

Kartlegging av råstoff som grunnlag for proteinkilder til fôr i Rogaland

Biorådets fôrgruppe

Forfattere:

Susanne Gitlesen, Mats Höglind, Ursula Landazuri-Tveteraas, Fiona Provan

Rapport 3-2023, NORCE Klima og Miljø



Rapporttittel	Kartlegging av råstoff som grunnlag for proteinkilder til fôr i Rogaland
Prosjektnummer	104713
Institusjon	NORCE, UIS og NIBIO
Oppdragsgiver	Rogaland Fylkeskommune
Gradering	Åpen
Rapportnr.	3-2023
ISBN	978-82-8408-284-4
Antall sider	23
Publiseringsmnd.	Desember

Innhold

Sammendrag	3
1 Bakgrunn og metoder	4
1.1 Bakgrunn	4
1.2 Metoder	4
2 Prosesser	5
3 Regulatorisk rammeverk til bruk av restråstoff og nye ingredienser inn i fôr	6
4 Råstofftilgang i Rogaland	8
4.1 Restråstoff produksjon etter slakt av husdyr	8
4.2 Restråstoff produksjon fra fiskeri og akvakultur	10
4.3 Alternative protein kilder	10
4.3.1 Insekter	10
4.3.2 Børstemark	11
4.4 Fermenterbare ressurser og produksjon av encelleprotein, SCP Single Cell Proteiner	11
4.5 Fotoautotrofe organismer	15
4.6 Jordbruksvekster	16
4.6.1 Ettårige proteinvekster: erter og åkerbønner	16
4.6.2 Fraksjonering av engvekster (grasprotein)	16
5 Fôrproduksjon i Rogaland	19

Sammen drag

Rapporten gir en oversikt over den regionale råstoffsituasjonen for fôrproduksjon i Rogaland. Fokus i rapporten er på tilgjengelig råstoff for protein. Kilder til EPA/DHA er dermed ikke vurdert.

Rogaland er et spennende fylke med tanke på fôrproduksjon. Sentrale globale fôraktører som Cargill og Skretting har FoU aktivitet her og Skretting sitt hovedkontor er lokalisert i Stavanger. I tillegg er det næringsaktivitet samt FoU knyttet til proteinproduksjon basert på encellede mikroorganismer og børstemark. Rogaland er et viktig landbruksfylke og det er tilgjengelig forholdsvis store ressurser både i form av restråstoff og jordbruksvekster.

Rapporten gir en oversikt over hvilke fôrressurser som er tilgjengelig i regionen, hva som er et interessant minimumsnivå for råvaren og hvordan pris og markedssituasjonen er. Videre gis det informasjon om teknologi og kompetanse i regionen. Forhold som regional/nasjonal investeringsvilje diskuteres samt regulatoriske forhold knyttet til fôringredienser belyses.

1 Bakgrunn og metoder

1.1 Bakgrunn

Rapporten er skrevet på oppdrag av Rogaland Fylkeskommune og Biorådet. Biorådet og seks ressursgrupper ble etablert for å bidra til implementering av mål og tiltak i «Strategi for bioøkonomi i Rogaland 2018–2030». Biorådets fôrgruppe skal bidra til aktivitet knyttet til følgende mål i strategien:

- Innen 2030 skal Rogaland ha økt produksjonen av råstoff til fôr til å dekke minst 30 % av behovet til jordbruks- og havbruksnæringen i Rogaland.
- Rogaland skal være et nasjonalt kraftsenter for å utvikle og produsere proteinråstoff til produksjon av dyrefôr til jord- og havbruksnæringen.
- Redusere import av protein og øke selvforsyningsgraden med norskproduserte proteinråvarer.
- Etablere et internasjonalt kompetansesenter for forskning, utvikling og produksjon av nye proteinkilder og proteinråstoff til produksjon av fôr til jordbruks- og havbruksnæringen.
- Øke egen produksjon av fôr og fôrressurser gjennom forskning, samarbeid og etablering av nye virksomheter
- Rogaland skal bruke CO2 som en ressurs. For eksempel som råstoff til fôr.

For å kunne spisse innsatsen og identifisere de mest relevante råstoffene, ble FoU aktører engasjert for å gjøre en kartlegging basert på allerede eksisterende rapporter/artikler og prosjekter med spesielt fokus på disse områdene.

Øke egen produksjon av fôr og fôrressurser gjennom forskning, samarbeid og etablering av nye virksomheter.

Rogaland skal bruke CO2 som en ressurs. For eksempel som råstoff i produksjon av fôr.

1.2 Metoder

Rapporten baserer seg på litteraturstudier, analyse av tilgjengelig produksjonsdata, samt intervjuer med relevante regionale aktører.

2 Prosesser

Følgende hovedprosesser for produksjon og prosessering av biomasse omtales i rapporten; fermentering, raffinering og fraksjonering.

Industriell fermentering (industriell gjæringsprosess)

Industriell fermentering er en gjæringsprosess, der mikroorganismer (bakterier, gjær, sopp, m.m.) brukes industrielt til produksjon av en rekke produkter inkludert, biomasse til fôr, mat og finkjemikalier. Et eksempel på en slik gjæringsprosess er produksjon av en-celleprotein (Single Cell Proteiner, SCP), som i praksis er produksjon av mikrobiell biomasse. Produksjon av slik mikrobiell biomasse kan bruke forskjellige råvarer som biogass/naturgass, syntesegass, CO₂ og H₂, metanol, eddiksyre, sukker, og andre restråstoffer som finnes i regionen (f.eks. fra meieri, slakteri og drikkevare produksjon) som innsatsfaktor.

Bioraffinering

Å raffinere betyr å rense et råstoff. Raffineringen / foredlingsprosessen kan i prinsippet benytte alle typer teknologi og er som regel et samspill mellom ulike separasjonsteknologier. Bioraffinering innebærer at biomasse prosesseres til en rekke produkter. I et bioraffineri kan ulike råstoff og restråstoff både fra hav og land, omdannes til verdifulle komponenter inkludert fôringredienser og energi.

Fraksjonering Ved atskillelse av blandinger, for eksempel ved fraksjonert destillasjon og krystallisasjon, kalles delene som fremkommer for fraksjoner. Fraksjonene kan bestå av rene kjemiske stoffer eller av blandinger.

3 Regulatorisk rammeverk til bruk av restråstoff og nye ingredienser inn i fôr

Det er et omfattende regelverk produsenter må forholde seg til som ønsker å benytte restråstoff til ulike formål, deriblant produksjon av fôr. Som følge av EØS-avtalen har Norge forpliktet seg til å innføre EU sitt regelverk blant annet som omhandler fôr- og matproduksjon. Disse reglene og forskriftene setter klare begrensninger og restriksjoner for hvordan håndtere restråstoff (Animaliebiproduktforskriften), krav til hygiene (Animaliehygieneforskriften), og til hvilke tilsetningsstoffer som er tillate i fôrvarer (Forskrift om tilsetningsstoffer til bruk i fôrvarer). Det er også en forskrift som skal sikre at fôret er trygt og dermed ikke helseskadelig for mennesker eller dyr (Forskrift om fôrvarer).

Særlig de to sistnevnte forskriftene begrenser hva slags type restråstoffer som kan benyttes i fôr. Utfordringen er at restråstoff kan inneholde fremmedstoffer som er forbudte eller som overskride tillatte verdier av fremmedstoffene. Tabellen under viser liste over fremmedstoffer, tilsetningsstoffer og essensielle næringsstoffer som enten er forbudte eller har en øvre grenseverdi med hensyn på mengde/ konsentrasjon i fôr og fôringredienser (Vang m.fl., 2021).

Tabell 3.1:

Stoffgrupper	Fremmedstoffer og essensielle stoffer som er forbudte, har øvre grenseverdier eller et øverste tillate innhold i fôr og fôringredienser
Forbudte fôrmidler	Prosesserte animalske protein (PAP) fra drøvtyggere
Uønskede stoff, mikrobiologi	Salmonella Enterobacteriaceae Mykotoksiner
Uønskede stoff, organiske	Klorerte Pesticider Polyklorerte bifenyler (PCB) Dioksiner (PCDD/PCDF) og dioksinlignende-PCB (dl-PCB) Polybromerte difenyeter (PBDE) Bromerte flammehemmer (HBCD og TBBP-A) Polyaromatiske hydrokarboner (PAH) Glycidylestere og 3-MCPD-estere Perfluorerte forbindelser (PFAS)
Uønskede stoff, metall og metalloider	Arsen (As), Kadmium (Cd), bly (Pb), kvikksølv (Hg) Uorganisk arsen Metylkvikksølv
Tilsetningsstoffer med grenser for øverste tillate innhold	Buthylhydroksyanisol (BHA) Buthylhydroksytoluen (BHT) Propylgallat Ethoxyquin (EQ)
Essensielle næringsstoff med grenser for øverste tillate innhold	Mineraler (Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Se, Mo) Fluor (F) Vitamin D3

På grunn av kugalskapsutbruddet i Storbritannia på slutten av 1980-tallet og gjennom store deler av 1990-tallet har det i EU presset seg frem et strengt regelverk for bruk av animalske biprodukter i dyrefôr. Mistanke om at benmel benyttet i fôret til kyr forårsaket utbruddet av kugalskap kan forklare denne responsen. Det er nå ikke lov å bruke proteiner av animalsk opprinnelse i fôr, med

unntak fiskemel som kan benyttes i fôr til fisk, fjørfe og svin. Definisjonen av fiskemel begrenser noe hvilke arter som kan benyttes til dette formålet. For eksempel, tunikater, sjøpølser, kråkeboller og andre sjøstjerner er det ikke tillatt å benytte. Bestemmelsen ekskluderer også matavfall fra restauranter og private husstander (som inneholder animalsk protein) og fiskeslam til bruk i oppdrett av insekter til fôr. Det er heller ikke lov å bruke restråstoff fra samme dyreart i fôr til matproduserende dyr, som betyr at for eksempel at restråstoff fra laks kan ikke benyttes i laksefôr. Summen av reglene over gjør at det er mange proteinkilder og restråstoff som i dag ikke kan utnyttes i fôr.

4 Råstofftilgang i Rogaland

4.1 Restråstoff produksjon etter slakt av husdyr

I Rogaland, består husdyrproduksjonen av storfe, sau, svin og fjørfe. I denne rapporten, vil fjørfe bare inkludere kylling siden kalkun primært produseres på Østlandet. Ved slakt av disse husdyrene skapes store mengder av restråstoff bestående av bein, innvoller, skinn, fjær og fett (Almås et al., 2020, s.52).

Tabell 4.1 under viser antall og volum for de største husdyrgruppene som ble slaktet i Rogaland i 2020. Tabell 4.2 viser antall og volum for de største husdyrgruppene nasjonalt. Antall dyr som ble slaktet og kjøtt produksjon er hentet fra SSB, de resterende tallene er anslag.

Tabell 4.1: Tall fra husdyrproduksjon i Rogaland 2020 (SSB). Beregning av totalt volum og andel restråstoff fordelt per dyretype

Husdyr	Antall dyr	Gj snittlig levende vekt (kg)	Total biomasse ved slakt (tonn)	Kjøtt produksjon (tonn)	Restråstoff (tonn)	Restråstoff (%)
Svin	462 190	117	54 076	38 561	15 515	29
Kylling	21 776 500	2,145	46 711	31 579*	6 965	32
Storfe	49 183	561	27 592	14 307	11 691	42
Lam/sau	256 169	45	11 579	5 246	5 906	51
Totalt				89 693	48 244	

*Slakteutbytte er 67,6% av levende vekt.

Basert på levende vekt er altså andelen restråstoff som produseres fra husdyr slakt så mye som 29% for svin, 32% fra kylling, 42% fra storfe og 51% for sau. Det er verdt å nevne at for storfe og sau ble beregnet og fjernet fra restråstoff produksjonen av skinn. Svin er en av de mest kjøtteffektive husdyrproduksjonene og derfor gir svin minst restråstoff ved slakting. Noe som blant annet skyldes at skinnen i stor grad følger med grisekjøttet, i tillegg til at det brukes som bindemiddel i pølser og andre blandingsprodukter (Lindberg, m.fl., 2016).

I 2020 ble det totalt produsert i overkant av 48 tusen tonn restråstoff fra husdyrene i Rogaland. Noe restråstoff følger med kjøttet helt til forbrukeren slik som bein i kylling eller bein på ribber og koteletter, og er dermed ikke tilgjengelig til videre utnyttelse, mens annet restråstoff dom fjær, bein, innmat, skinn osv regnes som avfall som blir destruert.

Tabell 4.2: Tall fra norsk husdyrproduksjon i 2020 (SSB). Beregning av totalt volum og andel restråstoff fordelt per dyretype

Husdyr	Antall dyr	Gj snittlig levende vekt (kg)	Total biomasse ved slakt (tonn)	Kjøtt produksjon (tonn)	Restråstoff (tonn)	Restråstoff (%)
Svin	1 565 906	117	183 211	131 036	52 175	28
Kylling	67 262 533	2,145	144 278	97 532*	46 746	32
Storfe	295 680	561	165 876	85 295	71 081	43
Lam/sau	1 212 726	45	54 573	24 561	28 012	51
Totalt				338 424	198 014	

* Slakteutbytte er 67,6% av levende vekt.

4.2 Restråstoff produksjon fra fiskeri og akvakultur

I Tabell 4.3 under er det beregnet restråstoff fra blå sektor i Rogaland basert på landingsstatistikk fra Fiskeridirektoratet. Restråstoffet er beregnet utfra antatt 'typiske' produkter som de ulike artene konverteres til (f.eks., fileter). For pelagisk fisk er der fiskeslag som tobis og øyepål som benyttes nærmest utelukkende til fiskemel og fiskeolje. Disse har ikke noe restråstoff, men fremkommer i egne beregning av produksjon av fiskemel og -olje. Andre pelagiske arter som makrell og sild vil imidlertid ha noe restråstoff da disse i hovedsak brukes til menneskelig konsum. Det er særlig disse to artene som står for det største volumet av restråstoff.

Det er viktig å påpeke at vi antar at restråstoffet som vi beregner allerede kan ha kommersielle anvendelser til fôr eller andre formål. For eksempel, vet vi at lakseoppdrett og tilhørende slakterier har en høy utnyttingsgrad av råstoffet.

Tabell 4.3: Tall fra produksjon fra fiskeri og akvakultur i 2020. (Fiskedirektorat).

Art	Rund (tonn)	vekt	Restråstoff (tonn)	Restråstoff (%)
Pelagisk fisk	540 098		57 642	11 %
Torsk og torskeartet fisk	12 537		8 505	68 %
Flatfisk, annen bunnfisk og dypvannsfisk	1 171		750	64 %
Skalldyr, bløtdyr og pigghuder	1 790		0	0 %
Bruskfisk (haifisk, skater, roker og havmus)	256		166	65 %
Akvakultur	85 101		14 184	17 %
Fiskemel	13 916			
Fiskeolje	1 978			

4.3 Alternative protein kilder

4.3.1 Insekter

Etter at EU opphevet forbudet mot å bruke insekter i fjørfe- og fiskefôr 17. august i 2021 har mulighetene for å utvikle insektmel kommersielt økt. Det er flere insekter som kan benyttes som fôrkilde til husdyrproduksjon og akvakultur slik som svart soldatflue (*Hermetia illucens*) og gul melorm (*Tenebrio molitor*) (Gjøvsund m.fl, 2020). Larvene til svart soldatflue er spesielt interessante

på grunn av at de har en høy evne til å omdanne matavfall, planter og eksremitter til næringsrikt protein og fett. En annen viktig grunn til at akkurat disse artene trekkes frem er deres høye næringsinnhold av animalsk protein (40%) og olje (30-35 %), og i tillegg så inneholder larvene til den svarte soldatfluen omega-3 fettsyrer. Generelt er nok innhold av omega 3 for lavt til at det er egnet for oljeproduksjon, slik at insektsmel er mer realistisk for utnyttning i for eksempel laksefôr. Samtidig så kan nivået av omega-3 økes ved at larvene får marint fôr.

Insektoppdrrett skjer innendørs under klimakontrollerte forhold noe som resulterer i en jevn produksjon. Hvor mye areal, vann, og energi som behøves i storskala insektproduksjon er vanskelig å fastslå, siden det fremdeles ikke er kommersielle aktører i drift. Per i dag, er det ikke produksjon av insektsmel i Norge i kommersiell skala.

Insekter har en høyst effektiv fôrutnyttelse og sirisser bruker eksempelvis kun 1,7 kilo fôr per kilo sirisser som blir produsert i under ideelle forhold. Insekter kan fôres med råstoff av lav kvalitet og pris, slik som resirkulert organisk materiale. De kan altså ales opp med råstoff som i beste fall kan bli brukt til kompostering, men som ofte handler i søpla. Imidlertid tillater ikke dagens regelverk å benytte matavfall som fôr til insekts produksjon. En grunn til dette er risikoen for insekter som spredere av patogener som kan medføre sykdommer. Forskning på behandling av mat avfall slik at det kan brukes som insektsfôr samt endringer i regelverket her et av nøkkelspørsmålene for å bane vei for en ny industri knyttet til insektoppdrrett.

4.3.2 Børstemark

Børstemark er en annen kilde det er urealiserte forventninger til som fett- og proteinkilde til fôr. Børstemark har særs gunstig næringsinnhold for fiskefôr på grunn av høyt innhold av de viktige omega-3 fettsyrene EPA+DHA (Gjøsund, 2020). Imidlertid er det kommersielle potensiale til fôr svært begrenset per idag på grunn av et kostnadsnivå som ikke er konkurransedyktig. I likhet med insekter har børstemark potensiale til å bli kommersielt attraktivt dersom de fôres med avfall fra fisk og skaldyr. Dagens regelverk tillater imidlertid ikke en slik anvendelse. Det er tvilsomt om børstemark blir kommersielt attraktivt for fôrmarkedet. Per i dag, er det ikke kommersiell produksjon av børstemark i Norge.

4.4 Fermenterbare ressurser og produksjon av encelleprotein, SCP Single Cell Proteiner

Dyrkede hetero- og kjemoautotrofe (ikke-fototrofe) mikroorganismer (bakterier, gjær, sopp, m.m.) benyttes som proteinkilder til fôr. Det produseres SCP Single Cell Proteiner, (en-celleprotein), som i praksis er produksjon av mikrobiell biomasse. Mikrobielle ingredienser har vært til bruk til dyrefôr siden 1940-talet. Teknologisk modenhet av mikroorganismer er avhengig av produkt, råvare og prosessSCP kan produseres på lav-kost karbon som organiske syrer, glyserol, metanol eller gasser som CH₄, CO, CO₂ direkte eller mer komplekse sidestrømmer, «industrielt avfall», fisk- og husdyr-restråstoff. Produksjon av SCP har ingen fysiske eller biologiske begrensinger mht. hvor mye som kan produseres. Produksjon begrenses av lønnsomhet, kostnader for investeringer og innsatsfaktorer, og eventuelt regulatoriske begrensinger for bruk. Det er ønskelig med en (semi)-kontinuerlig kultur med en prosess som ikke trenger å opereres aseptisk, det holder med en hygienisk prosess, sparer arbeid, energi og penger.

Mikroorganismene trenger et sammensatt medie som inneholder de vesentlige byggesteinene for å vokse. Produksjon av SCP med sukker og en del andre substrat som metanol og glyserol som karbon- og energikilde er godt etablert teknologi. Andre alternative kilder er metan eller mer komplekse restråstoffer som brukes direkte eller etter en forbehandling, har foregått eller skjer fortsatt i industriell skala, men har fortsatt tekniske eller utfordringer med lønnsomhet. Det pågår utvikling med produksjon av bakterier med CO₂ som karbonkilde og energikilder som hydrogen (H₂) eller hydrogensulfid (H₂S). Dette krever fortsatt betydelig FoU for å kunne realiseres i industriell skala på kommersiell basis til fôr. . Tabell 4.4 viser aktuelle råstoffer til produksjon av SCP.

Et bredt spekter av organismer kan benyttes som proteinkilde. Celleveggen i mikroorganismer kan være en utfordring, og prosessering før bruk i fôr kan være nødvendig for å øke fordøyeligheten. For lønnsomhet og god nyttelse av råstoffer og restråstoffer så er det nødvendig å velge en stamme av mikroorganismen som kan produsere høyt protein innhold og som har høy produktivitet på det aktuelle mediet (råstoffene/substrater). Fermenterings og opprenningsprosessen trenger å optimaliseres for hver stamme og mediasammensetting for få et god fordøyelig og lønnsomt produkt.

Gas2feed er et innovativt regionalt selskap som produserer biomasse basert på fermentering. Under finnes en kort presentasjon av selskapet basert på intervju.

Gas2feed: Turning air into food

Gas2feed er lokalisert i Risavika og utvikler produksjon av proteiner for bruk i fiskefôr basert på resirkulering av CO₂. Dette er CO₂ som er utløst fra organisk materiale og med kombinasjon av hydrogen og oksygen produserer et karbon-nøytralt protein. The organiske materialet blir hentet fra RAS (recirculating aquaculture systems) oppdrett, dvs. lukkede oppdretts-systemer lokalisert på land. Gjennom kjemisk katalyse, elektrolyse, og gassfermentering omdannes grunnlagsmateriale til proteiner. I utviklingsfasen arbeider Gas2Feed med søsterselskapet EcoFishCircle AS som opererer landbasert oppdrettsanlegg. EcoFishCircle AS har utviklet en teknologi for å hente ut CO₂ fra sjøvann.

Produktet som resultaterer av denne prosessen inneholder 70% eller mer protein (som er høyere enn mikroalger). Produksjonsprosessen er også mindre energiintensiv enn for mikroalger. Produktet har også en god næringsprofil med innhold av aminosyrer som minner om fiskemel. Produktet sikter seg inn på å erstatte soybasert-protein i fiskefôr.

Gas2Feed er fremdeles i utviklingsfase. Eksperimentell produksjon er forventet i 2023 og videre skalering til kommersielt nivå vil avhenge av tilgang på råstoff. Kostnadene ved å hente ut CO₂ fra fisketanker er lave. Et alternativ er å hente ut CO₂ fra luft. Da forsvinner begrensningene knyttet til tilgang, men energitilgang blir viktigere i en slik alternativ prosess.

Kostnadene er mest knyttet til de tre gassene (CO₂, hydrogen og oksygen) i tillegg til ekstra næringsstoffer som vil være ønskelige å tilsette. Per i dag regner Gas2Feed at proteinproduktet vil være konkurransedyktig på pris sammenlignet med konsentrat basert på soyaproteiner. Det må testes mere på fornøyelighet av produktet, men så langt er markeds potensiale blant høyverdiakvakulturmarkedet stort.

Tabell 4.4: Tabellen viser en oversikt over tilgjengelige råstoff for fermentering, teknologimodenhet (TRL skala).

Råstoff/ substrat	Modenhet teknologi	Kommentar
Sukker	TRL 7-10	Konkurrerer mot bruk mat og drikke-vare produksjon
1. generasjon sukker: stivelse og sukkervekster.	etablert teknologi	
2. generasjon sukker: sukker fra lignocellulose, andre komplekse sidestrømmer	TRL 3-10 (avhengig av kilde)	Pre prosess ellers samme prosess som 1 generasjonssukker FoU-utfordringen på området er primært å oppnå mer effektive produksjonsprosesser, utbytte og produktivitet og dermed pris
Metanol	TRL 7-10 etablert teknologi	Metanol var substrat i ICI-prosessen som ble utviklet på 1960- og 70-tallet og var en av de mest kjente en-celleprotein prosessene som ikke lyktes økonomisk grunnet konkurransen fra soyaprotein, m.m.
Glyserol	TRL 7-10 etablert teknologi	Produksjon på ren glyserol er etablert, ved bruk av crude glyserol må anrikning av tungmetaller eller andre toksiske element vurderes
Gass		
Metan/naturgass- biogass	TRL 6-9 Finnes kommersielle aktører	Den norske gasseskporten i 2018 kunne i teorien vært benyttet til å produsere 91-114 millioner tonn bakterier tilsvarende 46-57 millioner tonn protein. IVAR produserer ca. 4.5 millioner m3 biogass per år, tilsvarende ca. 1500 tonn metan. Teoretisk kan dette i en fermenteringsprosess gi ca. 1400 tonn celle-masse (tørrvekt) med ca. 700 tonn protein.

CO2	TRL 6-8 Finnes kommersielle aktører	<p>Utfordringen her er ikke tilgang på C-kilde, men tilgang på energi til mikro-organismene. For mikroalger kreves det lys, for alle mikro organismer kreves det energikilder som hydrogen (H2) eller hydrogensulfid (H2S). Med forbedret fermenteringsteknologi kan det være mulig å oppnå en økonomisk lønnsom prosess. Beregninger fra Statistisk sentralbyrå (SSB) viser at ble det sluppet ut klimagasser tilsvarende 49,3 millioner tonn CO2-ekvivalenter i Norge i 2020.</p> <p>Kjemisk hydrogenering av CO2 til mikrobielle substrat med påfølgende fermentering av disse er også en mulighet. CO2 kan ved heterogen- eller plasma-katalyse hydrogeneres til produkter som metan, metanol, etanol, dimetyleter, olefiner og høyere hydrokarboner.</p>
Syntesegass	TRL 6-9 Finnes kommersielle aktører	<p>En eventuell produksjon av en-celleprotein fra syntesegass vil trolig betinge en aerob prosess eller at det produseres som biprodukt fra produksjon av biodrivstoff, etanol eller annen.</p>
Hydrogen organiske karbonkilder	+	<p>fremtidig kobling mellom eksisterende anlegg og utnyttelse av restråstoffer + CO2 kan bidra til å produsere en-celleprotein, men det krever at prisen er bærekraftig. Kan være regulatoriske utfordringer. Tilsats av hydrogen øker produktiviteten.</p>

4.5 Fotoautotrofe organismer

Fototrofe mikroorganismer som mikroalger og blågrønnbakterier kan også produseres på lav-kost karbon, men er avhengig av energi fra lys, fra sol eller kunstig lys. Protein utgjør omkring 50 % av tørrvekt i de fleste mikroalger. Selskapet MicroA er et eksempel på lokal aktør som utvikler produksjon av mikroalger.

MicroA: Innovasjon fra sjøen

MicroA er et norsk bioteknologifirma som utvikler bærekraftig produksjon av mikroalger. MicroA dyrker frem mikroalger i patenterte fotobioreaktorsystemer med nåværende kapasitet for 10 000 l med mikroalger.

Alger fra MicroA anvendes i dag hovedsakelig som levende fôr. Dette er fôr som passer godt til larve og yngel i akvakultur fordi algene er lettfordøyelige. MicroA har leveranser til klekkeri som driver med rensefisk (levering av 'algesuppe'). Det er imidlertid ikke kommersiell skala på produksjonen. Det er utfordringer med det sykliske.

Fasilitetene til MicroA er på 800m², og det er planer om en oppskalert algefabrikk på 2000m². Selve investeringsbeslutningen for et slikt produksjonsanlegg avhenger av at det er tilstrekkelig med dedikerte kunder som signaliserer at de står klar til å kjøpe produktene.

Rogaland har mange forhold som gjør det interessant å bygge et slikt anlegg her. Selve anlegget vil være som et drivhus hvor man behøver mest mulig lys (inkludert dagslys) og man trenger også tilgang til sjøvann. I Rogaland er der allerede kompetanse om bruk av drivhus samt fordeler som tilgjengelig energi, mye lys, rent vann, tilgang til kystlinje, og sterk akvakulturkompetanse.

MicroA har lagt mye innsats ned i å utvikle teknologiløsningen. Teknologisk utfordringer ved oppskalering er lysforhold, siden kostnadsbesparelser knyttet til energi er viktig. Algene er lett fordøyelige som yngel- og fiskefôr, men også skjøre som også gir produksjonsutfordringer. Prisen for algeproduktene i dag er høy. På grunn av fordelaktige biologiske resultater er enkelte kunder villige til å betale den høye prisen. Algene har omega 3 aminosyrene EPA og DHA. Pågående analyser vil gi mer nøyaktig spesifisering om næringsprofilen til algene.

I første omgang vil ikke mikroalgene bli et alternativ til fiskeolje. MicroA ønsker å finne spesielle bruksområder innen fiskefôr: f.eks. klekking, eller når man skal ut av klekkeri (smoltifisering). En utfordring fremover er å få prisen for produksjon og produktet ned. Dersom avfallsprodukt fra produksjonsprosessen av alger også får en kommersiell mulighet blir det enda mer økonomisk interessant.

4.6 Jordbruksvekster

Rogaland er et grasfylke. Av det totale jordbruksarealet, ca. 1. mill. daa, blir det dyrket gras til slått og beite på hele 96%, mens bare 4% brukes til andre vekster, fremfor alt korn, men også noe potet og grønnsaker (NIBIO, 2021). De viktigste grunnene til grasdominansen i Rogaland er klimatiske forhold og kanaliseringpolitikk. Lang vekstsesong med forholdsvis rikelig nedbør og milde vintrer gir store grasavlinger og mulighet til hyppige høstinger med god fôr kvalitet. Klimaet i Rogaland er mindre gunstig for kornproduksjon, blant annet så er regn i forbindelse med innhøsting en utfordring. Kanaliseringpolitikken med prioritering av kornproduksjon i klimatiske gunstige områder øst i Norge og grasbasert husdyrproduksjon i vest har bidratt til dagens arealfordeling.

Drøyt halvparten av jordbruksarealet i Rogaland (531.000 daa) er fulldyrka jord, mens resten er overflatedyrka eng (27.000 daa) og innmarksbeite (440.000 daa) (Statistisk sentralbyrå, 2020)

4.6.1 Ettårige proteinvekster: erter og åkerbønner

Ettårige åkervekster som erter og åkerbønner brukes en del som proteinkilde i landbrukets kraftfôrindustri, likeså den proteinrike delen i oljevekstene rybs og raps (presskake). I NIBIOs rapport «Muligheter for økt proteinproduksjon på kornarealene» (Abrahamsen mfl. 2019) har en undersøkt potensialet for å øke arealet av proteinvekster i Norge. Rapporten anslår at det i forhold til dyrkingskrav vil være mulig å dyrke ettårige proteinvekster på et større areal enn i dag, men proteinvekstene må dyrkes på samme areal som korn, slik at det vil gå på bekostning av kornproduksjonen som er den viktigste proteinkilden til norske husdyr på siden av gras.

Det er mulig å dyrke både erter og åkerbønner i Rogaland, men spesielt for åkerbønne vil det være forholdsvis stor risiko for regn i forbindelse med innhøstingen ettersom den forventes å modne i den regnrrike måneden september (Wendy Waalen, pers. med.). Åkerbønner trenger også lang tørketid for å bli lagerfaste. Rapporten til Abrahamsen mfl. (2019) anslår at potensiell produksjon av råprotein fra ettårige proteinvekster på kornarealene i Rogaland er lav, ca. 1 tusen tonn per år. Beregningen bygger på antakelsen at en ikke øker kornarealet total sett. Det vil teoretisk være mulig å øke kornarealet, men ettersom det vil gi lavere totalproduksjon av protein enn å dyrke gras (se nedenfor) så vil det være et mindre attraktivt alternativ. Tilsvarende tall for hele Norge inkludert Rogaland er ifølge Abrahamsen mfl. 20 tusen ton.

4.6.2 Fraksjonering av engvekster (grasprotein)

Begrepet gras brukes ofte som fellesbetegnelse for alle plantearter som vokser på en eng, selv om ikke alle arter botanisk sett er gras. De fleste engvekster er flerårige. Typiske engvekster med stor avlingspotensial og god kvalitet er enggras som timotei og raigras og engbelgvekster som kløver og luserne. Det er vanlig å dyrke flere arter i blanding, men kun dyrkning av enkeltarter forekommer også. Gras inneholder 10-25% råprotein avhengig av artssammensetning, gjødsling og høstetidspunkt. Proteininnholdet er generelt høyere i belgvekster (15-25%) enn grasvekster (10-20%) men ved sterk nitrogengjødsling er det forholdsvis liten forskjell mellom disse planteartene.

Gras brukes fortrinnsvis som fôr til drøvtyggere som kan fordøye gras og andre fiberrike plantematerialer godt ved hjelp av mikrober i vommen, i motsatt til enmaga dyr som trenger mer konsentrert fôr for å produsere maksimal. Det er mulig å anrike protein fra gras slik at det også kan utnyttes av enmaga dyr. Teknisk kan dette gjøres ved at graset kuttes og presses, vanligvis i

skruepress. Prosessen gir en tørr fraksjon (pulp) og en veskefraksjon (saft). Pulpen inneholder tungtfordøyelige stoffer som cellevegger og cellebundet protein, mens saften fortrinnsvis inneholder lettfordøyelige stoffer som vannløselige karbohydrater og vannløselige proteiner.

Saften kan enten føres direkte eller avvannes og prosesseres videre til proteinkonsentrat gjennom forskjellige behandlinger som sentrifugering, filtrering, tørking, utfelling og stabilisering. Proteinkvaliteten avhenger av planteart, men er generelt sammenlikningsbar med soyaprotein (Ravindran mfl. 2021). Fôringforsøk med gris utført i Core-Organic prosjektet PROREFINE (2021), som koordineres av NIBIO, viste at proteinkonsentrat fra presset rødkløver eller luserne er en verdifull proteinkilde til enkeltmaga dyr (Renaudeau mfl. 2022). Det å prosessere og anrike protein fra biomasse, uansett metode, kalles vanligvis for 'bioraffinering' i litteraturen.

Ensilert pulp har også vist seg lovende i bruk som grovfôr til melkeku (Damborg mfl. 2019; Savonen mfl. 2020) og pressingen ser ut til å øke fordøyeligheten i fiberfraksjonen. Det gjør at det kan bli interessant for melkeprodusenter å presse en del av graset på gården, føre kuene med pulp og selge proteinkonsentrat fra saft fra deler av arealet hvis proteinprisen er god nok.

I Danmark har en i 2020/21 startet to fabrikker for kommersiell produksjon av proteinkonsentrat fra gras basert på innhøsting av biomasse fra store grasarealer til et sentralt anlegg for videre prosessering. Teknologien er fremdeles i utvikling. Fremfor alt ønsker en å øke proteininnholdet i konsentratet, som i dag er ca. 60% av tørrstoffet (M. Ambye-Jensen, pers.med.). Med dagens teknologi og prisforhold mellom råstoff og produkt regner en med å oppnå lønnsom produksjon av proteinkonsentrat for økologisk husdyrproduksjon, som en kan ta ut en høy nok salgpris for.

Metode for fjerning av overflødig vatn og stabilisering av råvaren vil ha en enorm påverknad på kostnader og klimaavtrykk for transport og oppbevaring, lagringsstabilitet, kvalitet og videre behandling. Dette vil virke direkte inn på markedsprising av fôrråvaren og være avgjørende for om sluttproduktet vil være omsettelig. Det pågår forskning og utvikling av teknologi og metoder, bla. i pilotanlegg ved Århus universitet i Danmark. I Norge er NIBIO på vei å bygge opp et tilsvarende pilotanlegg på Tuv forsøksgård, Steinkjer, som en del i en strategisk satsning på bioraffinering av gras og annen biomasse, bla. makroalger som kan bidra med funksjonelle fôrkomponenter. Norsk landbruk er mer småskala med lengre kjøreavstand mellom gårder og felt enn i Danmark, noe som tilsier at en kan trenge mer småskala teknologi for prosessering av grasbiomasse i Norge.

Rogaland har store grasavlinger og kort avstand mellom produsenter, noe som kan forventes gi et regionalt fortrinn for kommersiell produksjon av grasprotein i forhold til andre jordbruksområder i Norge. Men for den enkelte gårdbruker vil det alltid være en avveining mellom å få nok gras til drøvtyggerne på gården og muligheten til inntekter fra salg av protein til andre dyreslag.

Hvor mye gras i Rogaland som kan tenkes være tilgjengelig for produksjon av proteinkonsentrat vil avhenge av flere forhold som beskrevet ovenfor. Hvis en antar at en bruker 10% av det fulldyrka jordbruksarealet til produksjon av grasprotein så får en ca. 50.000 daa. Normavlingen i kommunene med best produksjonsforhold i Rogaland er ca. 820 kg ts/ha. Med dette avlingsnivået kan en kan forvente at utbyttet av råprotein i grassaft blir 43–115 kg /daa avhengig av avlingens nitrogeninnhold og prosessering (Damborg mfl., 2020). Med disse forutsetningene kan regne med en at det teoretisk vil være mulig å produsere $50.000 \times 43-115 = 2 - 6$ tusen tonn grasbasert proteinkonsentrat per år på jordbruksarealet i Rogaland. Hvis en bruker hele det fulldyrka arealet til gras er produksjonspotensialet ti ganger større, men det er et mindre sannsynlig scenario med at

det vil være vanskelig å opprettholde dagens drøvtyggerbaserte husdyrproduksjon med et så stort uttak av grasprotein. Et mer nøkternt anslag kan være at en dyrker grasprotein på 30% av arealet, noe som vil gi 12 tusen tonn råprotein basert på middels høyt proteinutbytte, 79 kg/daa. Totalt areal av eng på fulldyrka areal i Norge er ca. 4,8 millioner daa. For norsk engareal så må en regne med lavere proteinutbytte enn i Rogaland pga. lavere avling, kanskje 30-70 kg/daa hvis en appliserer de danske utbyttestallene (Damborg mfl., 2020) på norske forhold. Pågående forskning i NIBIO vil gi sikrere tall på forventet proteinutbytte fra norske engvekster ved bruk av ulike typer av teknologi.

5 Fôrprotein produksjon, i Rogaland

Det kommer frem at Rogaland har en rekke muligheter knyttet til regional fôrproduksjon. Det er tilgjengelig kompetanse samt flere relevante aktører. Allikevel er en rekke ytre forhold som vil avgjøre hvorvidt en lykkes med kommersiell fôrproduksjon og å nå målene som ble fastsatt ved oppstart av fôrgruppen i Biorådet og de to målene som det skulle settes søkelys på i dette arbeidet.

- Øke egen produksjon av fôr og fôrressurser gjennom forskning, samarbeid og etablering av nye virksomheter.
- Rogaland skal bruke CO2 som en ressurs. For eksempel som råstoff til fôr.

Mer spesifikt har Rogaland et spennende potensiale når det gjelder fermenteringsbasert produksjon og fôringredienser basert på gress, ikke minst på grunn av eksisterende kunnskapsmiljø og relevant næring. Videre ser vi restråstoff, encellede bakterier og mikroalger som interessante råstoff i regionen. Tabell 5.1 viser en oppsummering av funn i prosjektet.

Tabell 5.1 Tilgjengelige råstoff i Rogaland, muligheter og begrensninger for bruk i fôr

Råstoff	MULIGHET	BEGRENSNING
Restråstoff husdyr	Ja, 48 tusen tonn i Rogaland	Lowverk & aksept
Restråstoff fiskeri & havbruk	Ja, 81 tusen tonn i Rogaland	Mye er i bruk
Insekter	Kanskje på sikt	Ikke kommersiell produksjon, lowverk
Børstemark	Neppe	Volum, pris, lowverk
Encelle protein	Ja	Pris på energi og karbonkilde. Bærekraft fossil karbonkilde og bruk av sukker
Gress	Ja	Arealbruk nasjonalt, fiskehelse. Usikkert pris
Fototrofe mikroalger	Primært kilde fettsyre, men forskjellige næringsinnhold	Bærekraft fossil karbonkilde

Med Hurdalsplattformen og uttalte ambisjoner om fôrproduksjon basert på norske råvarer og regjeringens nye samfunnsoppdrag knyttet til bærekraftig fôr er det etablert nasjonale ambisjoner for produksjon av fôr basert på norske ressurser. Rapportene: Hva skal laksen spise? - Råvareløftets veikart og barrierestudier for nye fôrråvarer (Bellona), og Future ingredients for Norwegian salmon feed (NCE Seafood Innovation) er det gjort grundige vurderinger når det gjelder hvilke ressurser som det er mest tillit til når det gjelder å kunne produsere fôr basert på norske ressurser i tilstrekkelig volum innen gitt tidsramme. Fra NCE seafood innovation sin rapport er det klart at det er en portefølje med ulike råstoff som må tas i bruk, samtidig vises det til muligheter knyttet til restråstoff fra dyreproduksjon (animalske biprodukter). Råvareløftets veikart viser til at det er mangler

kunnskap på hvordan gressprotein kan påvirke fiskehelse, mensnår det gjelder proteinproduksjon basert på CO₂ som ressurs, er det sentralt å se på hva som er kilden til CO₂ for å sikre at produksjon er klimavennlig og i henhold til ambisjoner om reduksjon av klimagassutslipp med 55% innen 2030. Et solid argument for økt satsing på mikrobiell basert produksjon av fôringredienser i regionen er arealeffektiviteten til denne produksjonsformen, gitt at arealbruk er generelt under press og denne formen for produksjon ikke kommer i konflikt med bruk av areal til produksjon av mat.

6 Referanser

Albrektsen S., et al Future feed resources in sustainable salmonid production: A review (2022) *Reviews in Aquaculture* 14 1790-1812 <https://doi.org/10.1111/raq.12673>

Abrahamsen U., Uhlen A.K., Waalen W., 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.

Damborg V., Jensen S.K., Johansen M., Ambye-Jensen M., & Weisbjerg M.R. (2019) Ensiled pulp from biorefining increased milk production in dairy cows compared with grass-clover silage. *J. of Dairy Sci.* 102(10): 8883-8897.

Damborg V.K., Jensen S. K., Weisbjerg M. R., Adamsen A.P., Stødkilde, L. (2020). Screw-pressed fractions from green forages as animal feed: chemical composition and mass balances. *Animal Feed Science and Technology*, 261, 114401.

Gjøvsund, S. H., Skjermo, J., Forbord, S., Jafarzadeh, S., Sletta, H., Aasen, I. M., ... & Almås, K. A. (2020). *Bærekraftig fôr til norsk laks*. SINTEF rapporter.

Lindberg, D., Aaby, K., Borge, G. I. A., Haugen, J. E., Nilsson, A., Rødbotten, R., & Sahlstrøm, S. (2016). *Kartlegging av restråstoff fra jordbruket*. Nofima rapportserie.

Miljøstiftelsen Bellona (2022): «Hva skal laksen spise? - Råvareløftets veikart og barrierestudier for nye fôrråvarer».

NCE Seafood Innovation Industry Insight Future ingredients for Norwegian salmon feed | 2022 | Future Feed Ingredients | Future ingredients for Norwegian salmon feed

Ravindran, R., Koopmans S., Sanders J.P.M., McMahon H., Gaffey J. (2021) Production of Green Biorefinery Protein Concentrate Derived from Perennial Ryegrass as an Alternative Feed for Pigs. *Clean Technol.*, 3: 656-669.

Renaudeau D, Jensen SK, Ambye-Jensen M, Adler S, Bani P, Juncker E, Stødkilde L. Nutritional values of forage-legume-based silages and protein concentrates for growing pigs. (2022) *Animal* 16(7):100572. doi: 10.1016/j.animal.2022.100572.

Savonen O., Franco M., Stefanski T., Mäntysaari P., Kuoppala K., Rinne M. (2020) Grass silage pulp as a dietary component for high-yielding dairy cows. *Animal* 14(7): 1472-1480.

Vang, B., Lian, K., Berntssen, M. H., Ørnstrud, R., Sele, V., Solstad, R. G., ... & Dragøy, R. (2021). *Utfordringer som hindrer økt utnyttelse av marine restråstoff og marine arter*. Nofima rapportserie.

