>C</sup> Marinho *et al.* [5]. <sup>D</sup> Mæhre *et al.* [6].

Utnyttelse av makroalger til industrielle formål startet tidlig i Norge og utvinning av alginat fra tare ble en ny og lønnsom industri på begynnelsen av 1950-tallet. Den kommersielle utnyttelsen av makroalger presset lokale myndigheter til å innføre nye regelverk for å regulere høstingen.

To firma høster i dag tang og tare i Norge; Algea AS høster og prosesserer grisetang (*A. nodosum*), mens DuPont (tidligere FMC BIO polymer) høster og prosesserer stortare (*L. hyperborea*). I tillegg har Alginor ASA sammen med ulike FoU-institutter utviklet teknologiplattformen AORTA med en kostnadsramme på 50 mill. kroner for høsting og bioraffinering av stortare. På Hitra har Nutrimar Harvest etablert en ny fabrikk med egne høstefartøy. Andre land som i stor grad høster ville bestander av makroalger er Frankrike (*L. digitata*, *L. hyperborea*, *Ulva*), Japan (*Laminaria angustata*), Chile (*Lessonia* sp., *Macrosystis* sp.) og Irland (*Phymatolithon calcareum*, *Lithothamnion corallioides*, *A. nodosum*). Biomassen går i hovedsak til humant konsum og alginatproduksjon [2, 7].

### 3.1.3.1 Stortare

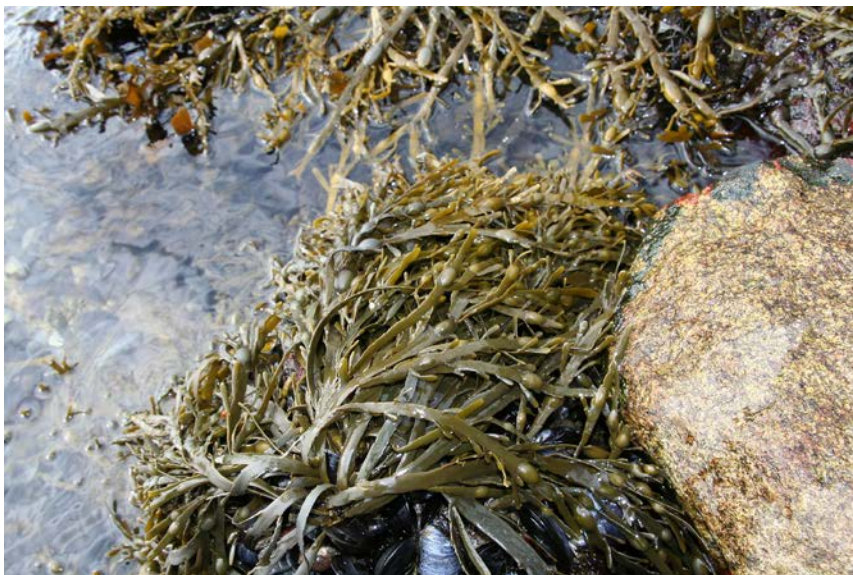
Årlig høstes 130 - 180 tusen tonn stortare på strekningen mellom Rogaland og Trøndelag [8]. Høstingen reguleres gjennom forvaltningsplaner i hvert fylke, og foregår i avgrensede felt som høstes vekselvis hvert femte år for å sikre god gjenvekst [9]. Dette rotasjonssystemet er viktig for stabiliteten i tareskogen og trålerne tar ikke mer enn 10-15 % av den tilgjengelige biomassen i hvert felt. I prinsippet kan all biomasse i et felt høstes siden det i dag ikke finnes begrensninger mot dette i regelverket. Hver båteier som høster for DuPont må rapportere til Fiskeridirektoratets regionskontor hver måned før planlagt innhøsting. Fiskeridirektoratet informerer videre den lokale fylkesmannen. Bestanden og tråleaktiviteten av stortare blir evaluert og kontrollert av Havforskningsinstituttet for å undersøke hvilke virkninger dette har på økosystemet i og rundt tareskogene. Miljøvernorganisasjoner mener taretrålingen har en negativ virkning på tareskogens økosystem og spesielt på sjøfugl som lever av fisken der. Havforskningsinstituttet har evaluert fiskebestanden til å være helt lik i artssammensetning før og etter tråling. Tross dette har enkelte høstefelt blitt erklært som marine verneområder og fått restriksjoner på tråleaktivitet [2].

Stortare blir brukt til produksjon av alginat. Den norske produksjonen utgjør rundt en fjerdedel av verdens alginatproduksjon. Alginat fra stilk og blad har litt forskjellige egenskaper og litt ulike anvendelser. Taren kuttes i mindre biter når den kommer om bord i transportbåten og tilsettes litt formalin for å hindre nedbrytning av taren. Samtidig skjer en reaksjon som fikserer fargestoffene i taren og det meste av formaldehydet i formalinen forbrukes raskt i disse reaksjonene. Det slippes ikke ut sigevann med formaldehyd-rester i sjøen. Dette samles opp i tanker på båten og tas med til fabrikk for videre bruk. Det er gjort en stor jobb for å minimere bruken av formaldehyd opp gjennom årene (pers. kom. fra teknologisjef og adm. direktør DuPont). DuPont har pågående prosjekter rundt bruk av restråstoff fra alginatproduksjonen. Utfordringen er en lang prosesslinje med en fragmentert utskilling av tarekomponenter og svært høyt vanninnhold eller fortynningsgrad. Dette gjør det vanskelig å bruke restråstoffet til for eksempel ekstraksjon av protein.

### 3.1.3.2 Grisetang

Årlig høstes rundt 20 tusen tonn grisetang. Algea har høstet grisetang siden 1937, og betaler grunneierne kompensasjon for å høste på eiendommen deres ettersom de eier fjæresonen der grisetangen vokser. Dette betyr at Algea ikke trenger å forhandle frem bruk av marine områder med offentlige myndigheter, men må følge nasjonale retningslinjer som miljøvernforskrifter og andre lokale regler som kan legge restriksjoner på hvilke områder det kan høstes fra [2]. Tangen kuttes mekanisk med kniver og rundt 10 cm av algen får stå igjen for gjenvekst. Grisetang blir tørket og malt opp til tangmel

som blant annet brukes som tilskudd av jod for å hindre struma. Den prosesserte tangen blandes inn i fôr til gris, kveg, fjærkre, sau, kjæledyr, hest og fisk, og blir også brukt som gjødsel og plantestimulant i flere ulike produkter. Produktet AlgeaFeed Fish er et tangmel som brukes som tilleggsfôr til akvariefisk og reker for å tilføre fiber, vitaminer og mineraler. Grisetang inneholder 3-15 g protein [10], og ca. 3.6 g lipid per 100 g tørrvekt [11]. EPA utgjør ca 7.2 % av fettsyrene, men grisetang inneholder ikke DHA [11]. Et problem med grisetang og andre brune tang- og tarearter er et høyt innhold av polyfenolforbindelser som kan redusere fordøyeligheten av proteinet.



**Figur 3-5** Grisetang (*Ascophyllum nodosum*).

(Bilde fra Wikipedia: By Arneoste - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4888478>)

Et årlig høstet volum på 20 000 tonn grisetang tilsvarer ca 6000 tonn tørrvekt og 180-900 tonn protein. Dette blir lite sammenlignet med et antatt

behov i 2050 på 2 millioner tonn protein. Tilsvarende kan 20 tusen tonn grisetang kanskje gi omkring 15 tonn EPA som er lite sammenlignet med et behov på 135 tusen tonn EPA/DHA i 2050.

### 3.1.3.3 Viltvoksende tare og tang som fôr til fisk

Makroalger har så langt bare i begrenset grad blitt benyttet i fôr til laks, og da primært i små mengder som kilde til sporstoffer, immunostimulanter og annet (se Kap. 3.4.5.1). Viltvoksende tang og tare kan i teorien være en kilde til protein i fôr til laks. Protein fra tare har en noe bedre aminosyreprofil mhp essensielle aminosyrer enn f.eks. soya [6]. Hvis protein fra tare skal inngå i fiskefôr må proteinet først enten ekstraheres ut eller brorparten av andre komponenter i taren må fjernes ved ekstraksjon eller på annen måte slik at man ender opp med et tareproteinkonsentrat. Begge prosesser er teknisk utfordrende og i dag kostbare. Et utbytte på 5-10 tusen tonn protein per million tonn tare (våtvekt) kan være mulig. Dette innebærer at for å produsere 100 tusen tonn protein (5 % av det estimerte proteinbehovet i 2050) må det høstes 10-20 millioner tonn tare (våtvekt). Dette tilsvarer 12-25 % av dagens viltvoksende produksjon og vil innebære en dramatisk økt høsting relativt til dagens situasjon. Selv om det i dag kun er 0.3 % av den årlige produksjonen av stortare som høstes, og denne innhøstingen er nøye overvåket og regulert, er det ikke ønskelig å øke høstingen av ville bestander til andre bruksområder enn den eksisterende industrien.

Et alternativ er å utnytte allerede høstet tare bedre ved at stortare høstet som kilde til alginat, også utnyttet som kilde til protein. Men, som diskutert over, er dagens prosess lite egnet for høsting av protein som biprodukt, og uansett er proteinmengden begrenset, kanskje 500-700 tonn. Fôring av insektlarver på tarerestene er et annet alternativ, men forsøk har vist at tare, trolig grunnet det høye

saltinnholdet, kun kan tilsettes i begrensede mengder i fôret til insektlarver (se Kap. 3.4.1). Et tredje alternativ er spesialfôr basert på komponenter i tare og/eller tang som gir bedre fordøyelse og dermed fôrutnyttelse eller har andre ønskede egenskaper utover proteininnholdet (se Kap. 3.4.5.1). Inklusjonsnivået i fôr vil da være vesentlig lavere enn når tang og tare benyttes som proteinkilde, kanskje bare 0.1-1 %. Men selv en tilsats på bare 0.1 % tørrvekt tang/tare i 1 million tonn fôr, krever høsting av 50-100 tusen tonn våtvekt tang/tare. Dette er en betydelig økning i forhold til dagens høsting på 150-200 tusen tonn. Konklusjonen er derfor at storskala utnyttelse av tang og tare til fiskefôr trolig betinger dyrking (se Kap 3.4.5).

### Referanser

1. Gundersen, H., Christie, H., de Wit, H., Norderhaug, K. Bekkby, T. og Walday, M. 2010. *Utredning om CO<sub>2</sub> opptak i marine naturtyper*. NIVA-rapport 6070. [https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/bitstream/handle/11250/215208/-6070-2010\\_200dpi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/bitstream/handle/11250/215208/-6070-2010_200dpi.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
2. Frangoudes, K. 2011. Seaweeds Fisheries Management in France, Japan, Chile and Norway. *Cah. Biol. Mar* 52.
3. Schiener, P., Black, K.D., Stanley, M.S. og Green, D.H. 2015. The seasonal variation in the chemical composition of the kelp species *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Saccharina latissima* and *Alaria esculenta*. *J Appl Phycol* 27: 363–373, DOI 10.1007/s10811-014-0327-1
4. Foseid, L., Devle, H., Stenstrøm, Y., Naess-Andresen, C.F. og Ekeberg, D. 2017. Fatty acid profiles of stipe and blade from the Norwegian brown macroalgae *Laminaria hyperborea* with special reference to acyl glycerides, polar lipids, and free fatty acids. *Hindawi J. Lipids*, vol. 2017, Article ID 1029702, 9 pages, <https://doi.org/10.1155/2017/1029702>
5. Marinho, G.S., Holdt, S. L., Jacobsen, C. og Angelidaki, I. 2015. Lipids and composition of fatty acids of *Saccharina latissima* cultivated year-round in integrated multi-trophic aquaculture. *Mar. Drugs*, 13: 4357-4374; doi:10.3390/md13074357
6. Mæhre, H.K., Malde, M.K., Eilertsen, K.-E. og Elvevoll, E.O. 2014. Characterization of protein, lipid and mineral contents in common Norwegian seaweeds and evaluation of their potential as food and feed. *J. Sci. Food Agric.* 94: 3281-3290
7. Werner, A. og Kraan, S. 2004. *Review of the Potential Mechanisation of Kelp Harvesting in Ireland*, Marine Environment and Health Series No. 17, Marine Institute.
8. Vea, J. og Ask, E. 2011. Creating a sustainable commercial harvest of *Laminaria hyperborea*, in Norway. *J Appl Phycol* 23, 489–494.
9. Norderhaug, K. M., Christian van Son, T., Steen, H., Nikolioudakis, N., Thomas, J., Moy F., Knutsen J. A., Elvenes S. 2020. *Biomassemodell for stortare - Ressursmodell for fremtidens forvaltning*. Rap. fra Havforskningen 2020-7.
10. Fleurence, J. 1999. Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. *Trends in Food Sci. & Technol* 10: 25-28
11. Lorenzo, J.M, Agregán, R., , Paulo E. S. Munekata, P.E.S., Franco, D., Carballo, J., Sahin, S., Lacomba, R., Barba, F.J. 2017. Proximate composition and nutritional value of three macroalgae: *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* and *Bifurcaria bifurcate*. *Mar. Drugs*, 15, 360; doi:10.3390/md15110360

### 3.1.4 Restråstoff fra sjømatindustrien

Restråstoff fra sjømatindustrien kan være kilde til både omega-3 fettsyrer og protein.

Bedre utnyttelse og prosessering av restråstoff fra fisk er viktige faktorer for bærekraftig og økonomisk utvikling av sjømatnæringen [1]. Fiskeforedlingsindustrien genererer flere sidestrømmer, og selv om størstedelen av restråstoffet blir utnyttet i dag, går det i hovedsak til lavverdi-produkter [2]. Restråstoff fra fisk er en god kilde til marine oljer og proteiner og kan brukes til mange formål, inkludert produksjon av nye og verdiøkende produkter for fôr, mat, næringsmidler, legemidler og ingrediensindustri.

#### 3.1.4.1 Potensialet i dag og i framtiden

I 2018 ble det produsert om lag 954 000 tonn fiskerestråstoff i Norge (Tabell 3-6). I tillegg eksporteres en del restråstoff med fisk som sendes ut av landet for videreforedling. En økt andel videreforedling i Norge vil således øke mengden restråstoff. Det meste av restråstoffet (82 %) utnyttet og anvendes som ingredienser (oljer, proteiner, tilskudd/premikser) i fôr til fisk, husdyr, pelsdyr og kjæledyr, eller som produkter til humant konsum (sjømatprodukter, tran, ekstrakter).

**Tabell 3-6** Restråstoff fra sjømatindustrien i 2018 produsert i Norge og fordelt på ulike sektorer (basert på [3]).

Sektor	Råstoffgrunnlag (levende vekt) (1000 tonn)	Tilgjengelig restråstoff (1000 tonn)	Utnyttet restråstoff (1000 tonn)	Ikke utnyttet restråstoff (1000 tonn)
Havbruk	1 466	418**	380** (91 %)	38*
Pelagisk fisk	1 296	205	205 (100 %)	0
Hvitfisk	756	320	189 (59 %)	131
Skalldyr	52.1	10.8	3.9 (36 %)	7
<b>Samlet</b>	<b>3 570</b>	<b>954</b>	<b>778 (82 %)</b>	<b>176</b>

\* I hovedsak blod, se tekst \*\* Inkludert selvdød fisk (ca 95 tusen tonn) som gikk til biogass.

Egnet restråstoff fra andre fiskearter enn laks er uproblematisk som fôr til laks, men restråstoff fra laks kan ikke uten videre benyttes som fôr til laks. Lakseolje kan imidlertid etter egnet prosessering inngå i fôr til laks og vil da være en kilde til omega-3 fettsyrer som EPA og DHA.

#### **Restråstoff fra havbruk**

Om lag 40 % av en oppdrettsfisk ender opp som restråstoff. I 2018 ble det produsert knapt 1.5 millioner tonn oppdrettsfisk, som fratrukket selvdød fisk, teoretisk burde gitt omkring 548 tusen tonn nyttbart restråstoff. Av dette ble ca. 323 tusen tonn produsert i Norge. Resten ble formodentlig enten sendt ut av landet med fisk som gikk til videreforedling der eller fulgte med produktet ut til sluttbruker. I 2018 var volumet av utnyttet restråstoff, fratrukket selvdød fisk, ca. 285 tusen tonn. Med et estimert proteininnhold på 15 % og et lipidinnhold på 20 % inneholdt denne biomassen ca. 43 tusen tonn proteiner og 57 tusen tonn marine lipider. Lakseolje og proteiner fra restråstoff av laks går i dag i vesentlig grad til fôr for oppdrett av andre marine fiskearter som seabream (*Sparus aurata*) og seabass (*Dicentrarchus labrax*, og andre) i Europa.

I takt med videre vekst i oppdrettsnæringen vil volumet av restråstoff øke. Gitt en produksjon på 5 millioner tonn laks i 2050, kan mengden utnyttet restråstoff fratrukket selvdød fisk da være om lag 972 tusen tonn, herav omkring 194 tusen tonn lipider. Med et innhold av EPA + DHA på omkring 10 % i "rå" lakseolje [12], kan lakseolje teoretisk føre tilbake til laksen omkring 14 % av det estimerte behovet på 135 tusen tonn EPA + DHA i 2050. Lakseolje har imidlertid også andre anvendelser og alt lipid i restråstoffet kan neppe utvinnes som lakseolje. Men kanskje kan 4-7 % av behovet for EPA + DHA i 2050 dekkes av lakseolje fra restråstoff. Proteinet må imidlertid finne andre anvendelser.

I havbrukssektoren er det i dag i hovedsak bare blodet som ikke utnyttes. Blod utgjør 3.5-4.0 % av levende-vekten på en laks. Med dagens slaktevolum av laks og ørret er mengden blod betydelig; 51-59 tusen tonn i 1.47 millioner tonn fisk i 2018, og det er anslått at om lag 37 tusen tonn av dette kunne blitt samlet opp under slakting [3]. Blodet inneholder 12.5 % protein og 0.8 % lipid med et høyt innhold (55 %) av EPA + DHA [13]. Gitt en produksjon på 5 millioner tonn laks i 2050 kan dette gi 135 tusen tonn oppsamlet blod med 17 tusen tonn proteiner og 600 tonn EPA+DHA.

### ***Restråstoff fra villfanget fisk og skalldyr***

Det produseres betydelige mengder restråstoff i hvitfisk-, pelagisk- og skalldyrnæringen (Tabell 3-6), som også inneholder verdifulle lipider, proteiner og andre komponenter. I motsetning til restråstoff fra laks er dette direkte anvendbart i fôr til laks. Det er imidlertid ikke å forvente at mengden av dette restråstoffet vil øke vesentlig i framtiden, utover en økt utnyttelse av restråstoff som i dag kastes over bord fra fiskeflåten. Anslår vi at dette restråstoffet i 2050 samlet kan utgjøre 465 tusen tonn og inneholder 15 % protein, kan det teoretisk gi ca.70 tusen tonn protein som tilsvarer 3.5 % av det estimerte behovet for protein til laksefôr i 2050. Innholdet av lipid i restråstoffet vil imidlertid trolig i gjennomsnitt være lavere enn i restråstoff fra laks.

I 2018 utgjorde tilgjengelige restråstoff fra pelagisk industri 205 000 tonn [3]. Dette er relativt lite i forhold til landet volum fisk (se Tabell 3-6), og skyldes at en stor andel selges rund, mens en stor andel av annen fisk blir filetert og prosessert [4]. Nær 100 % av restråstoffet fra pelagisk fisk ble utnyttet, men bare 59 % fra hvitfisk [3]. I 2018 ble det ble landet 52 100 tonn skalldyr (reker, taskekrabbe, snøkrabbe og kongekrabbe). Dette ga 10 800 tonn restråstoff, hvorav omtrent 3 900 tonn eller 36 % av ble utnyttet [3]. Tallene viser at det i hovedsak er restråstoff fra hvitfisk og skalldyr som ikke utnyttes. Dette skyldes blant annet at det mangler gode tekniske løsninger ombord og økonomiske insentiver for fiskeflåten til å bringe dette til land. De største volumene av ikke-utnyttet restråstoff er hoder, slo og lever fra hvitfisk [3].

### **3.1.4.2 Dagens utnyttelse og prosessering av restråstoffet**

Marint restråstoff er et viktig verdiskapende råstoff i norsk fiskeri- og havbruksnæring, og det meste utnyttes på en god måte. Likevel er det potensial for å øke utnyttelsesgraden og da spesielt fra hvitfisksektoren. I dag er prosessering av marint restråstoff et viktig og betydelig bidrag til verdiskapingen i fiskeri- og havbruksnæringen, og mange norske bedrifter i næringen har økt fokus på restråstoffutnyttelse [3].

Fôrmarkedet, direkte og indirekte humant konsum og energi/biogass er de tre viktigste anvendelsene. Fôrprodukter genereres hovedsakelig fra pelagisk sektor og havbruksnæringen. I 2018 ble det produ-



sert ca. 300 000 tonn fôrprodukter. Fisk, husdyr, og pelsdyr var de viktigste markedene. I de siste årene har behovet for marine ingredienser økt og særlig behovet for marine oljer, fordi fiskefôrmarked etterspør disse komponentene mer enn noen gang. Proteiner både i form av fiskeproteinhydrolysater og fiskeproteinkonsentrat fra ensilasje, har klart stigende interesse fra fôrbransjen [3]. Noe av restråstoffet går direkte til konsum som ferske eller frosne sjømatprodukter, men det meste gjennomgår en prosessering. Selvdød fisk fra oppdrett kan ikke benyttes til mat eller fôr og går til biogass. I 2018 utgjorde dette totalt ca. 95 tusen tonn [3].

Nesten halvparten av restråstoffet går til ensilering. Tradisjonell ensilering er en prosess som er vanskelig å kontrollere og tar dager til uker [5, 6]. Under langvarig prosessering skjer lipidoksidasjon, noe som fører til uønskede endringer i smak og farge, og tap av næringsverdi [5, 6] inkludert tap av aminosyrer som cystein, tryptofan, metionin, histidin og prolin [7, 8]. Både termisk behandling og kontrollert enzymatisk hydrolyse med tilførte kommersielle enzymer kan brukes for å utvinne verdifull fiskeolje og proteiner fra restråstoff under milde forhold [1]. Vanligvis fokuserer tradisjonelle prosesser på utbyttet og/eller kvaliteten på hovedproduktet, og ofrer utbytte og kvalitet på biproduktene. Fiskemel og fiskeolje produseres ofte ved våt utvinning [9], hvor fiskeråstoff hakkes opp og varmes til 90-95 °C for å koagulere protein og frigjøre vann og olje. Høy temperatur og lang oppvarmingstid reduserer kvaliteten til fiskeoljen [9, 10] og fører til denaturering av proteiner. Kontrollert enzymatisk hydrolyse er en teknisk løsning for å utvinne både verdifull fiskeolje og proteiner fra biprodukter på en mild og reproducerbar måte. Enzymatisk hydrolyserte proteiner har ofte bedre bioaktive egenskaper enn ensilasjeproteiner og kan brukes i forskjellige formuleringer med flere helsegunstige egenskaper [11]. Totalvolum til fôr har vært ganske stabilt, men de siste årene har prosessering og særlig hydrolyse av ferskt restråstoff økt i volum og anvendelse. Årsaken er økt fokus på kvalitet og større vilje i markedet til å betale for god kvalitet. [3].

I Norge produserer ensilasjeindustrien stabile totale volumer av fiskeproteinkonsentrat (i tillegg til olje). Marine oljer fra restråstoffindustrien er viktige og verdifulle ingredienser for fiskefôrindustrien, både i Norge og deler av Sør-Europa. I Norge inngår olje og proteiner fra hvitfisk og pelagiske arter i en sirkulær økonomi som viktige fôringredienser til oppdrett av laksefisk. De siste årene har mengden fiskemel fra restråstoff økt (eksklusivt ordinært fiskemel fra oppmaling av hel fisk) pga. økt produksjon av mel fra proteinkonsentrat av lakseslo og avskjær, og økte volum fra filetering av sild. Det produseres også fiskemel fra hvitfisk ombord på enkelte trålere, og selv om det foreløpig ikke er de helt store volum er dette en positiv trend hvor også den havgående flåten eksperimenterer med måter å ivareta sløyvesvinn og kapp fra prosessering om bord [3].

### 3.1.4.3 Regelverk

Love og forskrifter for innsamling, transport, lagring, håndtering, prosessering, bruk og avhending av restråstoff for ulike anvendelser er ofte oversette faktorer som påvirker hvilken bruk av materialet som er mulig. En rekke regler og regelverk regulerer bruken av restråstoff fra fiskeri og havbruk. Kategori og kvalitet av restråstoffet er av største betydning for videre bearbeidingsmuligheter og definerer bruk av ingredienser til mat- eller fôranvendelser [1]. Fôranvendelsen består av flere delmarkeder med ulike produktkrav og spesifikasjoner. Proteiner fra restråstoff av laks kan ikke inngå i laksefôr, men selges til andre marine arter, eksempelvis til oppdrett av seabass og seabream. Mel og ensilasje (FPC) fra restråstoff av pelagiske arter og torskefisk er viktige ingredienser i laksefôr.

Lakseolje fra ferskt hydrolysert slo ble for noen år siden igjen tillatt brukt i fôr til laksefisk, og benyttes i noen grad i dag [3].

### **Animalske biprodukter – kort innføring i regelverket**

Animalske biprodukter, både fra dyr og fisk, plasseres i én av tre kategorier. Dette legger føringer på hvordan materialet skal behandles og kan brukes senere. Sentralt i kategoriseringen er nærhet til matkjeden, da det er avgjørende å holde materiale som en ikke ønsker inn i matkjeden unna denne.

**Kategori 1** er høyeste risikokategori og omfatter materiale det anses viktig å holde langt unna matkjeden, i første rekke dyr eller deler av dyr mistenkt for å være angrepet av TSE eller forurensset av forbudte listeførte stoffer. I tillegg en rekke andre spesifiserte (bi)produkter. Dette materialet må avhendes på en slik måte at en er trygg på at det ikke kan komme inn i matkjeden igjen. Hovedregelen er forbrenning, enten direkte uten forutgående behandling eller samforbrenning i et samforbrenningsanlegg, dersom materialet er bearbeidet.

**Kategori 2** materiale regnes også som høyrisiko materiale og omfatter: Husdyrgjødsel og innhold fra fordøyelseskanalen. Animalsk materiale samlet inn ved behandling av spillvann fra andre slakterier enn de som fjerner SRM eller for bearbeidingsanlegg for kategori 2. Animalske biprodukter som inneholder restmengder av legemidler eller forurensende stoffer, dersom restmengdene overstiger tillatt grenseverdi for mat. Produkter av animalsk opprinnelse som er erklært uegnet til konsum på grunn av innhold av fremmedlegemer. Produkter av animalsk opprinnelse, med unntak av materiale i kategori 1, som er importert fra tredjestater og som ikke oppfyller veterinærkravene for import. Dyr og deler av dyr som dør på annen måte enn ved slakting for konsum, herunder dyr som er avlivet for å utrydde en epizooti. Produkter erklært uegnet for konsum på grunn av forekomst av fremmedlegemer. I tillegg til det som listes opp som materiale i kategori 2 regnes alt animalsk materiale som verken skal anses som kategori 1 eller 3 som kategori 2.

Kategori 2 materiale må forhindres tilbakeført til matkjeden. Et alternativ er forbrenning. I tillegg kan materiale i kategori 2 etter bearbeiding brukes til produksjon av organisk gjødsel eller jordforbedringsmiddel, eller gå til et biogass- eller komposteringsanlegg. Materiale i kategori 2 kan etter bearbeiding anvendes som fôr til pelsdyr og andre ikke matproduserende dyr.

**Kategori 3** materiale regnes som lavrisikomateriale og kan tillates benyttet i fôr til matproduserende dyr. Materialet omfatter for det første dyr eller deler av dyr egnet for konsum, men som av kommersielle grunner ikke skal benyttes til konsum. I tillegg omfattes: Deler av slaktede dyr som er erklært uegnet for konsum, men som ikke viser tegn til sykdommer som kan overføres til mennesker eller dyr. Huder og skinn, hover/klover og horn, grisebuster og fjær fra dyr som er slaktet på et slakteri og som er funnet egnet til å slaktes for konsum. Blod fra andre dyr enn drøvtyggere, som er slaktet på et slakteri og funnet egnet til konsum. Animalske biprodukter fra fremstillingen av produkter beregnet på konsum, herunder avfattede bein og fettgrever. Produkter av animalsk opprinnelse eller næringsmidler av animalsk opprinnelse som ikke lenger er beregnet på konsum av kommersielle grunner. Kjæledyrfôr og annet fôr av animalsk opprinnelse eller som inneholder animalske biprodukter, og som ikke lenger er beregnet til fôr av kommersielle grunner. Blod, placenta, ull, fjær, hår, horn, hover/klover og råmelk fra dyr som ikke har vist noen tegn til sykdommer som kan overføres til mennesker eller dyr.

For ytterligere informasjon, se [https://www.mattilsynet.no/om\\_mattilsynet/gjeldende\\_regelverk/veiledere/-veileder\\_animalske\\_biprodukter\\_10692009\\_og\\_1422011.17525/binary/Veileder%20animalske%20biprodukter%20\(1069-2009%20og%20142-2011\)](https://www.mattilsynet.no/om_mattilsynet/gjeldende_regelverk/veiledere/-veileder_animalske_biprodukter_10692009_og_1422011.17525/binary/Veileder%20animalske%20biprodukter%20(1069-2009%20og%20142-2011))

### **Referanser**

1. Aspevik, T., Oterhals, A., Ronning, S.B., Altintzoglou, T., Wubshet, S.G., Gildberg, A., Afseth, N.K., Whitaker, R.D., Lindberg, D. 2017. Valorization of Proteins from Co- and By-Products from the Fish and Meat Industry. *Topics in Current Chemistry*, 375 (3:53), 1-28.

2. Rustad, T., Storro, I. & Slizyte, R. 2011. Possibilities for the utilisation of marine by-products. *Int. J. Food Sci & Technol.*, 46, 2001-2014.
3. Richardsen, R., Myhre, M., Nystøyl, R., Strandheim, G. & Marthinussen, A. 2019. *Analyse marint restråstoff 2018. Analyse av tilgang og anvendelse for marint restråstoff i Norge*. SINTEF rapport 2019: 00475, SINTEF Ocean AS, Trondheim. Tilgjengelig på: <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901336/>
4. Adler, S. A., Honkapää, K., Saarela, M., Slizyte, R., Sterten, H., Vikman, M., & Løes, A-K. 2014. Utilisation of co-streams in the Norwegian food processing industry. *Bioforsk Report*, No. 82, Vol. 9 <http://orgprints.org/29808/>
5. Vieira, E.O., Venturoso, O.J., Reinicke, F., da Silva, C.C., Porto, M.O., Cavali, J., Vieira, N.T. & Ferreira, E. 2015. Production, Conservation and Health Assessment of Acid Silage Vicera of Freshwater Fish as a Component of Animal Feed. *Int. J. Agric. and Forestry*, 5, 177-181
6. Gildberg, A. 1993. Enzymatic Processing of Marine Raw-Materials. *Process Biochem.*, 28, 1-15.
7. De Arruda, L.F., Borghesi, R. & Oetterer, M. 2007. Use of fish waste as silage - A review. *Brazilian Arch. Biol. Technol.*, 50, 879-886.
8. Ramasubburayan, R., Iyapparaj, P., Subhashini, K.J., Chandran, M.N., Palavesam, A. & Immanuel, G. 2013. Characterization and Nutritional Quality of Formic Acid Silage Developed from Marine Fishery Waste and their Potential Utilization as Feed Stuff for Common Carp *Cyprinus carpio* Fingerlings. *Turkish J. Fish. Aquatic Sci.*, 13, 281-289.
9. Xu, X., H-Kittikun, A., and Zhang, H. 2007. Enzymatic processing of omega-3 speciality oils. In: *Long-chain omega-3 speciality oils* (edited by H. Breivik). Pp. 141-164. The Oily Press, Bridgwater, England
10. Carvajal, A.K., Šližytė, R., Storrø, I. & Aursand, M. 2015. Production of high quality fish oil by thermal treatment and enzymatic hydrolysis from fresh Norwegian spring spawning herring by-products. *J. Aquatic Food Product Technol.*, 8, 1-17.
11. Ngo, D.H., Vo, T.S., Ngo, D.N., Wijesekara, I., and Kim, S.K. 2012. Biological activities and potential health benefits of bioactive peptides derived from marine organisms. *Int. J. Biol. Macromolecules*. 51(4), 378-383.
12. Pando, E., Bravo, B., Berrios, M., Galdames, A., Rojas, C., Romero, N, Camilo, C., Encina, C., Rivera, M., Rodriguez, A. og Aubourg, S.P. 2014. Concentrating n-3 fatty acids from crude and refined commercial salmon oil. *Czech J. Food Sci.* **32**: 169-176
13. Storrø, I. 2005. *Lakseblod: Fra avfall til verdifull ressurs*. Prosjektark 3/2005. Vareproduksjon og materialforedling – VAREMAT. SINTEF. [https://www.sintef.no/globalassets/upload/fiskeri\\_og\\_havbruk/faktaark/fiskeblod-ennutnyttt-ressurs-versjon-050929.pdf](https://www.sintef.no/globalassets/upload/fiskeri_og_havbruk/faktaark/fiskeblod-ennutnyttt-ressurs-versjon-050929.pdf)

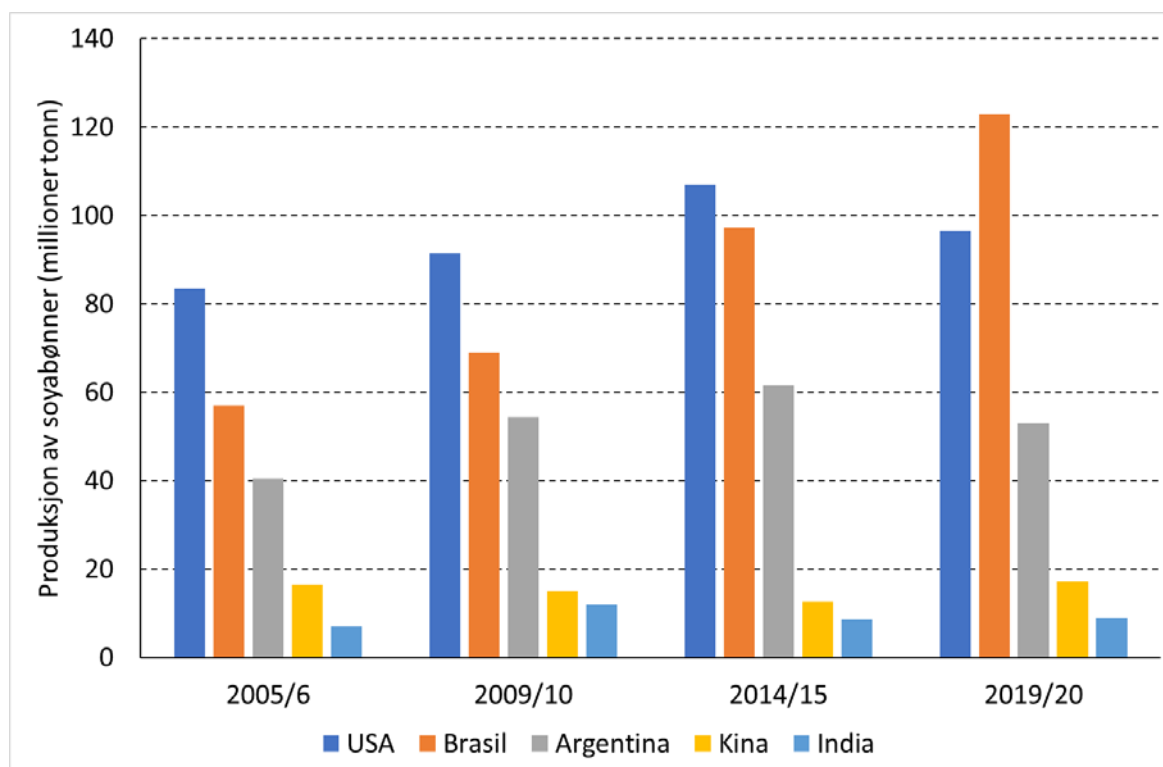
## 3.2 Plantebaserte råvarer

### 3.2.1 Importerte råvarer, soya

Soyaproteinkonsentrat (SCP) er i dag den viktigste kilden til protein i fôr til laks.

#### 3.2.1.1 Verdensproduksjonen

Produksjonen av soyabønner på verdensbasis har økt fra omkring 100 millioner tonn i 1987 til omkring 350 millioner tonn i dag [1, 8]. Tidlig på 2000-tallet var USA den klart største produsenten, men i dag er Brasil i ferd med å ta over "tronen" (Figur 3-6). Andre viktige produsentland er Argentina, Kina og India. Soyabønner er anvendelige på grunn av sitt høye innhold av protein (38-45 %) og olje (ca. 20 %), og om lag 85 % av verdensproduksjonen går til mel og olje.



**Figur 3-6** Produksjon av soyabønner i viktige produsentland [10].

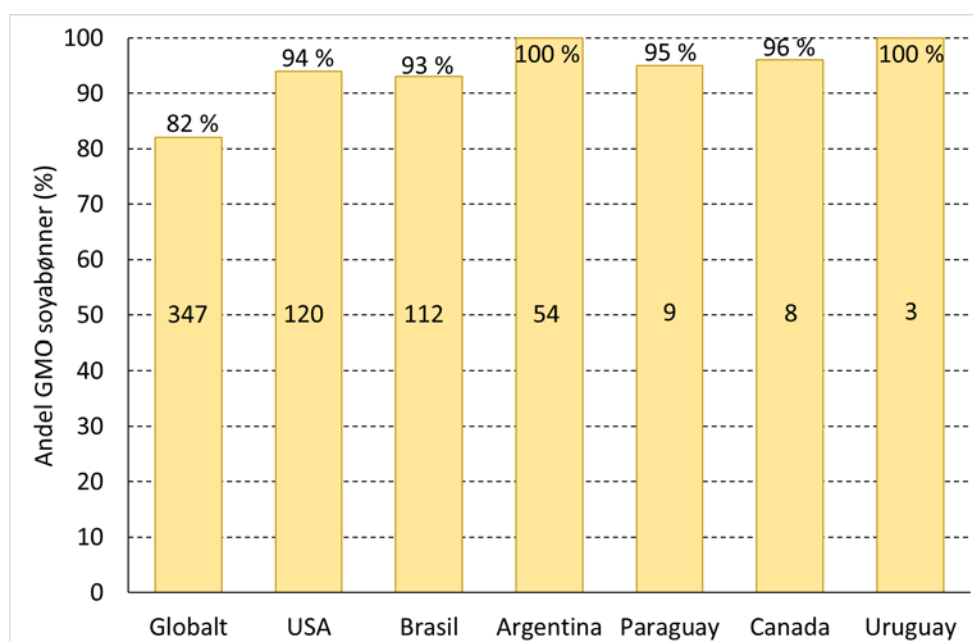
Soyaolje fremstilles ved at soyabønnene knuses, varmes opp til 60-88 °C og presses ut i flak før oljen ekstraheres ut med heksan som senere gjenvinnes. Oljen blir deretter raffinert, blandet for ulike formål og noen ganger også hydrogenert. Den selges som vegetabilsk olje til ulike formål. Det resterende etter at oljen er tatt ut, soyamelet, anvendes vesentlig til fôr. Soyaproteinkonsentrat (SCP, ca. 72 % protein) framstilles ved at soyamel (ca. 44 % protein) raffineres og en stor del karbohydrater og fiber fjernes. Det høye proteininnholdet gjør denne varen attraktiv spesielt for energitette vekstfôr.

Økt soyaproduksjon har gjennom årene ført til betydelig avskoging. Siden 1980 har avskogingen i Brasil vært på over 792.000 kvadratkilometer, tilsvarende ca. 2,5 ganger arealet av det norske fastlandet. Det forventes at Brasil i 2020 vil passere USA som verdens største produsent av soyabønner.

Industriell dyrking og høsting av soyabønner og foredling til næringsmidler og fôrprodukter er veletablert industri verden over, både i de store produsentlandene og i viktige importland som Kina. Soyamel og soyaolje er derfor tilgjengelig i “commodity” markedet.

### 3.2.1.2 Genmodifisert (GMO) soya

Produksjon av soya forgår i dag alt overveiende med genmodifiserte planter (Figur 3-7). Det amerikanske selskapet Monsanto introduserte i 1996 den første genmodifiserte soyabønningen for sitt hjemmemarked. I dag er andelen soya produsert fra genmodifiserte planter >80 % på verdensbasis. I 2018 var soya produsert i EU, Russland, Kina og India ikke GMO, mens det i Ukraina var 60-70 % GMO soya [9].



**Figur 3-7** Andel av soyaproduksjonen der plantene var genmodifiserte i 2018 globalt og i en del sentrale produsentland [2]. Inne i søylenene er total produksjon i millioner tonn i sesongen 2017/18 gitt [8]. Samlet sto de seks landene for 88 % av den globale produksjonen den sesongen, og nær 100 % av all GMO-soya.

Forskere ved Nasjonalt institutt for ernærings- og sjømatforskning (NIFES), Veterinærinstituttet og Veterinærhøgskolen har undersøkt om genmodifiserte planter brukt i fiskefôr er like bra, bedre eller skadelige sammenlignet med fiskefôr basert på planter som ikke er genmodifisert [3].

I flere fôringsforsøk ble laks gitt fôr med henholdsvis genmodifisert og ikke-genmodifisert soya helt opp til 25 % av fôret. Det ble ikke konstatert forskjell på laksen med hensyn til vekst, fôrutnyttelse eller fordøyelighet av næringsstoffer. Den genmodifiserte soyaen som ble testet var Roundup Ready. Den er genetisk modifisert slik at soyaplanten er resistent mot herbicidet glyfosfat. Det er det amerikanske selskapet Monsanto som har utviklet og patentert dette produktet.

En annen problemstilling som ble undersøkt, var om det hadde virkning på helsen til oss som spiser laksen, om den ble fôret med genmodifiserte planter. Når det gjelder innvirkning av genmodifiserte produkter på menneskelig helse generelt, er det en pågående diskusjon og et forskningstema det

foreligger mange rapporter på. Det foreligger oversiktsartikler [3, 4] med mer enn 100 studier som har sett på mulige negative effekter grunnet endret næringsinnhold, allergireaksjoner eller uønskede bivirkninger som toksisitet, innvirkning på organer eller om overføring av gener har funnet sted. Verdens helseorganisasjon (WHO) konkluderte fra disse studiene og andre [5] at matvarer som er genmodifiserte eller inneholder genmodifiserte råvarer er trygge for konsumentene. [6]

Dagens norske import av soya fra Brasil for å dekke behovet til norsk oppdrettsnæring utgjør en svært liten del av verdens totale produksjon av soya (Tabell 3-7). Dersom norsk produksjon av laks øker opp mot 5 millioner tonn i 2050, noe som tilsvarer 4x dagens produksjon, vil dette fortsatt tilsvare mindre enn 1 % av den soya som produseres i dag. Dersom norsk laksefôr fortsatt kun skal baseres på soya som ikke er genmodifisert, f.eks. europeisk produksjon, vil dette likevel kunne representere en utfordring da andelen soya produsert på basis av genmodifiserte planter vokser mot 100 %.

**Tabell 3-7** Import av soyamel fra Brasil til bruk i norsk oppdrettsindustri for 2017.

Faktor	2017	2030	2050
Lakseproduksjon (tonn) <sup>A</sup>	1 236 354	3 000 000	5 000 000
Laksefôr (tonn) gitt "Feed conversion factor" (FCR) 1,1	1 359 989	3 300 000	5 500 000
16 % soyaproteinkonsentrat (SPC) i fôret (tonn) <sup>B</sup>	217 598	528 000	880 000
Tilsvarende soyabønner (tonn) (antatt 40 % av bønne til SPC)	543 996	1 320 000	2 200 000
Andel av verdensproduksjonen i 2018 (349 mill tonn) <sup>C</sup> (%)	0,16	0,38	0,63
Nødvendig dyrkingsareal for soyabønner i Brasil (hektar) antatt 2.84 tonn/hektar.	312 676	608 450	1 014 084
Norsk dyrkingsareal (hektar) <sup>D</sup>	870 000	870 000	870 000
Beslaglagt areal i Brasil relativt til dyrkingsareal i Norge (%)	35.9	69.9	116.6

<sup>A</sup> For 2017, Statistisk Sentralbyrå: <https://www.ssb.no/statbank/table/07326/tableViewLayout1/>. For 2030 og 2050 basert på rapporten "Verdiskaping basert på produktive hav i 2050" [6]

<sup>B</sup> Basert på Lundberg [5].

<sup>C</sup> Basert på [1]

<sup>D</sup> Fra <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/Nye-arealtall-for-fulldyrka-jord-og-dyrkbar-jord/id2005380/>

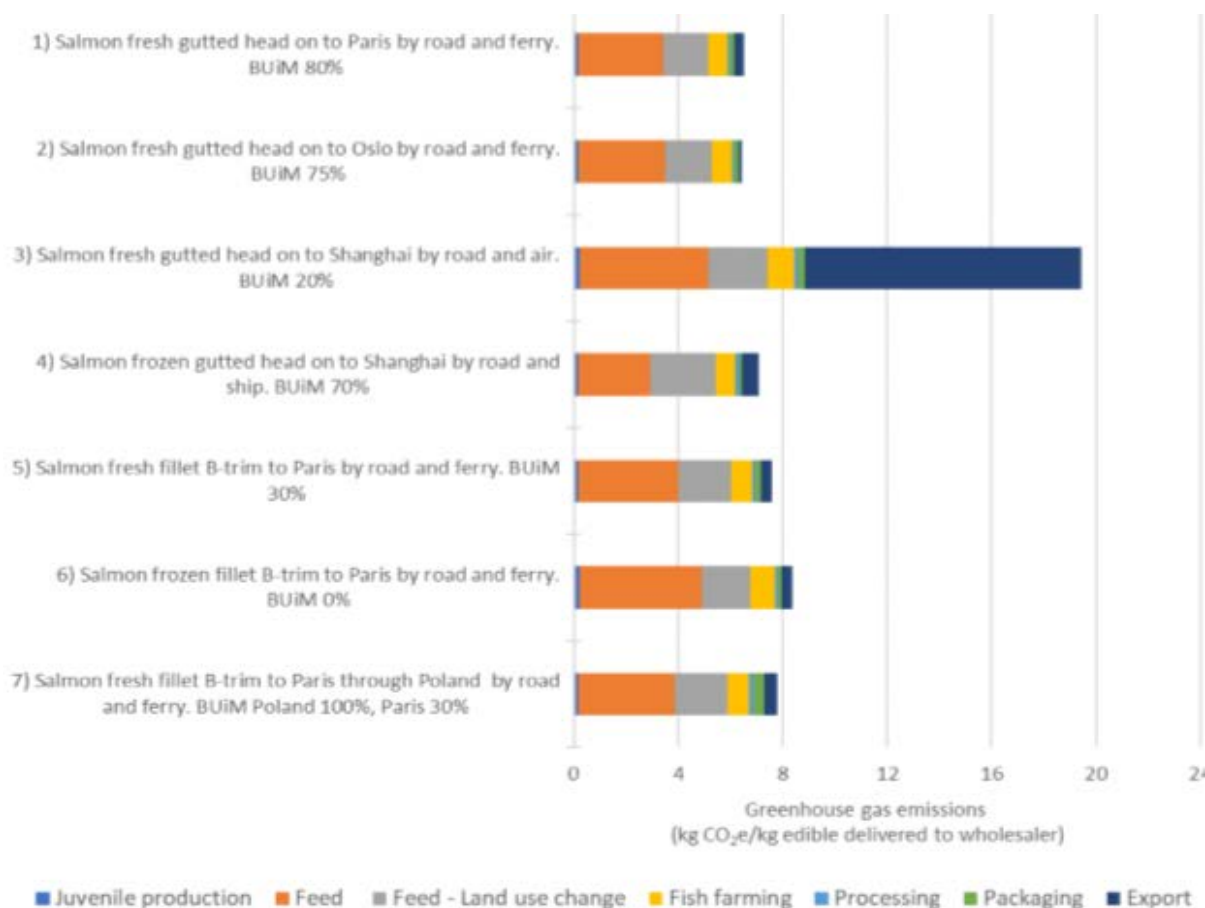
### 3.2.1.3 Avskoging og andre utfordringer

Selv om tilgangen på ikke genmodifisert soya lar seg løse, vil det fortsatt være et spørsmål om norsk lakseproduksjon i det lange løp vil være tjent med å basere videre vekst på denne fôrkilden. Winther et al. [7] anfører begrepet Land Use Change Climate Impact (LUC) i sin analyse. Ved en vurdering av karbonfotavtrykket for ulike landbaserte fôrråstoff poengteres det spesielt at der landarealet tidligere var skog som ble fjernet for å produsere f.eks. soya, gir dette betydelige utslag. For norsk laks produsert på en diett med 20 % soya kan LUC utgjøre 25 % av karbonfotavtrykket (Figur 3-8, neste side). Transport av fôrråstoffer over lange distanser utgjør også en andel av fôrets karbonfotavtrykk.

I Brasil har produksjonen av soya i løpet av de siste 40 år økt fra 14 millioner tonn i 1980 til 123 millioner tonn i 2020 [4], og dette er en av årsakene til at arealet med regnskog er blitt kraftig redusert. Siden 1970 er regnskogsarealet i Brasil redusert med 792 051 km<sup>2</sup> [4]. Til sammenligning er arealet av Norge (minus Svalbard) og Sverige til sammen 774 480 km<sup>2</sup>.

Tilgang på soya som fôrråvare til norsk lakseproduksjon kan vurderes som følger:

Styrke	Svakhet
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stor global produksjon av soya.</li> <li>• Norge bruker mindre enn 1 % av verdens produksjon.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Høy andel genmodifisert soya svekker tilgang på ikke genmodifiserte produkter.</li> <li>• Soya fra Brasil gir høy <i>Land Use Change Climate Impact</i> (LUC)</li> <li>• Lange transportveier for å sikre tilførsel bidrar til høyere karbonfotavtrykk.</li> </ul>
Trussel	Mulighet
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mangel på ikke genmodifisert soya på lang sikt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sikre tilgang på ikke-genmodifisert soya.</li> <li>• Finne andre leverandører der LUC er lavere.</li> <li>• Gå over til andre råvarekilder.</li> </ul>



**Figur 3-8** Drivhusgassutslipp (målt som CO<sub>2</sub>-ekv per kg spiselig vare levert grossist) knyttet til ulike aspekter ved fiskeoppdrett [7].

### Referanser

1. Bioenergy international. 2018. *Global soybean production in 2018/19 could reach record level – USDA* <https://bioenergyinternational.com/feedstock/global-soybean-production-in-2018-19-could-reach-record-level-usda>
2. Acikgöz, N. 2018. With GMO soybean market booming, is there a future for conventional varieties? Genetic Literacy Project. <https://geneticliteracyproject.org/2018/10/26/gmo-free-soybeans-future/>

3. Ryen, M. 2010. *Genmodifisert soya like bra*. Forskningsrådet. Forskning.no <https://forskning.no/oppdrett-fisk-planteverden/genmodifisert-soya-like-bra/879930>
4. <https://www.forbes.com/sites/niallmccarthy/2019/08/27/deforestation-helped-make-brazil-the-worlds-top-soy-producer-infographic/#5cb4ba29869e>
5. Lundberg, H. 2018. *Soya i norsk fôr – Forbruk og arealbeslag*. Rap. no. 7-2018, Framtiden i våre hender. <https://www.framtiden.no/aktuelle-rapporter/852-soya-i-norsk-for-forbruk-og-arealbeslag/file.html>
6. Olafsen, T., Winther, U., Olsen, Y og Skjeremo, J. 2012. *Verdiskaping basert på produktive hav i 2050*. Rapport basert på en arbeidsgruppe oppnevnt av DKNVS og NTVA. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/-verdiskaping-basert-pa-produktive-hav-i-/id697596/>
7. Winther, U. Skontorp Hognes, E, Jafarzadeh, S., Ziegler, F. 2020. *Greenhouse gas emissions of Norwegian seafood products in 2017*. SINTEF Report 2019:01505, ISBN 978-82-14-06246-5 [https://www.sintef.no/contentassets/25338e561f1a4270a59ce25bcbc926a2/report-carbon-footprint-norwegian-seafood-products-2017\\_final\\_040620.pdf/](https://www.sintef.no/contentassets/25338e561f1a4270a59ce25bcbc926a2/report-carbon-footprint-norwegian-seafood-products-2017_final_040620.pdf/)
8. Soybean meal INFO center. 2018. World soybean production. <https://www.soymeal.org/soy-meal-articles/world-soybean-production/>
9. The Donau Soja Association. 2018. *Latest news on the GMO situation in Ukraine*. <https://www.donausoja.org/en/about-us/news/newsletters/newsletters/newsletter-december-2018/gmo-news-ukraine/>
10. The Soybean Processors Association of India. 2020. *World soybean production*. <http://www.sopa.org/statistics/world-soybean-production/>



### 3.2.2 Andre, i hovedsak importerte, vegetabiliske råvarer

I 1990 ble oppdrettslaksen fôret på en nesten utelukkende marin diett hvor fiskeolje og fiskemel var de viktigste ingrediensene (se Figur 2-2, side 12). Noe karbohydrater, særlig stivelse ble benyttet som binder i fôrpelletene. Senere ble en stadig større andel av først protein og senere olje skiftet ut med plantebaserte produkter. Den "gjennomsnittlige" sammensetningen av laksefôret i 2016 (Tabell 3-8) viser at en lang rekke vegetabiliske råvarer inngår i tillegg til soya.

#### 3.2.2.1 Oljevekster

I hovedsak har det til nå vært rapsolje som har erstattet fiskeolje i laksefôret. Den globale produksjonen av rapsolje var i 2019 på 27.3 millioner tonn [2] slik at rent volummessig bør det ikke være en stor utfordring å dekke et behov for 2 millioner tonn olje i 2050. Rapsolje inneholder imidlertid ikke EPA eller DHA, selv om det i de senere år er blitt utviklet GMO-varianter av raps med litt EPA/DHA [24]. Her synes imidlertid oljedodre å være et mer lovende alternativ.

I de siste årene har camelinaolje blitt stadig mer aktuell. For bruk i laksefôr er fettsyresammensetningen av denne planteoljen bedre enn rapsolje. Camelinaolje framstilles fra frøene av oljedodre (*Camelina sativa*) som også kan dyrkes i Norge, noe forøvrig også raps kan. Med de volumene det eventuelt er behov for i 2050, er det likevel klart at bare en svært liten andel vil kunne dyrkes i Norge (se Kap. 3.2.3).

Det har ikke lyktes å finne tall for dagens globale produksjon av camelinaolje, men den er neppe mer enn 1 million tonn i dag, hvis så stor. Imidlertid er produksjonen raskt økende, kanskje med omkring 10 % årlig [25]. Hvor mye camelinaolje som i dag benyttes i laksefôr er ikke offentlig kjent. Ved genmodifisering har man framstilt varianter av oljedodre som produserer olje som inneholder EPA/DHA [3-5]. Med dagens begrensninger mht bruk av genmodifiserte produkter i fôr til laks er disse variantene ikke aktuelle. Men skulle holdningene skifte i de neste 30 år fram til 2050, kan camelinaolje med EPA + DHA bli en sterk konkurrent til både fiskeolje og andre EPA + DHA kilder. I en nylig publisert studie [5] ble det vist at camelinaolje fra en genetisk modifisert variant av oljedodre med et svært høyt innhold av omega-3 fettsyrer (25 %), kunne erstatte fiskeolje fullt ut i fôr til laks og gi en laks med et høyt innhold av EPA og DHA i fett.

**Tabell 3-8** "Gjennomsnittlig" sammensetning av norsk laksefôr i 2016 (basert på [1] som ut fra forespørsel til de fire største fôrprodusentene i Norge satte opp en tabell over ingredienser brukt i norsk laksefôr i 2016).

	<b>Ingrediens</b>	<b>Andel (%)</b>
Protein	Soyaproteinkonsentrat	19.0
	Marine proteinkilder	14.5
	Hvetegluten	9.0
	Maisgluten	3.6
	Favabønner	3.4
	Proteinkonsentrat fra erter	1.3
	Solsikkemel	1.1
	Solsikkeprotein	0.5
	Andre vegetabiliske proteiner	2.3
Olje	Rapsolje + camelinaolje	19.8
	Marine oljer	10.4
	Linfrøolje	0.3
Karbohydrater	Hvete	8.9
	Stivelse fra erter	0.8
	Andre karbohydrater fra planter	1.0
Annet	Mikronæringsstoffer	4.0

### 3.2.2.2 Vegetabiliske proteiner

Den viktigste vegetabiliske proteinkilden i dagens fiskefôr er soyaproteinkonsentrat som utgjør ca. 19 % av fôret. I tillegg inngår en rekke andre vegetabiliske proteiner i fôret, i første rekke hvete- og maisgluten (samlet 12-13 %), men også protein fra favabønner, erter og solsikke. Totalt utgjør vegetabiliske proteiner om lag 75 % av proteinene i dagens fiskefôr.

#### *Protein fra oljevekster*

Ekstraksjon av planteoljer fra oljevekster som soya, raps og solsikke gir en proteinrik rest som tradisjonelt har gått til dyrefôr. Videre prosessering for å fjerne karbohydrater, fiber, og annet som er ufordøyelig eller uønsket i fôr til laks, gir et proteinkonsentrat som kan anvendes i laksefôr. I dag er soyaproteinkonsentrater dominerende, men andre proteinkonsentrater kan, og blir også i noen grad benyttet. Tilgangen på disse proteinkildene er god. Globalt produseres årlig flere hundre millioner tonn soya og flere titalls millioner tonn av raps og solsikke. To millioner tonn protein fra disse kildene i 2050 bør således ikke være en stor utfordring. Ulempen med vegetabiliske proteiner er at aminosyre-sammensetningen ofte er suboptimal i forhold til laksens behov, men dette kan i noen grad kompenseres ved å blande ulike vegetabiliske proteiner, og eventuelt supplere ved å tilsette spesifikke aminosyrer til fôret. Vegetabiliske proteinkilder inneholder også komponenter som er ufordøyelige for laksen og som således "tynner ut" både protein- og energiinnholdet i fôret. De kan også inneholde komponenter som har uønskede effekter på fiskens fordøyelse og helse (se f.eks. [6] for mer informasjon). Innholdet av disse uønskede komponentene er en funksjon av graden av rensing og prosessering av proteinene, men økt rensing og prosessering gir også økt pris. De anvendte produktene er et kompromiss mellom ulike faktorer. Protein fra oljevekster blir i dag, og vil også i framtiden i all hovedsak måtte importeres til Norge. Store produsenter av raps er EU, Kina og Canada, mens Ukraina, Russland og EU er de største produsentene av solsikke.

#### *Hvete- og maisgluten*

Hvetegluten er proteiner i kjernen til hvete hvor de fungerer som lagerproteiner. De deles ofte i to grupper, gliadiner og gluteniner. De høymolekylære gluteninene binder seg til hverandre med SS-bindinger og danner et trådformet nettverk, mens gliadinene danner bindinger internt og kveiler seg sammen som nøster som legger seg mellom glutenintrådene og antas å bidra til at nettverket blir tøyelig. Det er disse viskoelastiske egenskapene som gjør hvetegluten ettertraktet i spesielt bakevarer, men også til andre anvendelser. Bruken i fôrpellets er også delvis begrunnet i disse funksjonelle egenskapene [6]. Hvetegluten utvinnes som et biprodukt ved produksjon av hvetestivelse og er noe høyere priset enn protein fra soyaproteinkonsentrater (se Tabell 2-1, side 13). Hvetegluten har et lavt innhold av den essensielle aminosyren lysin (Tabell 3-9, neste side).

Maisgluten består i hovedsak av proteinene zein og glutenin, men ikke glutenproteiner. Det kalles likevel maisgluten fordi det har noen av de samme funksjonelle egenskapene som hvetegluten. Maisgluten er et biprodukt ved framstilling av maisstivelse, og har i likhet med hvetegluten et lavt innhold av lysin.

I 2015 var den globale produksjonen av hvetegluten 1.3 millioner tonn [8], mens USA i 2019 eksporterte samlet 1.9 millioner tonn "corn gluten feed" (ca 20 % råprotein) og "corn gluten meal" (ca 80 % råprotein) [7]. Den globale produksjonen av maisgluten er således trolig på flere millioner tonn, men en utfordring for fôrindustrien er at GMO varianter av mais blir stadig vanligere.

Hvetegluten kan produseres fra norsk hvete. Norsk hvete inneholder i snitt 13.3 g råprotein per 100 g tørrstoff [10]. Herav utgjør glutenproteiner 75-85 % [26]. I 2019 ble det produsert 449 tusen tonn hvete i Norge [9]. Antar vi 90 % tørrstoff i hveten, at ekte protein utgjør 95 % av råprotein og glutenproteiner utgjør 80 % av totalt protein, tilsvarer dette ca 41 tusen tonn gluten. Basert på dagens innhold av hvetegluten i fiskefôr (Tabell 3-8), vil det i 2050 være behov for 540 tusen tonn hvetegluten til norsk fiskefôr. I denne sammenheng blir den potensielle norske produksjonen av hvetegluten liten, og hvete har andre og viktigere anvendelser enn som kilde til gluten i fiskefôr. I dag er hvetegluten normalt et biprodukt ved produksjon av hvetestivelse. Hvis ikke produksjonen av hvetegluten øker betydelig fram mot 2050, hvilket ikke er usannsynlig, kan 540 tusen tonn hvetegluten i 2050 utgjøre en betydelig andel (>10 %) av den globale produksjonen.

**Tabell 3-9** Innholdet av noen aminosyrer i en del proteinkilder.

Proteinkilde	Lysin	Metionin	Cystein	Tryptofan	Treonin	Arginin	Referanse
	(g/100 g protein)						
Fiskemel*	8.4	3.0	0.8	0.9	3.8	6.4	[10]
Soyaproteinkons.	6.5	1.4	1.4	1.0	3.6	8.0	[16]
Soyabønner	6.4 ± 0.6	1.3 ± 0.3	1.3 ± 0.4	1.4 ± 0.3	3.9 ± 0.4	7.4 ± 0.6	[18]
Hvete	2.4	1.4	2.0	1.1	2.4	4.2	[10]
Rybs/raps	5.9	1.9	2.4	1.3	4.5	6.1	[10]
Søtlupiner	4.9	0.7	1.6	1.0	3.5	10.7	[10]
Favabønner	6.4 ± 0.1	0.7 ± 0.1	1.4 ± 0.3	0.9 ± 0.1	3.5 ± 0.2	10.2 ± 1.1	[18]
Erter	6.1	0.8	1.4	1.0	3.2	9.1	[10]
Erter	7.6 ± 1.2	1.0 ± 0.1	1.3 ± 0.3	1.2 ± 0.6	3.8 ± 0.3	8.2 ± 0.7	[18]
Guarmel	5.3	0.3	0.6	-	4.0	11.0	[13]
Kikerter	6.5 ± 0.8	1.4 ± 0.3	1.1 ± 0.3	1.0 ± 0.1	3.7 ± 0.6	4.1 ± 0.5	[18]
Peanøtter	3.2-3.9	0.8-1.2	1.0-1.2	0.8-0.9	2.6-2.8	11.2-13.3	[15]
Linser	6.7 ± 0.6	0.9 ± 0.2	1.1 ± 0.3	0.8 ± 0.1	3.7 ± 0.4	7.8 ± 1.0	[18]
Hagebønner	6.3 ± 0.5	1.0 ± 0.4	1.1 ± 0.2	1.1 ± 0.4	4.0 ± 0.2	6.5 ± 0.7	[18]

\* Norsk, type LT

### Belgfrukter

Protein fra belgfrukter anvendes i noen grad i laksefôr. Felles for belgfrukter er at de via symbiose med nitrogenfikserende bakterier i røttene selv kan skaffe seg sitt nitrogen fra luften, men i praksis er likevel nitrogengjødsling av belgfrukter vanlig. Nitrogenfiksering er en svært energikrevende prosess for planten og totalt sett kan det derfor være mer lønnsomt for bonden å gjødsle med nitrogen enn å la plantene selv skaffe seg sitt nitrogen. Belgfrukter inkluderer bl.a. soya, erter, kikerter, linser, bønner, lupiner, guar og peanøtter, som alle har "frukter" rike på protein. Aminosyreinnhold- og sammensetning varierer avhengig av type plante. Flere av disse belgfruktene kan, og blir dyrket i Norge. Dette gjelder blant annet erter, søtlupiner og favabønner (åkerbønner).

**Favabønner** (*Vicia faba*) kalles også hestebønner eller åkerbønner på norsk. Bønnene inneholder 24-35 % protein (av tørrvekt) avhengig av sort og dyrkingsbetingelser [27] og er en del benyttet som dyrefôr. Proteinet har relativt høyt innhold av lysin, men lavt innhold av metionin (Tabell 3-9). Den globale produksjonen i perioden 2012-2017 var i gjennomsnitt 4.5 millioner tonn [18]. Gitt 6 millioner tonn laksefôr i 2050 og samme andel favabønner som i dag (3.4 %) tilsvarer dette 204 tusen

tonn favabønner i 2050 eller 4.5 % av global produksjon i 2014. Produksjonen av favabønner har de siste årene vært svakt synkende på global basis [18]. Favabønner blir i noen grad dyrket i Norge, men kun i de områdene som har lengst vekstsesong. I 2012 ble det produsert om lag 3 tusen tonn favabønner i Norge [20].

**Erter** (*Pisum sativum*) inneholder 25-30 % av tørrvekt protein [6]. Den globale produksjonen i perioden 2012-2017 var i gjennomsnitt 13.1 millioner tonn per år [18]. Proteinkonsentrater (Pea Protein Concentrate, PPC) med opptil 55 % protein kan framstilles og er egnet i fôr til laks [6]. Innholdet av lysin er relativt høyt (Tabell 3-9). Antar vi 20 % (av våtvekt) protein tilsvarer den globale produksjonen omkring 2.6 millioner tonn protein, men hvor mye som eventuelt kan være tilgjengelig for produksjon av PPC til fiskefôr er ukjent.

Erter blir også produsert i Norge, men dagens sorter kan bare dyrkes i deler av landet. Det pågår studier med sikte på å finne fram til sorter bedre tilpasset norsk klima [19]. I 2012 ble det produsert ca. 3500 tonn erter (våtvekt) i Norge som med 20 % (av våtvekt) protein ga 700 tonn (rå)protein [21]. En avling på 60 tusen tonn norske erter er anslått mulig [20], tilsvarende ca 12 tusen tonn (rå)protein per år. Sammenlignet med et estimert proteinbehov på 2 millioner tonn til laks i 2050, blir dette lite.

**Lupiner/søtlupiner** (hvitlupin, *Lupinus albus*; gulllupin, *L. luteus*; smallupin, *L. angustifolius*; m.fl.) dyrkes i dag i hovedsak i Australia som står for rundt 70 % av den globale produksjonen, men er opprinnelig europeiske arter. Den globale produksjonen var i 2013 omkring 1.4 millioner tonn [12]. Frøene har høyt innhold av protein, opp til 44 %, og proteinet er av god kvalitet, men innholdet av metionin er lavt (Tabell 3-9). Proteinkonsentrater fra lupiner er godt egnet rent teknisk-funksjonelt i extrudert fiskefôr [11]. Antar vi 30 % protein i snitt, tilsvarte den globale produksjonen i 2013 omkring 420 tusen tonn protein eller omkring 20 % av det estimerte proteinbehovet til laks i 2050. Søtlupiner kan og blir også dyrket i Norge, men vekstsesongen er ofte i korteste laget [10].

**Hagebønner** (vanlige bønner) (*Phaseolus vulgaris*) inneholder 17-25 % råprotein avhengig av sort [22]. Proteinet inneholder relativt godt med lysin, men lite metionin (Tabell 3-9). Den globale produksjonen i perioden 2012-2017 var i gjennomsnitt 27.9 millioner tonn [18]. Protein fra hagebønner synes ikke benyttet i fôr til laks, men har vært studert i fôr til regnbueørret [23].

**Kikerter** (*Cicer arietinum*) dyrkes særlig i Middelhavsområdet, det vestlige Asia og India. De går i hovedsak til mat, men også til dyrefôr. Proteininnholdet er fra 14-34 g råprotein per 100 g tørrvekt og sterkt avhengig av dyrkingsbetingelsene [28]. Proteinet har et relativt høyt innhold av lysin (Tabell 3-9). I perioden 2012-2017 var den gjennomsnittlige produksjonen 12.7 millioner tonn per år [18]. India står for om lag 2/3 deler. I dag er protein fra kikerter bare i begrenset grad, hvis overhodet, benyttet i fôr til laks, men forsøk med regnbueørret har vist at det kan inngå i fôr til denne arten [28].

**Linser** (*Lens culinaris*) inneholder 23-36 g råprotein per 100 g tørrvekt avhengig av sort, og i gjennomsnitt 26 g råprotein per 100 g tørrstoff [18]. Proteinet er relativt rikt på lysin (Tabell 3-9). Den globale produksjonen i perioden 2012-2017 var i gjennomsnitt 5.9 millioner tonn [18] og produksjonen øker for tiden med omkring 10 % årlig [18]. De viktigste produsentlandene er Canada og India. Linser går i all hovedsak til mat, og er, dels pga prisen, lite brukt i fôr fisk og dyr.

**Peanøtter** (*Arachis hypogaea*). Den globale produksjonen av peanøtter var i 2017 om lag 45 millioner tonn med Kina, India og Nigeria som de største produsentene [29]. Bare en mindre andel, kanskje 30 %, går til produksjon av olje. Oljeproduksjonen gir en proteinrik rest (ca 45 % protein) egnet som fôr til både dyr og fisk [6]. Proteinet har imidlertid et lavt innhold av metionin og lysin (Tabell 3-10). Peanøtter har også lett for å bli infisert med aflatoksinproduserende sopp. Grovt anslått var det i 2017 tilgjengelig 4 millioner tonn protein i form av peanøtt-mel. Mel eller proteinkonsentrater av peanøtt-mel synes ikke benyttet i fôr til laks i dag.

**Guar** (*Cyamopsis tetragonoloba*) (Figur 3-9) vokser i halv-tørre og subtropiske områder som deler av India, som står for rundt 80 % av den globale produksjonen. Frøene inneholder en polymer (guar gummi) som ekstraheres ut og brukes blant annet som fortykningsmiddel i næringsmiddel-industrien. Restene kan viderebehandles til et mel med et høyt proteininnhold og brukes som dyrefôr. Ved ytterligere videreføring kan det framstilles proteinkonsentrater. Guarmel er et biprodukt fra behandlingen av frøene og tilgangen på guarmel styres i stor grad av hvor mye guar som går til næringsmidler. Det er ikke økonomi i å splitte guar kun for å lage mel. Den globale produksjonen av guar er trolig omkring 1.5-2 millioner tonn per år [14], som med 25-32 % råprotein [13, 30] gir 375-640 tusen tonn råprotein per år, eller grovt anslått 350-600 tusen tonn ekte protein per år. Proteinet har et relativt høyt innhold av lysin, mens innholdet av metionin er lavt (Tabell 3-9).



**Figur 3-9** Guar (*Cyamopsis tetragonoloba*).

(Fra Wikipedia: By த\*உழவன் - Own work, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7924074>)

### Referanser

1. Aas, T. S., Ytrestøyl, T. og Åsgard, T. 2019. Utilization of feed resources in the production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway: An update for 2016. *Aquaculture Reports* **15**: 10
2. Shahbandeh, M. 2020 Statistikk publisert 19.5.20 av Statista, <https://www.statista.com/statistics/613487/rapeseed-oil-production-volume-worldwide/>
3. Tejera, N., Vauzour, D., Betancor, M.B., Sayanova, O., Usher, S., Cochard, M., Rigby, N., Ruiz-Lopez, N., Menoya, D., Tocher, D.R., Napier, J.A. og Minihane, A.M. 2016. A transgenic *Camelina sativa* seed oil effectively replaces fish oil as dietary source of eicosapentaenoic acid in mice. *J. Nutrition*, doi: 10.3945/jn.115.223941
4. Mónica B. Betancor, M.B., Sprague, M., Sayanova, O., Usher, S., Metochis, C., Campbell, P.J., Napier, J.A., og Tocher, D.R. 2016. Nutritional evaluation of an EPA-DHA Oil from transgenic *Camelina sativa* in feeds for post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *PLoS ONE* **11**(7): e0159934. doi:10.1371/journal.pone.0159934
5. Betancor, M.B., Li, K., Bucerzan, V.S., Sprague, M., Sayanova, O., Usher, S., Han, L., Norambuena, F., Torrissen, O., Napier, J.A., Tocher, D.R. og Olsen, R.E. 2018. Oil from a transgenic *Camelina sativa* containing over 25 % n-3 long-chain PUFA as the major lipid source in feed for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Brit. J. Nutr.* **119**, 1378-1392
6. Sørensen, M., Berge, G.M., Thomassen, M., Ruyter, B., Hatlen, B., Ytrestøyl, T., Aas, T.S. og Åsgård, T. 2011. *Today's and tomorrow's feed ingredients in Norwegian aquaculture*. Nofima Report 52/2011.
7. US Grain Council. 2020.Corn gluten, <https://grains.org/buying-selling/corn-gluten/>
8. Markets and Research.biz. 2020. Global Wheat Protein (Wheat Gluten) Market 2020 by Manufacturers, Regions, Type and Application, Forecast to 2025. <https://www.marketsandresearch.biz/report/5887/global-wheat-protein-wheat-gluten-market-2020-by-manufacturers-regions-type-and-application-forecast-to-2025>
9. Opplysningskontoret for brød og korn. s.a. Kornproduksjon i Norge. <https://brodogkorn.no/fakta/kornproduksjon-i-norge/>

10. Olberg, E.K., Strøm, T., Rogneby, T.J., Abrahamsen, U. og Eltun, R. 2005. Produksjon av proteinråvarer til økologisk kraftfôr. *Grønn kunnskap*, **9** (104),
11. Draganovic, V., Boom, R.M., Jonkers, J. og van der Goot, A.J. 2014. Lupine and rapeseed protein concentrate in fish feed: a comparative assessment of the techno-functional properties using a shear cell device and an extruder. *J. Food Eng.* **126**: 178-189
12. Lucas, M.M., Stoddard, F.L., Annicchiarico, P., Frias, J., Martinez-Villaluenga, C., Sussmann, D., Duranti, M., Seger, A., Zander, P.M. og Pueyo, J.J. 2015. The future of lupin as a protein crop in Europe. *Front. Plant Sci.* **6**:705 doi10.3389/fpls.2015.00705
13. Khalil, M.M. 2001. Biochemical and technological studies on the production of isolated guar protein. *Nahrung/Food* **45**: 21-24.
14. Malhotra, M. og Sharma, D.K. 2013. Efficiency of guar seed futures market in India: an empirical study. *The IUP J Appl. Finance* **19**:45-64
15. Kholief, T.S. 1987. Chemical composition and protein properties of peanuts. *Z Ernährungswiss.* **26**: 56-61
16. Mohsen, S.M., Fadel, H.H.M., Bekhit, M.A., Edris, A.E., og Ahmed, M.Y.S. 2009. Effect of substitution of soy protein isolate on aroma volatiles, chemical composition and sensory quality of wheat cookies. *Int J Food Sci Technol*, **44**: 1705–1712
17. Sánchez-Vioque, R., Clemente, A., Vioque, J. Bautista; J. og Millán, F. 1999. Protein isolates from chickpea (*Cicer arietinum* L.): chemical composition, functional properties and protein characterization. *Food Chem.* **64**: 237-243
18. Khazaei, H., Subedi, M., Nickerson, M., Martínéz-Villaluenga, C., Frias, J. og Vandenberg, A. 2019. Seed protein of lentils: current status, progress, and food applications. *Foods*, **8**, 391; doi:10.3390/foods8090391
19. NIBIO. 2018. Arktiske erter – en potensiell proteinkilde i fremtidens landbruk? <https://www.nibio.no/nyheter/-arktiske-erter--en-potensiell-proteinkilde-i-fremtidens-landbruk>
20. Beachell, A.M. 2016. Poensialet i norskproduserte kraftfôrråvarer. Bacheloroppgave. Høgskolen i Hedemark. Blæstad.
21. Animalia. 2016. Faktanotat. *Spørsmål og svar om produksjon og produksjonspotensial for protein av høy kvalitet fra belgvekster og oljevekster i Norge, dvs vekster som brukes eller kan brukes til menneskemat.* <https://www.animalia.no/contentassets/c72e0731c813456cbcf5cb666a82fbac/faktanotat-proteinvekster-til-menneskemat-1-juni-2016.pdf>
22. Celmeli, T., Sari, H., Canci, H., Sari, D., Adak, A., Eker, T. og Toker, C. 2018. The nutritional content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in comparison to modern varieties. *Agronomy*, **8**, 166; doi: 10.3390/agronomy8090166
23. Rodríguez-Miranda, J., Reyes-Jáquez, D., Delgado, E., Ramirez-Wong, B., Esparza-Rivera, J.R., Solis-Soto, A., Vivar-Vera, M.A. og Medrano-Roldán, H. 2016. Partial substitution of bean (*Phaseolus vulgaris*) flour for fishmeal in extruded diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): effects on yield parameters. *Iranian J Fish. Sci.* **15**: 206-220.
24. Utskarpen, A. 2015. Forsøk med genmodifisert fiskefôr. GENialt. <https://www.bioteknologiradet.no/2015/12/forsok-med-genmodifisert-fiskefor/>
25. Reportlinker.com. 2020. Press release: The Global Camelina Oil MARKET is expected to grow by USD 367.40 mn during 2020-2024, progressing at a CAGR of 9% during the forecast period. <https://www.oilandgas360.com/the-global-camelina-oil-market-is-expected-to-grow-by-usd-367-40-mn-during-2020-2024-progressing-at-a-cagr-of-9-during-the-forecast-period-2/>
26. Wikipedia. *Gluten*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Gluten> (lest okt. 2020)
27. Khazaei, H. og Vandenberg, A. 2020. Seed mineral composition and protein content of faba beans (*Vicia faba* L.) with contrasting tannin contents. *Agronomy*, **10**; doi: 10.3390/agronomy10040511
28. Bampidis, V.A. og Christodoulou, V. 2011. Chickpeas (*Cicer arietinum* L.) in animal nutrition: a review. *Animal Sci Technol* **168**: 1-20
29. Atlas Big. *s.a.* Global World's top Peanut Producing Countries. <https://www.atlasbig.com/en-us/countries-peanut-production> (lest okt. 2020)
30. Sharma, P., Kaur, A. og Kaur, S. 2017. Nutritional quality of flours from guar bean (*Cyamopsis tetragonoloba*) varieties as affected by different processing methods. *J Food Sci Technol* **54**: 1866-1872

### 3.2.3 Norske protein og oljevekster

Den samlede norske landbruksproduksjonen av planteprotein (gras ikke inkludert, for dette se Kap. 3.2.5.2) er i dag omkring 110 tusen tonn, i hovedsak i form av kornvekster [1]. Ved en delvis omlegging hvor arealer der det i dag dyrkes korn, i stedet benyttes til å dyrke oljevekster (rybs og raps) og belgvekster (erter og åkerbønner), er det anslått at den totale norske landbruksproduksjonen av planteprotein kan økes til 122 tusen tonn [1]. Av dette vil ca 20 tusen tonn være fra belgvekster og ca 10 tusen tonn fra oljevekster. Sammenlignet med et anslått behov for omkring 2 millioner tonn protein til laksefôr i 2050 blir dette imidlertid små tall og anvendelse direkte til mat og til dyrefôr framstår som mer sannsynlig enn prosessering for å framstille proteinkonsentrater egnet for fiskefôr.

Frøene i rybs (*Brassica rapa* ssp. *oleifera*) og raps (*Brassica napus oleifera*) inneholder 41-48 % olje og 20-25 % protein [2]. Dette tilsier at i scenariet over hvor det produseres omkring 10 000 tonn protein fra oljevekster, vil det produseres omkring 20 000 tonn planteolje. Denne oljen kan i teorien erstatte importert planteolje i fôr til laks. Men sammenlignet med et behov for anslagsvis 2 millioner tonn olje til fôr i 2050 blir dette små tall. Olje fra raps er i dag en viktig ingrediens i laksefôr, og foretrukket framfor f.eks. soyaolje fordi den har lavere innhold av omega-6 fettsyrer. Ved genmodifisering er det utviklet raps-varianter som produserer EPA og DHA [3]. Disse er det imidlertid per i dag ikke aktuelt å dyrke i Norge.

Frøene fra oljedodre (*Camelina sativa*) (Figur 3-10) inneholder om lag 40 % av en olje rik på omega-3 fettsyrer, men ikke EPA eller DHA, og er bedre egnet i fôr til laks enn raps- og rybsolje. Oljen, også kjent som camelinaolje, inneholder også mye antioksidanter. Skretting tok i 2016 i bruk camelinaolje i sitt fiskefôr [5]. Ved hjelp av genmodifisering er det framstilt varianter med et betydelig innhold av EPA (11-31 %) eller DHA (8-14 %) [4]. Oljedodre kan dyrkes i deler av Norge, men per i dag er dyrking av GMO planter på friland uaktuelt. Det synes ikke å foreligge noen anslag for hvor stor en eventuell norsk produksjon av oljedodre kan bli, men ifølge Nesheim *et al.* [6] kan oljedodre være et alternativ til raps på Østlandet. I en tenkt framtidig situasjon kan man kanskje se for seg en norsk produksjon av camelinaolje på omkring 10 tusen tonn per år. Med et innhold (i GMO-varianter) på 15 % EPA/DHA, kan dette gi omkring 1500 tonn av disse fettsyrene, som er litt over 1 % av det anslåtte behovet i 2050 (ca 135 000 tonn, se Kap. 2.3).



**Figur 3-10** Oljedodre (*Camelina sativa*).

(Fra Wikipedia: CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=512000>)

Både erter og favabønner (åkerbønner) blir dyrket i Norge. Dagens produksjon er 3-4 tusen tonn per år for begge belgfrukter, tilsvarende samlet 1-1.5 tusen tonn protein per år (se Kap. 3.2.2.2). For erter kan det være mulig å øke produksjonen til 60 tusen tonn per år [8], tilsvarende omkring 12 tusen tonn protein. For favabønner er lengden på vekstsesongen en begrensning, men teoretisk kan det være mulig å øke produksjonen til omkring 42 tusen tonn per år, tilsvarende omkring 10 tusen tonn protein [8]. Samlet utgjør dette likevel bare 1 % av det estimerte behovet for 2 millioner tonn protein i 2050. Glutenproteiner kan utvinnes fra norskdyrket hvete, maksimalt omkring 40 tusen tonn gluten per år hvis all hvete går til produksjon av hvetestivelse og gluten (se Kap. 3.2.2.2), men dette er ikke et realistisk scenario.

### Referanser

1. Abrahamasen, U., Uhlen, A.K., Waalen, W.M. og Stabbetorp, H. 2019. Muligheter for økt proteinproduksjon på kornarealene. I: Jord og Plantekultur 2019. Forsøk i korn, olje- og proteinvekster, engfrøavl og potet 2018. NIBIO BOK 5 (1), 160-169. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2605814>
2. Uhlen, A.K., Olberg, E.K. og Abrahamasen, U. 2004. Sammensetning av fett og protein i oljevekster dyrket i Norge. Grønn Kunnskap, 8 (2). <https://docplayer.me/30453826-Sammensetning-av-fett-og-protein-i-oljevekster-dyrket-i-norge.html>
3. Utskarpen, A. 2015. Forsøk med genmodifisert fiskefôr. GENialt. <https://www.bioteknologiradet.no/2015/12/forsok-med-genmodifisert-fiskefor/>
4. Sorteberg, H-G. O. s.a. (2016?) Fôrmuligheter med GMO. Omega-3 produserende camelina & lin. Strategimidler til forprosjekt. Presentasjon [https://www.nmbu.no/sites/default/files/pdfattachments/8\\_hilde-gunn\\_o\\_sorteberg.pdf](https://www.nmbu.no/sites/default/files/pdfattachments/8_hilde-gunn_o_sorteberg.pdf)
5. Solsletten, V. 2016. Skretting tar i bruk ny planteolje rik på omega-3. Intrafish. Pressemelding. <https://www.intrafish.no/pressemeldinger/skretting-tar-i-bruk-ny-planteolje-rik-pa-omega-3/1-1-766427>
7. Nesheim, L., Eltun, R., og Weiseth, R. 2010. *Alternative oljevekstar til norsk biodiesel*. Bioforsk rapport 10/2010. <https://core.ac.uk/download/pdf/285988254.pdf>
8. Beachell, A.M. 2016. *Potensialet i norskproduserte kraftfôrråvarer*. Bacheloroppgave. Høgskolen i Hedmark. Blæstad.



### 3.2.4 Skog

Tremasse kan via kjemisk/biokjemisk prosessering, omdannes til sukkere som kan benyttes til produksjon av både encelleprotein og omega-3 fettsyrer ved hjelp av mikroorganismer (se Kap. 3.4.3). Løv og barnåler kan i prinsippet være en kilde til protein ved direkte utvinning.

#### 3.2.4.1 Trevirke

Skog består av tremasse og barnåler/løv. Den årlige tilveksten av norsk skog er ca. 25 millioner m<sup>3</sup>, hvorav 18-20 millioner m<sup>3</sup> utgjøres av barskog [1]. Av dette utnyttes årlig ca. 10 millioner m<sup>3</sup> [2], i hovedsak til papir og trelast. Teoretisk er ca. 15 millioner m<sup>3</sup> (ca 6 mill. tonn tørt trevirke) tilgjengelig for annet bruk, men mye av skogen er vanskelig tilgjengelig for høsting, og en eventuell høsting kan bli både kostbar og ha betydelige miljømessige konsekvenser. Dagens høsting gir også restmateriale – greiner og topper (GROT) tilsvarende 4,6 millioner m<sup>3</sup> (ca 1,8 mill. tonn tørstoff) årlig [2]. Disse restene er lettere tilgjengelig for innsamling og prosessering.

Trevirke består i hovedsak av lignocellulose som er et kompleks av cellulose, hemicellulose og lignin. Tørt trevirke inneholder 42-44 % cellulose, 27-33 % hemicellulose og 23-27 % lignin [3]. Løvskog inneholder noe mindre lignin enn barskog. Cellulose er en ren glukose-polymer, mens hemicellulose er sammensatt av forskjellige monosakkarider, som C6-sukkerne glukose, mannose og galaktose, og C5-sukkerne xylose og arabinose. Lignin er en kompleks polysyklisk biopolymer som inneholder store mengder aromatiske alkoholer. Lignin er meget tungt biologisk nedbrytbart og ikke egnet som substrat i fermenteringsprosesser selv etter prosessering.

Både cellulose og hemicellulose kan hydrolyseres til sukkere, i første rekke glukose, som er velegnet for fermentering med mikroorganismer til protein eller oljer rike på omega-3 fettsyrer. Den tette koblingen til lignin gjør imidlertid cellulose og hemicellulose i lignocellulose vanskelig tilgjengelig. For å kunne utnytte glukose fra cellulose som karbonkilde for fermentering, må lignin fjernes og cellulosefibrene gjøres tilgjengelige for enzymatisk hydrolyse til glukose. Dette krever mekanisk, termisk og/eller kjemisk forbehandling (se Kap. 3.4.3).

Teoretisk kan 1 million tonn tørt trevirke gi 467-489 tusen tonn glukose fra cellulosen og 270-330 tusen tonn ulike sukkere fra hemicellulosen [basert på 5]. Det praktiske utbyttet vil neppe være mer enn 80-90 % av det teoretiske. Antar vi 85 % utbytte, kan 1 million tonn tørt trevirke med et rundt



**Figur 3-11** Norsk gran (*Picea abies*).

(Fra Wikipedia: By The original uploader was MPF at English Wikipedia. - Transferred from en.wikipedia to Commons., CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2440504>)

tall gi 660 tusen tonn sukker som kan gi 264-330 tusen tonn mikrobiell celledmasse (tørrvekt) med omkring 50 % protein, eller ca 200 tusen tonn av en oljerik mikroorganisme, som med 60 % fett med 30 % DHA kan gi 120 tusen tonn olje med 35 tusen tonn DHA.

Et alternativ til prosessering av lignocellulose for å utvinne fermenterbare sukkere, er gassifisering til syntesegass, også kjent som syngass ( $\text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2$ ). Denne kan i neste omgang benyttes som substrat for gassfermentering med egnede mikroorganismer (se Kap. 3.4.4).

### 3.2.4.2 Barnåler og løv

Barnåler og løv inneholder henholdsvis 6-12 % og 12-20 % råprotein av tørrvekt [4], og kan i teorien høstes og prosesseres for å utvinne protein på samme måte som fra gras (se under). Teknologi for høsting av barnåler direkte fra trær finnes, men vil bli svært kostbar med mindre den kombineres med felling av trærne. Når trær kaster løv og barnåler, tar de vare på nitrogenet slik at høstløv på marka har lite protein. I tillegg, hvis barnåler og løv fjernes fra skogen i forbindelse med hogst vil man samtidig fjerne viktige næringssalter for ny skogvekst. Men hvis GROT likevel fjernes umiddelbart etter hugst for å benyttes som substrat for produksjon av sukkere for fermentering, kan det kanskje være aktuelt å se nærmere på løv og barnåler på disse delene. Per i dag synes det ikke å foreligge noen anslag for hvor store mengder protein det i så fall kan være snakk om.

#### Referanser

1. NIBIO. Skog- og miljøinformasjon fra Landsskogtakseringen. Nøkkeltall <https://www.nibio.no/tema/skog/skog-og-miljoinformasjon-fra-landsskogtakseringen/N%C3%B8kkeltall>
2. Aarø, I. 2018. *Skog. En viktig del av klimaløsningen*. Norges Skogeierforbund, NORSKOG, Statskog. <https://www.allskog.no/upload/2018/05/31/skog-en-viktig-del-av-klimalosningen.pdf>
3. Birkeland, T., Houen, P.J., Haartveit, E.Y., Kilde, V., Lind, P. Sandland, K.M., Vadla, K. og Øvrum, A. 2002. *Norsk trevirke som råstoff – Verdiskapingspotensial og industrielle muligheter*. Rapport nr 52, Skogforsk.
4. Hakkila, P. 1989. *Utilization of Residual Forest Biomass*, Springer-Verlag, kap. 8.5.2 Foliage as source of protein, s 455.
5. Reyes, P., Mendonca, R.T., Aguayo, M.G., Rodriguez, J., Vega, B. og Fardim, P. 2013. Extraction and characterization of hemicellulose from *Pinus radiata* and its feasibility for bioethanol production. *Rev. Arvore, Vicosa-MG*, **37**: 175-180

### 3.2.5 Halm og gras

Halm kan, på samme måte som tremasse, ved kjemisk/biokjemisk prosessering omdannes til sukkere som kan benyttes til produksjon av encelleprotein og omega-3 fettsyrer vha mikroorganismer (se Kap. 3.4.3). Gras kan være en kilde til protein ved direkte utvinning.

#### 3.2.5.1 Halm

Halm er den delen av strået som blir igjen når kornet er tresket. I Norge produseres 500-700 tusen tonn (tørrstoff) halm årlig, hvorav 100 tusen tonn benyttes til fôr for drøvtyggere etter behandling med ammoniakk [1]. Andre anvendelser av halm er som strø for dyr og som brensel. Halm kan også kuttes og harves ned i jorda som jordforbedring og er egnet som substrat for pyrolyse til biokull, som så kan pløyes ned i jorda både for jordforbedring og som langtids karbonlager.



**Figur 3-11** Rundballe av halm.

(Fra Wikipedia: Av fir0002flagstaffotos [at] gmail.comCanon 20D + Tamron 28-75mm f/2.8 – Eget verk, GFDL 1.2, <https://commons.wikimedia.org/w/-index.php?curid=585732>)

Halm inneholder i likhet med trevirke lignocellulose. Tørr halm fra hvete inneholder 35-39 % cellulose, 23-30 % hemicellulose, og 12-16 % lignin, mens innholdet i halm fra rug er 36-43 % cellulose, 24-33 % hemicellulose og 6-9 % lignin [2]. På samme måte som trevirke kan halm prosesseres for å gi fermenterbare sukkere som kan benyttes i fermenteringsprosesser (se Kap. 3.4.3). Teknologien er den samme som for trevirke og fôrpotensialet per tonn tørrvekt vil grovt sett være det samme som for trevirke (se over). Fordi lignininnholdet i halm er lavere, er det lettere å frigjøre cellulosen og hemicellulosen i halm enn i trevirke. Halm er også lettere tilgjengelig for innsamling enn mye av den skogen som ikke høstes i dag. Imidlertid er det norske ressursgrunnlaget mindre enn en tidel av ressursgrunnlaget i form av trevirke (Tabell 3-10).

Halm er også lettere tilgjengelig for innsamling enn mye av den skogen som ikke høstes i dag. Imidlertid er det norske ressursgrunnlaget mindre enn en tidel av ressursgrunnlaget i form av trevirke (Tabell 3-10).

**Tabell 3-10** Teoretisk tilgjengelige sukkere fra norsk, lignocellulose-basert biomasse og et konservativt anslag for hvor mye encelleprotein dette kan gi grunnlag for å produsere. I praksis kan neppe mer enn 20-25 % av potensialet realiseres.

Råvare	Årlig tilvekst [1000 m <sup>3</sup> ]	Tilgjengelig*		Sukker [1000 tonn]	Teoretisk utbytte av protein [1000 tonn]
		[1000 m <sup>3</sup> ]	[1000 tonn ts]		
Skog	25 000	15 000	6 000	4 000	800-900
Skog restråstoff (GROT)	4 600	4 600	1 800	1 300	230
Halm	-	-	500	350	70
Sum	-	-	8 300	5 530	1 106

\* Ikke utnyttet for andre formål

#### 3.2.5.2 Gras

Gras inneholder 10-20 % råprotein (av tørrvekt) avhengig av høstetidspunktet. I Norge produseres 6.7 millioner tonn (tørrstoff) gras årlig, tilsvarende 870 tusen tonn råprotein på årsbasis [3]. Teoretisk

kan norsk gras dekke dagens behov for protein til fiskeoppdrett. Det kreves imidlertid prosessering og anrikning av proteinet for at det skal kunne utnyttes av andre enn drøvtyggere. Teknisk kan dette gjøres ved at graset først kjøres gjennom en skruepresse for å separeres i en fiberrik fraksjon og grønn pressvæske. Fra pressvæsken skilles proteinene så ut, eventuelt etter en forutgående melkesyre-gjæring for å lette utskillelsen av proteinene [4]. Dette grasproteinet er tilgjengelig for en-magede dyr, og da i prinsippet også for fisk. Det har også vært en viss interesse for grasprotein som organisk proteinkilde for mennesker hvor man kutter ut mellomtrinnet (drøvtyggeren), men proteinpulver fra gras har en bitter smak som må maskeres [5]. En slik bittersmak kan også bli en utfordring ved anvendelse til fisk. Kvaliteten på proteinet mht aminosyrer avhenger av plantarten, men er generelt sammenlignbart med soyaprotein.

I 2017/18 pågikk et samarbeidsprosjekt mellom Norsvin, Felleskjøpet, Nortura, NIBIO, Miljøfor Norge og Hedmark Kunnskapspark AS ved BioSmia og støttet av Innovasjon Norge, for å undersøke om presset grassaft kunne egne seg som fôrkilde til svin. Her ble forskningsutfordringene skissert som følger [6]:

- 1) Tunge og lettfordøyelige næringskomponenter i gras må separeres.
- 2) Lettfordøyelige næringskomponenter må stabiliseres, slik at de ikke brytes ned og går tapt.
- 3) Det må produseres et visst kvantum med essensielle aminosyrer per arealenhet.

Tall fra prosjektet [6] indikerer ca. 20 kr/kg protein, men det er mulig verdifastsettelsen her var basert på verdien av proteinet for landbruket og ikke produksjonskostnadene. Verdiene av restfraksjonen (trevlefraksjonen) var ikke tatt med. Trevlefraksjonen fra produksjon av grassaft inneholdt ca. 142 kg protein per dekar [6], og resultater fra danske undersøkelser indikerer at trevlefraksjonen etter pressing ble et bedre fôr for drøvtyggere [7].

Ifølge Enger & Ingvoldstad [7] kan gras produsere mer protein per dekar enn belgvekster, oljevekster og korn i Norge. Utbyttet av grasprotein i grassaft, 80 kg/dekar, er ikke veldig mye lavere enn utbyttet av soyaprotein i Brasil, 100 kg/dekar.

I prosjektet over ble det produsert ca. 80 kg protein egnet for enmagede dyr per dekar, hvorav 2/3 ble høstet i de to første av fire slåtter (eng i Brøttum øst for Mjøsa). For å produsere 100 tusen tonn protein (5 % av estimert behov til oppdrettslaks i 2050) kreves 1.25 millioner dekar engmark (1250 km<sup>2</sup>). I 2014 hadde Norge ca. 8.7 millioner dekar dyrket mark.

### Referanser

1. Belbo, H. 2011. *Halm som biobrensel*. Rapport 22/2011, Norsk Institutt for Skog og Landskap.
2. Passoth, V. og Sandgren, M. 2019. Biofuel production from straw hydrolysates: current achievements and perspectives. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **103**: 5105-5116
3. Thuen, A.E. og Tufte, T. 2017. *Engdyrking og grovfôr kvalitet*. Rapport 11 – 2017, AgriAnalyse
4. Santamaria-Fernandez, M., Molinuevo-Salces, B., Kiel, P., Steinfeldt, S., Uellendahl, H. og Lübeck, M. 2017. Lactic acid fermentation for refining proteins from green crops and obtaining a high-quality feed product for monogastric animals. *J. Cleaner Prod.* **162**: 875-881
5. Southey, F. 2019. Extracting protein from grass; "It should be cheap to buy, offer good functionality in food, and it must be cheap". Food Navigator.com. <https://www.foodnavigator.com/Article/2019/11/13/Could-grass-protein-be-the-next-new-plant-based-food-ingredient>
6. Svineportalen. 2018. Grassaft til gris. <https://svineportalen.no/grassaft-til-gris/>
7. Enger, E.G. og Ingvoldstad, A. 2018. Kan grasprotein bli nytt grisefôr? <https://svineportalen.no/kan-grasprotein-bli-nytt-grisefor/>

### 3.3 Restråstoff fra slakting av varmblodige dyr og fjørfe

Slakting av varmblodige dyr og fjørfe (primært kylling) i Norge genererer betydelige mengder restråstoff i form av bein, skinn, innvoller, fjær og fett. I 2015 ble det slaktet (biomasse ved slakt) 187 tusen tonn svin, 159 tusen tonn storfe, 55 tusen tonn lam/sau, 112 tusen tonn kylling og 16 tusen tonn kalkun [1]. Andelen restråstoff av levende vekt for storfe er ca. 60 %, for lam/sau 63 %, for gris 37 % og for fjørfe 45 % (kalkun) - 51 % (kylling) [1]. I 2015 genererte dette samlet 264 tusen tonn restråstoff. Ikke alt restråstoff er tilgjengelig for videre utnyttelse. En del følger med kjøttet ut til forbruker, f.eks. bein på koteletter. Totalt restråstoff ved slakt av kylling er ca. 51 %, men bare omkring 33 % er tilgjengelig for utnyttelse ut fra slakteriene, i hovedsak hoder, føtter, innvoller og fjær [1]. Noe av "restråstoffet", bedre kalt plussprodukter, har allerede verdifulle anvendelser som f.eks. en del skinnprodukter [1].

Grunnet risiko for overføring av spongiforme encefalopatier (TSE) er bruk av slakteavfall fra drøvtyggere i fôr til matproduserende dyr, inkludert laks, forbudt i Norge og EU [2]. Forbudet omfatter også slakteavfall fra ikke-drøvtyggere, med unntak for blodmel fra ikke-drøvtyggere og proteinhydrolysater (molvekt <10 kD) [2]. Dette innebærer at det i dag kun er griseblod (og eventuelt blod fra slakting av fjørfe) og fjærmel (se under) som kan anvendes i fôr til laks, med mindre man bygger opp en prosess for hydrolyse av proteiner fra annet slakteavfall. I 2015 ble det generert knapt 13 tusen tonn blod (våtvekt) fra grisene som ble slaktet [1]. I 2015 gikk det meste av blodet til destruksjon [1]. Hvis vi antar 10-15 % protein i blodet tilsvarer dette 1-2 tusen tonn protein. Antar vi i snitt 20 % protein i slakteavfallet som i 2015 utgjorde 264 tusen tonn, tilsvarer dette om lag 53 tusen tonn protein, eller 2.5 % av det estimerte behovet for protein til laks i 2050. I praksis er det imidlertid bare en mindre del av dette restråstoffet som vil være tilgjengelig for hydrolyse, i beste fall kanskje halvparten, slik at det maksimale potensialet er i området 25-30 tusen tonn protein. Hydrolyse av proteinet til peptider på mindre enn 10 kDa (ca 90 aminosyrer) kan også bli en kostbar prosess. Anvendelse av slakteavfall i fôr til laks har viktige konkurrenter i fôr til pelsdyr og kjæledyr. Pelsdyrnæringa er under avvikling i Norge, men eksport til andre land er fortsatt mulig. Både pelsdyr og kjæledyr har den fordel at de ikke er matproduserende dyr og derfor ikke omfattes av restriksjonene angående TSE.

#### **Prion (proteinholdig infeksiøs partikkel) og overførbare spongiforme encefalopatier (TSE)**

Prioner er små proteiner (ca 250 aminosyrer, dvs molvekt ca 28 kD) med noe uklar funksjon som finnes naturlig hos alle pattedyr og som kan omformes og gi alvorlig, livstruende sykdom, bl.a. kugalskap (Bovine Spongiform Encephalopathy, BSE) hos storfe og skrapesyke hos sau. Prioner er lite påvirkelige av kjemiske desinfeksjons- og steriliseringsmidler, stråling og varme. Destruksjon krever langvarig autoklaving ved svært høye temperaturer.

Prionproteiner gir langvarig, dødelig sykdom med symptomer med sentralnervesystemet som mentale forstyrrelser og ufrivillige bevegelser. Det finnes ingen behandling for prionsykdommer.

Prionsykdommer forekommer både hos mennesker og dyr og er overførbare mellom forskjellige arter, for eksempel fra storfe til menneske. Smitteveiene for prionsykdommer er injeksjon, vevstransplantasjon, kontakt med kontaminert medisinsk utstyr og matinntak. Bruk av dyreb Bestanddeler i fôr til matproduserende fisk og dyr er derfor strengt regulert og med betydelige begrensninger (basert på Store Medisinske Leksikon på nett).

Fett fra varmblodige dyr er mett, har høyt smeltepunkt og er lite egnet i fôr til laks [2]. Fett fra kylling har noe høyere innhold av flerumettede fettsyrer [1], men generelt er slakteavfall fra varmblodige dyr primært kilde til proteiner og aminosyrer i fôr til laks.

### 3.3.1 Fjørfe

I 2019 ble det produsert 107 tusen tonn fjørfeslakt i Norge [3]. Basert på tallene over genererte dette omkring 53 tusen tonn tilgjengelig restråstoff (våtvekt) fra fjørfe. I Chile og Canada blir biprodukter fra kyllingproduksjonen benyttet i fôr til laks, i hovedsak som "poultry by-product meal" (PBM) og hydrolysert fjærmel [2], men i Norge og EU er bruk av PBM som nevnt over, forbudt,

Store sidestrømmer fra fjørfe som fjær, skjærebein og eggeskall, har noen mulige anvendelser som ingredienser i fiskefôr. Hydrolyse av disse sidestrømmene gir tre fraksjoner; hydrolysater, fett og sedimenter. Utnyttelsen av disse fraksjonene er ulik basert på egenskaper og kvalitet. Nedenfor er noen mulige anvendelser av sidestrømmene som ingredienser i fiskefôr vurdert.

Nortura-selskapet Norilia har drevet innovasjon og forskning for å utvinne mer av sidestrømmene fra husdyr og egg til mat. Produksjonen i Nortura Eggprodukter AS på Revetal utenfor Tønsberg genererer 800 tonn eggeskall per år. Eggeskall inneholder omtrent 33 % kalsium (95 % i form av  $\text{CaCO}_3$ ), 5 % nitrogen, 2.8 % magnesium, 0.8 % fosfor og 0.5 % svovel og kalium. SINTEFs CYCLE prosjekt har vist at eggeskall kan brukes både til kalking av jord, til mat og til dyrefôr. Føringforsøk med mink utført av Norilia viste at opptaket av kalsium var bedre enn for vanlig kalk (CYCLE, 2017, SINTEF).

Fjær utgjør 5-7 % av vekten av en kylling [8]. Den norske produksjonen av fjørfe tilsier således at norske slakterier genererer 6-9 tusen tonn fjær årlig. Hvor mye av dette som i dag er tilgjengelig for videre prosessering er ukjent, men trolig minst 2 tusen tonn. Fjær inneholder om lag 80 % av våtvekt protein, i all hovedsak keratin [9]. Tilgjengelige fjær for videre prosessering i dag representerer således ca 1600 tonn protein. På sikt kan dette tallet kanskje øke 2-3 ganger dersom økonomien tilsier at en bedre håndtering av fjærfraksjonen svarer seg for slakteriene.

Fjær går i dag til fôr for pelsdyr, men pelsdyrnæringen i Norge er under avvikling. Fordøyeligheten av fjær i naturlig tilstand er lav, men behandling med sulfitt ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) gjør at aminosyrer som cystein blir tilgjengelig. Hydrolyse av kyllingfjær ved varmebehandling (autoklaving) i nærvær av lave konsentrasjoner av  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  gir en næringsverdi som er velegnet til laks, og mel produsert fra fjær er en potensiell føringrediens til laks [5]. I forsøk med den tropiske ferskvannsfisken "pomfret" (*Colossoma macropomum*) kunne fjærmel erstatte opptil 100 % av fiskemel i fôret [6]. Men teknologien må oppskaleres og føringforsøk på laks gjennomføres før fjærmel kan bli en ingrediens i fôr til laks.

### 3.3.2 Annet

I SFI'en 'Foods of Norway' undersøkte NMBU bruk av sidestrømmer fra kjøttindustrien som nitrogenkilde for produksjon av gjær. Resultatene indikerte at gjærprotein kan brukes som proteinkilde og kan ha positiv helseeffekt på husdyr og laks [7].

### 3.3.3 Samlet vurdering

Med dagens restriksjoner på bruk av slakteavfall fra varmblodige dyr i fôr til laks er maksimalt anvendelig kvantum (blod og fjær) kanskje 2-4 tusen tonn protein per år, eller 0.2-0.4 % av det estimerte behovet for protein i 2050.

Hydrolyse av proteiner i andre fraksjoner av slakteavfall til peptider (<10 kDa) kan gjøre også disse anvendelige i fôr til laks, men uansett er det totale potensialet i form av restråstoff fra slakting av varmblodige dyr og fjørfe begrenset, i høyden kanskje 25-35 tusen tonn protein per år. Slakteavfall fra varmblodige dyr er ikke en aktuell kilde til lipid i laksefôr.

#### Referanser

1. Lindberg, D., Aaby, K., Borge, G.I. A., Haugen, J.-E., Nilsson, A., Rødbotten, R. og Sahlstrøm, S. 2016. *Kartlegging av restråstoff fra jordbruket*. Nofima rapport nr 67, 2016.
2. Sørensen, M., Berge, G.M., Thomassen, M., Ruyter, B., Hatlen, B., Ytrestøyl, T., Aas, T.S. og Åsgård, T. 2011. *Today's and tomorrow's feed ingredients in Norwegian aquaculture*. Nofima report 52/2011.
3. Statistisk sentralbyrå, 2020, <https://www.ssb.no/slakt>
4. Anonym. 2019. 10 konkrete muligheter i bioøkonomien. Landbruk.no. <https://www.landbruk.no/bioekonomi/10-ting-konkrete-muligheter-i-bioekonomien/>
5. Adler, S.A., Slizyte, R., Honkapää, K., og Løes, A.-K. 2018. *In vitro* pepsin digestibility and amino acid composition in soluble and residual fractions of hydrolyzed chicken feathers. *Poult. Sci.* **97**: 3343-3357. doi: 10.3382/ps/pey175
6. Ekawati, A.W., Yuniarti, A. og Marsoedi, M. 2016 Chicken feather silage meal as a fish meal protein source replacement in feed formula of pomfret (*Colossoma macropomum*). *Res. J. Life Sci.* **3**: 98-108 <https://rjls.ub.ac.id/index.php/-rjls/article/view/123/117>
7. Norilia, 2019. *Doktorgradsstudie viser potensial for plussprodukter i gjærproduksjon til fôr*. Foods of Norway. <https://www.norilia.no/nyhetsartikler/ph-d-foodsof-norway>
8. Onifade, A.A., Al-Sane, N.A., Al-Musallam, A.A., og Al-Zarban, S. 1998. A review: Potentials for biotechnological applications of keratin-degrading microorganisms and their enzymes for nutritional improvement of feathers and other keratins as livestock feed resources. *Bioresource Technol.* **66**: 1-11
9. Taskin, M. og Kurbanoglu, E.B. 2011. Evaluation of waste chicken feathers as peptone source for bacterial growth. *J Appl Microbiol.* **111**: 826-834

## 3.4 Dyrkede organismer

### 3.4.1 Insekter

Insekter kan være en kilde til protein i fôr til fisk, men bare i meget begrenset grad tilføre fôret omega-3 fettsyrer.

Insekter er en naturlig del av kostholdet til mange villfisk, inkludert lakseyngel. Likevel var det først i 2017 det ble åpnet for bruk av insektmel i fôr til fisk i EU og Norge. Kun et utvalg arter er tillatt (Tabell 3-11). Larvene (det er insektenes larver som dyrkes) må være fôret på et fôr som kun inneholder vegetabiliske

produkter og/eller noen få animalske produkter, bl.a. fiskemel, blodmel fra ikke-drøvtyggere, egg- og melkeprodukter, og honning. Gjødse, slam, kjøkken- og matavfall er ikke tillatt [1]. Larvene må være bearbeidet med en godkjent metode. Bruk av levende insekter/larver er ikke tillatt. Foreløpig er insektmel kun tillatt brukt fiskefôr, men ventes å bli godkjent i EU i fôr til fjørfe og svin i løpet av 2020/21. Oljer og hydrolysert protein fra insekter er tillatt i fôr til alle matproduserende dyr [1].

Insektlarvene dyrkes tradisjonelt i store flate kar hvor de spiser av føden de er gitt og vokser og utvikler seg før de høstes før de forpupper seg. Karene er gjerne stablet flere i høyden med en liten åpning mellom dem for å sikre god lufting, og i en hall med kontrollert temperatur og luftfuktighet. Ved høsting skilles larvene fra fôret ved sikting, ofte kombinert med vannvask for å fjerne fôr- og avføringsrester. Deretter går larvene uten mat ved 4 °C i 12-24 timer for å tømme tarmen før videre prosessering. Første trinn er ofte en varmebehandling for å drepe larvene, inaktivere deres enzymer og drepe eventuelle enterobakterier og annet.

#### 3.4.1.1 Insektlarver som fôr

##### *Ernæringsmessige egenskaper ved insektlarver som fôr*

Insektlarver har et høyt protein- og lipidinnhold (Tabell 3-12). Proteinene er godt balansert med hensyn til essensielle aminosyrer. Lipidinnholdet kan variere betydelig avhengig av fôret, og fettsyresammensetningen vil i noen grad reflektere fettsyrene i fôret. Ved å dyrke larvene på fôr med høyt innhold av omega-3 fettsyrer kan fettene i noen grad anrikes på disse fettsyrene, men innholdet vil fortsatt være lavt, opptil 2.7 % av fettsyrene [27]. I fôrsammenheng er det i første rekke insektmel som er av interesse. Dette kan leveres både med og uten fett.

##### *Insekter i fôr til laks i dag*

Studier av fôr med opptil 85 % av proteinet fra insekter har vist at både veksten til laksen og kvaliteten på kjøttet er helt på linje med fisk produsert på tradisjonelt fôr [4-6].

**Tabell 3-11** Tillatte insektlarver i fôr til fisk [1].

Norsk navn	Engelsk navn	Latinsk navn
Svart soldatflue	Black soldier fly	<i>Hermetia illucens</i>
Melbiller	Yellow mealworm	<i>Tenebrio molitor</i>
	Lesser mealworm	<i>Alphitobius diaperinus</i>
Sirisser	House cricket	<i>Aceta domesticus</i>
	Tropical house cricket	<i>Gryllodes sigillatus</i>
	Jamaican field cricket	<i>Gryllus assimilis</i>
Husflue	Housefly	<i>Musca domestica</i>



**Tabell 3-12** Innhold av råprotein og lipid i svart-soldatflue-larver (BSF-larver) og larver av melbillen *T. molitor*, og mel av disse.

Insektlarve		Tørrstoff (ts) (%)	Råprotein (% av ts)	Eterekstrakt (≈ lipid) (% av ts)	Ref.
<i>H. illucens</i>	Hele larver	~31-33	41 - 44	15 - 35	2, 13
	Insektmel	92 - 99	38 - 59	11 - 30	3, 25
<i>T. molitor</i>	Hele larver	~31-33	47 - 60	31 - 43	2, 13
	Insektmel	96 - 99	52 - 59	17 - 31	3, 25

Skretting har i dag et fôr for settefisk på markedet, Nutra Buzz, som inneholder insektmel [7]. Dette fôret inneholder mel av larver av svart soldatflue (Black Soldier Fly, BSF) (Figur 3-13), men innblandingsnivået er ikke gitt. Volumet er imidlertid begrenset. Ifølge Fiskeribladet signerte Skretting i juni 2019 en avtale med Protix i Nederland om leveranse av 200 tonn insektmel [8]. Andre leverandører som BioMar har også fôr som inneholder insektmel, men ikke til det norske markedet. Ifølge Skretting var det i 2018 for lite tilgjengelig insektmel til bruk i stor skala på det europeiske markedet [10].

#### ***Insektmel som proteinkilde er i dag kostbart sammenlignet med alternativene***

Protein fra ulike aktuelle råvarer til fiskefôr koster for tiden 12-30 kr/kg og 11-27 kr/kg råprotein (se Tabell 2-1, side 13). Ifølge en rapport fra ABN-AMRO [18] var handelsprisen på BSF-larver i 2015 2-3 Euro/kg og prisen per kg (rå)protein 5-10 Euro (50-100 kr). For melbille-larver var handelsprisen 4.75 Euro/kg og prisen per kg (rå)protein 9.5 Euro (ca 95 kr). Insektmel inneholder betydelige mengder ikke-protein N og dette synes ikke hensyntatt i rapporten fra ABN-AMRO.

Analyser av 18 partier fettfritt insektmel for protein basert på den "tradisjonelle" faktoren N x 6.25, ga 68-82 % råprotein, bl.a. avhengig av insektarten. Proteininnholdet bestemt ut fra innholdet av aminosyrer, utgjorde imidlertid bare 35-68 % av råproteininnholdet [19]. Dette er en betydelig større forskjell enn for fiskemel og soyamel, hvor ekte protein utgjør henholdsvis ca 86 og 91 % av råprotein [20]. I mel av BSF-larver utgjorde ekte protein i gjennomsnitt (8 analyser)  $47 \pm 7$  % av råprotein [19]. Benytter vi tallene fra ABN-AMRO, men regner om til pris per kg virkelig protein, gir dette en pris på protein i form av BSF-mel på 115-230 kr/kg. Det er ventet at på sikt vil prisen på insektmel synke, både grunnet økte produksjonsvolum og forbedret teknologi. I noen artikler, f.eks [14], benyttes en pris på ca 1 Euro/kg for BSF-larver, uten at det gis noen begrunnelse for dette anslaget. Men selv med denne prisen vil prisen per kg protein være mer enn det dobbelte av prisen for protein fra fiskemel. Det vil trolig gå mange år før insektmel kan konkurrere med fiskemel på pris per kg protein, hvis



**Figur 3-13** Larver av svart soldatflute (*Hermetica illucens*) er ca 10 mm lange når de klekkes og vokser til ca 25 mm før de forpupper seg. (Bilde fra Wikipedia By MD-Terraristik – Laut [1] ist Dennis Kress Mitinhaber des Unternehmens - www.MD-Terraristik.de, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15968812> )

noen gang, og insektmel vil neppe kunne konkurrere med soyamel og soyaproteinkonsentrater på pris per kg protein. Oppdrett av insekter har miljømessige fordeler som resirkulering av avfall, god fôrutnyttelse og lavt klimagassutslipp per kg produkt, og dette kan gjøre insektprotein foretrukket i enkelte markeder, kanskje spesielt i fôr til kjæledyr.

### 3.4.1.2 Produksjonsvolum på kort og lang sikt

#### *Produksjonsvolumet av insekter i dag og de nærmeste år*

Produksjonen av insektlarver har fram til det siste tiåret vært preget av små volum, typisk noen hundre tonn per år, og mye manuelt arbeid. Men de siste årene har produksjonen økt betydelig og fått et mer industrielt preg. Anlegg med en produksjonskapasitet på 10-25 tusen tonn larver (våtvekt) per år er realisert eller planlagt, trolig med høy grad av automatisering av tidligere manuelle operasjoner. Det framgår ikke av litteraturen om anlegg med en kapasitet på 100 tusen tonn eller mer er realistisk på sikt, men ettersom larvene i hovedsak føres på ulike organiske restavfall, særlig fra landbruket, kan det være en fordel med en noe desentralisert struktur for å begrense transporten av larvenes fôr.

Globalt er produksjonen av insekter og insektlarver til mat og fôr raskt økende. Anslag for vekstraten er ofte 10-15 % per år, og noen anslag gir tall godt over 20 % [11, 12]. Det er likevel vanskelig å finne estimater for den samlede globale produksjonen i dag i tilgjengelig litteratur. Ifølge Peters [13] var den globale produksjonen i 2015 av BSF-larver 7564 tonn (2 521 tonn tørrvekt). I Nederland og Belgia ble det samme år produsert 2 694 tonn melbille-larver (898 tonn tørrvekt). Ifølge Research and Markets [11] var markedsverdien i 2018 av det globale markedet for insekter til fôr 688 millioner dollar. Antar vi i snitt 10 USD per kg for insektmel, gir dette 69 tusen tonn i 2018, som med 15 % årlig vekst gir 370 tusen tonn i 2030. Meticulous Reserach [12] estimerte et volum for "edible insects" på 733 tusen tonn i 2030 basert på en antatt årlig vekst i perioden 2018-2030 på 27.8 %. Omregnet til tørrstoff blir dette ca. 250 tusen tonn per år i 2030. Regner man bakover basert på Meticulous Research sine tall, var den globale produksjonen i 2018 39 tusen tonn. Nederland er i dag den største produsenten i Europa, og Protix åpnet i 2019 det til da største anlegget for industriell produksjon av insekter. Dessverre ble det ikke opplyst hva dette innebar i tonn per år utover at det økte Protix's produksjonskapasitet 10 ganger. I 2015 produserte Protix ifølge Peters [13] 1560 tonn BSF-larver, så trolig har anlegget en kapasitet på 15-20 tusen tonn. Ifølge Fiskeribladet [8] er det planer om et anlegg i Danmark som skal produsere vel 10 tusen tonn insekter per år fra 2023, mens det i Bjugn i Trøndelag i 2016 var planer om et anlegg for 25 tusen tonn insekter i året [9]. Det er også nyere planer om dyrking av insekter i Norge. Ålesundbedriften Metapod, som startet opp i 2018, satser på dyrking sirisser for laksefôr [24], men produksjonsvolum er ikke gitt.

Tallene er beheftet med stor usikkerhet og sprikende, og det er ikke alltid klart om det er snakk om våtvekt, tørrvekt eller mel. I global sammenheng er Kina en stor aktør. Her benyttes insekter som fôr til gris og fjørfe [11]. Samlet indikerer tallene at det globalt i 2030 i beste fall kan dreie seg om noen hundre tusen tonn insekter per år til fôr, tilsvarende kanskje 50-150 tusen tonn insektmel per år.

#### *Produksjonsvolum på lengere sikt – muligheter og begrensninger*

Dagens europeiske (og norske) regler for oppdrett av insektlarver til bruk i fôr for matproduserende dyr (inklusive laks) kan bli en begrensning. I dag produseres insektlarver til fôr i Europa i hovedsak på landbruksavfall som frukt, grønnsaker og korn/kornrester [21]. Andre aktuelle fôrkilder er mesk

fra øl- og vinproduksjon, og i noen grad kan også tang og tare utnyttes, men ikke som eneste fôrkilde [22]. Det er imidlertid uklart hvor store volumer som finnes av disse avfallene totalt i Europa. Videre har insekter generelt [23], og også vist for larver av melbillen *T. molitor* [24], de samme krav til essensielle aminosyrer som pattedyr. Dette vil påvirke utnyttelsen av spesielt lav-protein fôrkilder. Insektlarver kan oppkonsentrere essensielle aminosyrer i fôret og gjøre dem lett tilgjengelige for dyr og fisk, men de produserer ikke nye essensielle aminosyrer. Imidlertid kan det, parallelt med at larvene beiter på fôret, skje en mikrobiell vekst av bakterier og sopp i fôret. Disse kan normalt selv syntetisere alle aminosyrer og kan slik anrike et ellers aminosyrefattig larvefôr på aminosyrer og i tillegg øke mengden av essensielle aminosyrer. Disse ender i neste omgang opp i larvene når disse spiser mikroorganismene sammen med det øvrige fôret.

Det virkelig store fôrpotensialet for insektlarver i Europa er matavfall, estimert til ca 90 millioner tonn per år i Europa (= EU?) [21], mens matavfall globalt er estimert til ca 1.5 milliarder tonn, hvorav 30-35 % kan være aktuelt som fôr til insektlarver [26]. Det europeiske matavfallet kan teoretisk gi 45-50 millioner tonn insekter (våtvekt) per år [14]. Matavfall fra husholdninger er imidlertid neppe aktuelt, men IPIFF (The International Platform of Insects for Food and Feed) arbeider for at matavfall fra industri og storkjøkken skal bli tillatt gitt til insektlarver som skal inngå i fôr til matproduserende dyr. Det springende punktet er at da må også fisk- og kjøttrester i avfallet inngå. Det er spesielt frykten for overføring av prioner (TSE), men også mulighetene for patogene mikroorganismer, mykotoksiner og akkumulering av tungmetaller som gjør regulatoriske myndigheter skeptiske, mens IPIFF argumenterer med en sirkulær tankegang hvor oppgradering av avfallet til fôr gjennom insekter er et viktig element. Det er svært usikkert i hvilken grad prioner i kjøttavfall som først spises av insektlarver før disse prosesseres og benyttes i fôr til fisk, overhodet kan representere en risiko for sluttbrukeren som spiser laksefileten. Her vil anvendelse til fiskefôr også være tryggere enn anvendelse i fôr til svin og fjørfe. Patogene mikroorganismer kan tas hånd om med gode rutiner, og risikoen for mykotoksiner og akkumulering av tungmetaller synes ikke større enn for de fôrkilder som er tillatt i dag. Det er derfor ikke usannsynlig at om noen år vil "rent" matavfall fra industri og storkjøkken bli tillatt brukt i fôr til insektlarver som skal gå til fôr for matproduserende dyr. I så fall kan den europeiske produksjonen av insektmel kanskje komme opp i 2-5 millioner tonn per år, mens potensialet kanskje bare er noen få hundre tusen tonn per år med dagens regulative begrensninger. Prisen på insektmelet vil imidlertid fortsatt være en utfordring i konkurranse med spesielt soya, men også fiskemel. Globalt kan det kanskje, hvis 500 millioner tonn matavfall omformes til insektmel, produseres i størrelsesorden 100 millioner tonn insektmel per år, men mye av dette vil trolig benyttes lokalt som dyrefôr, og uansett er dette et framtidsscenario.

### 3.4.1.3 FoU-behov og industriaktører

#### *FoU-behov*

Oppdrett av insektlarver er i ferd med å ta skrittet over i industriell skala. Skal insektprotein bli en viktig fôrkomponent må imidlertid prisen betydelig ned og dette betinger mer effektive prosesser og i Europa betydelig grad av automatisering. Forståelsen av fôrets sammensetning for larvenes vekst og utvikling synes begrenset i dag. På sikt kan også tradisjonell "husdyravl" for å utvikle egne stammer med raskere vekst og bedre fôrutnyttelse bli aktuelt. Det synes per i dag ikke å være

vesentlige begrensninger knyttet til IP-rettigheter. Fram til de siste årene har dette vært et felt for spesielt interesserte entusiaster hvor deling av kunnskap for å fremme feltet har vært regelen.

### **Industriaktører**

Protix og Alltech Coppens i Nederland, samt Enviroflight i USA nevnes blant de ledende insektprodusenter i dag [11]. Protix (BSF-larver) er sagt å være verdens største produsent av insekter, mens Alltech Coppens er mer et førselskap enn en insektprodusent. AgriProtein (Insect Technology Group) i Storbritannia og Ynsect i Frankrike (melbillelarver) er også store. I tillegg er det flere selskaper i Kina og et stort antall små oppstartselskaper rundt om i Europa og verden. Oppkjøp og sammenlåinger er også noe som preger dagens situasjon.

### **Referanser**

1. Mattilsynet. 2017. Faktaartikkel. Insekter til bruk i fôr ([https://www.mattilsynet.no/dyr\\_og\\_dyrehold/-for/insekter\\_til\\_bruk\\_i\\_for.25298](https://www.mattilsynet.no/dyr_og_dyrehold/-for/insekter_til_bruk_i_for.25298)).
2. Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuze, V. og Ankers, P. 2014. State-of -the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Sci. Technol.* **197**: 1-33
3. Kovitvadhi, A., Chundang, P., Thongprajukaew, K., Tirawattanawanich, C., Srikachar, S. og Chotimanothum, B. 2019. Potential of insect meals as protein sources for meat-type ducks based on in vitro digestibility. *Animals*, **9**; 155; doi:10.3390/ani9040155
4. Belghit, I., Liland, N.S., Waagbø, R., Biancarosa, I., Pelusio, N. Li, Y. Krogdahl, Å. og Lock, E-J. 2018. Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, **491**: 72-81
5. Belghit, I., Waagbø, R., E.-J. Lock og Liland, N.S. 2019. Insect-based diets high in lauric acid reduced liver lipids in freshwater Atlantic salmon. *Aquaculture Nutrition*, **25**: 343-357
6. Biancarosa, I., Sele, V., Belghit, I., Ørmsrud, R., Lock, E.J. og Amlund, H. 2019. Replacing fish meal with insect meal in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) does not impact the amount of contaminants in the feed and it lowers accumulation of arsenic in the fillet. *Food Additives & Contaminants; Part A*. **36**: 1191-1205
7. Nutra Buzz (<https://www.skretting.com/nb-NO/produkter/laks/nutra-buzz-for-med-insekt/>)
8. Kvile, K. Fiskeribladet. 2019. Ny fabrikk skal produsere insektmel i Nederland. Fôrprodusenten Skretting skal kjøpe mel som kan gå til produksjonen av 5,5 millioner laks (<https://fiskeribladet.no/teknisk/nyheter/?artikkel=67526>).
9. Fosna-Folket 2016. Fosen-gründer vil dyrke frem insektlarver til fiskefôr (<https://www.fosna-folket.no/nyheter/2016/11/17/Fosen-gr%C3%BCnder-vil-dyrke-frem-insektlarver-til-fiskef%C3%B4r-13798794.ece>).
10. Fiskeribladet. 2018. Nå tester Nordlaks ut fôr fra insektmel (<https://fiskeribladet.no/teknisk/nyheter/?artikkel=63030>).
11. Research and Markets. 2020. Global \$1.39 Bn Insect Feed Market, 2024: Insights Into Growth Trends & Opportunities (<https://www.globenewswire.com/news-release/2020/03/09/1996978/0/en/Global-1-39-Bn-Insect-Feed-Market-2024-Insights-Into-Growth-Trends-Opportunities.html>)
12. Meticulous Research. 2019. Edible Insects Market Worth \$7.96 Billion by 2030 - Exclusive Report by Meticulous Research® (<https://www.globenewswire.com/news-release/2019/09/24/1919753/0/en/Edible-Insects-Market-Worth-7-96-Billion-by-2030-Exclusive-Report-by-Meticulous-Research.html>).
13. Peters, M. 2016. *The world of insect production*. Presentasjon på EAAP annual meeting. ([https://meetings.eaap.org/wp-content/uploads/2014/S27\\_02.pdf](https://meetings.eaap.org/wp-content/uploads/2014/S27_02.pdf)).
14. Fowles T.M., Nansen C. 2020. Insect-Based Bioconversion: Value from Food Waste. In: Närvänen E., Mesiranta N., Mattila M., Heikkinen A. (eds) *Food Waste Management*. Palgrave Macmillan, Cham
17. Berk, Z. 1992. *Technology of production of edible flours and protein products from soybeans*. FAO Agricultural services bull. no. 97. Chapter 5. Soybean protein concentrates (SPC) (<http://www.fao.org/3/t0532e/t0532e06.htm>)
18. ABN-AMRO. 2016. *Insectenweek; kleine sector, grote kans* (på nederlandsk) (<https://insights.abnamro.nl/2016/12/insectenweek/>).
19. Lock, E.-J., Biancarosa, I. og Belghit, I. 2018. *Black soldier fly meal in feed for Atlantic salmon*. Slide show fra presentasjon på konferanse. (<https://www.slideshare.net/LukeFinland/black-soldier-fly-meal-in-feed-for-atlantic-salmon-erikjan-lock-havforsknings-instituttet>).
20. Chanzanagh, E. G., Seifdavati, J., Gheshlagh, F. M. A., Abdibenemar, H. og Seyedsharifi, R. 2019. Protein fractions of some plant and animal sources using CNCPS method. *Asian J. Res. Animal Vet. Sci.* **3**: 1-6

21. IPIFF, 2019. *The International Platform of Insects for Food and Feed – building bridges between the insect production chain, research and policymakers* (<https://ipiff.org/wp-content/uploads/2019/09/07-09-2019-The-Contribution-to-the-Horizon-Europe-Co-design-survey-of-IPIFF.pdf>)
22. Liland, N.S., Biancarosa, I., Araujo, P., Biemans, D., Bruckner, C.G., Waagbø, R., Torstensen, B.E. og Lock, J.-E. 2017. Modulation of nutrient composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae by feeding seaweed-enriched media. *PLoS ONE* **12**(8): e0183188.
23. Chapman, R.F. 1998. *The Insects. Structure and Functions*. 4<sup>th</sup> ed. Chapter 4. Nutrition.
24. Davis, G.R. 1975. Essential dietary amino acids for growth of larvae of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor* L. *J. Nutr.* **105**: 1071-5
25. Marono, S., Picolo, G., Loponte, R., Di Meo, C. Attia, Y.A., Nizza, A. og Bovera, F. 2015. *In vitro* crude protein digestibility of *Tenebrio molitor* and *Hermetica illucens* insect meals and its correlation with chemical composition traits. *It. J. Animal. Sci* **14**:3 DOI 10.4081/ijas.2015.3889
26. Protix. s.a. Facts & Figures. <https://protix.eu/wp-content/uploads/Protix-Facts-ENG.pdf>
27. Barroso, F.G., Sánchez-Muros, M.-J., Segura, M., Morote, E., Torres, A., Ramos, R. og Guil, J.-L. 2017. Insects as food: Enrichment of larvae of *Hermetica illucens* with omega 3 fatty acids by means of dietary modifications. *J Food Comp Analysis* **62**: 8-13

### 3.4.2 Lavtrofiske organismer

Lavtrofiske organismer kan være kilde til både protein og omega-3 fettsyrer i fôr til laks.

Lavtrofiske organismer står langt nede i den marine næringskjeden. Helt nederst står mikro- og makroalger som driver fotosynese og er grunnlaget for nesten all annen oppbygging av biomasse i havet. Dyrking av disse er behandlet i Kap. 3.4.4 og 3.4.5. Over disse står en del organismer som lever av å spise algene eller partikulært organisk materiale (detritus). Noen av disse som børstemark, gammaridaer (tanglopper, m.m.), tunikater (sekkedyr) og muslinger/skjell blir i dag dyrket eller kan dyrkes som mat til mennesker, som fiskeagn eller som fôr til oppdrettsfisk. En fordel med å høste organismer på et lavt trofisk nivå som fôr til fisk, er at for hvert nytt ledd i næringskjeden blir bare 10-20 % av energien bevart. Dyrking av lavtrofiske organismer kan også inngå i ulike strategier for integrert havbruk (IMTA – Integrert MultiTrofisk Akvakultur) hvor målet er at utslipp fra fiskeoppdrett som fôrrester, avføring, nitrogen og fosfor skal fanges opp og helst resirkuleres tilbake til fisken som fôr. Risikoen for også å resirkulere uønskede virus, bakterier, sopp og parasitter setter imidlertid begrensninger her. Andre former for resirkulering som dyrefôr og gjødsel for landbruket kan da være et alternativ.

#### 3.4.2.1 Børstemark

Børstemark tilhører dyregruppen leddormer (Annelida) som igjen kan deles inn i tre hovedgrupper: mangebørstemark (Polychaeta), fåbørstemark (Oligochaeta) og igler (Hirudinea). Gruppen leddormer omfatter omtrent 20 000 arter fordelt på omtrent 85 familier [1, 2], hvorav cirka 15 000 er marine flerbørstemark [3]. Flerbørstemark okkuperer de fleste økologiske nisjer i det akvatiske miljø, fra dyphavssletter og hydrotermiske skorsteiner til tidevannssonen, hvor de lever på eller nedgravd i sedimenter, fritt i vannmassene eller i selvbygde eller innflyttede rørstrukturer. Det er identifisert mer enn 700 arter flerbørstemark i norske farvann, hvorav de fleste er bunnlevende [1]. Størrelsen kan variere fra noen få millimeter opp til flere meter i lengde.

De fleste flerbørstemark lever av å spise partikulært organisk materiale (detritus), som selektive eller ikke-selektive sedimentetere eller filterspisere. Det finnes også arter som lever som symbionter, parasitter eller rovdyr.

#### *Dyrking av børstemark*

Fødeopptak, miljøkrav, størrelse, fekunditet (fruktbarhet) og vekstrater vil være førende for om det det mulig å domestisere og drive akvakultur på børstemark, og om det finnes et kommersielt potensial. For å etablere akvakultur av børstemark i Norge bør det brukes stedegne arter for ikke å risikere å introdusere fremmede arter i norsk natur. I flere land forutsettes det at det ikke brukes fremmede arter for å få akvakultur tillatelse [4]. Kommersiell børstemarkproduksjon kan, i tillegg til å være en bidragsyter til å løfte frem nye fôrstoff, bidra til å redusere overfangst på ville bestander av børstemark, redusere import av fremmede arter, tilrettelegge for nye akvakulturprodukter, variere porteføljen til norsk akvakulturindustri og bidra til å utvikle nye markeder [4].

Å ha god nok kjennskap til biologien til å kunne lukke livssyklusen er en forutsetning for å produsere børstemark. Foreløpig gjelder dette kun for et fåtall arter [4, 5]. Det er også viktig å være klar over at biologien er vist å variere mellom ulike populasjoner av samme art på forskjellige geografiske

lokasjoner [9], som betyr at man ikke kan støtte seg utelukkende på publiserte data, men må forske frem nødvendig kunnskap på stedegne produksjonskandidater. Børstemark-larver har ofte andre miljø- og fôrkrav enn de voksne individene frem til de er ferdig med metamorfosen. Et produksjonsanlegg må derfor bestå både av et klekkeri og et påvekstanlegg som vist i Figur 3-14. De fysiske grunnprinsippene (miljøkrav og abiotiske faktorer) for å etablere akvakultur av børstemark i Norge vil være artsavhengige. De fleste artene det drives akvakultur på i dag tilhører familien Neridae, og disse er kjent å ha bred toleranse for salinitet, temperatur og oksygenverdier, vokse raskt og har høy fekunditet (evne til å produsere egg og avkom) [6]. I tillegg har de ytre befruktning som gjør *in vitro* fertilisering mulig, noe som gir enklere kontroll på reproduksjon og yngelproduksjon.

### **Integrerte systemer**

Flere studier har vist at flerbørstemark kan produseres i integrerte systemer koblet sammen med annen bioproduksjon, hvor avfallsstoffer fra fisk eller skalldyr benyttes som vekstsubstrat til børstemarken [7, 8]. Denne produksjonsmetoden bidrar til å øke fôrutnyttelsen i oppdrett, hvor det med lakseoppdrett som eksempel er estimert at 62-70 % av karbonet, 57-62 % av nitrogenet og 70-76 % av fosforet som finnes i fôret, slippes ut til miljøet [25,26]. Børstemarken kan gjenvinne knappe næringsstoffer som proteiner og fettsyrer fra de partikulære avfallsstrømmene fra anlegget [10, 11]. Foreløpig setter EU-regelverk (TSE-regelverket, animaliebiproduktforskriften) en stopper for å produsere fôrråstoff på denne måten, men dette kan på sikt endres etter hvert som det fremskaffes ny kunnskap om de reelle færemomentene råstoff produsert på denne måten, medfører som fôringrediens. Regelverket tillater produksjon av fototrofe planter og mikroalger på løste uorganiske næringsstoffer i avfallsvannet, og disse kan sekundært brukes som fôr til børstemark. På denne måten kan man produsere børstemark indirekte på avfallstrømmer fra akvakultur, og slik bidra til sirkulær økonomi og god bioøkonomi uten å komme i konflikt med EU-regelverket.



**Figur 3-14** Produksjonsanlegg for børstemark (*Perinereis aibuhitensis*, innfelt) i Dalian, Kina, bestående av både betongrenner (t.v.) og jorddammer (t.h.). I bakgrunnen på bildet til venstre kan klekkeriet hvor larvene som sås ut i utendørssystemet skimtes.

### Ernæringsmessig kvalitet

Børstemark har et høyt proteininnhold med en riktig aminosyreprofil med hensyn til essensielle aminosyrer for marin fisk, og er rik på lipider og langkjedede flerumettede omega-3 fettsyrer (Tabell 3-13). I tillegg inneholder børstemark hormonaktive stoffer som bidrar til kjønnsmodning hos fisk og reker og samtidig øker levedyktighet og kvalitet hos rekeungelen [12]. Dette gjør børstemark til et ettertraktet fôrstoff.

**Tabell 3-13** Sammensetningen av børstemarken *Hediste diversicolor* [10,11].

Komponent	"Dyrket" børstemark ( <i>Hediste diversicolor</i> )	Feltplukkede børstemark ( <i>Hediste diversicolor</i> )
Vann	79-80 % av våtvekt	80-81 % av våtvekt
Protein	54-58 % av tørrvekt	60 % av tørrvekt
Lipid	12-16 % av tørrvekt	11-13-15 % av tørrvekt
Karbohydrater	25-28 % av tørrvekt	37 % av tørrvekt
Aske	10-19 % av tørrvekt	4-9 % av tørrvekt
DHA	4.6-7.8 % av tot. fettsyrer	1.4 ± 0.1 % av tot. fettsyrer
EPA	19-22.6 % av tot. fettsyrer	22.8 ± 0.6 % av tot. fettsyrer

### Høsting av ville bestander

Det foregår kommersiell høsting av ville børstemarkbestander til det internasjonale markedet for agn. Ifølge Watson *et al.* [13] høstes årlig 121 000 tonn børstemark globalt til en estimert markedsverdi på £5.9 milliarder (dvs ca. 500 kr/kg våtvekt), som utelukkende blir brukt som agn, og det er enighet om at etterspørselen kraftig overgår tilgangen.

### Produksjon i dag og i framtiden

Storskala børstemarkproduksjon foregår i utendørs systemer, ofte enkle jorddammer eller betongrenner fylt med sand. Høsting skjer med enkle redskaper (spader, greip) for å snu sedimentet hvorpå børstemarken håndplukkes. Det finnes også spesialisert utstyr til formålet, slik som redskapen som er avbildet på hjemmesiden til Topsy Baits (<https://www.topsybaits.nl/history.html>) som viser en slede/plog med trommel.

Akvakultur av børstemark pågår i dag i Kina (*Alitta virens*, *Perinereis aibuhitensis*, *Urechis unicinctus*; [4]; A. Hagemann, pers. kom.), Australia (*A. virens* og *Diopatra aciculata*), Taiwan (*Perinereis brevicirrata*) og småskala produksjon av *Perinereis* spp. sør i Japan [4], men det er ikke lett å få oversikt over hvilke andre arter som produseres, i hvilken skala produksjonen foregår og hvor mye som produseres. Siam Sand Worm Company i Thailand produserer 60 tonn av børstemarken *Perinereis nuntia* i året, og selger disse til de største rekeprodusentene i Thailand [2]. Ifølge eieren av selskapet produserer de omtrent 3,5 kg børstemark per m<sup>2</sup> i sine systemer. I Nederland har selskapet Topsy Baits etablert produksjon med en kapasitet på over 100 tonn i året. Her planlegges det å utvide produksjonen til å omfatte andre kommersielt interessante arter som blodmark (*Glycera* sp.), fjæremark (*Arenicola marina*) og *Dioptera* sp. På forespørsel oppgir selskapet 20 og 18 €kg<sup>-1</sup> for henholdsvis fersk og frossen *A. virens*. Eksemplene viser at det er mulig å lykkes med akvakultur av børstemark, selv i svært enkle produksjonssystemer.

Grunnet den pågående overfangsten av børstemark er det økende interesse rundt akvakultur, både for å dekke den økende etterspørselen etter børstemark som agn, men også for bruk som lipid og proteinkilde i fisk- og rekefôr ettersom mange studier har vist gode resultater [4]. Det pågår mye grunnforskning for å etablere nye arter i akvakultur, hvorav mye publiseres i åpne vitenskapelige



kanaler. Blant disse, har særlig artene *H. diversicolor* og *Marphysa sanguinea* blitt nøye studert og vurdert som lovende kandidater. SINTEF forsker på *H. diversicolor* i det forskerstyrte prosjektet POLYCHAETE, og har på nåværende tidspunkt lyktes med både reproduksjon og yngelproduksjon i laboratorier. I tillegg er det frembragt og dokumentert ny kunnskap om utviklingsbiologi og dyrkingspotensiale ved bruk av sidestrømmer fra akvakultur som fôr [9, 10, 11, 14]. For å lykkes med å etablere akvakultur på nye arter av børstemark er det fundamentalt at det etableres et godt samarbeid mellom academia og akvakultursektoren.

Det eneste kjente kommersielle selskapet som produserer fôr og fôringredienser av børstemark er ProChaete (<https://www.prochaete.com/>). Selskapet lager fôrråstoff, reke- og fiskefôr av børstemark de kjøper fra produsenter som Topsy Baits. Andre produsenter selger hovedsakelig levende eller frosne børstemark til rekeprodusenter eller sportsfiske.

Et grovt estimat er at dagens globale produksjon av dyrkede børstemark er mellom 100 og 1000 tonn våtvekt per år, tilsvarende 20-200 tonn tørrvekt. Prisen på protein frembrakt på denne måten er, basert på salgsprisen gitt over, 1500-2000 kr/kg protein og 20-25 tusen kr/kg EPA+DHA. Dette er størrelsesordener over dagens markedspriser (se Tabell 2-1, side 13). Nisjeprodukter hvor man utnytter andre egenskaper enn næringsinnholdet av protein og lipid kan være aktuelt, men storskala dyrking av børstemark som protein- og lipidkilde til bulkfôr for laks synes lite aktuelt. Integreerte systemer hvor børstemark utnyttes for å rense avløpsvann og resirkulere fôrrester synes heller ikke i seg selv å kunne gi en konkurransedyktig pris på protein fra børstemark. Men her må prosesser vurderes opp mot hverandre. Gitt at rensing er nødvendig kan det totalt sett falle rimeligere å rense vha børstemark som så selges til den pris man kan oppnå, selv om den prisen er langt under de faktiske produksjonskostnadene for børstemarken, enn å benytte en alternativ renseteknologi som ikke gir et salgbart produkt.

### **Publisering**

Det publiseres jevnlig vitenskapelige artikler om børstemark. De fleste er økotoksikologiske studier hvor børstemark fungerer som modellorganisme (miljøeffekter og -overvåking, reproduksjon, bioremediering av avfallsstrømmer) på grunn av dyregruppens viktige rolle som miljøindikator, i tillegg til at børstemark er viktige byttedyr for mange fiskeslag med stor kommersiell verdi [4].

### **Status IPR**

Det finnes en håndfull patenter som omfatter produksjon av børstemark, men det er ikke gjort noen vurderinger på om disse patentene fortsatt er gjeldende eller om de vil sette begrensninger for å utvikle produksjon av stedegne arter i Norge. Det bemerkes at ingen av patentene omhandler *H. diversicolor*. Patentene som er funnet gjennom søk på internett og i patentdatabaser (JUSTISIA Patent, Espacenet Patent Search) har sitt utspring fra et samarbeid mellom et forskningsmiljø (The University of Newcastle upon Tyne) og et kommersielt selskap (Seabait Ltd) i Storbritannia. I Europa var Storbritannia og Nederland, først ute med akvakultur av børstemark og har også lang tradisjon for høsting av børstemark fra ville bestander. De første kommersielle selskapene som i dag produserer eller har produsert børstemark ble etablert i Storbritannia tidlig på 1980-tallet (Sustainable Feeds Ltd, [www.sustainablefeeds.com](http://www.sustainablefeeds.com) og Shoreline Polychaetes Farm [www.seabait.com](http://www.seabait.com)).

Patentene omfatter blant annet (i) styring av vekst med bruk av lysstyring for arten *Nereis virens* (= *Alitta virens*), alternativt *Marphysa* sp. og eller *Diapatra* sp. (US Patent # 6,360,688), (ii og iii) metoder for akvakultur av børstemark, særlig *Arenicola marina* og *Arenicola defodiens* (US Patent #7,004,109; US Patent #7,156,048, EP1406487A2), (iv) en metode for å indusere kjønnsmodning i Arenicolidae (US Patent #7,568,446) og (v) en metode for å cryopreservere børstemark (*N. virens*) larver (EP1380206A1). Det finnes også en rekke andre patenter som involverer børstemark, som for eksempel en boks for pakking og sending av levende (børste)mark (FR2701355A1), et spesialfôr til børstemark (JPH07322830A) og prosedyrer for cryopreservering av (nectochaeta) larver (KR100667727B1).

### 3.4.2.2 Gammaridaer (tanglopper, marflo, m.m.)

Gammaridaer kan være kilde til både protein og omega-3 fettsyrer, samt kilde til fargestoffet astaxanthin.

Tanglopper er en gruppe små krepsdyr (vanligvis 5-25 mm) med minst 6000 arter på verdensbasis. Det lever nesten 400 marine arter langs Norges kyster. I tillegg har vi fem arter i ferskvann. Tangloppene kalles også for amfipoder. Vanlig marflo (*Gammarus lacustris*, 1-2 cm), er et viktig næringsdyr for ferskvannsfisk, og vel kjent blant sportsfiskere. Marflo bidrar til at ørretens kjøtt blir rødt. Den er utbredt over hele Norge, men foretrekker kalde innsjøer, bl.a. i Nord-Norge og i fjellstrøkene. De to marine gammaridaene, *G. oceanicus* og *G. locusta* (vanlig tangloppe, opp til 2 cm) er gjennom flere generasjoner blitt holdt i kultur ved SINTEF Ocean. Det er gjennomført omfattende studier i laboratoriet der vekst og kjemisk sammensetning er blitt dokumentert. *G. locusta* er noe mindre og har lavere veksthastighet enn *G. oceanicus*, men den kjemiske sammensetningen varierer i langt mindre grad.

I naturen er begge arter tallrike i littoralsonen og finnes i relativt høye tettheter innenfor spesifikke biotoper. De tåler store daglige variasjoner i miljøbetingelsene ettersom de gjennomlever tidevannssyklus to ganger hvert døgn. De miljøparametrene som spesielt påvirker disse organismene er temperatur, lys og vannkvalitet (sensitive for ammonium og variasjon i pH). Begge artene spiser detritus, dvs organisk materiale både fra plante og dyreriket og vil trolig ha betydelig potensial for å utnytte restråstoff både fra landbruket, papirindustrien og fiskeoppdrett. Begge organismene viser høy veksthastighet og reproduksjonsrate når dyrkningsbetingelsene optimaliseres. Generasjonstiden for begge arter avhenger av temperaturen. I dyrkningsforsøk ved 12 °C var generasjonstiden for *G. locusta* og *G. oceanicus* henholdsvis 72 og 41 dager, og den individuelle tørrvekten av de voksne stadiene 31 mg (*G. locusta*) og 52 mg (*G. oceanicus*) [15, 16].

#### **Biokjemisk sammensetning**

Analyser av Gammaridaer fra naturlige populasjoner, og dyrket på tang/tare i kombinasjon med rekeskall, har vist at de har et høyt proteininnhold (Tabell 3-14, neste side). Lipidfraksjon utgjør 6,5 - 14 % av tørrvekten, og inneholder både omega-3 og omega-6 fettsyrer. Analyser ved SINTEF viser at lipidfraksjon består av 22 % omega-3 fettsyrer hvor DHA og EPA utgjør henholdsvis 5 - 10 % og 8 - 12 % av total mengde fettsyrer. Omega-6 fettsyrer (2/3 i form av ARA) finnes hovedsakelig i fosfolipidene (60 %). Restfraksjonen består i hovedsak av triglyserider (25 - 30 %). Lipidinnhold og fettsyresammensetning påvirkes av fôret de spiser [15, 16]. Organismene har et høyt innhold av

karotenoider hvorav astaxanthin utgjør 80 - 85 %. I tillegg inneholder Gammaridaene vitamin E (300-550 ppm), karbohydrater (ca. 8 % av tørrvekt), i hovedsak chitin og beta-glucaner, samt mineraler, herunder kalsium (12 % av tørrvekt) og fluorider (i ppm kvanta) [15, 16].

Den kjemiske sammensetningen og de biologiske egenskapene til disse organismene gjør dem attraktive for kommersiell utnyttelse; herunder fôr eller fôrtilsetning for fisk og fiskelarver, humant konsum, helsekost og smakstilsetninger

**Tabell 3-14** Innholdet av vann, lipid, protein og astaxanthin, samt DHA og EPA (i % av total mengde fettsyrer (FA)) i *G. locusta* og *G. oceanicus* [15, 16].

Tangloppe	Vann (% av våtvekt)	Protein (% av tørrvekt)	Lipid (% av tørrvekt)	DHA (% av totale FA)	EPA (% av totale FA)	Astaxanthin (mg g <sup>-1</sup> tørrvekt)
<i>Gammarus locusta</i>	90	47 - 53	7 - 14	5 - 10	8 - 12	0.36
<i>Gammarus oceanicus</i>	90	48 - 51	6 - 12	7 - 10	9 - 12	0.40

### Regelverket for produksjon til mat og fôr

I regelverket blir Gammaridaene definert som produksjonsdyr og må følge de samme lover og regler som annet oppdrett. Pga TSE-regelverket er det generelt ikke lov å benytte proteiner av *animalsk* opprinnelse (inkludert husholdningsavfall og avføring) som fôr til produksjonsdyr, men restråstoff fra vegetabiliske kilder kan benyttes. Gammaridaer kultivert ifølge regelverket for matproduserende dyr blir definert som *fiskemel*, og kan benyttes i fôr til fisk, fjørfe og svin.

### Industriell produksjon av Gammaridaer

Det er ikke utviklet en fullstendig prosess som muliggjør dyrking av Gammaridaer i industriell skala. Dyrkningsteknologien i dag er på TRL-nivå 5. Det vil si at det er utført laboratorieskala testing under relevante dyrkningsbetingelser for å dokumentere biologiske produksjonsparametere, og viktige tekniske løsninger for hvordan et pilotanlegg for *Gammaridaer* kan konstrueres er klarlagt.

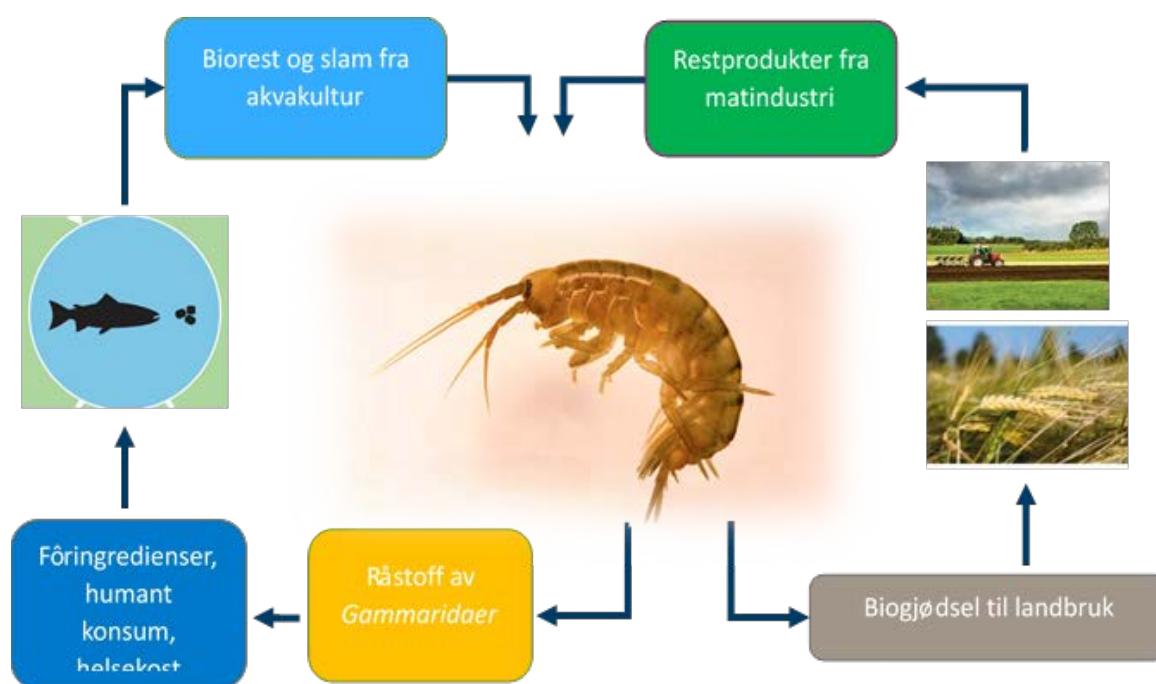
Dyrkningsperioden, det vil si tiden fra Gammaridae - eggene klekker til de når voksent stadium (ikke kjønnsmodne) og kan høstes er artsavhengig. *G. locusta* når voksent stadium etter 72 dager og har en individuell tørrvekt på 28-35 mg, mens *G. oceanicus* som er noe større og samtidig vokser raskere oppnår en tørrvekt på 48-55 mg i løpet av 41 dager. Hvert hunddyr produserer 30-40 egg pr syklus og overlevelsen fra klekking og frem til voksent stadium har i laboratorieforsøk vært 80-90 %. Hvert hunddyr kan produsere avkom 2 - 3 ganger i året. I dyrkningsforsøk med Gammaridaer er det brukt ulike arter tang, stortare, fingertare og sukkertare. Dyrene vokser bra på alle disse substratene.

#### Technology readiness levels (TRL)

- TRL 1 – basic principles observed
- TRL 2 – technology concept formulated
- TRL 3 – experimental proof of concept
- TRL 4 – technology validated in lab
- TRL 5 – technology validated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)
- TRL 6 – technology demonstrated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)
- TRL 7 – system prototype demonstration in operational environment
- TRL 8 – system complete and qualified
- TRL 9 – actual system proven in operational environment (competitive manufacturing in the case of key enabling technologies; or in space)

I noen vekstforsøk ble det i tillegg brukt rekeskall (restprodukt fra rekeindustrien), noe som bidro til å øke innholdet av karotenoider og lipid i dyrene [16].

I det pågående prosjektet BIOCYCLES som ledes av SINTEF Ocean, er ulike typer slam og restråstoffer brukt som fôr til Gammaridaene. Konseptet er skissert i Figur 3-15. Innledende forsøk viste at de spiser partikulært tørket slam og noen av restproduktene fra landbruket, men det er til nå ikke gjennomført vekststudier gjennom en hel generasjonssyklus med disse substratene og man vet derfor ikke produksjonstid eller kjemisk sammensetning.



**Figur 3-15** Konseptskisse som viser hvordan biorest og slam fra akvakultur og restprodukter fra biobasert industri kan benyttes for å produsere Gammaridaer.

Reproduksjon og antall avkom som hvert hunndyr produserer har stor betydning dersom dette skal foregå i industriell skala og det er derfor viktig at biologiske nøkkelfaktorer er klart definert. Det er den kvalitative og kvantitative lysmengden i kombinasjon med temperatur som er de viktigste parametrene som påvirker reproduksjonen til disse organismene.

Tettheten av gammaridaer i produksjonskar kan være høy, opptil 35 kg våtvekt/m<sup>3</sup>. Dyrkningskarene for Gammaridaer bør være mellom 50 og 70 cm dype og bestå av et øvre lag med bioblokk (rør (diameter 60 mm) med grove perforeringer) som øker overflaten i karene og samtidig bidrar god sirkulasjon/vannutskiftning. Fôret plasseres på bunnen av karene og når Gammaridaene spiser vil de bevege seg mellom bioblokken, som de benytter som skjul, og fôret på bunnen. Høsting vil foregå ved at bioblokken løftes ut av karet og tømmes for Gammaridaer. Biomassen kan deretter tørkes ned til 10 % av våtvekten. En ser for seg en rekke muligheter for videreforedling av biomassen for å øke verdiskapningen. Dersom produktsortimentet prosesseres til to hovedfraksjoner slik som helmel

(ikke-fraksjonert) eller fraksjonerte produkter (proteinfraksjon, lipidfraksjon med innhold av karotenoider), kan dette være forretningsområder både innen akvakultur og humant konsum [16].

Antar vi en gjennomsnittlig produktivitet på 0.1 kg tørrvekt gammaridaer per m<sup>3</sup> og døgn, et proteininnhold på 50 % av tørrvekt, og kar med en dybde på 0.7 m, kreves et totalt kar-areal på ca 7.8 km<sup>2</sup> (2.8 x 2.8 km) for å produsere 100 tusen tonn protein per år, som tilsvarer 5 % av det estimerte behovet for protein til laksefôr i 2050. Samtidig vil man få ca 4000 tonn EPA+DHA, tilsvarende 3 % av det estimerte behovet i 2050, og som en bonus ca 80 tonn astaxanthin. Det praktiske dyrkingsarealet kan reduseres dersom karene kan stables opp på hverandre, i beste fall kanskje tre i høyden. Da reduseres nødvendig areal til ca 2.6 km<sup>2</sup> (1.6 x 1.6 km). Mellom karene må det imidlertid gå adkomstveier o.l., slik at det faktiske arealet blir større. Men all produksjon vil neppe foregå i et sentralt anlegg. Gitt 10 anlegg med en årsproduksjon på 10 tusen tonn protein hver, vil karene, stablet tre i høyden, kreve et areal på ca 260 dekar (510 x 510 m). Til sammenligning var i 2016 gjennomsnittlig jordbruksareal i drift per jordbruksbedrift 239 dekar. Salgsverdien av produktene (protein, EPA+DHA, og astaxanthin) per anlegg og år kan løpe opp i 250-350 millioner kroner, noe avhengig formen produktene leveres i.

Utfordringen ved dyrking av gammaridaer for produksjon av protein, marine lipider og astaxanthin er å oppnå et produksjonsvolum som monner, dvs 10-100 tusen tonn våtvekt eller mer per år, og til en kostnad som gjør at protein og EPA/DHA fra denne kilden kan konkurrere med de samme råstoff fra andre kilder. Per i dag mangler anslag for dette, men i Lake Manitoba i Canada ble det på 1980-tallet drevet fangst av marflo (*G. lacustris*) som levende fôr til regnbueørret [17]. Fangstkostnaden ble beregnet til 0.8 USD/kg (våtvekt), som kanskje tilsvarer rundt 2 USD/kg i dag. Proteininnholdet i marfloa var omkring 40 % (av tørrvekt) som gir en pris på omkring 15 USD/kg protein eller grovt regnet 150 kr/kg protein. Innholdet av verdifulle fettsyrer (EPA/DHA) og astaxanthin kan i noen grad kompensere en høy proteinpris, men neppe nok til at selv villfanget marflo kan konkurrere på pris med mer tradisjonelle fôrtiler.

### 3.4.2.3 Tunikater (sekkedyr)

Sjøpunger eller sekkedyr er en klasse av kappedyr som lever det voksne livstadiet som fastsittende filter-spisere, men har et fritt larvestadium. Flere arter, og spesielt *Ciona intestinalis* – grønnsekkedyr, og *Clavelina lepadiformis* – langhalssekkedyr, er vanlige som begroing på tauverk og andre sjøinstallasjoner i norske farvann. Strukturmessig er det voksne individet bygget opp av en kappe bestående i hovedsak av cellulose og et indre vev rikt på proteiner og fett. Et voksent individ av *C. intestinalis* kan bli opptil 15 cm langt og gjerne 2-3 cm i diameter. Sekkedyr vokser gjerne i større eller mindre kolonier (Figur 3-16).



**Figur 3-16** Koloni av grønnsekkedyr (*Ciona intestinalis*).

(Fra Wikipedia. By perezoso - Self-photographed, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1771320>)

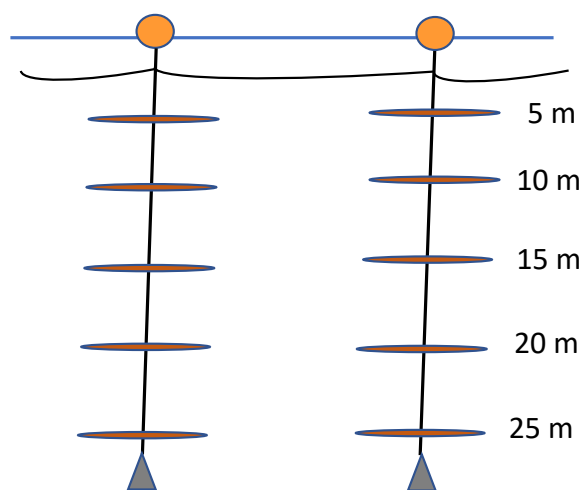
*C. intestinalis* kan dyrkes på sjøinstallasjoner til en konsentrasjon på 2500-10000 individer (200-450 kg våtvekt) per m<sup>2</sup> sjøoverflate [18]. Biokjemisk sammensetning av *C. intestinalis* er gitt i Tabell 3-15.

Basert på tallene i Tabell 3.4-5 vil et utbytte på 250 kg våtvekt per m<sup>2</sup> og år tilsvare 3-4 kg protein per m<sup>2</sup> og år. Dette innebærer at teoretisk kan 100 tusen tonn protein (5 % av estimert proteinbehov i 2050) produseres på et sjøareal på 25-33 km<sup>2</sup>. Under den påfølgende prosesseringen, i det minste den som er beskrevet av Troedsson *et al.* [20], vil imidlertid protein og lipid gå tapt. På grunn av det høye vann- og askeinnholdet ble biomassen først behandlet i en skruepresse (to gjennomkjøringer) og en hydraulisk presse. Etter denne prosessen var restmassen (våtvekt) redusert til 3.7 % av den opprinnelige, vanninnholdet redusert fra 95 til 36 % og innholdet av aske fra 47 til 19 %. Et enkelt regnestykke tilsier da at mens askefri biomasse utgjorde 26.5 g/kg våtvekt biomasse før prosessering, utgjorde askefri biomasse etter prosessering 16.7 g/kg våtvekt opprinnelig biomasse. Grovt regnet reduserte prosesseringen utbyttet av protein med om lag 40 %, og impliserer et utbytte etter prosessering på omkring 2 kg protein/m<sup>2</sup> · år. I dette tilfellet kreves et sjøareal på om lag 50 km<sup>2</sup> for å produsere 100 tusen tonn protein. Det er utvilsomt rom for å forbedre prosesseringen, som er hentet fra en patentsøknad for konseptet dyrking og utnyttelse av sekkedyr som fôr, men inntil det foreligger mer informasjon er et realistisk sjøareal for å produsere 100 tusen tonn protein vha dyrking av sekkedyr trolig i området 33-50 km<sup>2</sup>.

*C. intestinalis* er en fastsittende filterføder og dyrking bør skje på lokaliteter med strøm i havet og det bør være noe avstand mellom lokalitetene. Ettersom organismen gror på hengende sjøinstallasjoner (et mulig design er vist i Figur 3-17), bør det være mulig å automatisere og rasjonalisere høstingen som kan skje fra skip. Det springende punktet er om protein fra *C. intestinalis* ved storskala produksjon kan produseres for en pris som er konkurransedyktig med protein fra mer

**Tabell 3-15** *Sammensetningen av C. intestinalis*

Komponent	Innhold	Referanse
Vann	ca 95 % av våtvekt	[19]
Aske	40-60 % av tørrvekt	[18-20]
Protein	50 % av askefritt tørrstoff	[18]
Karbohydrater	16 % av askefritt tørrstoff	[18]
Lipid	6-14 % av askefritt tørrst.	[18, 20]
EPA	24-25 % av fettsyrene	[18, 20]
DHA	3-11 % av fettsyrene	[18, 20]



**Figure 3-17** Skisse av mulig sjøinstallasjon for å dyrke sekkedyr (basert på [19]). Skiver i en høvelig dimensjon festes til et tau med noen meters avstand nedover i dypet. I enden av tauet henger et lodd, mens en blåse sørger for oppdrift. En serie blåser med tau og skiver kan plasseres i en eller flere rekker på en høvelig lokasjon. Hver skive kan kanskje oppnå 50-100 kg våtvekt sekkedyr før høsting.

tradisjonelle kilder. Det høye innholdet av EPA + DHA i "sekkedyr-mel" gjør at fiskemel er det mest realistiske sammenligningsgrunnlaget.

Ved produksjon av 100 tusen tonn sekkedyr-protein vil man i tillegg få omkring 25 tusen tonn kappe-cellulose og 12-28 tusen tonn lipid med 2-6 tusen tonn EPA og 0.3-2.5 tusen tonn DHA. Estimert behov i fôr til laks i 2050 er 135 tusen tonn EPA + DHA, slik at dersom man produserer nok protein (100 tusen tonn) til å dekke 5 % av proteinbehovet i 2050, vil man samtidig dekke 2-6 % av behovet for EPA + DHA.

Cellulosen i kappen kan, om ønskelig, hydrolyseres til glukose (27-28 tusen tonn) og fermenteres til encelleprotein (12-13 tusen tonn biomasse med 6 tusen tonn protein) eller encelle-olje (7 tusen tonn med 3-4 tusen tonn EPA + DHA) (for detaljer, se Kap. 3.4.3). Et volum på 25 tusen tonn cellulose tilsvarer bare 5 % av den cellulosen som årlig kan høstes fra greiner og topper (GROT) i skogbruket (se Kap. 3.2.3.1), men fordelene med sekkedyr er at cellulosen ikke foreligger som et kompleks med hemi-cellulose og lignin. Dermed er det enklere både å hydrolysere den til glukose og å utnytte glukosen som substrat i fermenteringsprosesser. "Ren" cellulose har også andre anvendelser, men ved storskala dyrking av sekkedyr til fôr vil mengden cellulose trolig bli så stor at bioteknologiske anvendelser (fôr, biodrivstoff) framstår som attraktive.

For å produsere 100 tusen tonn sekkedyr-protein må man, avhengig av utbyttet etter prosessering, trolig høste primærproduksjonen av planteplankton i sjøen fra 3-10 tusen km<sup>2</sup> sjøareal (antar primærproduksjon 80 g C/m<sup>2</sup> · år). Til sammenligning har Nordsjøen et overflateareal på 570 tusen km<sup>2</sup>.

#### 3.4.2.4 Muslinger og skjell

Skjell og muslinger, bl.a. blåskjell, filtrerer føden sin fra havet og er således lavtrofiske organismer. I dag er produksjon til menneskeføde mer aktuelt enn produksjon som fôr til fisk. Proteininnholdet i mel av blåskjell er omtrent 65 % på tørrstoffbasis, mens lipidinnholdet er ca. 8 % [21]. Proteinene er av ernæringsmessig god kvalitet og lipidet er rikt på både EPA (12-21 % av totale fettsyrer) og DHA (16-22 % av totale fettsyrer) [22]. Produksjons- og prosesseringskostnadene må imidlertid betydelig ned og produksjonen betydelig opp før blåskjell blir en aktuell fôrråvare til laks. En lavere pris på muslinger/skjell som følge av effektivisert produksjon vil trolig også øke etterspørselen etter disse som menneskeføde, og anvendelse til fôr vil neppe kunne konkurrere prismessig med anvendelse direkte som mat. I dag spises det mer blåskjell enn laks i Europa [23]. Totalt i verden dyrkes årlig 1.5–2 millioner tonn blåskjell, og en tredjedel av produksjonen skjer i Europa [23]. I Norge produseres i overkant av 2000 tonn blåskjell, og de som produserer klarer ikke å dekke markedet [24].

#### Referanser

1. Nygren, A. og Pleijel, F. 2015. Ringmaskar: Havsborstmaskar, Annelida: Polychaeta. *Art-Databanken, SLU, Uppsala*, 346.
2. Fadhullah, W. og Syakir, M.I. 2016. Polychaetes as ecosystem engineers: agents of sustainable technologies. *Renewable Energy and Sustainable Technologies for Building and Environmental Applications*. Springer, pp. 137-150.
3. Read, G., og Fauchald, K. (Eds.) 2020. World Polychaeta database. Accessed 2020-04-20 at <http://www.marinespecies.org/polychaeta>
4. Pombo, A., Baptista, T., Granada, L., Ferreira, S.M., Gonçalves, S.C., Anjos, C., Sá, E., Chainho, P., Cancela da Fonseca, L. & Fidalgo e Costa, P. 2020. Insight into aquaculture's potential of marine annelid worms and ecological concerns: a review. *Rev. Aquaculture*, **12**, 107-121.
5. Olive, P.J.W., Craig, S., Cowin, P.B.D. 2007. *Aquaculture of marine worms*. U.S. Pat. 7 156 048 issued Jan. 2, 2007.

6. Costa, P.F., Sarda, R. & da Fonseca, L.C. 1998. Life cycle, growth and production of the polychaete *Nereis diversicolor* OF Müller in three lagoonal estuarine systems of the southwestern Portuguese coast (Odeceixe, Aljezur and Carrapateira). *Ecologie*, **29**, 523.
7. Palmer, P.J. 2010. Polychaete-assisted sand filters. *Aquaculture*, 306, 369-377.
8. Brown, N., Eddy, S. & Plaud, S. 2011. Utilization of waste from a marine recirculating fish culture system as a feed source for the polychaete worm, *Nereis virens*. *Aquaculture*, **322**, 177-183.
9. Wang, H., Hagemann, A., Reitan, K.I., Ejlertsson, J., Wollan, H., Handå, A. & Malzahn, A.M. 2020a. Embryonic and larval development in semelparous Nereid polychaete *Hediste diversicolor* (OF Müller, 1776) in Norway: challenges and perspectives. *Aquaculture Research*. Accepted
10. Wang, H., Hagemann, A., Reitan, K.I., Ejlertsson, J., Wollan, H., Handå, A. & Malzahn, A.M. 2019a. Potential of the polychaete *Hediste diversicolor* fed on aquaculture and biogas side streams as an aquaculture food source. *Aquaculture Environment Interactions*, **11**, 551-562.
11. Wang, H., Seekamp, I., Malzahn, A., Hagemann, A., Carvajal, A.K., Slizyte, R., Standal, I.B., Handå, A. & Reitan, K.I. 2019b. Growth and nutritional composition of the polychaete *Hediste diversicolor* (OF Müller, 1776) cultivated on waste from land-based salmon smolt aquaculture. *Aquaculture*, **502**, 232-241.
12. Mandario, M.A.E. 2018. Addressing gaps in the culture of pathogen-free polychaetes as feed in shrimp hatcheries. *Fish for the People*, **16**, 19-23.
13. Watson, G.J., Murray, J.M., Schaefer, M. & Bonner, A. 2017. Bait worms: a valuable and important fishery with implications for fisheries and conservation management. *Fish and fisheries*, **18**, 374-388.
14. Wang, H., Hagemann, A., Uhre, U., Kjørsvik, E., Handå, A. & Malzahn, A.M. and Reitan, K.I. 2020b. The role of manipulating photoperiod and temperature in oocyte development of the polychaete *Hediste diversicolor* (O.F. Müller, 1976). *Frontiers in Mar. Sci., section Marine Fisheries, Aquaculture and Living Resources*. Submitted.
15. Evjemo, J.O. 2007. *Kjemiske analyser av Gammarus oceanicus*. SINTEF Rapport SFH80 F072014 (fortrolig rapport).
16. Evjemo, J.O. 2011. *Pilotproduksjon av Gammaridaer*. SINTEF Rapport SFH80 F18977 (fortrolig rapport).
17. Mathias, J.A., Martin, J., Yurkowski, M., Lark, J.G.I., Papst, M., Tabachek, J.L. 1982. Harvest and nutritional quality of *Gammarus lacustris* for trout Culture [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1982\)111<83:HANOOG>2.0.CO](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1982)111<83:HANOOG>2.0.CO)
18. Troedsson, C. 2018. *Tunicates: A new marine biomass for animal feed and cellulose production*. Power point pres.: [https://www.bi.edu/globalassets/forskning/centre-for-green-growth/conferences/11.30-troedsson\\_30.05.18\\_bi.pdf](https://www.bi.edu/globalassets/forskning/centre-for-green-growth/conferences/11.30-troedsson_30.05.18_bi.pdf)
19. Laupsa, M. 2015. *Spawning, settlement and growth of *Ciona intestinalis* in Øygarden, Hardangerfjorden and Kvitsøy*. Master of Science in Aquaculture Biology, Dept. of Biology, Univ. of Bergen.
20. Troedsson, C., Thompson, E., Bouquet, J.-M., Magnesen, T. og Schander, C. 2013. *Tunicate extract for use in animal feed*. World patent application WO 2013/088177 A1
21. Hamre, K., Lock, J.E., Strand, Ø., Strohmeier, T., Phillipos, A.J. og Hemre, G.-I. 2020. Kronikk: *Lavtrofisk havbruk – kilde til nye føringredienser*. <https://www.kyst.no/article/kronikk-lavtrofisk-havbruk-kilde-til-nye-fringredienser/>
22. Naik, A.S. og Hayes, M. 2019. Bioprocessing of mussel by-products for value added ingredients. *Trends in Food Sci. Technol.* **92**:111-121.
23. Strohmeier, T. og Strand, Ø. 2019. *Tema: Blåskjell* <https://www.hi.no/hi/temasider/arter/blaskjell>
24. Kvile, K. 2019. *Potensialet for dyrking av blåskjell er stort, men det trengs aksept fra samfunnet*. TekFisk <https://fiskeribladet.no/tekfisk/nyheter/?artikkel=68219>
25. Wang, X., Olsen, L. M., Reitan, K. I., og Olsen, Y. 2012. Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environ. Interactions*, **2**, 267-283.
26. Wang, X., Andresen, K., Handå, A., Jensen, B., Reitan, K.I. og Olsen, Y. 2013. Chemical composition and release rate of waste discharge from an Atlantic salmon farm with an evaluation of IMTA feasibility. *Aquaculture Environ. Interactions*, **4**, 147-162.



### 3.4.3 Hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer – encelleprotein og encelle-olje

Dyrkede hetero- og kjemoautotrofe (ikke-fototrofe) mikroorganismer (bakterier, gjær, sopp, m.m.) kan være en kilde til protein i fôr til laks, men kun thraustochytrider er per i dag en realistisk kilde til omega-3 fettsyrer i fôr.

Dagens teknologiske nivå for produksjon av hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer avhenger både av produkt og prosess. Produksjon av bakterier, sopp og andre mikroorganismer heterotroft med sukker som karbon- og energikilde er godt etablert teknologi og basis for en lang rekke industrielle prosesser. Heterotrof produksjon basert på en del andre substrat som metanol og metan har foregått eller skjer fortsatt i industriell skala, men har fortsatt tekniske utfordringer. Autotrof produksjon av bakterier med CO<sub>2</sub> som karbonkilde og energikilder som hydrogen (H<sub>2</sub>) eller hydrogenulfid (H<sub>2</sub>S) krever fortsatt betydelig FoU for å kunne realiseres i industriell skala. Likeledes er produksjon av encelleprotein, som i praksis er produksjon av mikrobiell biomasse, etablert teknologi, mens produksjon av EPA/DHA-rike oljer varierer fra etablerte industrielle prosesser basert på thraustochytrider til laboratorieprosesser basert på en del andre mikroorganismer eller endog bare potensielt mulige prosesser som fortsatt mangler egnede produksjonsstammer.

Mikroorganismer inneholder normalt om lag 50 % protein av tørrvekt. Unntaket er hvis de har akkumulert intracellulært store mengder lipid, polyhydroksyalkanoater, eller annet. Da vil det relative proteininnholdet synke. Dette betyr at et bredt spekter av organismer kan benyttes som proteinkilde, forutsatt at de ikke produserer forbindelser med negativ effekt på fisken, og at proteinet er tilgjengelig for fisken. Celleveggen i mikroorganismer kan være en utfordring, og preprosessering kan være nødvendig for å øke fordøyeligheten. Avhengig av type mikroorganisme kan encelleprotein erstatte fra 20-55 % av proteinet i fôr til fisk og reker [1].

Svært få mikroorganismer akkumulerer fett eller oljer, og enda færre produserer de marine omega-3 fettsyrene DHA og EPA. De fleste mikrobielle oljene ligner vegetabiliske oljer mht. fettsyresammensetning. Kun thraustochytrider er kjent å produsere DHA som del av en triglyseridolje. Disse encellede organismene er eukaryote, obligat marine og heterotrofe, og kan akkumulere mer enn 50 % olje av tørrvekt, med mer enn 30 % DHA [2]. Noen stammer produserer også mindre mengder EPA. Thraustochytrider kalles ofte heterotrofe mikroalger, men tilhører et helt annet phylum og er bare fjernt beslektet med alger [3]. Dyrkingsteknologien er den samme som for bakterier og gjær.

#### 3.4.3.1 Sukkere som råstoff

##### *Stivelse og sukkervekster*

Glukose framstilt ved hydrolyse av stivelse, oftest fra mais, og sukrose fra sukkerrør og sukkerroer, iblant kalt 1. generasjon sukker, har tradisjonelt vært sukkerkilden i de fleste fermenteringsprosesser. Disse råvarene, og arealene de dyrkes på, kan også benyttes til matproduksjon, og da kan anvendelse til fôrproduksjon bli begrenset. Produksjon av fôr vil imidlertid trolig stille sterkere enn produksjon av biodrivstoff i en slik situasjon.

Fermenteringsprosesser med sukrose og glukose som karbonkilde er etablert teknologi. Blant annet produseres mer enn 5 millioner tonn aminosyrer årlig ved fermentering, for bruk i mat og fôr. Det er ingen fysiske eller biologiske begrensinger mht. hvor mye som kan produseres, verken av protein

eller omega-3 fettsyrer utover tilgangen på sukkerer som substrat i prosessene. Problemet i dag er at prisen på protein produsert ved mikrobiell fermentering er for høy sammenlignet med protein fra andre kilder, og også mikrobiell olje rik på omega-3 fettsyrer sliter i konkurranse med fiskeolje (se under).

#### **Dyrking av mikroorganismer – batch og kontinuerlig prosess**

Dyrking av bakterier, gjær, sopp og thraustochytrider for produksjon av encelleprotein og/eller encelleolje skjer normalt i lukkede røre-tanker kalt bioreaktorer. Fermenteringene er normalt aerobe (må tilføres oksygen, O<sub>2</sub>) og sterilfiltrert luft blåses inn i kulturen. Dyrkingen skjer oftest aseptisk. Dyrkingsmediet og det indre av tanken steriliseres. Deretter tilsettes en liten mengde av den ønskede mikroorganismen (inokulum) som uten konkurranse fra andre mikroorganismer vokser og danner en tett kultur i bioreaktoren, gjerne 30-50 g tørrvekt per liter eller mer i løpet av noen dager. Deretter høstes cellene ved sentrifugering eller filtrering før videre prosessering som ekstraksjon av olje eller tørking. Prosessøkonomisk er det ønskelig med så høy celletetthet som mulig før dyrkingen avsluttes. I aerobe prosesser er det ofte tilførselen av O<sub>2</sub> som begrenser hvor tett kulturen kan bli. Kraftig røring for å piske inn lufta, mye luft tilført per volum reaktor og tid, og eventuelt overtrykk, er nødvendig, men alt har en grense.

Prosessen skissert over er en batch-prosess. Et alternativ er en kontinuerlig prosess hvor en del av kulturen høstes kontinuerlig, og et tilsvarende volum nytt, sterilt medium tilføres. Riktig balansert høstes på denne måten hele kulturens celleproduksjon per volum og tid slik at celle-tettheten i bioreaktoren forblir konstant og høy. Dette gir høyere produksjon per volum bioreaktor og tid enn en batch-prosess. Ulempen er at risikoen for "havari" fordi en fremmed mikroorganisme ved et uhell kommer inn i bioreaktoren og utkonkurrerer den ønskede mikroorganismen, øker betydelig. Hvis en fremmed bakterie ved et uhell kommer inn i en batch-prosess et døgn eller to før prosessen avsluttes, vil den normalt ikke rekke å formere seg til et antall som har betydning før prosessen er ferdig og cellene høstet. Men i en kontinuerlig prosess som går i uker og kanskje måneder, har "kontaminanten" all den tid den trenger. I noen tilfeller, spesielt på litt "sære" substrat som metan som ikke så mange mikroorganismer kan vokse på, har man iblant lyktes å etablere stabile konsortier av to eller noen få arter av mikroorganismer som sammen utnytter substratet og forholdene så godt at de utkonkurrerer de aller fleste andre mikroorganismer som måtte dukke opp. Da blir kontinuerlig kultur et meget interessant alternativ. I beste fall trenger ikke prosessen å opereres aseptisk, det holder med en hygienisk prosess. Dette sparer arbeid, energi og penger.

#### ***Lignocellulose***

Sukkerer fra lignocellulose kalles iblant 2. generasjon sukker. Lignocellulose fra trevirke og halm består av cellulose, hemicellulose og lignin (se kap 3.2.2 og 3.2.3). Cellulose er en ren glukosepolymer, mens hemicellulose er sammensatt av forskjellige monosakkarider, som C6-sukkerne glukose, mannose og galaktose, og C5-sukkerne xylose og arabinose. Ikke alle mikroorganismer kan utnytte C5-sukkerer (pentoser). For å kunne utnytte sukker fra cellulose som karbonkilde for fermentering, må lignin fjernes og cellulosefibrene gjøres tilgjengelige for enzymatisk hydrolyse til glukose. Dette krever mekanisk, termisk og/eller kjemisk forbehandling. Effektive prosesser for konvertering av lignocellulose til fermenterbare sukkerer har vært et viktig forskningsfelt de siste 10-15 år, og da primært med mål om produksjon av biodrivstoff. Flere ulike forbehandlingsteknologier er utviklet, med og uten inkludering av hemicellulosen. Generelt er trevirke mer motstandsdyktig og krever kraftigere behandling enn halm, og bartrevirke er mer krevende enn lauvtrevirke, dvs. de dominerende norske treslagene, gran og furu, er de mest utfordrende. For bartrevirke har særlig Sverige og Finland vært aktive innen teknologiutvikling. I Norge er Papir- og fiberinstituttet (RISE-PFI) det mest sentrale FoU-miljøet innen termisk og kjemisk forbehandling, mens NMBU utvikler nye, og mer effektive enzymer for cellulosedybrytning og ligninfjerning. I Forskningscenteret for

Miljøvennlig Energi, Bio4Fuels, der NMBU er vertsinstitusjon og SINTEF har senterledelsen, inngår forbehandlingsteknologi og nye enzymer som FoU-tema.

Prisen for sukker fra lignocellulose er ennå for høy sammenlignet med tradisjonell glukose og sukrose. For "corn stover" (avfall fra maisproduksjonen, 'maishalm') er prisen beregnet til 0.44 USD/kg [11]. Prisen for sukker fra hydrolysert trevirke vil sannsynligvis bli høyere.

En rekke demonstrasjons-/pilotanlegg for produksjon av biodrivstoff ved fermentering av sukker fra lignocellulose er etablert. Den høye prisen på sukkeret begrenser imidlertid videre industrialisering. Kommersielle produksjonsanlegg er i drift i Brasil og Kina. Flere anlegg ble bygd i USA 2012-16, men alle er nedlagt [12]. I Norge er Borregaard den eneste større industriaktøren innen utnyttelse av lignocellulose for fermentering. Deres eksisterende etanolproduksjon er basert på hemicellulosen i sulfittavlut, som er et biprodukt fra celluloseproduksjon. De har også utviklet en prosess for fjerning av lignin og hydrolyse av cellulose til glukose ("BALI"-prosessen), men på grunn av pris- og konkurransesituasjonen prioriteres nå utvikling av cellulosebaserte produkter med høyere pris.

### **Encelleprotein - teknologisk status og FoU-behov**

Encelleprotein til fôr basert på fermentering av sukker produseres i all hovedsak med gjær. Bakterier kan også benyttes, men bl.a. pga et høyere innhold av nukleinsyrer i bakterier, foretrekkes gjær på substrat hvor gjær vokser godt.

Produksjon av fôrgjær som encelleprotein ved fermentering er etablert teknologi. De første prosessene ble utviklet allerede på 1960-tallet. I dag produseres globalt vel 580 tusen tonn cellemasse (tørrvekt), hvorav 215 tusen tonn i Europa [4]. Med 50-55 % protein tilsvarende dette hhv 300 tusen og 110 tusen tonn protein. Produksjon av gjær utelukkende som proteinkilde ved fermentering av glukose, er med dagens sukkerpriser ikke økonomisk konkurransedyktig i forhold til protein fra soya eller fiskemel (Tabell 3-16). De produktene som er på markedet, er derfor spesialprodukter med tilleggseffekter (probiotika, immunstimulanter, m.m.) som gir høyere pris.

**Tabell 3-16** Estimert utgift til sukker per kg encelleprotein produsert ved fermentering av mikroorganismer. I tillegg kommer andre driftsutgifter og investeringer. Til sammenligning koster protein i form av fiskemel omkring 30 NOK/kg, mens protein i form av soya-proteinkonsentrat koster 12-18 NOK/kg.

Celleutbytte [kg cellemasse/kg sukker]	Proteinutbytte [kg protein/kg sukker]	Sukkerpris [NOK/kg]	Sukkerkostnad pr kg protein [NOK/kg]
0.4-0.5	0.20-0.25	3.50	14-18
		5.00	20-25

De viktigste gjærartene produsert spesifikt for anvendelser i fôr er *Kluyveromyces marxianus* og *Candida utilis* ("Torula"). I tillegg benyttes *Saccharomyces cerevisiae*, produsert som biprodukt i bryggeriindustrien, i dyrefôr. Gjærprotein har høyt innhold av alle essensielle aminosyrer [5].

Produksjon av encelleprotein og karakterisering av egenskaper som fôringrediens er et sentralt FoU-tema i SFI'en "Foods of Norway". Her benyttes cellulose-hydrolysat ("BALI"-hydrolysat) fra Borregaard som karbonkilde for dyrking av gjær. Pga produksjonskostnadene har imidlertid FoU-

aktivitetene i Foods of Norway dreid mer mot funksjonelle egenskaper og tilleggseffekter enn anvendelser som en ren proteinkilde.

FoU-utfordringen på området er primært å oppnå mer effektive produksjonsprosesser slik at prisen på proteinet kan reduseres. Utbyttet av protein per celle er det vanskelig å gjøre mye med, slik at det i hovedsak vil dreie seg om raskere fermenteringsprosesser, høyere sluttkonsentrasjon av celler og mer effektive nedstrømsprosesser. Det viktigste vil imidlertid være lavere sukkerpris.

### **Industrialisering og aktører**

Produsenter av bake- og ølgjær er de sentrale aktørene for gjærbaserte produkter rettet mot fôrmarkedet, med Associated British Foods, Alltech, Lallemand og Lesaffre som de største.

### **DHA og EPA - teknologisk status og FoU-behov**

Produksjon av DHA ved fermentering av thraustochytrider er etablert teknologi. Pga høyere produktpris og bedre lønnsomhet enn for protein, er flere industriaktører involvert. Kommersiell produksjon for humant konsum (kosttilskudd) har pågått i mer enn 20 år. Ved industriell produksjon benyttes stammer av slektene *Schizochytrium* og *Aurantiocytrium*. Produksjonskostnadene er fortsatt for høye til at produktene er tatt i bruk i vesentlig grad i fôr, men flere norske fôrprodusenter blander inn mindre mengder. DHA utgjør minimum 30 % av fettsyrene i produksjonsorganismene, mens innholdet av EPA normalt er mindre enn 5 %. VeraMaris (DSM/Martek) har imidlertid en stamme som produserer 12-15 % EPA, av totalt 50 % EPA + DHA [6].

Oljen i fettakkumulerende thraustochytrider er triglyserid. Dette kan relativt enkelt ekstraheres, og kan da på samme måte som fiskeolje tilføres fôret ved vakuump-coating av pellet etter ekstrudering. Et alternativ er å benytte hele celledmassen, noe som vil gi protein i tillegg til oljen. Hele celler inneholder typisk 50-60 % fett og 20-25 % protein av totalt tørrstoff. Avhengig av mengdene som benyttes i fôret, kan dette kreve omlegging av prosessen hos fôrprodusentene.

Fiskeolje prises delvis ut fra innholdet av EPA/DHA (se Tabell 2-2, side 13). Grovt sett kan vi anslå verdien av EPA/DHA i olje til 70 kr/kg. Ved fermentering av thraustochytrider på glukose er utbyttet 0,2-0,3 kg olje pr kg glukose. Dette tilsvarer 12-25 kr til glukose per kg olje (Tabell 3-17). Verdien av thraustochytridoljen avhenger av innholdet av EPA/DHA og kan estimeres til ca 32 kr/kg for olje med 35 % EPA/DHA og ca 43 kr/kg for olje med 50 % EPA/DHA. Dette er vesentlig mer en sukkerutgiftene per kg olje og viser at potensialet for kommersielt lønnsom produksjon av EPA/DHA til fôr ved fermentering er høyere enn for encelleprotein (kfr Tabell 3-16).

**Tabell 3-17** Utbytte av DHA/EPA-rik olje ved fermentering av thraustochytrider på sukker og tilhørende kostnad for sukker avhengig av sukkerprisen. Verdien av oljen kan estimeres til 25-50 kr/kg (se tekst).

Utbytte av olje [kg/kg sukker]	Sukkerpris [NOK/kg]	Sukkerkostnader pr kg olje [NOK/kg]
0.2-0.3	3.50	12-18
	5.00	17-25

Produksjon av DHA/EPA-rike oljer ved fermentering har større potensial for produktivitetsforbedring enn produksjon av gjærprotein. Både produksjonshastighet, DHA-andel av oljen og utbytte på sukker-

basis kan trolig økes ved prosessoptimalisering, og eventuelt ytterligere ved genmodifisering. Ved genmodifisering kan det også være mulig å oppnå EPA/DHA-produksjon i gjær og bakterier.

### ***Thraustochytrider som kilde til EPA og DHA i 2050***

I 2050 er det estimert at oppdrettsnæringen trenger 135 tusen tonn DHA/EPA per år (se Kap. 2). For å produsere disse fettsyrene vha thraustochytrider kreves ca 0.5 millioner tonn thraustochytrider (tørrvekt) med 60 % fett med 30 % DHA. Antar vi en sluttkonsentrasjon i fermenteringen på 50 kg tørrstoff per m<sup>3</sup> fermentat, tilsvarer dette 10 millioner m<sup>3</sup> fermentat per år. Antar vi videre 60 fermenteringer per år med 80 % volumutnyttelse av reaktoren, gir dette et nødvendig fermentorvolum på 208 tusen m<sup>3</sup>. En stor bioreaktor i dag er kanskje 1000 m<sup>3</sup>, slik at dette tilsvarer 208 store bioreaktorer. Et høyt tall, men ikke umulig, selv om produksjonen skulle skje utelukkende i Norge. Sukkerbehovet kan estimeres til totalt 1.2 millioner tonn. Til sammenligning var det totale sukkerforbruket i Norge (til mat) i 2017 ca 0.15 millioner tonn.

### ***Industrialisering og aktører***

Amerikanske Martek Corp. var det første selskapet som startet kommersiell produksjon av DHA fra thraustochytrider på 1990-tallet, med produkter for kosttilskudd og spedbarnsernæring. De ble i 2011 oppkjøpt av den nederlandske fermenterings- og ingrediensbedriften DSM. Et brasiliansk selskap, med merkenavnet "AlgaPrime", var blant de første med produkter spesielt rettet mot fôr [8]. De er nå eid av nederlandske Corbion. Senere er store, globale aminosyreprodusenter som ADM (USA) [7] og Evonik (Tyskland) kommet inn på markedet. DSM og Evonik har dannet et joint-ventureselskap kalt "VeraMaris" for produksjon av DHA og EPA [6]. Alle disse produsentene bruker betegnelsene "mikroalger" og "algeolje" i sin markedsføring. Produksjonsorganismene er imidlertid thraustochytrid-stammer av slekten *Schizochytrium*. Rørsukker eller glukose fra maisstivelse benyttes som karbonkilde.

De norske fôrprodusentene BioMar og Skretting [9, 10] har samarbeidsavtaler med hhv. Corbion/-AlgaPrime og VeraMaris. Biomar bruker oljen i sitt standard vekstfôr, mens det ikke framgår av tilgjengelig informasjon hvilke Skretting-produkter som inneholder mikrobiell olje.

### **3.4.3.2 Naturgass (metan) som råstoff**

Produksjon av bakterier (encelleprotein) med metan (CH<sub>4</sub>) som C-kilde er etablert teknologi, selv om den sikkert kan forbedres. Ressurstilgangen er i fôr-sammenheng tilnærmet uendelig. I 2018 eksporterte Norge 114 milliarder Sm<sup>3</sup> (standard m<sup>3</sup>) naturgass. En Sm<sup>3</sup> naturgass inneholder 32-40 mol metan som teoretisk kan gi 16-20 mol C i bakterier, tilsvarende 0.8-1.0 kg tørrvekt bakterier. Den norske gasseksporten i 2018 kunne i teorien vært benyttet til å produsere 91-114 millioner tonn bakterier tilsvarende 46-57 millioner tonn protein.

Utfordringen ved produksjon av encelleprotein basert på metan er å oppnå en økonomisk lønnsom prosess, dvs. en prosess hvor proteinet i det minste kan konkurrere med fiskemel på pris per kg protein. Statoil (nå Equinor) drev et produksjonsanlegg for encelleprotein på Tjeldbergodden i flere år basert på et stabilt konsortium av bakterier dominert av den metanogene bakterien *Methylococcus capsulatus*. Det primære markedet var fiskefôr. Det stabile bakterielle konsortiet muliggjorde en kontinuerlig, ikke-steril prosess, noe som har klare prosessøkonomiske fordeler, selv om bruk av metan gir en del tekniske utfordringer, bl.a. risiko for eksplosjon. Fordelen med metan som C-kilde

er at per enhet C er metan rimeligere en alternative substrat som f.eks glukose. For tiden omsettes glukose/glukosesirup for 3-6 kroner per kilo, tilsvarende 9-18 øre per mol C, mens prisen på metan er omkring 1.9 kroner per Sm<sup>3</sup> tilsvarende 4-6 øre per mol C. Ulempen er at metan er et svært redusert molekyl, og det kreves derfor om lag 5 ganger mer oksygen per g celler produsert enn ved dyrking på glukose. Effektiv tilførsel av oksygen (luft) til en fermenteringskultur krever kraftig røring og eventuelt overtrykk, og er også en kostnad. I praksis er det ofte oksygenoverføringskapasiteten som begrenser produktiviteten i reaktoren, og under ellers like forhold vil konsentrasjonen av bakterier i en fermentering basert på metan bare bli en femdel av konsentrasjonen i en fermentering basert på glukose. Dette øker nedstrømskostnadene og kapitalkostnadene per kg produkt. Prosessen på Tjeldbergodden ble aldri økonomisk lønnsom og ble til slutt lagt ned. Det er imidlertid fortsatt grupper som arbeider med fermentering av metan med sikte på produksjon av encelleprotein og det primære markedet synes fortsatt å være fiskefôr (se under).

En ulempe med naturgass som substrat for produksjon av encelleprotein er at til syvende og sist vil karbonet slippes ut i atmosfæren og bidra til de fossil-baserte utslippene av drivhusgassen CO<sub>2</sub>. Metan er også en kraftig drivhusgass og det er neppe mulig å drive en fermenteringsprosess basert på metan uten at små mengder metan slipper ut i atmosfæren. Et alternativ er å benytte metan fra biogass som substrat, men da vil volumet av tilgjengelig substrat være flere størrelsesordener lavere. Eksempelvis produserer det interkommunale selskapet IVAR på Sørvest-landet ca. 4.5 millioner m<sup>3</sup> biogass per år, tilsvarende ca. 1500 tonn metan. Teoretisk kan dette i en fermenteringsprosess gi ca. 1400 tonn cellemasse (tørrvekt) med ca. 700 tonn protein.

Produksjon av lipider basert på metan har så langt fokusert på biodrivstoff [13, 14]. Etter at cellene er produsert ekstraheres lipidet ut av cellene og omformes katalytisk til biodiesel. I prinsippet kan også omega-3 fettsyrer (DHA og EPA) produseres fra metan, men så langt mangler egnede produksjonsstammer. I fermenteringer med en rekombinant stamme av *Methylobacterium buryatense* oppnådde Fei *et al.* [14] i løpet av 24-48 timer 12-15 g/L tørrvekt celler med et innhold på 9-10 % lipid som i hovedsak bestod av C16:0 og C16:1 fettsyrer. Utbyttet på substratbasis (metan) er ikke gitt. Fei *et al.* [13] estimerte kostnadene for produksjon av "biodiesel" ved fermentering av metan til 2-29 kr/L (Tabell 3-18). Bemerk at 20 og 50 % av tørrvekt lipid i cellene er 2-5 ganger mer enn gruppen senere oppnådde i praktiske forsøk. En CH<sub>4</sub> pris på 100 og 200 USD/tonn tilsvarer 1.6-3.2 øre per mol CH<sub>4</sub>, dvs. noe lavere enn prisen antatt over. En begrunnelse forfatterne har for en lav pris på metan var den i 2014 kraftige økningen i amerikansk produksjon av skifergass. Så kan man diskutere om diesel produsert ved å fermentere fossil metan fortjener betegnelsen biodiesel.

**Tabell 3-18** Estimert pris for diesel produsert ved fermentering av *M. buryatense* på metan for produksjon av lipid med påfølgende prosessering til "biodiesel" [13]. FAME = Fatty Acid Methyl Ester.

Situasjon	Metan (USD/tonn)	Utbytte (g tørrvekt celler/g metan)	Lipid (% av tørrvekt)	Ekstrasjonsutbytte (g FAME/g lipid)	Hydrogenering (g diesel/g FAME)	Diesel (USD/L)
Worst	200	0.6	20	0.70	0.70	2.85
Best case	100	1.0	50	0.95	0.95	0.18

### **Industriaktører**

*Calysta* i California [28] har en prosess for encelleprotein basert på metan. Deres første produkt, FeedKind®, har gjennomgått tester som fôr til fisk, husdyr og kjæledyr. De har et (pilot?) produksjonsanlegg ved "Centre for Process Innovation" (CPI), Teesside, England, som for tiden produserer prøvekvanta for kunder rundt om i verden.

*UniBio* i Danmark [29] eier rettighetene til – "the U-Loop® technology" – som ble utviklet i samarbeid med DTU og er resultatet av mer enn 30 års FoU. Selskapet inngikk i 2019 en avtale med Core Protein i Texas om å sette opp et prosessanlegg der. Deres produkt, Uniprotein®, er godkjent i både dyre- og fiskefôr. De har nylig innledet samarbeid med Skretting.

*String Bio* i India [34] har en prosess for produksjon av encelleprotein til fôr og næringsmidler basert på fermentering med metan som C-kilde.

### **3.4.3.3 CO<sub>2</sub> som råstoff**

CO<sub>2</sub> er en uuttømmelig C-kilde for produksjon av både lipider og protein ved hjelp av planter og mikroorganismer. CO<sub>2</sub> kan og blir høstet direkte fra lufta, men kan også oppkonsentreres fra lufta vha "direct air capture" (DAC) teknologi, eller hentes fra avgassen i forbrenningsprosesser, fra andre CO<sub>2</sub>-rike industrielle avgasstrømmer eller fra biogassanlegg. Tabell 3-19 viser de fem største punktutslippene av CO<sub>2</sub> i Norge i 2018. Teoretisk kan disse fem utslippspunktene ved 75 % utnyttelse av CO<sub>2</sub> samlet gi 1.2 millioner tonn encelleprotein som er 60 % av det estimerte behovet for protein til oppdrettslaks i 2050. Utfordringen her er ikke tilgang på C-kilde, men tilgang på energi til mikroorganismene, f.eks hydrogen.

For å bygge opp organiske molekyler fra CO<sub>2</sub> kreves energi som kan komme fra sollys, fra oksidasjon av reduserte uorganiske forbindelser, eller hydrogen. Prosessene som omtales under er alle teknisk mulige. Utfordringen er å oppnå en økonomisk lønnsom prosess, dvs. en prosess som i det minste kan konkurrere med fiskemel på pris per kg protein.

**Tabell 3-19** De fem største utslippspunktene for CO<sub>2</sub> i Norge i 2018 [24]. I autotrofe bakterielle prosesser kan teoretisk (ved 100 % utnyttelse av CO<sub>2</sub>) et tonn CO<sub>2</sub> gi 0.57 tonn biomasse med 0.28 tonn protein.

Utslippspunkt	Utslipp av CO <sub>2</sub> i 2018 (mill. tonn)
Mongstad oljeraffineri	2.20
Kårstø gassprosessanlegg	1.13
Melkøya LNG-prosessanlegg	0.94
Herøya gjødselabrikk	0.88
Brevik sementfabrikk	0.77

### **Kjemolitotrofe bakterier – H<sub>2</sub>S som energikilde og CO<sub>2</sub> som C-kilde**

Kjemolitotrofe bakterier kan benytte uorganiske reduserte forbindelser som energikilde og CO<sub>2</sub> som karbonkilde. Den eneste reduserte uorganiske forbindelsen som er tilgjengelig i slike mengder at den kan gi grunnlag for industriell produksjon av encelleprotein, er hydrogensulfid (H<sub>2</sub>S). Dette er en meget giftig gass som kan forekomme i relativt store mengder i en del olje- og gassbrønner, og som må tas hånd om på produksjonsstedet. I dag oksideres H<sub>2</sub>S normalt kjemisk til elementært svovel med Clauss-prosessen. USA produserer ca. 10 millioner tonn elementært svovel per år [15].

Mikrobiell oksidasjon av  $H_2S$  kan, avhengig av type bakterie og prosessbetingelser, enten stanse ved elementært svovel, eller gå hele veien til sulfat. Elementært svovel som sluttprodukt har fordeler med tanke på avhending, spesielt dersom anlegget er lokalisert langt fra kysten, men energiutbyttet for bakterien ved fullstendig oksidasjon til sulfat, er dobbelt så høyt per molekyl  $H_2S$  oksidert. Hvis prosessanlegget er lokalisert ved kysten er utslipp av sulfat/svovelsyre et begrenset problem ettersom sjøvann har god bufferkapasitet og inneholder store mengder sulfat. Mulighetene for industriell produksjon av encelleprotein med  $H_2S$  som energikilde har vært studert av flere grupper. Som nevnt over, er  $H_2S$  en giftig gass som uansett må tas hånd om, og da kan mikrobiell oksidasjon til elementært svovel eller sulfat kombinert med produksjon av encelleprotein være et alternativ. Bioengineering Resources, Inc. i Arizona [15] studerte en fermenteringsprosess (2 L) basert på *Thiomicrospira crunogena* som oksiderer  $H_2S$  til sulfat. Basert på resultatene gjorde de et økonomisk overslag for en prosess for å behandle per døgn 3.4 millioner  $Sm^3$  naturgass med 2.5 %  $H_2S$  og 7.5 %  $CO_2$ . Estimert produksjon var ca. 41 tonn tørrvekt celler per dag og salgsprisen for cellemassen ble anslått til 0.65 USD/kg, tilsvarende om lag 1.3 USD per kg protein, dvs. de antok samme pris for proteinet som for protein i soya. Med dette utgangspunktet og en viss betaling for fjerning av  $H_2S$  (0.024 USD/ $Sm^3$ ) var konklusjonen at prosessen var økonomisk lønnsom. Hvis cellene i stedet gikk til å erstatte protein i fiskemel (ca. 2.2 euro/kg) burde prosessen kunne bli betydelig mer lønnsom. En utfordring som ikke er diskutert i rapporten er imidlertid muligheten for akkumulering av hydrokarboner og eventuelt tungmetaller i biomassen.

I beregningen ble det antatt 0.45 mol  $CO_2$  fiksert per mol  $H_2S$ , som tilsvarer 0.33 g tørrvekt celler per g  $H_2S$ . I USA produseres ca. 10 millioner tonn elementært svovel per år, som tilsvarer 10.6 millioner tonn  $H_2S$ , og teoretisk kunne gitt 3.5 millioner tonn tørrvekt celler. Globalt produseres ca. 64 millioner tonn elementært svovel per år (Wikipedia). Dette kunne teoretisk gitt ca. 22 millioner tonn cellemasse og ca. 11 millioner tonn protein. Selv en liten andel av dette potensialet kan således representere en betydelig forkilde. En "ulempe" er at norsk olje og gass generelt inneholder lite  $H_2S$ .

### **Industrielle aktører**

Det synes ikke å være noen industrielle aktører på dette området.

### **Knallgassbakterier – $H_2$ som energikilde og $CO_2$ som C-kilde**

De såkalte "knallgass"-bakteriene benytter hydrogen ( $H_2$ ) som energikilde og  $CO_2$  som C-kilde. Dette er aerobe bakterier og må dyrkes i nærvær av både  $H_2$  og  $O_2$ . En intensiv fermenteringsprosess for produksjon av encelleprotein basert på disse bakteriene krever derfor betydelige sikkerhetstiltak for å minimere risikoen for eksplosjon. En bakterie som har vært mye studert pga. sine gode vekstegenskaper under disse betingelsene, er *Cupriavidus necator* (tidligere kjent som *Ralstonia eutropha*). Bakterien ble allerede på 1960-tallet sett som en mulig kandidat for produksjon av encelleprotein basert på  $CO_2$  og  $H_2$  produsert vha elektrolyse av vann [16], og på 1970-tallet ble *C. necator* utviklet som kilde til encelleprotein både for humant bruk og i fôr. Senere, i takt med at encelleprotein ble utkonkurrert av soya, skiftet fokus til produksjon av poly- $\beta$ -hydroksybutyrat (PHB) for produksjon av bioplast, mens rekombinante stammer har vært studert med tanke på produksjon av mer verdifulle produkter [18]. Bakterien har i 50-L fermentor blitt dyrket til en konsentrasjon på 20-40 g tørrvekt/L på  $CO_2 + H_2$  [17]. *C. necator* vokser så raskt, generasjonstid 2-4 timer, under disse betingelsene at semi-sterile fermenteringsprosesser kan benyttes. Bakterien



utkonkurrerer eventuelle kontaminanter. Maksimalt utbytte på hydrogen er 3.3-3.6 g tørrvekt bakterier/g H<sub>2</sub>, men i fermentorstudier var utbyttet vesentlig lavere pga. store tap av H<sub>2</sub> i avgassen [17]. *C. necator* kan også vokse på syngass (CO + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>) (se under). Som nevnt over, kan *C. necator* akkumulere store mengder intracellulært PHB og andre polyhydroksyalkanoater (PHA). Disse er ufordøyelige i pattedyr og passerer nærmest urørte gjennom fordøyelsessystemet [19]. Trolig er dette også tilfelle for laks. En eventuell prosess for produksjon av encelleprotein basert på *C. necator* betinger enten fermenteringsbetingelser som minimerer dannelsen av PHA eller mutanter som har mistet evnen til å produsere PHA. Studier i de senere år har fokus på produksjon av encelleolje for konvertering til biodiesel. Her har genetisk modifiserte stammer som akkumulerer lipid heller enn PHA vært et mål [17].

Produksjon av encelleprotein basert på *C. necator* og H<sub>2</sub> produsert ved hydrolyse av vann er ikke økonomisk lønnsomt i dag. Ifølge Liu *et al.* [20] er prisen på H<sub>2</sub> produsert ved hydrolyse av vann ca. 10 USD/kg, mens Patel [21] gir en pris på ca. 6 USD/kg i februar 2020. Et celleutbytte på 3.3-3.6 kg tørrvekt bakterier per kg H<sub>2</sub> tilsvarer en H<sub>2</sub>-kostnad på 1.7-3.0 USD per kg tørrvekt bakterier. Antar vi 50 % protein i cellene gir dette 3.4-6.0 USD eller 3.2-5.8 euro per kg protein. Selv det laveste tallet er 50 % høyere enn prisen for protein i fiskemel (se Kap. 3.4.1). I tillegg kommer driftskostnader for prosessen og kapitalkostnader for anlegget, samt eventuelle kostnader knyttet til CO<sub>2</sub>. Mulig produksjonsvolum er imidlertid nærmest ubegrenset.

Industrielt produseres H<sub>2</sub> fra naturgass ved "steam methane reforming", og markedsprisen på H<sub>2</sub> synes å ligge omkring 0.8 USD/kg. Med et utbytte på 3.3-3.6 kg tørrvekt bakterier per kg H<sub>2</sub>, gir dette en kostnad på 0.4-0.5 euro per kg protein. Imidlertid, i de praktiske fermenteringsstudiene referert over, var utbyttet vesentlig lavere grunnet tap av H<sub>2</sub> i avgass. Tallene indikerer likevel at med forbedret fermenteringsteknologi kan det være mulig å oppnå en økonomisk lønnsom prosess basert på fossilt derivert hydrogen.

Ifølge Patel [21] kan prisen for H<sub>2</sub> produsert ved hydrolyse av vann komme ned mot 4 USD/kg i 2030. Dette tilsvarer en H<sub>2</sub>-kostnad på 2.1-2.3 euro per kg protein, som fortsatt er for høy. Trolig må prisen ned i 1-2 USD per kg H<sub>2</sub> før encelleprotein fra *C. necator* produsert på CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub> (produsert ved elektrolyse av vann) kan konkurrere med fiskemel på pris. Dette er imidlertid ikke mulig å avgjøre uten mer kunnskap om prosessen, som uansett, som nevnt over, må forbedres.

Som nevnt over, har det vært framstilt genetisk modifiserte stammer av *C. necator* med økt innhold av lipid [17]. Hvorvidt det er mulig å utvikle stammer som produserer omega-3 fettsyrer (DHA og EPA) er ukjent, men synes ikke forsøkt.

### **Industrielle aktører**

*NovoNutrients* i California [25] benytter et stabilt konsortium av bakterier som vokser på CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>, og har planer om å sette opp et pilotanlegg i 2020 ved et industrielt CO<sub>2</sub>-utslipp fra Chevron. De har også planer for et anlegg ved et annet industrielt utslipp av CO<sub>2</sub> i Japan i 2021. Målet er fiskefôrmarkedet og fôringsforsøk pågår. Prosessen er under patentering, trolig er det primært konsortiet som patenteres, eventuelt i kombinasjon med prosess tekniske grep. Den grunnleggende prosessen har vært kjent siden 1960-tallet.

*Kiverdi* i California [26] har en prosess for produksjon av bakteriell biomasse (encelleprotein) basert på  $\text{CO}_2 + \text{H}_2$ , ifølge reklamen basert på en prosess opprinnelig studert av NASA. Prosessen skal være basert på bakterier som benytter et annet metabolsk spor enn bakteriene til NovoNutrients. Prosessen er patentert. Selskapet har samarbeid med Skretting om utprøving av produktet i fiskefôr [27].

*Solar Foods* i Helsinki [30] gjør et poeng av at deres encelleprotein "Solein®", er produsert på  $\text{CO}_2$  og med  $\text{H}_2$  produsert ved elektrisk hydrolyse av vann basert på fornybar energi. Deres primære mål er næringsmidler, ikke fôr. Produksjonen er ennå moderat, noen hundre kilo i året, og skjer primært for å skaffe data til godkjennelse som Novel Food i EU i 2021. Det er ikke sagt noe om hvilken eller hvilke organismer de benytter.

*Deep Branch Biotechnology* i Storbritannia [35] produserer encelleprotein basert på  $\text{H}_2 + \text{CO}_2$ , og målmarkedet synes å være fôr til havbruksnæringen, men utover dette er informasjonen sparsom.

#### ***Kjemisk hydrogenering av $\text{CO}_2$ til mikrobielle substrat med påfølgende fermentering av disse***

$\text{CO}_2$  kan ved heterogen- eller plasma-katalyse hydrogeneres til produkter som metan, metanol, etanol, dimetyleter, olefiner og høyere hydrokarboner [22]. Hvis  $\text{H}_2$  til prosessen produseres ved elektrolyse av vann med fornybar elektrisk kraft, vil produktene bli klimanøytrale. Senere forbrenning vil bare regenerere den  $\text{CO}_2$  de opprinnelig ble laget av. Prosessene gjør det mulig å produsere viktige industrikjemikalier og drivstoff som i dag produseres fra råolje og naturgass på en klimanøytral måte, men per i dag er hydrogenering med  $\text{H}_2$  produsert ved elektrolyse ikke økonomisk lønnsomt. Prisen på  $\text{H}_2$  overskrider med god margin verdien av sluttproduktene [22]. Håpet er at elektrisk strøm produsert i solkraftverk på sikt vil bli så lav at prisen på  $\text{H}_2$  også blir overkommelig. Basert på tallene til Liu *et al.* [22] må prisen på  $\text{H}_2$  produsert ved elektrolyse trolig reduseres fra dagens nivå på 6-10 USD/Kg (se over) til ca. 2 USD/kg  $\text{H}_2$  før hydrogenering blir økonomisk interessant. Dette er det halve av den prisen Patel [6] estimerte for  $\text{H}_2$  produsert ved elektrolyse i 2030.  $\text{H}_2$  blir i dag produsert fra naturgass (metan) for ca. 0.8 USD/kg  $\text{H}_2$ , men hensikten med hydrogeneringsprosessene skissert over er å framstille klimanøytrale produkter. Et alternativ som ikke er diskutert er å produseres  $\text{H}_2$  fra naturgass, men kombinere denne prosessen med karbonfangst og lagring.

Noen av produktene som kan lages ved katalytisk hydrogenering av  $\text{CO}_2$  så som metan, metanol og etanol, kan benyttes som C-kilde i mikrobielle fermenteringsprosesser for produksjon av encelleprotein og/eller encelle-olje. Dette er imidlertid uaktuelt så lenge prisen på de katalyse-produserte råstoffene ligger godt over prisen på de samme råstoffene produsert på mer tradisjonell måte fra råolje, naturgass eller biomasse. På sett og vis synes det også å være "å gå over bekken etter vann" ettersom det finnes bakterier som *C. necator*, som kan gjøre samme prosess direkte (se over). Gassfermenteringer basert på knallgassbakterier som *C. necator* har sine tekniske utfordringer, og i så måte kan det være enklere å benytte pre-syntetiserte organiske molekyler, men totalt sett synes likevel direkte omforming av  $\text{CO}_2 + \text{H}_2$  til biomasse å være mer økonomisk enn å gå veien om pre-syntese av organiske molekyler fra  $\text{CO}_2$ .

#### **3.4.3.4 Syntesegass som råstoff**

Syntesegass (syngas:  $\text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2$ ) kan framstilles fra biomasse som trevirke (lignocellulose) ved gassifisering av biomassen. Syngass-prosessen starter med at tremassen tørkes og males opp. Deretter

sprutes den inn i en forgasser ved hjelp av en drivgass. Her tilføres oksygen og en liten del av tremassen forbrennes, for å skape høy temperatur og bringe resten over i gassform ved ca. 1500 °C.

Målet med syngass-prosessen er primært kjemisk omforming av gassene til ulike produkter, men den energirike gassen kan også benyttes i mikrobielle gassfermenteringer basert på kjemoautotrofe, anaerobe bakterier som benytter H<sub>2</sub> og CO som energikilde, og CO og CO<sub>2</sub> som C-kilde, og danner produkter som eddiksyre (acetat) eller etanol [23]. I anaerobe fermenteringsprosesser er utbyttet av biomasse per g energikilde begrenset og vil i praksis kun bli et biprodukt. Imidlertid, hvis prosessene blir volummessig store, f.eks. etanol som biodrivstoff, kan overskuddet av celledmasse likevel bli betydelig. Lanza Tech har patentsøkt bruk av celledmassen fra fermentering av syngass til etanol, primært med *Clostridium autoethanogenum*, til fôr [36].

Mikrobiell fermentering av syngass har særlig hatt fokus på produksjon av etanol som biodrivstoff. Her er gassifisering + fermentering av gassene et alternativ til hydrolyse av lignocellulose + fermentering av sukkerne. En fordel med prosessering til syngass er at også karbonet i lignin blir tilgjengelig som substrat [23].

Encelleprotein og/eller encelle-olje fra syngass har så langt hatt lite fokus utover bruk av overskudd celledmasse. En teoretisk mulighet er en tre-trinns prosess hvor biomassen først gassifiseres og deretter fermenteres anaerobt til etanol eller acetat før disse produktene benyttes som substrat i en ny aerob fermentering for produksjon av encelleprotein og/eller encelle-olje. Økonomien i en slik prosesskjede synes ikke lovende.

En eventuell produksjon av encelleprotein fra syngass vil trolig betinge en aerob prosess. Dette for å oppnå et høyt utbytte av celledmasse per g karbon. I anaerobe prosesser går mye karbon i substratet til ulike gjæringsprodukter. I en aerob prosess må oksygen tilføres syngassen i store mengder med de konsekvenser dette har av teknisk og kjemisk karakter. En mulig kandidat i en slik prosess er bakterien *C. necator* omtalt over.

### 3.4.3.5 Andre karbonkilder som råstoff

#### *Hydrogen + organiske karbonkilder*

*White Dog Labs* i Delaware, USA [31] har utviklet en anaerob, blandet fermenteringsprosess hvor de kombinerer ulike organiske C-kilder med tilførsel av hydrogen (H<sub>2</sub>) og på den måten utnytter den CO<sub>2</sub> som dannes under anaerob fermentering av f.eks. glukose til etanol eller smørsyre, til å bygge ny celledmasse vha bakterier som utnytter H<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub>. På denne måten kan de oppnå et betydelig høyere utbytte på C-basis sammenlignet med tradisjonell anaerob fermentering. Deres produkt, ProTyton™, har et høyt innhold av råprotein (ca 70 % av tørrvekt), men det er ikke sagt noe om hvor mye av dette som skyldes nitrogen fra nukleinsyrer. Formodentlig består produktet i hovedsak av tørkede bakterier. Produktet er imidlertid rikt på essensielle aminosyrer og kan tilsettes fiskefôr i opptil 30 % innblanding uten at fisken reagerer på smaken. Målet er en innblanding på rundt 12 % til en pris på rundt 2 USD/kg, tilsvarende ca. 3 USD/kg råprotein. Dette er betydelig mer enn for protein fra fiskemel. Fokus synes å være på å knytte prosessen opp mot eksisterende bioetanol-anlegg i USA (maisstivelse til etanol) og utnytte restråstoffet fra denne prosessen + CO<sub>2</sub> dannet under gjæringen til å produsere encelleprotein [32].

## Metanol

*Knip Bio* i Massachusetts, USA [33] har en prosess basert på bakterien *Methylobacterium extorquens* som fermenteres på metanol eller etanol (informasjonen er sparsom, men begge substrat er mulige). Markedet er fôr til havbruksnæringen og deres encelleprodukt KBM203 (KBM = Knip Bio Meal) fikk GRAS (Generally recognised as Safe) godkjenning av FDA i februar 2019. De har også et annet produkt, KBM500, rikt på astaxanthin. Selskapet er et oppstartsselskap og det er uklart hvor stor deres produksjon er eller hvor stort volum-potensial prosessen har. Metanol som substrat er mer fordelaktig enn metan mht. oksygenforbruk per kg biomasse produsert, men samtidig er metanol giftig for de fleste mikroorganismer i for høy konsentrasjon. Dette er særlig en utfordring i stor skala hvor homogen dosering er komplisert. Det samme gjelder etanol. Metanol var substrat i ICI-prosessen som ble utviklet på 1960- og 70-tallet og var en av de mest kjente encelleproteinprosessene som ikke lyktes økonomisk grunnet konkurransen fra soyaprotein, m.m.

## Referanser

1. Jones, S.W., Karpol, A., Friedman, S., Maru, B.T. og Tracy, B.P. 2020. Recent advances in single cell protein use as a feed ingredient in aquaculture. *Curr. Opinion Biotechnol.* **61**: 189-197
2. Aasen, I.M., Ertesvåg, H., Heggeset, T.M.B., Liu, B., Brautaset, T., Vadstein, O., Ellingsen, T.E. 2016. Thraustochytrids as production organisms for docosahexaenoic acid (DHA), squalene and carotenoids. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **100**: 4309-4321
3. Marchan, L.F., Chang, K.J.L., Nichols, P.D., Mitchell, W.J., Polglase, J.L., Gutierrez, T. 2018. Taxonomy, ecology and biotechnological applications of thraustochytrids: A review. *Biotechnol. Adv.* **36**: 26-46
4. Skogli, E., Dombu, S.V., Vikøren, S. 2019. Markedsanalyse encelleprotein. Kartlegging av markedet for gjærbasert encelleprotein til dyre og fiskefôr. Menon publikasjon nr. 110/2019.
5. Øverland, M. og Skrede, A. 2017. Yeast derived from lignocellulosic biomass as a sustainable feed resource for use in aquaculture. *J Sci Food Agric.* **97**: 733-742
6. VeraMaris: <https://www.veramaris.com/> (besøkt juni 2020)
7. ADM: [https://www.admanimalnutrition.com/webcenter/portal/ADMAnimalNutrition/-pages\\_ingredients/-sipet/dhanatur1](https://www.admanimalnutrition.com/webcenter/portal/ADMAnimalNutrition/-pages_ingredients/-sipet/dhanatur1) (besøkt juni 2020)
8. AlgaPrime: <http://algaprime.com/> (besøkt juni 2020)
9. Lerøy og BioMar: [https://www.leroyseafood.com/no/smakfull-sjomat/miljo\\_og\\_samfunn/mer-barekraftig-havbruk/](https://www.leroyseafood.com/no/smakfull-sjomat/miljo_og_samfunn/mer-barekraftig-havbruk/) (besøkt juni 2020)
10. Skretting: <https://www.skretting.com/nb-NO/merdkanten2/Merdkanten-1-2019/mikroalger/> (besøkt juni 2020)
11. Baral, N.R., Davis, R., Bradley, T.H. 2019. Supply and value chain analysis of mixed biomass feedstock supply system for lignocellulosic sugar production. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* **13**: 635-659
12. Nyström, I., Bokinge, P., Franck, P.Å. 2019. Production of liquid advanced biofuels - global status. CIT Industriell Energi AB, 2019-01-11
13. Fei, Q., Guarnieri, M.T., Tao, L., Laurens, L.M.L., Dowe, N. og Pienkos, P.T. 2014. Bioconversion of natural gas to liquid fuel: Opportunities and challenges. *Biotechnol. Adv.* **32**: 596-614.
14. Fei, Q., Puri, A.W., Smith, H., Dowe, N. og Pienkos, P.T. 2018. Enhanced biological fixation of methane for microbial lipid production by recombinant *Methylomicrobium buryatense*. *Biotechnol. Biofuels.* **11**: 129 <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1128-6>
15. Gaddy, J.L. og Ko, C.W. 2009. *CO<sub>2</sub> sequestration in cell biomass of Chlorobium thiosulfatophilum. Final report.* <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc929285/>
16. Foster, J.F. og Lichtfield, J.H. 1964. A continuous culture apparatus for the microbial utilization of hydrogen produced by electrolysis of water in closed-cycle space systems. *Biotech. Bioeng.* **6**: 441-456
17. Reed, J., Geller, J. og McDaniel, R. 2017. *CO<sub>2</sub> conversion by knallgas microorganisms. Evaluation of products and processes.* Energy Research and Divison, Kiverdi, Inc. Final project report prepared for California Energy Commission. <https://ww2.energy.ca.gov/2017publications/CEC-500-2017-005/CEC-500-2017-005.pdf>

18. Takors, R., Kopf, M., Mampel, J., Bluemke, W., Blombach, B., Eikmanns, B., Bengelsdorf, F.R., Weuster-Botz, D. og Dürre, P. 2018. Using gas mixtures of CO, CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> as microbial substrates: the do's and don'ts of successful technology transfer from laboratory to production scale. *Microb. Biotechnol.* **11**: 606-625
19. Ong, S.Y., Zainab-L, I., Pyary, S., Sudesh, K. 2018. A Novel Biological Recovery Approach for PHA Employing Selective Digestion of Bacterial Biomass in Animals. *Appl Microbiol Biotechnol.* **102**: 2117-2127
20. Liu, M., Yanhui, Y., Wang, L., Guo, H. og Bogaerts, A. 2019. Hydrogenation of carbon dioxide to value-added chemicals by heterogenous catalysis and plasma catalysis. *Catalysts*, **9**: 275; doi: 10.3390/catal9030275
21. Patel, S. 2020. How Much Will Hydrogen-Based Power Cost? Power Mag. <https://www.powermag.com/how-much-will-hydrogen-based-power-cost/>
22. Foster, J.F. og Lichtfield, J.H. 1964. A continuous culture apparatus for the microbial utilization of hydrogen produced by electrolysis of water in closed-cycle space systems. *Biotech. Bioeng.* **6**: 441-456
23. Phillips, J.R., Huhnke, R. L., og Atieyh, H.K. 2017. Syngas fermentation. A microbial conversion process of gaseous substrates to various products. *Fermentation* **3**: 28; doi:10.3390/fermentation3020028
24. Greensight. 2020. <https://www.greensight.no/2020/03/20/utslippsverstingene-i-norge/>
25. NovoNutrients. s.a. <https://www.novonutrients.com/novonutrients-at-indiebio-demo-day>
26. Kiverdi, Inc. s.a. <https://www.kiverdi.com/> (besøkt juni 2020)
27. Skretting s.a. Part V: Transforming recycled carbon dioxide into protein for aquaculture feed <https://www.skretting.com/en/sustainability/ingredients/novel-raw-materials/transforming-recycled-co2/>
28. Calysta. s.a. <http://calysta.com/about-us/> (besøkt juni 2020)
29. UniBio. s.a. <https://www.unibio.dk/> (besøkt juni 2020)
30. Solar Foods <https://solarfoods.fi/> (besøkt juni 2020)
31. White Dog Labs. s.a. <https://www.whitedoglabs.com/> (besøkt juni 2020)
32. White Dog Labs, 2017. Presentasjon på 2017 BIO World Congress av deres MixoFerm™ Platform. <https://www.bio.org/sites/default/files/legacy/bioorg/docs/0830AM-Bryan%20Tracy.pdf>
33. Knip Bio. s.a. <https://www.knipbio.com/> (besøkt juni 2020)
34. String Bio s.a. <http://www.stringbio.com/> (besøkt juni 2020)
35. Deep Branch Biotechnology, s.a. <https://deepbranchbio.com> (besøkt juni 2020)
36. Lanza Tech, 2016. *Gas fermentation for the production of protein or feed*. Patent application WO 2016/187494 A1

### 3.4.4 Fototrofe mikroorganismer – mikroalger og blågrønnbakterier

Fotoautotrofe mikroorganismer kan være kilde til både omega-3 fettsyrer og protein.

Fotoautotrofe organismer inkluderer landplanter, mikro- og makroalger og blågrønnbakterier (cyanobakterier)<sup>6</sup>. Alle bruker pigmenter (klorofyller, karotenoider, fykobiliner) til å høste lysenergi (400-700 nm) som omdannes til kjemisk energi (ATP, NADPH) som benyttes til å omdanne CO<sub>2</sub> til biomolekyler for å bygge opp cellene. De viktigste makronæringsstoffene (i tillegg til karbon) er nitrogen og fosfor, som tas opp fra vannet som NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub> og PO<sub>4</sub>. I tillegg bruker noen grupper silika til å bygge celleskall.

Hovedutfordringen ved intensiv produksjon av mikroalger er suboptimal lysutnyttelse, både i den teknologiske delen og på grunn av biologiske begrensninger [1, 2]. Mikroalger er naturlig næringskilde for akvatiske dyr, de er "gresset" i næringskjeden. Tilgang på mikroalger er obligatorisk for produksjon av levendefôr (f.eks copepoder) og fiskelarver som ikke kan spise fôr direkte etter klekking. Mikroalgene er kilde til essensielle fettsyrer (omega-3) og aminosyrer, og en underutnyttet kilde til bioaktive stoffer, fargestoffer, biodrivstoff, bioplastikk, m.m.

#### 3.4.4.1

Det er økende interesse for produksjon av mikroalger til humant konsum [3] og dyrefôr, både akvafôr og fôr til landdyr. Næringsverdien avhenger bl.a. av aminosyreprofilen i proteinene og en fordel med marine mikroalger er en aminosyreprofil som er optimal for akvatiske organismer. Det er behov for mer kunnskap om biomassens egenskaper og næringsverdi for dyr, fordøybarhet, eventuelle antinæringsstoffer, o.l. En European Commission JRC Scientific and Policy rapport fra 2014 [4] beskriver utsiktene for mikroalgeprodukter til fôr/mat i Europa også mht. regelverk, o.l.

Protein utgjør omkring 50 % av tørrvekt i de fleste mikroalger. Unntaket er mikroalger som akkumulerer store mengder av f.eks. lipid, da utgjør proteinene gjerne omkring 50 % av ikke-lipid tørrvekt. Mikroalger er også en kilde til omega-3 fettsyrer, men innholdet av EPA og/eller DHA varierer fra art til art og med dyrkingsbetingelsene [16]. I gruppen svelgflagellater (Cryptophyceae) inneholder noen arter 5.8-12.5 mg EPA og 0.8-6.1 mg DHA per gram tørrvekt og disse utgjør samlet 12-21 % av fettsyrene [15]. Noen *Nannochloropsis spp.* (Eustigmatophyceae) kan inneholde 50-60 mg EPA per g tørrvekt [17]. Her kan EPA utgjøre 25-28 % av totalt lipid [16].

#### 3.4.4.2 Industriell produksjon av mikroalger

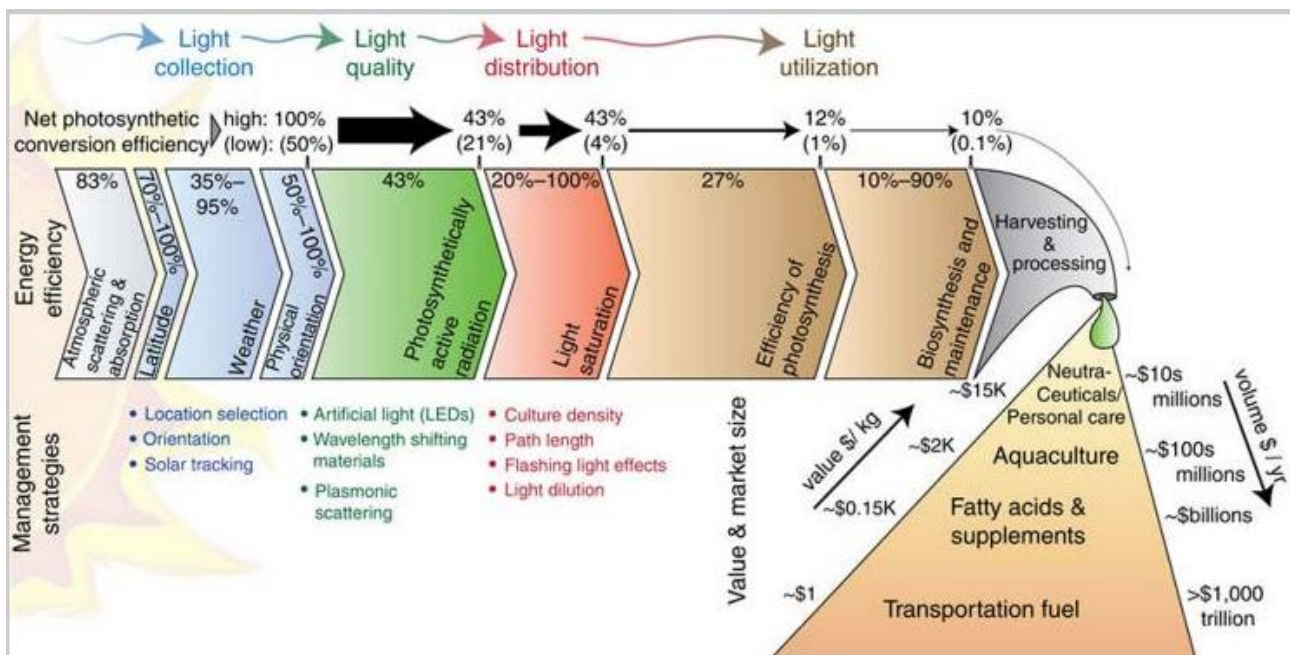
Algeproduksjon er industri i USA og andre land med gunstig klima, og det er eksempler på aktører som etablerer produksjon i Norden, inkludert den norske produsenten MicroA i Tananger [12]. Fokus er oftest høykostprodukter som astaxanthin (rød farge i laks), levendefôr til oppdrett/akvarier, og helsekost/Spirulina. Storskala produksjon av mikroalger har i hovedsak fokusert på biodrivstoff, hvor en fettakkumulerende mikroalge dyrkes med påfølgende ekstraksjon av lipidet som deretter kjemisk omformes til biodiesel. En eventuell industriell produksjon av biodrivstoff vha. mikroalger kan gi et betydelig "overskudd" av mikroalgeprotein som kan anvendes som fôr.

---

<sup>6</sup> Blågrønnbakterier inkluderer *Spirulina*, som brukes mye i helsekost.

I dag benyttes i hovedsak naturlig sollys som lyskilde, men det er fullt mulig å produsere mikroalger med kunstig lys ( gjerne LED), f.eks. i Norden. Dersom innstrålingen er sterk må algekulturene skjermes både mot lys og varme. Hvis lyset er for svakt eller av feil kvalitet (f.eks. lite rødt/blått lys), blir veksten svekket. Tap av lysenergi skjer hele veien fra lyskilde til reaktor og gjennom vannet algene gror i, og i tette kulturer vil cellene bidra til sterk lysspredning og skygge for hverandre. Når lysenergien (i form av fotoner) kommer i for store mengder inn til fotosystemene i cellene, kan ikke alle fotonene omsettes til energiproduksjon og går i stedet tapt i form av varme eller fluorescens fra cellene. Resultatet er at biomassen sjelden kommer over noen få gram per liter kultur, selv om det teoretiske potensialet er høyere.

Bærekraftig produksjon av mikroalger ved bruk av sjøvann/prosessvann/avløpsvann, og på arealer som ikke er egnet for landbruk, har fornyet interessen for mikroalgeproduksjon. I de senere år har interessen økt for å koble mikroalgeproduksjon til f.eks. resirkuleringsanlegg (RAS) i fiskeoppdrett eller akvaponi, både som et vannbehandlingstiltak (fjerning av N før vannet slippes ut) og for å produsere mikroalger som fôr til f.eks. reker i oppdrett. Det kan også være mye å hente på å kombinere lysstyrt produksjon (autotrofi) med delvis heterotrof produksjon (miksotrofi), f.eks. bygge opp biomasse med lysenergi til et punkt der denne ikke øker lenger grunnet for tett kultur, for så å tilføre organisk karbon for å øke vekst/lagring av ønskede forbindelser. Dette er mulig fordi mikroalger tilhører ulike evolusjonære grener og har ulike egenskaper, noen er strengt autotrofe mens andre kan veksle mellom ulike modus.



Figur 3-18 Foton-styring for å forsterke fotosyntesen [2].

### 3.4.4.3 Storskala dyrking av mikroalger

Ifølge FAO [21] var den globale produksjonen av dyrkede mikroalger, inkludert cyanobakterier, i 2018 på minst 87 tusen tonn (trolig våtvekt), men rapporteringen av dyrking av mikroalger var ufullstendig og tall manglet for sentrale land som Israel, India, Japan, Australia og USA. Mer enn 99

% av det rapporterte volumet var produsert i Kina. Ifølge Benemann [18] var den globale industrielle produksjonen av fototrofe mikroalger, inkludert cyanobakterier, tidlig på 2010-tallet omkring 15 tusen tonn tørrvekt per år. Her mangler trolig Kina. Kombinerer vi disse to kildene er det sannsynlig at dagens globale produksjon av dyrkede mikroalger er på minst 30-40 tusen tonn tørrvekt per år. I det minste utenfor Kina, er produksjonen dominert av produkter med en verdi på mer enn 100 kr/kg [18]. DHA/EPA (ca 70 kr/kg som del av en DHA/EPA-rik olje) og spesielt protein (20-30 kr/kg) er i så måte utfordrende produkter. Mer enn 95 % av volumet i den industrielle produksjonen skjer i åpne dam-systemer [18] og disse er bedre egnet i solrike og varmere land enn Norge. De er også svært arealkrevende (se under). Bruk av ulike fotobioreaktorer basert på sollys eller kunstig lys øker i omfang, men primært for produksjon av høy-verdi/lavt-volum produkter.

En eventuell produksjon av mikroalger som kilde til EPA/DHA og/eller protein til bulkfôr til laks vil kreve en produksjonsskala langt over dagens nivå. Produksjon av 100 tusen tonn mikroalgeprotein, som tilsvarer 5 % av det estimerte proteinbehovet i 2050, vil kreve omkring 200 tusen tonn tørrvekt mikroalger per år, eller 0.6-0.8 millioner tonn våtvekt mikroalger. Tilsvarende vil produksjon av 7 tusen tonn EPA/DHA eller 5 % av det estimerte behovet i 2050, basert på et EPA/DHA innhold på 60 g per kg tørrvekt, kreve 113 tusen tonn tørrvekt mikroalger. Det kan være mulig å utvikle eller finne fram til mikroalger med et høyere innhold av EPA/DHA og slik redusere mengden alger som må produseres, i beste fall kanskje til det halve. Proteinutbyttet er det vanskeligere å påvirke, men man kan utnytte restmassen etter lipidekstraksjon. Ved produksjon av 7 tusen tonn EPA/DHA vha. 60-120 tusen tonn (tørrvekt) fototrofe mikroalger vil man også få 20-60 tusen tonn protein.

Utbyttet av mikroalger avhenger av dyrkingsteknologien og varierer fra 100 til 1400 kg tørrvekt per hektar og døgn (Tabell 3-20). Estimert produksjonskostnad er 7-250 kr/kg tørrvekt for produksjonsvolum fra 200 tonn til 125 tusen tonn per år, med et estimert teoretisk minimum på rundt 2 kr/kg tørrvekt. Produksjonskostnadene per kg avtar med økende volum. Mikroalger inneholder ofte omkring 50 % protein, som gir en proteinpris i området 14-500 kr/kg. De laveste estimatene er på nivå med dagens pris for protein fra soyaproteinkonsentrater (12-18 kr/kg, se Tabell 2-1, side 13), mens de høyeste estimatene ligger godt over dette nivået.

**Tabell 3-20** *Eksempler på produktivitet i ulike produksjonssystem, estimater for produksjonskostnader i storskala anlegg basert på teknologien, og muligheter for forbedringer.*

Dyrkingssystem	Produktivitet (g t.v./m <sup>2</sup> døgn)	Kostnad (NOK/kg tørrstoff)	Forbedringsmuligheter
Åpen dam	10-20	2 <sup>D</sup> -7 <sup>A</sup> -50 <sup>B</sup> -250 <sup>E</sup>	Få? Forbedret omrøring? Hyppig høsting?
Lukket reaktor	40-50	15 <sup>A</sup> -42 <sup>B</sup> -60 <sup>B</sup> -130 <sup>C</sup>	Materialer, lyskilde, konfigurasjon/lysvei
Teoretisk oppnåelig med ny teknologi	140	Ingen info.	"Lys-fortynning", "foton-styring", optimalisering av absorpsjon/energiomsetning

<sup>A</sup> Davis *et al.* [5] (125 tusen tonn ts/år) <sup>B</sup>Norsker *et al.* [6] (2-6 tusen tonn ts/år) <sup>C</sup>Acien *et al.* [7] (200 tonn ts/år)

<sup>D</sup> Teoretisk minimum kostnad ifølge Enzing *et al.* [4]. <sup>E</sup> Maksimal estimert kostnad ifølge Enzing *et al.* [4]

Ved en eventuell produksjon av EPA/DHA (antatt 60 g/kg tørrvekt) blir produksjonskostnadene basert på Tabell 3-20 fra 117-4167 kr/kg EPA/DHA som er fra noe høyere til betydelig høyere enn dagens markedspris basert på EPA/DHA i fiskeolje (ca. 70 kr/kg).



I en teknisk-økonomisk analyse av produksjon av EPA/DHA med mikroalger estimerte Chauton *et al.* [13] prisen per kg EPA + DHA til 107-631 kr/kg avhengig av ulike forutsetninger. Dette er i samme område som tallene over.

Rent teknisk er det ingen grenser for hvor stor produksjonen kan bli, bare prisen på produktet kan forsvare investeringer og produksjonskostnader. Produksjon av 200 tusen tonn tørrvekt mikroalger, vil kreve betydelige arealer, fra 4-57 km<sup>2</sup> lysflateareal for algene, men ulike reaktorutforminger som skrånstillede paneler kan redusere faktisk arealbruk noe. Ved storskala bulk-produksjon vil god tilgang på sollys være et økonomisk fortrinn, og land med mye sol, f.eks. rundt Middelhavet, vil ha en fordel. Arealkravene kan gjøre ørken og halvørken-områder med lav arealpris særlig interessante. Ved dyrking i mindre skala, f.eks. for produksjon av levendefôr er kunstig lys et alternativ og arealkravene mer begrensede.

Basert på dagens tekniske løsninger og tilgjengelige stammer av mikroalger er produksjon av EPA/DHA og protein i en skala som monner for bruk i bulkfôr til laks en utfordring, og spesielt i Norge hvor fotobioreaktorer og kunstig lys synes mest aktuelt. Per i dag er det andre komponenter som astaxanthin (rød farge i laksekjøtt) og mikroalger som fôr til krepsdyr som i sin tur føres til lakseyngel, mer aktuelt. Men storskala produksjon av biodrivstoff (flere ti tusener tonn tørrvekt alger per år eller mer) er fortsatt en aktuell problemstilling som det forskes på, og økonomiske analyser indikerer at i det minste ulike åpne dam-systemer i framtiden kan gi en økonomisk regningssvarende produksjon av DHA/EPA, selv om den kanskje må skje andre steder enn i Norge. Trolig betinger en økonomisk lønnsom produksjon av EPA/DHA vha mikroalger, stammer med et høyere innhold enn dagens kandidater, hva enten de er frembrakt gjennom bioprospektering eller genetisk modifikasjon av kjente stammer. Mangel på EPA/DHA kan på sikt trolig også presse prisen noe oppover. Produksjon av mikroalgeprotein utover som et biprodukt ved EPA/DHA produksjon, er imidlertid mer krevende.

#### 3.4.4.4 Prosessutvikling

På teknologi-siden jobbes det med å utvikle optimaliserte reaktorer (kort lysvei, stor overflate, optimal turbiditet for effektiv lysutnyttelse) [8]. Som annen industriell produksjon, bør mikroalgeproduksjonen etableres med fokus på prosesskontroll for optimal utnyttelse av næring, CO<sub>2</sub>, vann, osv. I dag varierer produksjonsanleggene fra enkle åpne damsystem (evt. støpte basseng) til avanserte, lukkede og kontrollerbare reaktorer og fermenteringssystem. Når produksjonsomfanget øker må også nødvendig utstyr for videre behandling tilpasses, som f.eks. avvannings/høstingsteknologi. I dag hentes det meste fra andre produksjoner, men det kan være nødvendig med tilpasninger for å øke effektiviteten. Det er også interesse for nye materialer i reaktorsystemer, f.eks. nanopartikler for økt lysspredning og bølglengdeskift [9].

Når det gjelder biologi, er fokus på seleksjon av arter. Det er flere tusen å velge fra i naturen, men foreløpig utnyttes bare et fåtall, og det kan ligge et stort potensial i "ikke-domestiserte" arter [10]. Det jobbes også mye med å optimalisere dyrkingsbetingelser og øke forståelsen av hvordan dyrkingsbetingelser (lys, næring, stress, m.m.) påvirker den kjemiske profilen. Dette kan brukes til å "skreddersy" biomasse for gitte formål, f.eks. øke lipid- eller astaxanthin-innholdet før høsting. Den

dynamiske sammenhengen mellom dyrkingsbetingelser og biomassekvalitet kan også være en utfordring, fordi det betyr at små endringer i produksjonsbetingelsene kan gi variasjoner i produktet over tid. Eksempelvis vil variasjon i sammensetningen i et avløpsvann over tid, påvirke egenskapene til den produserte biomassen. Det er også mye fokus på gen-editering/modifisering for å endre egenskaper, og det er etablert metoder med CRISPR-teknologi for mikroalger [14] ofte med fokus på økt konvertering av lysenergi til biomasse.

I tillegg til at det publiseres mange forskningsarbeid på fotofysiologi, cellemetabolisme, dyrkingsbetingelser, gen-editering, osv., er det en rask økning i publisering av oversiktsartikler på næringsinnhold i mikroalger, egnethet i fôr, livsløps- og bærekraftsanalyser på energi/vann-forbruk og teknisk-økonomiske analyser av storskala-produksjon [13]. Ofte er fokus på anvendelser innen biodrivstoff, men mange av resultatene er relevante også for andre anvendelser. Dyrking av mikroalger i prosessvann/avløpsstrømmer er veldig relevant og det publiseres arbeider med ulike arter av alger og ulike ressursstrømmer, med fokus på vannrensing (N-fjerning, evt. tungmetaller) eller til biogass/biodrivstoff. Her vil regelverket knyttet til bruk av avfallstrømmer dirigere anvendelsene, og foreløpig er dette strengt i forhold til konsum og fôr. Et annet område som får oppmerksomhet for tiden, er studier av sammensatte samfunn og bruk av økologiske prinsipper for å øke biomasseproduksjonen. I storskala mikroalgeproduksjon vil det aldri være kun én algart til stede. Det vil som regel være flere alger, et spekter av bakterier, og ofte også ciliater og andre protister [11].

Produksjon av nye fôringredienser basert på mikroalger kan også begrenses av lovmessige reguleringer. I EU er "Novel food" definert som "food not used for human consumption before May 15th 1997". Listen over godkjente mikroalger er ikke lang. Mikroalgene *Chlorella*, *Dunaliella* og *Haematococcus* står på listen sammen med cyanobakterien *Arthrospira* (spirulina). I de senere år har noen flere arter blitt lagt til som *Isochrysis*, *Nannochloropsis*, og *Phaeodactylum*. Dette legger begrensninger på mulighetene for å utnytte den store diversiteten av mikroalger til å framstille nye næringsmidler, men i hvilken grad dette også vil gjelde fôrprodukter er mer uklart.

#### 3.4.4.5 Industrielle aktører og IPR

Mikroalger produseres i dag som kilde til astaxanthin, som levendefôr til oppdrett og akvarier, og som "helsekost", i første rekke Spirulina. Mange produsenter er små og det "kommer og går" selskaper innen området. I Europa dominerer fotobioreaktorer, men i Sør-Europa er en større andel av anleggene åpne dammer (Figur 3-20, neste side) I volum alger produsert dominerer åpne damsystemer fullstendig [18]. Noen av de større produsentene er Algatech (Israel) (<https://www.algatech.com/algatech-facility-arava-desert/>) som produserer astaxanthin med mikroalgen *Haematococcus pluvialis* og fucoxanthin med microalgen *Phaeodactylum tricorutum*),



**Figur 3-19** Et eksempel på at det investeres i FoU knyttet til mikroalgeproduksjon og oppskalering, "The GICON® Octagon photobioreactor, part of the EU-funded project Space@Sea". Reaktorene skal settes ut i sjøen.

Cyanotech (Hawaii, USA) (<http://www.cyanotech.com/>) som produserer astaxanthin med *H. pluvialis* og Spirulina med cyanobakterien *Arthrospira platensis*, og Astareal (Japan) (<http://www.astareal.com/>) som produserer astaxanthin både i Japan og på en del andre lokaliteter rundt om i verden.

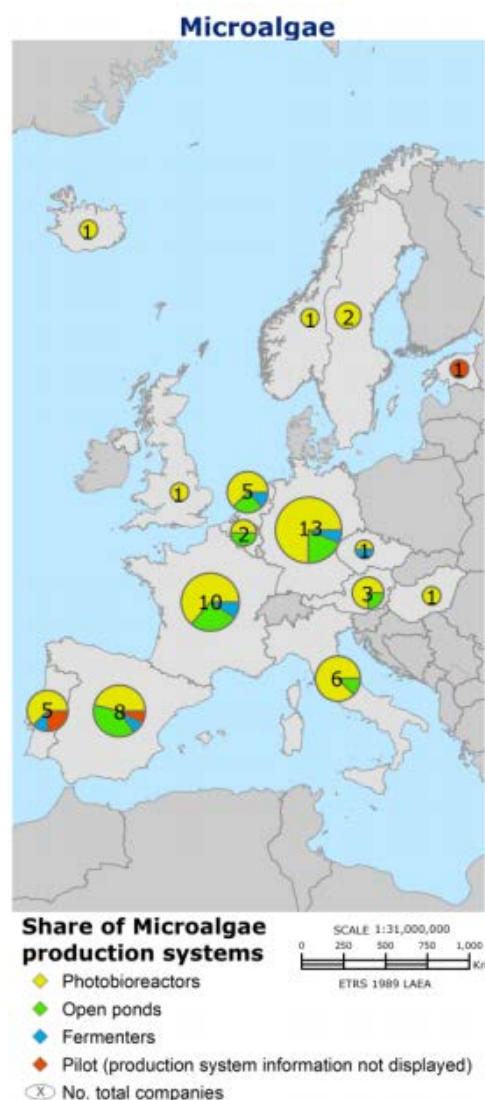
I Norge arbeider MicroA i Tananger med industrialisering av en prosess for produksjon av astaxanthin med *H. pluvialis* og en prosess for produksjon av et gelprodukt for kosmetisk industri basert på den grønne mikroalgen *Prasinococcus capsulatus*. Begge produkter skal produseres i fotobioreaktorer basert på kustig lys. Finnfjord AS utvikler i samarbeid med Univ. i Tromsø en prosess hvor kiselalger skal utnytte CO<sub>2</sub> fra smelteverket som C-kilde og slik redusere CO<sub>2</sub>-utslippet fra smelteverket. Produksjonen skjer i fotobioreaktorer og med kunstig lys, og biomassen skal brukes i fôr til oppdrettslaks.

### IPR

Den generelle teknologien for dyrking av mikroalger har vært kjent i lang tid og er ikke patenterbar. Det samme gjelder de tradisjonelle stammene og artene av mikroalger som har vært benyttet i prosessene. Tilgangen til nyere løsninger for lystilførsel og lysregulering og andre nye finesser ved fotobioreaktorer kan imidlertid begrenses av patenter. Likeledes er det tendens til at nye stammer og isolater med lovende egenskaper patenteres [19]. Dette gjelder også produksjonsprosesser for spesifikke forbindelser som karotenoider [20].

### Referanser

1. Martínez, C., Mairet, F., Bernard, O. 2018. Theory of turbid microalgae cultures. *J. Theoretical Biology*, Elsevier, 456, pp.190 - 200. [ff10.1016/j.jtbi.2018.07.016](https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2018.07.016)
2. Ooms, M.D., Dinh, C. T., Sargent, E.H. og Sinton, D. 2016. Photon management for augmented photosynthesis. *Nature communications*, **7**, 12699. <https://doi.org/10.1038/ncomms12699>
3. Caporgno, M.P., og Mathys, A. 2018. Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits. *Front. Nutr.* **5**:58. doi: 10.3389/fnut.2018.00058
4. Enzing, C., Ploeng, M., Barbosa, M. og Sijtsma, L. Ed. Vigani, M, Parisi, C og Cerezo, E.R. 2014. *Microalgae-based products for the food and feed sector: an outlook for Europe*. European Commission. JRC Scientific and Policy Reports. doi: 10.27913339.
5. Davis, R., Aden, A. og Pienkos, P.T. 2011. Techno-economic analysis of autotrophic microalgae for fuel production. *Appl. Energy* **88**: 3524-3531
6. Norsker, N-H., Barbosa, M.J., Vermuë, M.H. og Wijffels, R.H. 2011. Microalgal production – a close look at the economics. *Biotech. Adv.* **29**: 24-27



**Figur 3-20** Oversikt over mikroalge produksjonssystemer i Europa. Tallene kan avvike noe fordi de er basert på innmeldte data/spørreundersøkelse, men gir et bilde på dagens situasjon [12].

7. Acien, F.G., Fernández, J.M., Magán, J.J. og Molina, E. 2012. Production cost of a real microalgae production plant and strategies to reduce it. *Biotech. Adv.* **30**: 1344-1353
8. European Commission website. News 2019. *A photobioreactor to produce microalgae starts operating.* [https://ec.europa.eu/info/news/photobioreactor-produce-microalgae-starts-operating-2019-jun-19\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/photobioreactor-produce-microalgae-starts-operating-2019-jun-19_en)
9. Ooms, M.D., Jeyaram, Y. og Sintona, D. 2015. Wavelength-selective plasmonics for enhanced cultivation of microalgae. *Appl. Physics Lett.* 106, 063902; doi: 10.1063/1.4908259
10. Benedetti, M., Vecchi, V., Barera, S. og Dall'Osto, L. 2018. Biomass from microalgae: the potential of domestication towards sustainable biofactories. *Microb Cell Fact* **17**, 173. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-1019-3>
11. Lian, J., Wijffels, R.H., Smidt, H. og Sipkema, D. 2018. The effect of the algal microbiome on industrial production of microalgae. *Microb. Biotechnol.* **11**(5). DOI: 10.1111/1751-7915.13296
12. The European Commission's Knowledge Centre for Bioeconomy. Brief on algae biomass production. 2018. [https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC118214/kcb\\_brief\\_algae\\_biomass\\_production\\_online\\_version.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC118214/kcb_brief_algae_biomass_production_online_version.pdf)
13. Chauton, M.S., Reitan, K.I., Norsker, N.H., Tveterås, R., Kleivdal, H.T. 2015. A techno-economic analysis of industrial production of marine microalgae as a source of EPA and DHA-rich raw material for aquafeed: Research challenges and possibilities. *Aquaculture* **436**: 95-103.
14. Nymark, M., Sharma, A.K., Sparstad, T., Bones A.M., og Winge, P. 2016. A CRISPR/Cas9 system adapted for gene editing in marine algae. *Scientific Reports*, **6**: 24951.
15. Peltomaa, E., Johnson, M.D. og Taipale, S.J. 2017. Marine cryptophytes are great sources of EPA and DHA. *Marine Drugs* **16**: 3; doi:10.3390/md16010003
16. Patel, A., Karageorgou, D., Rova, E., Katapodis, P., Rova, U., Christakopoulos, P. og Matsakas, L. 2020. An overview of potential oleaginous microorganisms and their role in biodiesel and omega-3 fatty acid-based industries. *Microorganisms* **8**: 434; doi: 10.3390/microorganisms8030434
17. Ryckebosch, E., Bruneel, C., Termote-Verhalle, R., Goiris, Koen, Muylaert, K. og Foubert, I. 2014. Nutritional evaluation of microalgae oils rich in omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids as an alternative for fish oil. *Food Chem.* **160**: 394-400
18. Benemann, J. 2013. Microalgae for biofuels and animal feeds. *Energies*, **6**: 5869-5886; doi: 10.3390/en6115869
19. de la Jara, A., Assunção, P., Portillo, E., Freijanes, K. og Mendoza, H. 2016. Evolution of microalgal biotechnology: a survey of the European Patent Office database. *J Appl Phycol*, **28** DOI 10.1007/s10811-016-0805-8
20. Novoveská, L., Ross, M.E., Stanley, M.S., Pradelles, R., Wasiolek, V., og Sassi, J.-F. 2019. Microalgal carotenoids: A review of production, current markets, regulations, and future direction. *Mar Drugs* **17**: 640. doi: 10.3390/md17110640
21. FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

### 3.4.5 Makroalger (tang og tare)

Dyrkede makroalger er en potensiell kilde til protein i fiskefôr. Dyrking av makroalger (tang og tare) er lavtrofisk og bærekraftig, uten bruk av ferskvann, matjord, fôr, gjødsel eller sprøytemidler. Gjennom fotosyntesen medfører dyrking CO<sub>2</sub>-opptak og karbonbinding i biomasse som kan høstes etter bare noen måneder i sjø. Biomasseproduksjonen er stor, med et høstbart utbytte på 100-150 tonn våtvekt (10-30 tonn tørrvekt) per hektar eller mer, avhengig av lokalitet.

Dyrking av makroalger har lang tradisjon i flere asiatiske land der disse er en naturlig del av det daglige kostholdet, samt benyttes til ekstraksjon av ulike fykokolloider (alginat, karragenan, agar). Globalt dyrkes årlig rundt 30 millioner tonn våtvekt, som utgjør 27 % av all marin akvakultur [1]. I Norge og resten av Europa er dyrking av makroalger i en tidlig fase, men interessen er stor og det er mange aktører involvert i hele næringskjeden. I 2018 ble det dyrket 174 tonn (våtvekt) sukkertare og 2 tonn butare i Norge. Det er per i dag gitt 475 dyrkningstillatelser fordelt over 97 lokaliteter og 23 industriaktører [2], noe som tydelig gjenspeiler den økte interessen.

Den store interessen for sukkertare og butare skyldes trolig at disse er de enkleste tareartene å dyrke og at de kan gi gode avlinger. Dyrkingsmetodene (Figur 3-21) er utviklet i Nord-Europa og passer godt for norske forhold [3], men som for nye oppdrettsarter flest er produksjonen uforutsigbar og kostnadene høye, og det jobbes med å forbedre og effektivisere dyrkingsteknologien. Det eksisterer foreløpig ingen leverandørindustri som selger utstyr og driftsprotokoller med produksjonsgarantier for denne næringa, men en norsk bedrift lager dyrkingsanlegg for salg.



**Figur 3-21** Dyrking av tare i norske farvann. Kimplanter ("setteplanter") av tare dyrkes opp fra morplanter i landanlegg og overføres til dyrkingsanlegg på egnede lokaliteter i sjø for oppdyrking av høstbar biomasse.

På gode lokaliteter oppnår man 8-10 kg våtvekt eller mer pr. meter taretau etter en dyrkingsperiode på 4 måneder [4, 5]. Siden taren vanligvis skal brukes til mat, blir den høstet inn før den har nådd maksimal størrelse for å unngå at den blir skjemma av begroing [6]. De mest produktive lokalitetene har høy saltholdighet, lave temperaturer, god lysgjennomgang og høy konsentrasjon av nærings-salter. Slike områder finnes helst ute på kysten, der næringsrikt vann fra den nordatlantiske strømmen blander seg inn over sokkelen. På mer beskyttede områder inne i fjordene og den innerste delen av skjærgården er produksjonen lavere.

Produktiviteten kan økes ved å dyrke taren nært lakseoppdrettsanlegg grunnet gjødseffekten fra nitrogenrike utslipp som taren bruker til vekst [7-9]. Tare tar opp betydelige mengder nærings-salter fra havet, og IMTA er en vinn-vinn situasjon der resultatet er høyere utbytte av biomasse pr konsej-sjonsareal og mulighet for resirkulering av ressurser om biomassen senere brukes i produksjon av

laksefôr. Nesten 40 % av nitrogenet i laksefôret havner i vannet som ammonium, et næringsstoff taren gjerne assimilerer og bruker til biomasseproduksjonen [10]. Det er vist at tare som dyrkes her har høyere innhold av nitrogen, noe som kan gi høyere proteininnhold. En annen mulighet er å dyrke arter som grønnalgen havsalat (*Ulva lactuca*) i landbaserte anlegg med eller uten resirkulering (RAS) der man fra før har fisk eller andre arter som fôres (f. eks snegl, sjøpølser, kråkeboller). Havsalat tåler store variasjoner i salinitet, temperatur og lysintensitet og kan fungere som et ekstra biofilter i anlegget for å forbedre vannkvaliteten, samtidig som man får ekstra verdi i form av ny biomasse. Forsøk har vist at havsalat dyrket på avløpsvann fra fisk inneholder 2-4 ganger mer protein (opp mot 40 % av tørrstoff) enn havsalat dyrket på vanlig sjøvann [11].

### 3.4.5.1 Makroalger som kilde til komponenter i fôr til fisk

Bruk av brunalger, og da særlig sukkertare, i fôr til fisk har så langt vært lite utforsket [12], og lite informasjon er tilgjengelig om effekter på fiskens metabolisme, velferd og filet-sammensetning. Det irske firmaet Ocean Harvest Technology har en serie makroalgebaserte fôrprodukter for ulike dyr (storfe, svin, fjørfe, hester og kjæledyr), men også for laks og reker. Deres produkter er en blanding av både røde og grønne makroalger, samt litt brunalger. Firmaet sier imidlertid spesifikt på sine hjemmesider at produktene ikke inneholder tare eller grisetang (*A. nodosum*), da disse inneholder for mye polyfenoler som binder seg til protein, samt arsen og jod. Ellers er det sparsomt med opplysninger om hva produktene inneholder. Produktet for laksefôr, OceanFeed, skal kun tilsettes i små mengder, opp til 5 % (pers. med. Stefan Kraan, The Seaweed Company) og er vist å endre laksens metabolisme og gi bedre vekst, mindre lusepåslag, lavere dødelighet og en endring i fettsammensetning [13].

Tare kan potensielt være en kilde til protein i fôr til laks. Dette betinger imidlertid som tidligere nevnt (Kap. 3.1.3), en kostnadseffektiv prosess for å framstille et proteinprodukt fra tare. Makroalger inneholder 75-90 % vann, noe som gjør dette til et utfordrende råstoff ved innhøsting og prosessering. Det gjenværende tørrstoffet inneholder karbohydrater, proteiner, lipider, vitaminer og mineraler i en varierende sammensetning [16]. SFI'en Foods of Norway ved NMBU forsker på bruk av tare til laks- og dyrefôr, både direkte som proteinkilde, som substrat for produksjon av encelleprotein, og som råstoff for funksjonelle komponenter [12, 14]. Forsøk med inklusjon på 5-15 % røde makroalger i fiskefôr er testet ut med stort hell [15].

Proteininnholdet i sukkertare og butare, 10-12 % av tørrstoff [5, 23], er lavt sammenlignet med fiske- mel og soyaproteinkonsentrat (begge ca 72 % råprotein av tørrstoff). Enkelte rødalger (f.eks. *Porphyra* spp.) kan inneholde 35-47 % protein som er sammenlignbart med soya [17], men her er den potensielle biomasseproduksjonen mye lavere enn hos de store tareplantene. Proteinfraksjonen varierer med sesong, breddegrad og lokalitet, og vil i hovedsak øke om vinteren og minske i løpet av vår og sommer, i takt med næringstilgangen i sjøen, så høstetidspunktet er viktig for å få biomasse med høyest mulig proteininnhold [5]. De fleste makroalgene inneholder alle de essensielle aminosyrene, og er i tillegg en god kilde til asparaginsyre og glutaminsyre som er viktige smaksforsterkere ("umami") [17]. Tare inneholder taurin som det er lite av i plantebaserte proteinkilder som soya [18].

For å utvinne 100 tusen tonn protein (5 % av estimert behov i 2050) fra sukkertare med et utbytte på 5 g protein per kg våtvekt, trengs 20 millioner tonn våtvekt sukkertare. Dette krever et dyrkingsareal

på 1000 km<sup>2</sup>. Sukkertare inneholder 10-12 g protein per kg våtvekt, og forsøk har vist at proteinet kan ekstraheres ut, eller anrikes som protein-rike konsentrater av tare, men dagens prosesser er tidkrevende og ikke økonomisk lønnsomme. Dersom proteinkonsentrat fra tare skal bli etterspurt, må det være konkurransedyktig med hensyn på både kvalitet og pris. Muligheter for å lage flere produkter av taren, noen av dem med høy pris, er foreslått som løsning på denne utfordringen. Dersom bærekraft i form av lavere klimaavtrykk kan betales for, vil en noe høyere produksjonskostnad kunne kompenseres.

Makroalger er også av interesse i fiskefôr på grunn av et høyt innhold av ulike bioaktive komponenter som karotenoider, vitaminer og mineraler som kan øke næringsinnholdet i fisken for forbrukerne. Disse stoffene har høyere pris per kg enn proteinkonsentrat og kan, i tillegg til å bidra til en mer fullstendig utnyttelse av råstoffet, sikre en kostnadseffektiv forretningsmodell og verdikjede.

Jodmangel hos mennesker er et globalt problem, noe som driver akvakultursektoren til å utvikle strategier for å imøtekomme dette. Tilleggsfôr med makroalger er blitt brukt for å øke jod-innholdet i ulike typer fisk (regnbueørret, tunge, dorade), men siden noen brunalger har meget høyt innhold av jod (opp mot 10 g/kg tørrstoff [19]) kan dette være en utfordring, selv ved små inklusjoner. Ifølge Europakommisjonens Anbefaling 2015/861 er maksimal tillatt konsentrasjon av jod i fiskefôr på det Europeiske markedet 20 mg/kg tørrstoff. Ny forskning viser imidlertid at man kan redusere jod-innholdet opp mot 88 % ved å blanchere biomassen i vann ( $\geq 45$  °C,  $\geq 30$  sekunder) uten å ødelegge andre viktige komponenter som protein [20]. Tilleggsfôr tilsatt ulike makroalger har også vist å ha gunstige effekter for fisken [21].

Selv om makroalger bidrar med essensielle næringsstoffer, kan de i noen tilfeller inneholde forhøyede verdier av uorganisk arsen og kadmium, mens innholdet av andre tungmetaller som kvikksølv og bly generelt er lavt. Dette kan i noen tilfeller begrense bruken til mat og fôringredienser [22].

### 3.4.5.2 Dyrking av tare – status

Dyrking av makroalger har en lang tradisjon i Asia hvor det høstes enorme volumer hvert år. I Europa er imidlertid tare dyrking en ny næring. Den er kunnskapsbasert og det publiseres hyppig både om dyrking og prosessering. Norge, Danmark, Storbritannia, Frankrike, Portugal og Nederland er mest aktive. Fokus på bruk av tare til fôr er størst i Danmark (gris, kylling) og Norge (laks, ku). Det er enighet om at bioraffinering er avgjørende for å utnytte de store volumpotensialene som ligger i tare dyrking, og at store volum er en forutsetning for bioraffineri. Bioraffinering av tare har derfor fokus hos mange forskningsaktører, deriblant i kunnskapsplattformen Norwegian Seaweed Biorefinery Platform som ledes av NTNU og SINTEF.

Mye av teknologien som brukes kommersielt er basert på tilpasning av metoder som i utgangspunktet var beregnet på bruk i forskning. Industriell oppskalering er nødvendig for å få ned produksjonskostnadene og muliggjøre konkurranse med andre fôrstoff. Dette vil kreve mekanisering og automatiserte løsninger langs hele verdikjeden fra dyrking til ferdig produkt. I dag preges situasjonen i Europa av at markedet vegrer seg for å etterspørre tare og utvikle tarebaserte produkter fordi volumene av dyrket og preprosessert tare er for små, mens tare dyrkere vegrer seg for å skalere opp på grunn av for liten etterspørsel. De dyrker heller små volum til høyere pris i matbransjen. Siden 2010 har EU-prosjekter fokusert på å utløse potensialet i makroalgedyrking i Europa og nå pågår nye

initiativer, bl.a. i regi av Lloyd's Register Foundation og UN Global Compact, for å løfte industrien slik at denne kan bidra til å løse store samfunnsutfordringer, deriblant trygg fôrproduksjon og reduserte klimaendringer.

Tare forringes raskt etter høsting, og siden høstesesongen er kort, kreves teknologi for hurtig konservering av store mengder biomasse i løpet av kort tid. Dette er en flaskehals. Frysing, tørking og syrekonservering er de mest relevante metodene, der særlig syrekonservering har stort potensiale pga. lave energikostnader. Det er gjort innledende tester med pakking av tare i rundball ved bruk av Orkels "kompaktor" og det antas at mindre modifiseringer vil kunne muliggjøre bruk av denne metodikken.

Vi kjenner foreløpig ikke alle effektene industriell tare dyrking kan ha på miljøet. For eksempel vil store tareanlegg forbruke store mengder næringssalter og kan slik påvirke den naturlige primærproduksjonen i området. Videre er det mange marine organismer som slår seg ned på eller gjemmer seg i tareanleggene og finner mat der. Ved å erstatte proteinkonsentrat fra soya med tareprotein kan man trolig oppnå et bedre klimaavtrykk i oppdrettsnæringen. Kvantifisering av miljøeffektene, både negative og positive, er nødvendig for å dokumentere at produksjonen er bærekraftig, og slik dokumentasjon vil også være et konkurransefortrinn for den Europeiske makroalgeindustrien.

Prosjektet PROMAC demonstrerte at dyrket tare kan brukes til produksjon av et proteinanrikt produkt (ca. 20 % protein) som vil kunne egne seg i laksefôr, men for å oppnå en konkurransedyktig pris på dette konsentratet kreves store dyrkings- og bioraffineringsanlegg [24]. I dette ligger utvikling av industriell skala på dyrkingsanlegg og -operasjoner for å sikre en forutsigbar og kostnadseffektiv biomasseproduksjon, energi- og plasseffektive metoder for konservering og lagring av taren som sikrer jevn tilførsel av råstoff til bioraffineriet, samt optimalisering av metoder for produksjon av høyverdi produkter i tillegg til et proteinanrikt produkt. Et bioraffineri med årlig kapasitet for prosessering av minimum 65 000 tonn (våtvekt) frossen sukkertare til proteinprodukt, mannitol og laminaran er nødvendig for å nå "break-even" [24].

### 3.4.5.3 Industrielle aktører og IPR

*Dyrking:* Blant kommersielle tare dyrkere i Norge er Seaweed Energy Solutions trolig den bedriften som har kommet lengst med oppskalering av dyrking, fulgt av Ocean Forest. En kostbar innsatsfaktor i tare dyrking er produksjon av kimplanter, og i Norge er det foreløpig bare et fåtall av tare dyrkerne som satser på egen produksjon. Eukaryo (NO), Hortimare (NL) og AtSea Nova (BE) selger kommersielle løsninger for dette. Utsetting og innhøsting skjer til ulik tid av året og med ulikt utstyr, og det er utviklet design for modulbaserte løsninger for bruk om bord i fartøy, men ingen kommersielle enda. SINTEF har utviklet klips som erstatter knuter og prototype på en robot som kan sette ut kimplanteliner. IPR er ikke begrensende for utvikling av dyrking.

*Bioraffinering:* De eneste som gjør en viss grad av bioraffinering i Norge er DuPont og Algea, men Alginor og Nutrimar Harvest er nye aktører med tydelige mål om dette. Foreløpig bruker disse villhøstet tang og tare (se kap 3.1.4). Det er mulig IPR kan begrense enkelte prosesser, for eksempel bruk av enkelte enzymer.



## Referanser

2. FAO. 2018. The global status of seaweed production, trade and utilization, vol 124. Globefish Research Programme. Rome
3. Fiskeridirektoratet. 2020. Akvakulturstatistikk (tidsserier)-Alger. 30.01 2020  
<http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Alger>.
4. Forbord S, Steinhovden KB, Rød KK, Handå A, Skjermo J. 2018. Cultivation protocol for *Saccharina latissima*. In: Charrier B, T W, Reddy C (eds) Protocols for Macroalgae Research, 1st ed. CRC Press, Taylor Francis Group, Boca Raton, FL, London, New York, NY, pp 37-59
5. Broch OJ, Alver MO, Bekkby T, Gundersen H, Forbord S, Handå A, Skjermo, J, Hancke K. 2019. Kelp cultivation potential in coastal and offshore regions. *Front. Mar. Sci.* **18** doi.org/10.3389/fmars.2018.00529
6. Forbord S, Matsson S, Brodahl GE, Bluhm BA, Broch OJ, Handå A, Metaxas A, Skjermo J, Steinhovden KB, Olsen Y. 2020. Latitudinal, seasonal and depth-dependent variation in growth, chemical composition and biofouling of cultivated *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) along the Norwegian coast. *J. Appl. Phycol.* doi:10.1007/s10811-020-02038-y
7. Førde H, Forbord S, Handå A, Fossberg J, Arff J, Johnsen G, Reitan KI. 2016. Development of bryozoan fouling on cultivated kelp (*Saccharina latissima*) in Norway. *J. Appl. Phycol.* **28** (2), 1225-1234
8. Broch OJ, Ellingsen I, Forbord S, Wang X, Volent Z, Alver MO, Handå A, Andresen K, Slagstad D, Reitan, KI, Olsen Y, Skjermo J. 2013. Modelling the cultivation and bioremediation potential of the kelp *Saccharina latissima* in close proximity to an exposed salmon farm in Norway. *Aquaculture Environment Interactions* **4**, 187-206.
9. Handå A, Forbord S, Wang X, Broch OJ, Dahle SW, Størseth TR, Reitan KI, Olsen Y, Skjermo J. 2013. Seasonal- and depth-dependent growth of cultivated kelp (*Saccharina latissima*) in close proximity to salmon (*Salmo salar*) aquaculture in Norway. *Aquaculture* 414-415, 191-201
10. Fossberg J, Forbord S, Broch OJ, Malzahn A, Jansen H, Handå A, Førde H, Bergvik M, Fleddum AL, Skjermo J, Olsen Y. 2018. The Potential for Upscaling Kelp (*Saccharina latissima*) Cultivation in Salmon-Driven Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA). *Front Mar Sci* **5**:418
11. Wang X, Broch OJ, Forbord S, Handå A, Reitan KI., Skjermo J, Vadstein O, Olsen Y. 2014. Assimilation of inorganic nutrients from salmon (*Salmo salar*) farming by the macroalgae (*Saccharina latissima*) in an exposed coastal environment: Implications for integrated multi-trophic aquaculture. *J Appl Phycol* **26** (4), 1869-1878.
12. Neori, A. & Shpigel, M. 1999. Using algae to treat effluents and feed invertebrates in sustainable integrated mariculture. *World Aquacult. Mag.* **30** (2), 46-51
13. Øverland, M., Mydland, L.T., Skrede, A. 2019. Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals. *J. Sci. Food Agric.* **99**,13-24.
14. Wilke T, Faulkner S, Murphy L, Kealy L, Kraan S, Brouns F. 2015. Seaweed enrichment of feed supplied to farm-raised Atlantic salmon (*Salmo salar*) is associated with higher total fatty acid and LC n-3 PUFA concentrations in fish flesh. *Eur J Lipid Sci Technol.* 117:767-772.
15. Sharma, S., Hansen, D. L., Hansen, Ø. J., Mydland, L. T., Horn, S. J., Øverland, M., Eijsink, G. H. V. & Vuoristo, S. K. 2018. Microbial protein produced from brown seaweed and spruce wood as a feed ingredient in aquaculture. *J. Agric. Food Chem* **66** (31), 8328-8335
16. Soler-Vila, A., Coughlan, S., Guiry, M.D. et al. 2009. The red alga *Porphyra dioica* as a fish-feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): effects on growth, feed efficiency, and carcass composition. *J Appl Phycol* **21**, 617-624.
17. Holdt, S.L. & Kraan, S. 2011. Bioactive Compounds in Seaweed: Functional Food Applications and Legislation. *J. Appl. Phycol.* **23**, 543-597. <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-010-9632-5>
18. Garcia-Vaquero M. & Hayes M. 2016. Red and green macroalgae for fish and animal feed and human functional food development. *Food Rev. Internat.* **32**:1, 15-45
19. El-Sayed A-FM (2014) Is dietary taurine supplementation beneficial for farmed fish and shrimp? A comprehensive review. *Rev. Aquac.* **6**:241-255
20. Roleda, M., Skjermo, J., Marfaing, H., Jonsdottir, R., Rebours, C., Gietl, A., Nitschke, U., Stengel, D. 2018. Iodine content in bulk biomass of wild-harvested and cultivated edible seaweeds: Inherent variations determine species-specific daily allowable consumption. *Food Chem.* **254**, 333-339.
21. Nielsen CW, Holdt SL, Sloth JJ, Marinho GS, Sæther M, Funderud J, Rustad T. 2020. Reducing the High Iodine Content of *Saccharina latissima* and Improving the Profile of Other Valuable Compounds by Water Blanching. *Foods* **9** (5):569
22. Ferreira M., Larsen B. K., Granby K., Cunha S. C., Monteiro C., Fernandes J. O., Nunes M. L., Marques A., Dias J., Cunha I., Castro L. F. C., Valente L. M. P. 2020. Diets supplemented with *Saccharina latissima* influence the

expression of genes related to lipid metabolism and oxidative stress modulating rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet composition, *Food and Chemical Toxicology*: **140**, 111332

23. Duinker A, Roiha IS, Amlund H, Dahl L, Lock E-J, Kögel T, Måge A, Lunestad BT. 2016. *Potential risks posed by macroalgae for application as feed and food-a Norwegian perspective*. National Institute of Nutrition Seafood Research (NIFES)
24. Stevant, P., Marfaing, H., Rustad, T., Sandbakken, I.S. 2017. Nutritional value of the kelps *Alaria esculenta* and *Saccharina latissima* and effects of short-term storage on biomass quality. *J Appl Phycol* (2017) 29:2417–2426
25. Emblemsvåg, J., Kvalsheim, N.P., Halfdanarson, J. *et al*. Strategic considerations for establishing a large-scale seaweed industry based on fish feed application: a Norwegian case study. *J Appl Phycol* (2020). <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02234-w>

### 3.5 Mikronæringsstoffer i fôr

Et fôr skal dekke behovet for alle næringsstoffer. Fôrsammensetningen er derfor avhengig av oppdrettsfiskens dynamiske ernæringsbehov. I tillegg til protein og fett trenger laksen en del mikronæringsstoffer. Avhengig av hvilke råvarer fôret komponeres av vil disse kunne dekkes naturlig, eller de må tilsettes separat. Dette vil også virke inn på råvareverdien. Mikronæringsstoffer som tilsettes separat, slik som enkelte vitaminer og mineraler er ikke beskrevet i denne rapporten.

### 3.6 Muligheter på tvers, synergier

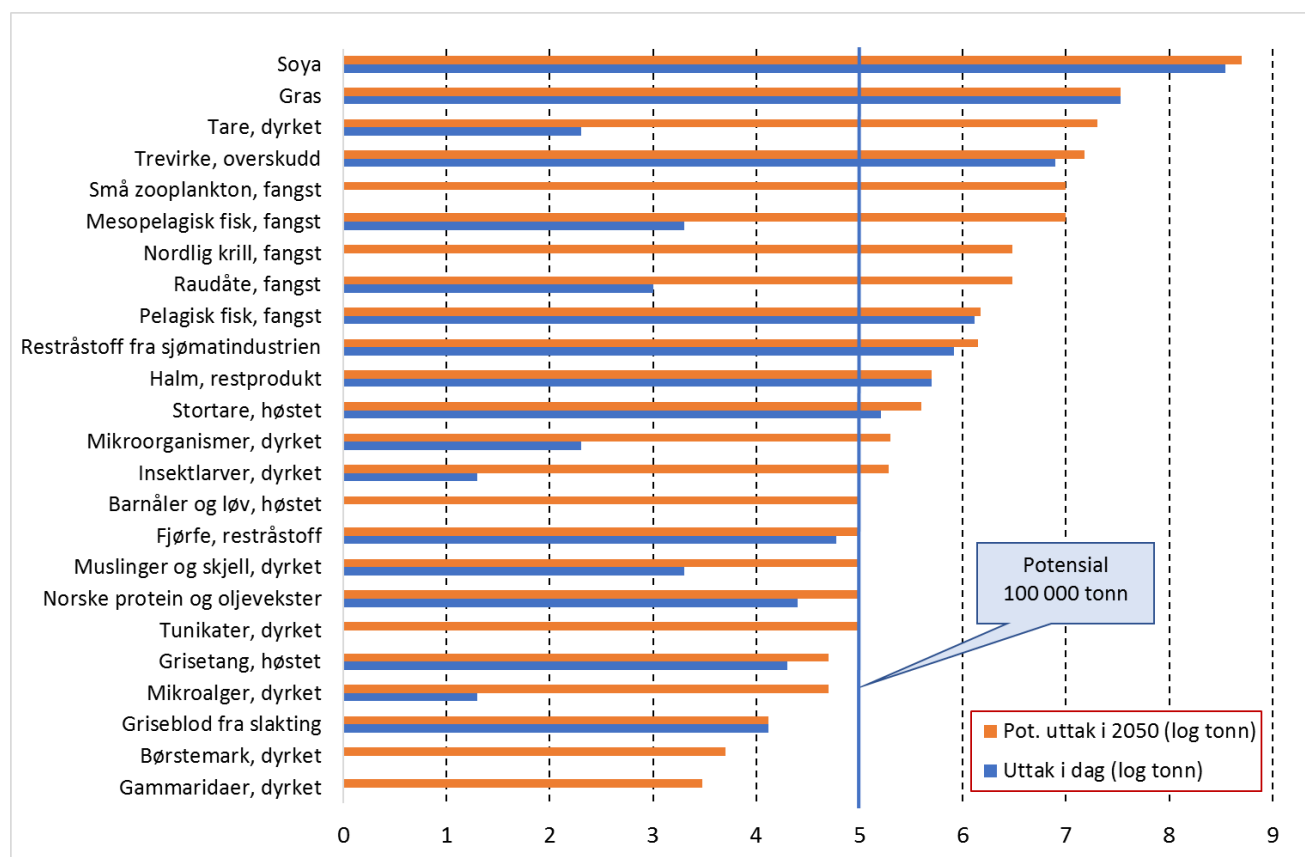
Det ligger muligheter i å utnytte de beskrevne råstoffene i denne rapporten gjennom å kombinere dem på nye måter. Ett eksempel er evertebrater som børstemark og gammaridaer som er protein- og fettrike organismer på trofisk nivå 1-2 i næringskjeden og dermed svært interessante som utgangspunkt for laksefôr (se Kap 3.4.2). Her finnes arter som kan dyrkes opp på ulike typer slam fra agri- og akvakultur og andre industrielle avfallstrømmer og dermed foredle slike ressurser, men på grunn av regelverket for bruk av avfall og avføring er disse ikke tillatt brukt som fôr til matproduserende dyr og fisk, og mister dermed aktualitet i sirkulærøkonomien slik regelverket er utformet i dag. Man er derfor avhengig av andre rimelige fôrkilder for disse organismene, og potensialet som ligger i å bruke plantebaserte råstoff (trofisk nivå 0) er det mest opplagte. For eksempel kan masseproduserte råstoff som tare, gress eller halm representere bulkfôr/energikilde og suppleres med ulike mikroalger for å sikre en god ernæring. På denne måten kan lett tilgjengelige men proteinfattige råstoff oppgraderes til protein- og EPA/DHA-rike børstemark- eller gammaridae-produkter for bruk i laksefôr, gjennom en "biologisk bioraffinering". Slike næringskjeder er foreløpig ikke tilstrekkelig utviklet for industrialisering, men det foreligger nok kunnskap til å etablere en pilotproduksjon for å løse de biologiske, teknologiske og økonomiske utfordringene knyttet til dem.

## 4 OPPSUMMERENDE TABELLER

### 4.1 Råvaretilgang

Dagens uttak av diverse fôrråvarer og potensielle fôrråvarer i Norge og et anslag for mulig uttak i 2050 er vist i Figur 4-1. Figuren viser følgende hovedtrekk:

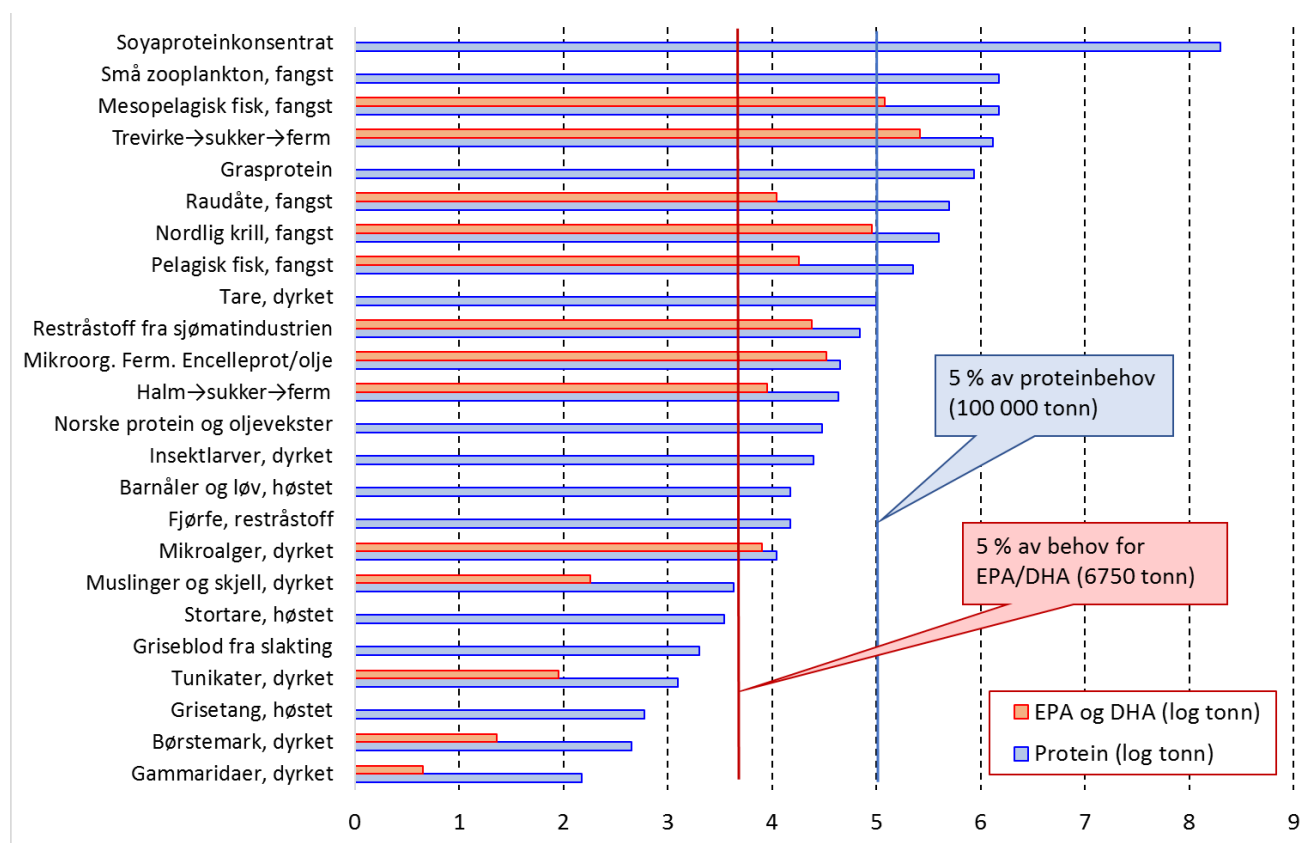
- Det forventes vekst i uttaket av nye dyrkede råvarer, herunder makroalger (tare), mikroalger, hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer, muslinger og skjell, tunikater, gammaridaer, børstemark og insektlarver. Bemerk imidlertid at ikke alle de mulige nye råvarene i Figur 4-1 vil bli realisert, mens andre ikke vil nå opp til nivået indikert i figuren. De ulike dyrkingsprosessene konkurrerer om det samme fôrmarkedet, og det vil, selv ved en produksjon på 5 millioner tonn laks per år, ha en grense.
- Produksjonen av plantebaserte råvarer forventes oppretthold på dagens nivå.
- Uttaket av nye marine organismer, herunder zooplankton og mesopelagisk fisk, forventes å øke. Igjen er det usikkert om alle de indikerte marine organismene vil bli høstet, og i hvilket omfang. Produktene vil i det minste delvis konkurrere om det samme markedet, og det er ikke plass til alle i det indikerte omfanget. Da vil behovet for fôr til oppdrettslaks bli overoppfyllt.



**Figur 4-1** Potensielt uttak (våtvekt) for ulike råvarer i 2050 sammenlignet med dagens uttak. Bemerk at skalaen er logaritmisk.

## 4.2 Tilgang på protein og EPA/DHA

Gitt at uttakene i Figur 4-1 realiseres, viser Figur 4-2 hvor mye de ulike råvarene teoretisk kan bidra med av protein og/eller EPA/DHA i 2050. Linjer i figuren viser når bidraget er 5 % av det estimerte behovet i 2050 for henholdsvis protein og EPA/DHA.



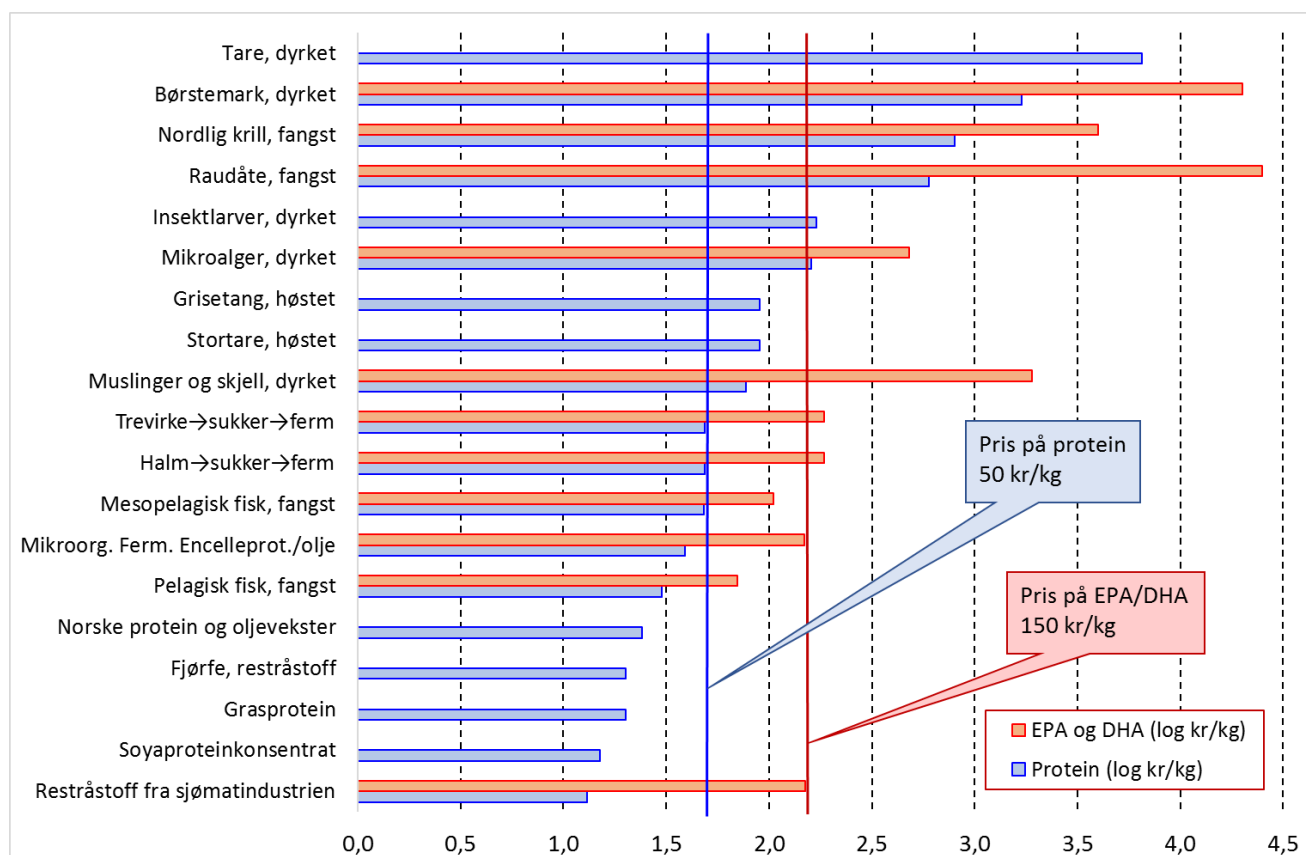
**Figur 4-2** Mulige bidrag fra ulike råstoff for å dekke behovet for EPA/DHA og protein i 2050. *Bemerk at skalaen er logaritmisk.*

Figuren viser følgende hovedtrekk:

- Store potensielle proteinkilder foruten soya, er mesopelagisk fisk, zooplankton (raudåte, nordlig krill, små zooplankton) og gras. Overskudd av trevirke er en stor ressurs som, i likhet med halm, kan omdannes til sukker og så fermenteres med egnede mikroorganismer til encelleprotein og encelleolje. Pelagisk fisk vil som i dag fortsatt være en viktig proteinkilde.
- Viktige potensielle kilder til EPA/DHA er i første rekke marine råstoff som mesopelagisk fisk, pelagisk fisk og ulike zooplankton. Sukker fra trevirke og halm kan fermenteres til oljerike mikroorganismer med et høyt innhold av EPA/DHA, men disse fermenteringsprosessene kan også baseres på importert sukker fra tradisjonelle kilder som maisstivelse, sukkerroer og sukkerrør. Restråstoff fra sjømatindustrien, og da spesielt lakseolje utvunnet fra restråstoff av laks, kan også gi en betydelig mengde EPA/DHA.

### 4.3 Pris på protein og EPA/DHA

Hvis kildene til protein og EPA/DHA diskutert over skal bli anvendt i fiskefôr, må prisen være akseptabel. Figur 4-3 viser estimert pris på protein og EPA/DHA fra ulike kilder. En tentativ øvre prisgrense på 50 kr/kg protein og 150 kr/kg EPA/DHA (som komponent i en olje) er indikert. Det må imidlertid legges til at mange av råvarene inneholder både protein og EPA/DHA, mens prisestimatene er basert på innholdet av kun protein eller EPA/DHA. Et råstoff som inneholder mye protein og litt EPA/DHA kan få en relativt lav pris på proteinet mens prisen på EPA/DHA i det samme råstoffet blir høy. Men anvendes råstoffet som en rimelig proteinkilde blir i realiteten EPA/DHA en "gratis bonus" når prisene estimeres med denne enkle modellen.



**Figur 4-3** Estimert pris for EPA/DHA og protein (kr/kg) fremstilt av ulike råvarer. Noen av prisene er godt dokumenterte eller basert på faktiske priser, mens andre er grove overslag basert på et begrenset datagrunnlag. Bemerk at skalaen er logaritmisk.

Protein i form av soyaproteinkonsentrat, restråstoff fra sjømat- og fjørfeindustrien, og fiskemel av pelagisk fisk gir moderat priset protein i dag. Estimerer indikerer at også grasprotein, protein fra norske protein og oljevekster, og fiskemel av mesopelagisk fisk kan produseres til relativt moderate priser. Det samme gjelder encelleprotein produsert med heterotrofe- eller kjemoautotrofe mikroorganismer. Kombineres pris og potensielt volum (Figur 4-2) framstår fiskemel av mesopelagisk fisk, grasprotein, og encelleprotein som nye proteinkilder som både kan leveres i store kvanta og til en moderat pris.

De rimeligste kildene til EPA/DHA synes å være fiskeolje framstilt fra pelagisk og mesopelagisk fisk. Spesielt fra mesopelagisk fisk kan de også leveres i relativt store kvanta (se Figur 4-2). I tillegg kan EPA/DHA trolig leveres til en overkommelig pris og i større kvanta i form av lakseolje fra restråstoff av laks, og som encelle-olje framstilt ved fermentering av sukker, eventuelt sukker fra hydrolyse av trevirke eller halm.

#### 4.4 De ulike råvarenes bærekraft

Målet med dette kapittelet er å gi en oversikt over karbonfotavtrykket til noen mulige fremtidige fôringsredienser. Det er ikke et omfattende litteraturstudium av LCA-studier (Life Cycle Assessment; livløpsvurderingsstudier), men begrenset til noen eksempler. Andre miljøeffekter som eutrofiering og effekten av forskjellige fôr på det marine økosystemet, er ikke vurdert her. Det skal bemerkes at bærekraft dekker tre hovedaspekter; miljø, samfunn og økonomi, som bør evalueres i forhold til hverandre. Derfor bør et fremtidig studium undersøke hvordan sosiale og økonomiske aspekter også henger sammen med miljøaspektet.

##### 4.4.1 Krill

Det synes ikke å foreligge studier av karbonfotavtrykket ved fangst av nordlig krill, men studier av fangsten av antarktisk krill kan gi en første indikasjon. Selve fangsten og prosesseringen vil neppe være veldig ulik, men transportavstandene vil være kortere for nordlig krill.

Parker and Tyedmers [1] undersøkte miljøkonsekvensene for livssyklusen til tre produkter fra antarktisk krill basert på data levert av Aker BioMarine: (1) 1 kg krillmel, (2) 1 L krillolje og (3) 1 flaske med 60 omega-3 krillolje kapsler. Karbonfotavtrykket av krillmel er rapportert nedenfor.

Systemgrenser: Studien omfattet alle aktiviteter fram til levering til oppdrettsklienter og næringslivsforhandlere, og inkluderte fangst, foredling, emballasje, mellomtransport og distribusjon. Bearbeiding av krill til mel og olje foregikk ombord på Aker BioMarines fiskefartøy, Saga Sea, mens omega-3 krilloljekapsler ble produsert på et anlegg i Frankrike. Mellomtransport inkluderte både transport av mel og olje fra fiskefartøyet til havn i Montevideo, Uruguay, via et fartøy, La Manche, og transport av en liten del olje til Frankrike for prosessering til omega-3 krilloljekapsler. Bakgrunnsprosesser inkluderte konstruksjon og vedlikehold av fartøyer, produksjon av utstyr, produksjon av drivstoff, produksjon av alt emballasjemateriell og produksjon av elektrisitet for prosessering. Produktets livssyklusfaser lagring, forbrukernes anvendelse og avhending av produktet, ble ikke inkludert.

Allokeringsmetode: Karbonfotavtrykket ble fordelt mellom biprodukter fra fiske, primær prosessering av krill til mel og olje og mellomtransport. I vurderingen av mel- og oljeprodukter beregnet på fôr ble relativt energiinnhold lagt til grunn for allokering. Masse ble brukt som grunnlag for å fordele karbonfotavtrykket knyttet til transport av krillprodukter til havn.

Resultat: Krillmel resulterte i ca. 5.4 kg CO<sub>2</sub>/kg, som med et proteininnhold på 71 % ga ca. 7.6 kg CO<sub>2</sub>/kg protein.

#### 4.4.2 Mesopelagisk fisk

Energiintensiteten (kg drivstoff/kg fisk) for fangst og landing av mesopelagiske arter antas å være mellom energiintensiteten for fangst og landing av krill og den pelagiske fisken kolmule (*Micromesistius poutassou*). I Norge fiskes kolmule hovedsakelig av ringnot og pelagiske trålere, og energiintensiteten ved fangsten er estimert til 0.09 kg drivstoff/kg fangst [4], som tilsvarer 0.29 kg CO<sub>2</sub>/kg fangst (våtvekt). Kolmule inneholder 22-32 % tørrstoff, og protein og lipid utgjør henholdsvis 40-71 % og 3-14 % av tørrstoff [10]. Gjennomsnittet var 144 g protein og 22 g lipid per kg våtvekt fisk, som gir et CO<sub>2</sub> utslipp på 1.75 kg CO<sub>2</sub>/kg protein + lipid. Dette tallet kan være et estimat for den lavest tenkelige drivstoffintensiteten ved fangst av mesopelagisk fisk, og inkluderer ikke energiforbruk ved andre trinn som transport og prosessering. Det skilles heller ikke mellom de forskjellige artene som fanges av disse fartøyene. Tallet er representativt for norske fiskerier. Globalt varierer det fra 0.01-0.2 kg drivstoff/kg fisk for ringnot og pelagiske trålere. For mer informasjon om årsakene til de store variasjonene, se [4].

#### 4.4.3 Restråstoff fra fiskeproduksjon

Ytrestøyl *et al.* [9] undersøkte laksefôr basert på ulike ingredienser, inkludert fiskeproteinkonsentrat (ensilasje fra sild), loddeavskjær, og hvitfiskavskjær. Deres systemgrenser besto av følgende stadier: (1) Utvinning av naturressurser, (2) produksjon og distribusjon av energi og energibærere, (3) bygging og vedlikehold av infrastruktur, (4) produksjon og distribusjon av innganger, (5) drivstoff, energi, gjødsel og arealbruk i dyrking av avlinger, (6) utslipp av diesel og kjølemedier i fiskeri, (7) prosessering av mel/olje (fra både jordbruk og fiskeri), (8) produksjon av fôrpellet, (9) smoltproduksjon og (10) akvakulturprosess.

Ytrestøyl *et al.* [9] brukte masseallokering og estimerte karbonfotavtrykket til henholdsvis 2.4, 2.6, 2.8 og 10.6 kg CO<sub>2</sub>-e/kg for loddeavskjær (olje/mel), sildavskjær (olje/mel), sildensilasje og hvitfiskavskjær (olje/mel). Et proteininnhold på 70 % for lodde og sild og 65 % for hvitfisk ga 3.4, 3.7, 4.0 og 16.4 kg CO<sub>2</sub>/kg protein.

Hognes *et al.* [3] sammenlignet fôr fra 2010 med fôr fra 2012. Fôr fra 2010 ble også studert i Ytrestøyl *et al.* [9]. Men resultatene fra disse to rapportene kan ikke sammenlignes direkte på grunn av forskjeller i mål, omfang og data. For eksempel Hognes *et al.* [3] antok at ukjente avskjær fra Atlanterhavet og Nordsjøen var sildeavskjær, mens Ytrestøyl *et al.* [9] betraktet de ukjente avskjærene som ble brukt til fôrproduksjon som avskjær av hvitfisk. Hognes *et al.* [3] brukte den funksjonelle enheten 1 kg spiselig lakseprodukt på det punktet der laksen er klar til slakting (dvs. gårdsporten). Resultatene er også vist per kg laksefôr. Systemgrensene i Hognes *et al.* [3] inkluderer blant annet dyrking av avlinger, fiskeri og fôrproduksjon. Deres systemgrense er utvidelse av grensen brukt av Ytrestøyl *et al.* [9]. De brukte masseallokering og fant henholdsvis 2.17 og 5.10 kg CO<sub>2</sub>e/kg mel eller olje fra pelagiske biprodukter og biprodukter av hvitfisk. Proteininnhold på 70 % for pelagiske fisk og 65 % for hvitfisk ga henholdsvis 3.1 og 7.9 kg CO<sub>2</sub>e/kg protein.

#### 4.4.4 Makroalger

I forskningsprosjektet *Energy efficient PROcessing of MACroalgae in blue-gren value chains (PROMAC)* ble blant annet dyrket tang og tare analysert i cradle-to-gate LCA-analyser som et



potensielt råstoff i fiskefôr [2], både basert på dagens makroalgeproduksjon og i fremtidige industrielle implementeringsscenarier. Studien inkluderte tanglekkeri, utsetting og vekst i sjøen.

Flere scenarier ble studert, hvorav to presenteres her. Det første, “Solund-eksempelet”, var et referansescenario, som beskrev dagens situasjon og var basert på data samlet inn fra et anlegg på vestkysten av Norge (Solund). Dette anlegget hadde et relativt lite dyrkingsareal (1 hektar) og en årlig produksjon på 60 tonn våtvekt. I et alternativ scenario ble overskuddsvarme fra et avfallsforbrenningsanlegg benyttet for å tørke tangen. Her ble ikke forbrenningen av avfall tildelt noe karbonfotavtrykk ettersom energien som ble utnyttet til tørking ellers ville gått tapt. De to scenariene resulterte i henholdsvis 26 og 11 kg CO<sub>2</sub>/kg algeproteinkonsentrat (SWPC, Seaweed protein concentrate). Antatt 31 % protein i SWPC, ga dette henholdsvis 83.9 og 35.5 kg CO<sub>2</sub>/kg protein.

#### 4.4.5 Mikroalger

Smetana *et al.* [6] sammenlignet tre dyrkingsalternativer for grønnalgen *Chlorella vulgaris*: fotoautotroft i åpen dam (raceway-pond) (ORP), fotoautotroft i tubulær fotobioreaktor (TBR) og heterotroft med glukose som C-kilde i fermentor (HTF). Karbonfotavtrykkene ble estimert til henholdsvis 245.1, 96.1 og 14.7 kg CO<sub>2</sub>/kg mikroalgeproteinpulver for OPR, TBR og HTF. Med et proteininnhold på 55 % av tørrstoff ga dette 445.6, 174.7 og 26.7 kg CO<sub>2</sub>/kg protein for henholdsvis OPR, TBR og HTF.

#### 4.4.6 Insekter

Smetana *et al.* [7] estimerte 5.3 kg CO<sub>2</sub>e/kg for avfettet mel av larver av svart soldatflue (*H. illucens*). De studerte ulike scenarier for å redusere utslipp fra produksjon av insektmelet. Ved å forbedre fôrutnyttelse og energibruk med 25 %, kunne utslippene på kort sikt reduseres til 4.2 kg CO<sub>2</sub>e/kg. På noe lengre sikt kunne man i tillegg, ved å utnytte ikke-utnyttede sidestrømmer som fôr for larvene, redusere utslippene til 3.3 kg CO<sub>2</sub>e/kg. Hvis det i tillegg til forbedringene over ble benyttet alternative energikilder, kunne utslippene reduseres til 0,93 kg CO<sub>2</sub>e/kg. Med et antatt (rå)proteininnhold på 56 % ga dette henholdsvis 9.5, 7.5, 6.0 og 1.7 kg CO<sub>2</sub>/kg protein for alternativene. Imidlertid, som kommentert over (Kap. 3.4.1.1), er det uklart hvor stor andel av råproteinet i insektmel som er ekte protein. Analyser indikerer at kun halvparten av råprotein er ekte protein. I så tilfelle må de beregnede verdiene multipliseres med to.

#### 4.4.7 Biprodukter fra fjørfeproduksjon

Ytrestøy *et al.* [9] undersøkte LCA av norsk laks fôret på fem ulike dietter, hvorav en inneholdt biprodukter fra fjørfe (fett, mel av biprodukter, blodmel og kyllingfjærmel). Karbonfotavtrykket for biproduktene fra fjørfe ble beregnet ved allokering basert på energiinnholdet i hoved- og biproduktene til kylling og svin, noe som ga lignende resultater som om masseallokering ble brukt. Enten biprodukter fra fjørfe eller rent svin og kyllingkjøtt ble brukt som fôr, var karbonfotavtrykket likt, bortsett fra at ekstra prosessering av biproduktene til fett og mel økte karbonfotavtrykket til biproduktene ytterligere [9]. De estimerte karbonfotavtrykkene for blodmel av fjørfe og mel av fjørfe var henholdsvis 5.8 og 3.1 kg CO<sub>2</sub>/kg. Beregnet på basis av proteininnholdet, henholdsvis 80 % i blodmel og 60 % i mel basert på biprodukter av fjørfe, var karbonfotavtrykket henholdsvis 7.2 og 5.2 kg CO<sub>2</sub>e/kg protein.

#### 4.4.8 Soya

Winther *et al.* [8] estimerte et karbonfotavtrykk på 6.0 kg CO<sub>2</sub>e/kg for soyaprotein, hvorav 4.8 kg CO<sub>2</sub>/kg soyaprotein skyldes endring av arealbruk (land use change). De brukte Agri-footprint database (Blonk Consultants [1]). Klimakonsekvenser av endring av arealbruk er et viktig klimaspekt ved vegetabiliske føringredienser, spesielt de som dyrkes på land som tidligere var skog. For mer informasjon, se [8].

#### 4.4.9 Sammenligning av karbonfotavtrykk av ingredienser

Karbonfotavtrykket til ingrediensene dekket i denne studien er listet i Tabell 4-1. Som nevnt er dette noen eksempler på LCA-analyse, og resultatene er ikke basert på en grundig og kritisk litteraturogjennomgang. Studiene kan også dekke forskjellige systemgrenser og allokeringmetoder, noe som påvirker resultatene.

**Tabell 4-1** Estimert karbonfotavtrykk av noen potensielle føringredienser

Ingrediens	Karbonfotavtrykk (kg CO <sub>2</sub> e/kg protein)	Referanser
Antarktisk krill	7.6	[5]
Mesopelagisk fisk	1.8-7.6	[4, 5]
Pelagiske biprodukter	3.1	[3]
Biprodukter av hvitfisk	7.9	[3]
Makroalger	36 - 84	[2]
Mikroalger, fotoautotroft i fotobioreaktor og åpen dam	175 - 446	[6]
Mikroalger, heterotroft med glukose som C-kilde	27*	[6]
Insektmel	1.7-9.5 (3.4-19.0)**	[7]
Blodmel av fjørfe	7.2	[9]
Mel av biprodukter fra fjørfe	5.2	[9]
Soya	6.0	[8]

\* Heterotroft dyrkede mikroalger gir også en indikasjon på karbonfotavtrykket ved dyrking av bakterier og sopp som encelleprotein med glukose som C-kilde.

\*\* Smetana *et al.* [7] tok utgangspunkt i råprotein, men undersøkelser indikerer at bare rundt halvparten av råproteinet i insektmel er ekte protein (se Kap. 3.4.1.1). Tar vi hensyn til dette dobles karbonfotavtrykket.

#### Referanser

- Blonk Consultants (November 2017). "Agri-footprint version 4.0." from <http://www.agri-footprint.com/>.
- Halfdanarson, J., M. Koesling, N. P. Kvasdheim, J. Emblemsvåg and C. Rebours. 2019. Configuring the Future Norwegian Macroalgae Industry Using Life Cycle Analysis. *Advances in Production Management Systems. Towards Smart Production Management Systems*, Cham, Springer International Publishing.
- Hognes, E. S., K. Nilsson, V. Sund and F. Ziegler. 2014. LCA of Norwegian salmon production 2012. Norway, SINTEF Fisheries and Aquaculture.
- Jafarzadeh, S., H. Ellingsen and S. A. Aanonsen. 2016. Energy efficiency of Norwegian fisheries from 2003 to 2012. *J Cleaner Prod.* **112**, Part 5: 3616-3630.
- Parker, R. W. R. and P. H. Tyedmers. 2012. Life Cycle Environmental Impacts of Three Products Derived from Wild-Caught Antarctic Krill (*Euphausia superba*). *Environ. Sci. Technol.* **46**: 4958-4965.
- Smetana, S., Sandmann, M., Rohn, S., Pleissner, D. and Heinz, V. 2017. Autotrophic and heterotrophic microalgae and cyanobacteria cultivation for food and feed: life cycle assessment. *Bioresource Technol.* **245**: 162-170.
- Smetana, S., Schmitt, E., og Mathys, A. 2019. Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling* **144**: 285-296.

8. Winther, U. Skontorp Hognes, E, Jafarzadeh, S. og Ziegler, F. 2020. *Greenhouse gas emissions of Norwegian seafood products in 2017*. SINTEF Report 2019:01505, ISBN 978-82-14-06246-5  
[https://www.sintef.no/contentassets/25338e561f1a4270a59ce25bcbc926a2/report-carbon-footprint-norwegian-seafood-products-2017\\_final\\_040620.pdf/](https://www.sintef.no/contentassets/25338e561f1a4270a59ce25bcbc926a2/report-carbon-footprint-norwegian-seafood-products-2017_final_040620.pdf/)
9. Ytrestøyl, T., T. S. Aas, G. M. Berge, B. Hatlen, M. Sørensen, B. Ruyter, M. Thomassen, E. S. Hognes, F. Ziegler, V. Sund and T. Åsgård. 2011. Resource utilisation and eco-efficiency of Norwegian salmon farming in 2010. Norway, Nofima.
10. de Lurdes, M., Dapkevičius, E., Batista, I., Nout, M.J.R., Frank M. Rombouts, F.M., og Houben, J.H. 1998. Lipid and protein changes during the ensilage of blue whiting (*Micromesistius poutassou* Risso) by acid and biological methods. *Food Chem.* **63**: 97-102

## 5 KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER

### 5.1 Helhetlig vurdering

De kriteriene som ble lagt til grunn ved vurdering av hvorvidt en råvare kunne bidra vesentlig til å dekke fôrbehovet i 2050 gitt en produksjon av 5 millioner tonn laks per år, er listet i [Tabell 5-1](#).

- Grønn fargekode: Råvaren forventes å kunne gi et vesentlig volummessig bidrag. Protein og/eller EPA/DHA vil kunne produseres til en akseptabel pris på en bærekraftig måte.
- Gul fargekode: Råvaren vil kunne bidra, men det kreves innsats for å oppnå industriell produksjon.
- Rød fargekode: Råvaren vil ikke kunne bidra vesentlig fordi volumet er for lite, prisen er for høy eller produksjon av fôr i Norge på basis av denne råvaren har ulemper relativt andre steder.

I noen tilfeller er det i [Tabell 5-2](#) (neste side) benyttet intermediære farger fordi situasjonen spenner over to intervaller.

**Tabell 5-1** Vurderingskriterier for ulike råvarer ut fra volum, produktpris, industriell status, global posisjon og bærekraft.

<b>Tilgjengelig råvare</b>			
Råvarens potensielle bidrag til å dekke proteinbehovet i 2050	>5 % av protein-behovet (100 000 tonn)	1-5 % av protein-behovet (20-100 tusen tonn)	<1 % av protein-behovet (20 000 tonn)
Råvarens potensielle bidrag til å dekke behovet for EPA + DHA i 2050	>5 % av behovet for EPA/DHA (6750 tonn)	1-5 % av behovet for EPA/DHA (1350-6750 tonn)	<1 % av behovet for EPA/DHA (1350 tonn)
<b>Produktpris</b>			
Proteinpris (kr/kg)	<50	50-150	>150
EPA/DHA pris (kr/kg)	<150	150-500	>500
<b>Industriell status</b>			
Utviklingsnivå	Industrialisert	Oppskaleringsbehov	Pågående forskning
<b>Global posisjon</b>			
Norske fortrinn	Betydelige fortrinn	Ingen fortrinn eller ulemper	Ulemper
<b>Bærekraft</b>			
Kg CO <sub>2</sub> /kg protein	<6	6-12	>12
Generelle forhold som spesifiseres	Bidrar positivt til miljømessig bærekraft	Ingen effekt	Bidrar negativt til miljømessig bærekraft

Tabell 5-2 gir en total gjennomgang av råvarene beskrevet i Kapittel 3 i henhold til kriteriene gitt i Tabell 5-1. Tabellen er summarisk og bygger på de data og de vurderinger som er gjort i beskrivelsen i Kapittel 3. Tabellen beskriver i kolonnen til høyre viktige utfordringer som må løses for at bidraget fra den enkelte råvaren til fôrbehovet i 2050 skal kunne realiseres.

**Tabell 5-2** Kvantifisering og vurdering av ulike råvarer etter kriteriene gitt i Tabell 5-1. Råvarene merket grønt i kolonnen helt til venstre er de som forventes å kunne dekke fôrbehovet i 2050. Bemerk at spesielt prisestimatene kan være bygget på et begrenset grunnlag.

Råvarekilde	Kvantum og pris							Industriell status				Viktige utfordringer	
	Råvare (10 <sup>3</sup> tonn)		Teoretisk potensial i 2050 (10 <sup>3</sup> tonn)		Pris i dag (kr/kg)			Nivå i utvikling	Norske fortrinn		Bærekraft		
	Uttak i dag	Potensial i 2050	Protein	EPA + DHA	Råvare	Protein	EPA/DHA		Naturgitte	Kompetanse	kg CO <sub>2</sub> per kg protein		Generelt
<b>Høsting av norske marine kilder</b>													
Pelagisk fisk	1 300	1 500	225	18	5	30	70	Ind.	Balansert høsting av store forekomster	Stor	4	God når balansert høsting	Mer til humant konsum
Mesopelagisk fisk	2	10 000	1500	120	8	48	105	Ind.		Prosessering god, høsting på forsøksstadiet	8		Høstingsmetoder
Raudåte	1	3 000	510	11	>100	>600	>25 000	Ind.			>8		Høstingsmetoder må utvikles for å få prisen ned
Nordlig krill	0	3 000	400	90	>100	>800	>4 000	Ind.			>8		Høstingsmetoder
Små zooplankton	<1	10 000	1500	?	>1000	Høy	Høy	Forsk.		Begrenset	>8		Høstings- og bearbeidingsmetoder
Stortare	160	400	3.5	0	0.3	60-120	ikke	Forsk.		Høsting god.	36-84		Strengt regulert høsting. Ikke ønske om økning.
Grisetang	20	50	0.6	0	0.3	60-120	ikke	Forsk.		Prosessering: Forskning	36-84		Privat eie. Prosessering for å utvinne protein egnet for laks.
Marint restråstoff	820	1 400	70	24	2	13	100-150	Ind.	Mye bi-produkter fra fangst og oppdrett	Stor	5-8	Tar vare på restråstoff	Hva som kan benyttes av restråstoff fra laks i fôr til laks bestemmes i stor grad av myndighetsreguleringer

**Tabell 5-2 forts.**

Råvarekilde	Kvantum og pris							Industriell status					Viktige utfordringer
	Råvare (10 <sup>3</sup> tonn)		Teoretisk potensial i 2050 (10 <sup>3</sup> tonn)		Pris i dag (kr/kg)			Nivå i utvikling	Norske fortrinn		Bærekraft		
	Uttak i dag	Potensial i 2050	Protein	EPA + DHA	Råvare	Protein	EPA/DHA		Naturgitte	Kompetanse	kg CO <sub>2</sub> per kg protein	Generelt	
<b>Plantebaserte råvarer</b>													
Norske protein og oljevekster	25	100	30	0	6	24	ikke	Ind.	Ingen	Industri	Lavt?	Som for landbruk	Begrenset volum. Må genmodifiseres for å produsere EPA/DHA
Trevirke <sup>A</sup>	7 800 <sup>B</sup>	15 000 <sup>B</sup>	600-2000 <sup>C</sup>	0-525 <sup>C</sup>	1	35-63	90-281	Forsk.	Mye skog	Forsk.	>12	God når balansert høsting	Utvikle prosesser for å omforme trevirke til sukker
Barnåler og løv	0	100	15	0	ikke	ikke	ikke	Lavt		Ingen	Lavt?		Høsting (innsamling) og prosessering
Halm	500 <sup>B</sup>	500 <sup>B</sup>	20-67 <sup>C</sup>	0-17.5 <sup>C</sup>	1	35-63	90-281	Forsk.	Ingen	Forsk.	>12	Overskuddsprodukt	Utvikle prosesser for å omforme halm til sukker
Gras	33 500	33 500	870	0	?	20	ikke	Forsk.	Ingen	Lite	Lavt?	Som for landbruk	Utvikle prosesser for å utvinne proteinet.
<b>Restråstoff fra varmblodige dyr</b>													
Fjørfe	60	100	10-20	0	1	20	ikke	Ind.	Ulempe	Noe	5-7	Overskuddsprodukt	Lite kvantum
Griseblod	13	13	2	0	Lav?	Lav?	ikke	Ind.	Ulempe	Noe	Lavt?		Lite kvantum

A) Grener, topper, og annet trevirke ikke utnyttet til andre formål

B) Tørrstoff

C) Produksjon av EPA/DHA vil redusere utbyttet av protein

**Tabell 5-2 forts.**

Råvarekilde	Kvantum og pris							Industriell status				Viktige utfordringer	
	Råvare (10 <sup>3</sup> tonn)		Teoretisk potensial i 2050 (10 <sup>3</sup> tonn)		Pris i dag (kr/kg)			Nivå i utvikling	Norske fortrinn		Bærekraft		
	Uttak i dag	Potensial i 2050	Protein	EPA + DHA	Råvare	Protein	EPA/DHA		Naturgitte	Kompetanse	kg CO <sub>2</sub> per kg protein		Generelt
<b>Dyrkede organismer</b>													
Insekter	90 <sup>A</sup>	2 000 <sup>A</sup>	250 <sup>A</sup>	0	100	170	ikke	Semi-ind.	Ingen	Noe	3-19	Utnyttelse av bi-produkter	Oppskalering og industrialisering. Potensial ved bruk av matavfall.
Børstemark	0.1-1 <sup>A</sup>	5 <sup>A</sup>	0.45 <sup>A</sup>	0.023 <sup>A</sup>	200	1 700	20 000	Forsk.	Ingen	Noe	?		
Gammaridaer	0	3	0.15	0.001	Høy	Høy	Høy	Forsk.	Ingen	Noe	?	Høster planteplankton	Effektiv produksjon og prosessering
Tunikater	<1	100	1.25	0.09	Høy	Høy	Høy	Forsk.	God tilgang på dyrkingsareal	Noe	?		
Muslinger og skjell	2	100	4.3	0.18	10	77	3 800	Ind.		God	?		
Hetero- og kjemo-autotrofe mikroorg.	<10	200 <sup>D</sup>	45 <sup>E</sup> (100)	33 <sup>E</sup> (0)	14-25 <sup>C</sup>	28-50	72-225	Forsk. til ind. avhengig av prosess	Kaldt kjølevann, billig energi, tilgang på gass.	Pågående FoU, litt ind.	27 <sup>B</sup>	Noen prosesser kan utnytte avgass-CO <sub>2</sub>	Effektiv produksjon. Lavest kostnad ved åpne dammer, men slike er lite egnet i Norge.
Mikroalger (fototrofe)	<10	50 <sup>D</sup>	11 <sup>E</sup> (25)	8 <sup>E</sup> (0)	10-150 <sup>C</sup>	20-300	120-4 200		Ulempe		175-450	Kan kreve store arealer	
Makroalger (fototrofe)	<10	20 000	100	0	50	6 500	ikke	Forsk.	Store tilgjengelige dyrkingsarealer	Pågående FoU	36-84	Utnytter sjøarealer, trenger ikke ferskvann	

A) Globalt B) Basert på sukker C) per kg tørstoff D) Tørstoff E) Antatt EPA/DHA hovedprodukt og protein biprodukt, i parentes protein hovedprodukt

Tabell 5-2 forts.

Råvarekilde	Kvantum og pris							Industriell status					Viktige utfordringer
	Råvare (10 <sup>3</sup> tonn)		Teoretisk potensial i 2050 (10 <sup>3</sup> tonn)		Pris i dag (kr/kg)			Nivå i utvikling	Norske fortrinn		Bærekraft		
	Uttak i dag	Potensial i 2050	Protein	EPA + DHA	Råvare	Protein	EPA/DHA		Naturgitte	Kompetanse	kg CO <sub>2</sub> per kg protein	Generelt	
<b>Referanse</b>													
Soya (protein-konsentrat)	350 000 <sup>A</sup>	500 000 <sup>A</sup>	200 000 <sup>A</sup>	0	4	12-18	ikke	Ind.	Ulempe	Ind.	6	Problem med avskoging	Tilgang på ikke-GMO er begrenset

A) Globalt



## 5.2 Bidrag til fiskefôr i 2050

Dersom det i 2050 skal produseres ca. 5 millioner tonn laks vil dette kreve ca. 6 millioner tonn fôr der protein og olje begge utgjør ca. 2 millioner tonn. Proteinene bør helst inneholde alle laksens essensielle aminosyrer og i et forhold som passer laksens behov. Fiskemel regnes ofte som en "gullstandard", mens mange planteproteiner inkludert soya- og grasprotein har en suboptimal aminosyre-sammensetning. Dette kan kompenseres ved å tilsette spesifikke aminosyrer i ren form til fôret og/eller "intelligent" kombinasjon av ulike proteinkilder. I oljen er det spesielt innholdet av de flerumettede fettsyrene EPA og DHA som er kritisk. Laksens innhold av disse fettsyrene, som er ernæringsmessig gunstige for mennesker, reflekterer fôrets innhold av disse fettsyrene. For å opprettholde dagens nivå av EPA og DHA i fôret kreves om lag 135 tusen tonn EPA + DHA i 2050.

Dersom vi legger til grunn at vi i 2050 skal ha en norsk lakseproduksjon på 5 millioner tonn som i hovedsak skal basere seg på fôr med norske råvarer, men med fortsatt bruk av soya, viser [Figur 5-1](#) (neste side) hvilke biomasser denne fôrproduksjonen kan produseres fra. Dette er basert på:

- Det foreligger et sannsynlig råvarepotensial i Norge
- Prisen på protein og/eller EPA/DHA er konkurransedyktig
- Det er utviklet, eller kan utvikles industri i Norge som kan stå for denne produksjonen
- Fôret kan fremstilles på en bærekraftig måte

Fra et utgangspunkt på 23 mulige råvarekilder listet i [Figur 4-1](#) over, viser [Figur 5-2](#) (side 114) de 7 råvarekildene vi står igjen med etter at analysen er gjennomført.

## 5.3 Industristrategi

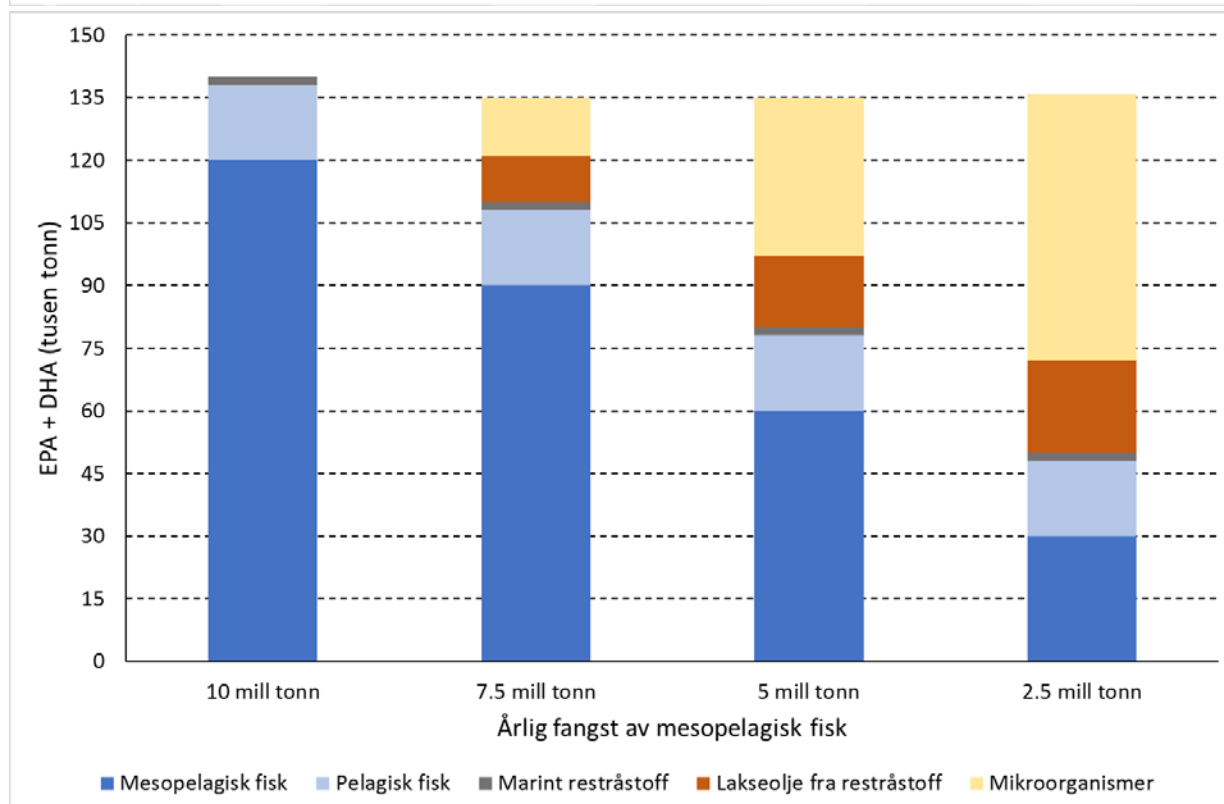
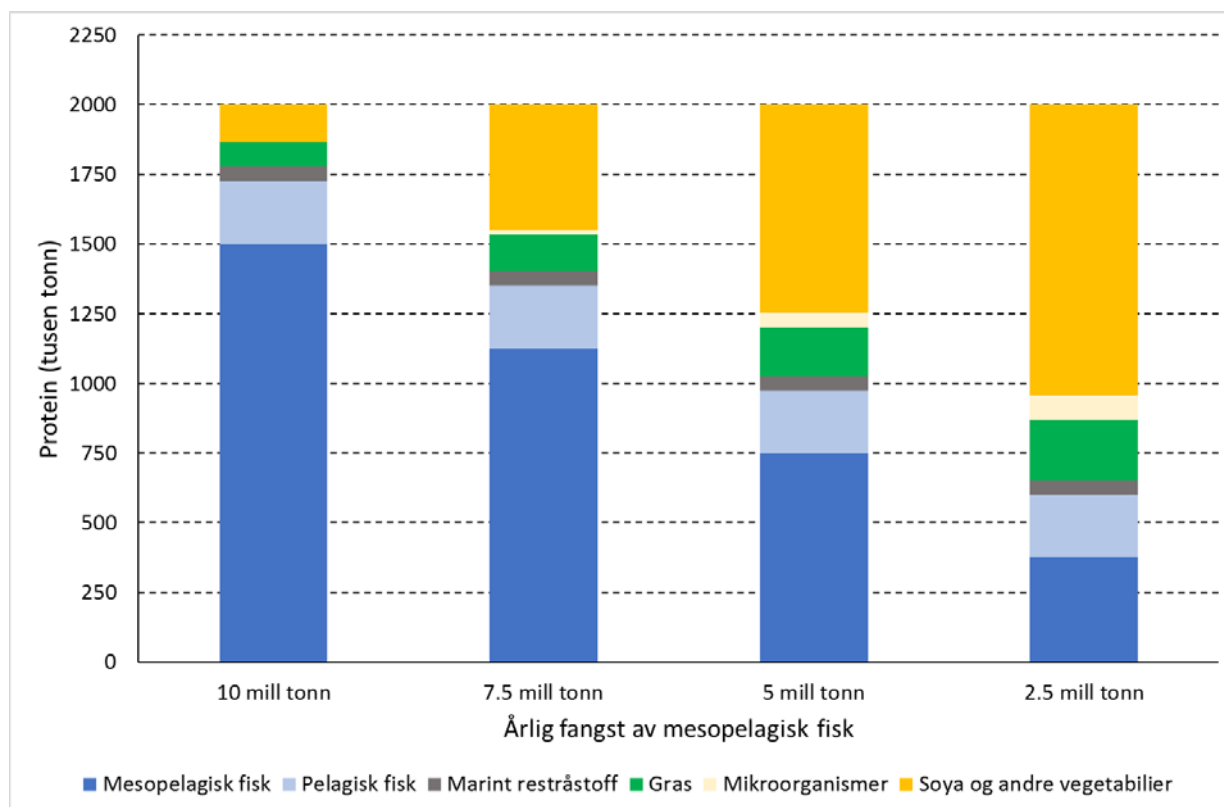
### 5.3.1 Morgendagens fôrindustri

#### 5.3.1.1 Ressursgrunnlaget

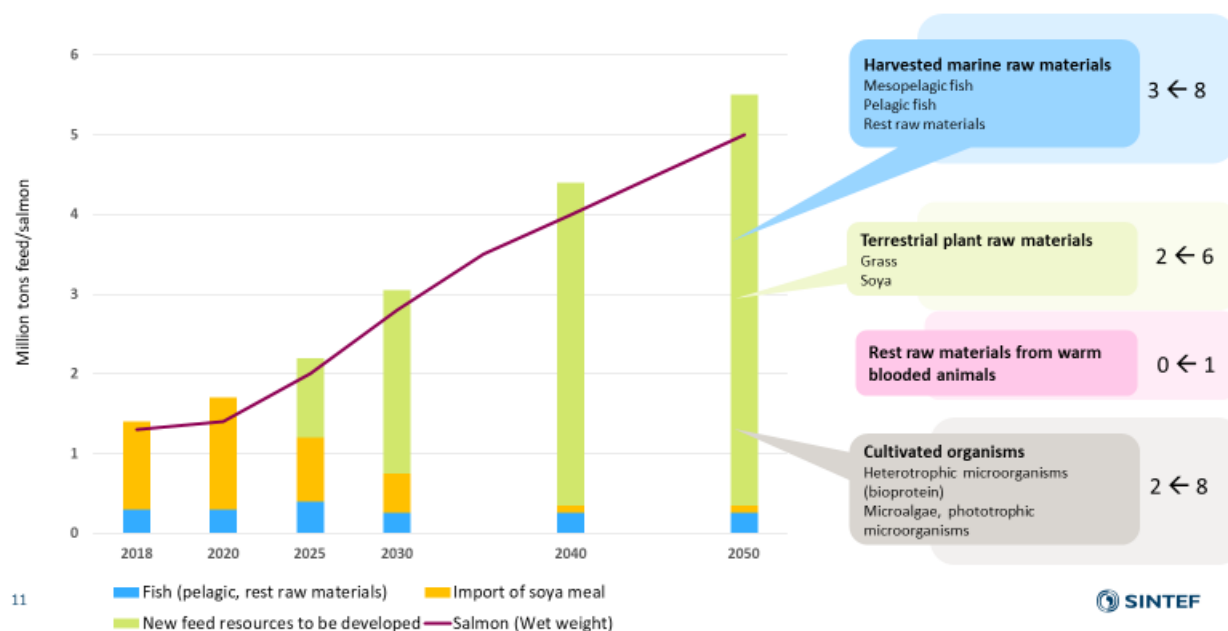
Morgendagens fôrindustri forventes i stor grad å basere seg på protein og EPA/DHA fra høsting av mesopelagisk fisk. Hvor stor denne høstingen kan være og fortsatt være forsvarlig, er i dag ukjent. I beste fall kan det være snakk om hele 10 millioner tonn per år. I så fall kan dette dekke hele 75 % av proteinbehovet og 89 % av behovet for EPA/DHA til oppdrett av 5 millioner tonn laks i 2050. Inkluderes pelagisk fisk som høstes i dag og marint restråstoff, kan marine kilder dekke hele 89 % av proteinbehovet, mens det vil faktisk være et lite overskudd av EPA/DHA i forhold til det estimerte behovet på 135 tusen tonn ([Fig 5-1](#)).

Imidlertid, fordi det er svært usikkert hvor stor fangsten av mesopelagisk fisk kan og bør være, og fordi dette fangstvolumet har så stor betydning for totalresultatet, er det i [Figur 5-1](#) også sett på situasjonen ved noen alternative nivå for fangst av mesopelagisk fisk.

Protein kan høstes fra mange kilder, men den kritiske faktoren ved lavere fangstvolumer av mesopelagisk fisk er tilgangen på de flerumettede omega-3 fettsyrene EPA og DHA. Noe av mankoen kan kompenseres ved å utvinne EPA/DHA-rik olje fra restråstoff av laks, men per i dag synes mikrobielt produsert EPA og DHA å være den beste kandidaten til å dekke behovet. Genmodifisert oljedodre som kan gi camelinaolje med et høyt innhold av EPA/DHA er et alternativ, men ikke aktuell i fôr til



**Figur 5-1** Mulige råstoffkilder for å dekke behovet for protein (2 mill tonn) og EPA/DHA (135 tusen tonn) ved ulike fangstnivåer for mesopelagisk fisk i 2050.



**Figur 5-2** Et mulig fremtidsbilde av fôrproduksjon i til laks i Norge ved produksjon av 5 millioner tonn laks i 2050

norsk laks i dag. Skulle imidlertid holdningene til bruk av materiale fra genmodifiserte planter endre seg i de neste 30 årene, kan EPA/DHA-rik camelinaolje bli en konkurrent til andre EPA/DHA-kilder. Ved et fangstvolum på "bare" 2.5 millioner tonn mesopelagisk fisk vil det grovt regnet måtte produseres 430 tusen tonn mikrobiell biomasse (tørrvekt) per år for å generere den nødvendige mengden EPA og DHA. Dette vil kreve anslagsvis 100 store bioreaktorer (1000 m<sup>3</sup>) hvis produksjonen skal skje basert på sukker og thraustochytrider (se Kap. 3.4.3.1) eller omkring 100 km<sup>2</sup> lysflateareal hvis produksjonen skal skje med fototrofe mikroalger (se Kap 3.4.4.3).

Ved lavere fangstvolumer av mesopelagisk fisk enn 10 millioner tonn, må en stadig større andel av proteinbehovet dekkes av ikke-marine kilder, i første rekke planteproteinkonsentrater, inkludert eventuelt norskprodusert grasprotein (Fig 5-1). Andre mulige kilder er mikrobielt protein generert som et biprodukt ved mikrobiell produksjon av EPA/DHA, og eventuelt encelleprotein framstilt ved gassfermentering. Her vil pris og kvalitet på proteinet spille en viktig rolle. Det er ikke gitt at alt tilgjengelig protein fra mesopelagisk fisk og andre marine kilder automatisk vil bli anvendt i fiskefôr. Andre proteinkilder, og da spesielt soyaproteinkonsentrater og glutener, kan bli foretrukket av økonomiske og funksjonelle grunner selv om marine proteiner er tilgjengelige.

### 5.3.1.2 Teknologistatus

Prosessene for å framskaffe protein og olje fra pelagisk fisk, framstilling av poteinkonsentrater fra soya og andre proteinrike planter, og resirkulering av restråstoff fra fisk til fôr er etablert industri. Det meste av protein og EPA/DHA i framtidens fiskefôr må imidlertid skaffes fra kilder som krever til dels betydelig utvikling for å realiseres. For mesopelagisk fisk er den største utfordringen å detektere

og høste ressursen på en bærekraftig måte. Siden en meget stor andel av både protein og EPA/DHA vil måtte baseres på denne ressursen, er dette kritisk for videre vekst slik det legges opp til f.eks. i en rekke offentlige dokumenter.

Bidraget fra utnyttelse av proteiner i gras er estimert til 4-11 % av proteinbehovet. Det foreligger imidlertid ikke oppskalerte industrielle prosesser omfattende (1) pressing av gras for å få ut proteinholdig plantesaft (2) utfelling av proteinet og (3) tørking og stabilisering av proteinet. Her må det gjennomføres et utviklings- og oppskalingsarbeid før industriell produksjon kan etableres.

Det er også forventet et bidrag fra produksjon av mikroorganismer, så vel hetero- og kjemoautotrofe mikroorganismer som fotoautotrofe mikroalger, i første rekke for produksjon av EPA/DHA. Avhengig av fangstvolumet av mesopelagisk fisk, kan dette bidraget bli fra lite til meget stort. Dette kan blant annet være dyrking av thraustochytrider på sukker, som er etablert teknologi, produksjon av oljerike mikroalger i fotobioreaktorer eller fremstilling av encelleprotein ved gassfermentering. De to siste prosessene krever betydelig FoU for å nå industrielt nivå. EPA/DHA produsert i Norge ved fermentering av thraustochytrider med sukker fra hydrolysert trevirke eller importert sukker, kan i 2050 stå for opp til 47 % av behovet for omega-3-fettsyrer.

### 5.3.2 FoU-behov

Figur 5-3 gir en oversikt over hvilket trinn i utviklingen (f.eks. TRL-nivå) for å fremskaffe et fôrprodukt fra de ulike råvarene, befinner seg på. Det mest kritiske for å fremskaffe 6 millioner tonn tørt fôr i 2050 basert på norske ressurser, er at vi lykkes med høsting, bearbeiding og fremstilling av fôr på basis av mesopelagisk fisk. Etablering av en helhetlig "demo verdikjede" for å utnytte denne ressursen vil være avgjørende. Her kan vi trekke lærdom av det som har vært etablert av demoanlegg innen olje- og gasssektoren.



**Figur 5-3** Utviklingsnivå for ulike fôrråvarer

Den prioriteringen det her legges opp til med tanke på å dekke fôrbehovet basert på norske råvarer i 2050, betyr ikke at forskning knyttet til andre råvarekilder kan eller bør trappes ned. Når tidsperspektivet er på over 30 år, kan det ikke utelukkes at det vil utvikles råvarer og prosesser vi ikke ser rekkevidden av i dag. Mange råvarer faller gjennom på kvantum og/eller pris i dag (Fig. 4-2 og 4-3), men dette utelukker ikke at nye forhold kan komme til.

Videre forskning på høsting av andre marine arter (nordlig krill, raudåte, tang og tare), konvertering av halm og trevirke eller dyrking av nye organismer (insekter, gammaridaer, tunicater, børstemark, skjell og muslinger) kan lede til andre anvendelser enn til fôr (humant konsum, ingredienser, etc.) eller gå inn som viktige trinn i kjeden for å muliggjøre en sirkulær økonomi. En opptrapping av oppskalering av fôrproduksjon basert på mesopelagisk fisk må derfor ikke skje på bekostning av mer langsiktige prosjekter slik det her er beskrevet.

## 6 VEDLEGG

### Vedlegg 1: Bidrag fra SINTEF

Omfanget av utfordringene for å dekke fremtidens fôrbehov tilsier at det er oppgaver for alle norske universitets- og forskningsmiljøer. Ved NTNU, NMBU, UiB og UiT Norges Arktiske Universitet foregår det relevante forskningsaktiviteter med hovedvekt det langsiktige. Ved forskningsinstituttene Nofima, Norce, HI og Nibio i tillegg til flere av SINTEF-instituttene, foregår det mer anvendt og industrielt rettet forskning direkte knyttet opp mot fremstilling av fôrråvarer og fôr. Samarbeid mellom miljøene er etablert på flere områder. F. eks. har flere av miljøene i løpet av 2020 blitt tildelt roller som Sentre for Forskningsdrevet Innovasjon (SFI) med direkte relevans til fremstilling av fôr, herunder SFI Harvest og SFI Industrial Biotechnology ved SINTEF.

Når det gjelder arbeid i tilknytning til oppskalering av høstings-, dyrkings- og bearbeidingsprosesser, står SINTEF med sin teknologiske kompetanse og brede industrielle kontakt derimot i en særstilling. Gjennom å anvende eksisterende infrastruktur kan alle typer biomasse bearbeides og klargjøres for fremstilling av et funksjonelt fôrprodukt. Mikroorganismer og relevante lavtrofiske organismer, inkl. makroalger, kan dyrkes og høstes. Figur 5.3-2 under viser tilgjengelig infrastruktur ved SINTEF Ocean og SINTEF Industri som direkte kan anvendes til fremstilling av fôr. Infrastrukturen omfatter laboratorier og feltutstyr/erfaring for høsting og dyrking (lukket fermentering, åpne anlegg) av ulike råvarer. Det er laboratorier for karakterisering av råvarer, bioteknologisk konvertering, kjemitekniske enhetsoperasjoner for separasjon, reaktorutforming og prosessdesign samt mobile anlegg for bearbeidning av marine råvarer direkte om bord i båten eller ved et landanlegg. Utstyr for pilotfremstilling av fôrpartikler ved ekstrudering foreligger, men må fornyes.

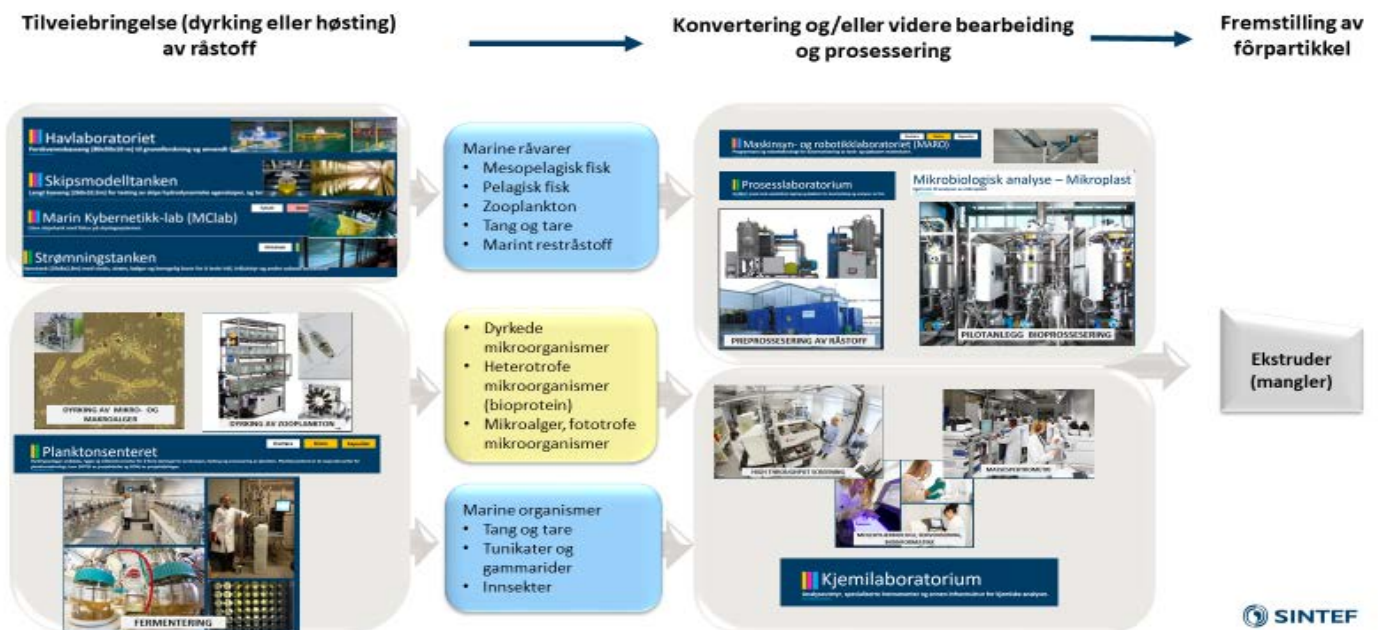


Fig. 6.1-1 Tilgjengelig infrastruktur i SINTEF Ocean og SINTEF Industri for fremstilling av fôr.



Teknologi for et bedre samfunn

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)