



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Forprojekt for Region Midt

Alger til kvægfoder



Titel:

Alger til kvægfoder

Udarbejdet for:

Region Midt

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Agro Food Park 15, Skejby
8200 Aarhus N
Bioressourcer og Bioraffinering
www.teknologisk.dk

Oktober 2018

Forfatter: Jørgen Hinge og Anne Belinda Bjerre

Indholdsfortegnelse

1. Indledning	4
2. Baggrund	4
3. Makroalger og bioaktive stoffer	5
3.1. Reduktion af metanludledning fra drøvtyggere	7
4. Aktører, interessenter og sammensætning af konsortium til BBI-ansøgning	9
4.1. Aktører og interessenter	9
4.2. Sammensætning af konsortium til BBI-ansøgning.	10
5. Forretningspotentiale	11
5.1. Forretningsplan for dyrkning af makroalger	11
5.1.1. Projektets output	12
5.1.2. Markedet og kunder	12
5.1.3. Forretningsmodel	12
5.1.4. Risikoanalyse.....	13
6. Miljømæssigt potentiale.....	13
7. Referencer.....	15

1. Indledning

Denne rapport beskriver resultaterne for forprojektet "Alger til kvægfoder". Et af hovedformålene med forprojektet har været at tilvejebringe datagrundlag for udarbejdelse af en større projektansøgning. Dette har resulteret i udarbejdelse af projektansøgningen "Health'n'Algae", der blev indsendt til BBI-programmet den 6. september 2018. Efterfølgende er dette datagrundlag bearbejdet, således at det kan præsenteres i denne rapport.

Forprojektet er gennemført af Teknologisk Institut og Aarhus Universitet, og følgende virksomheder har endvidere bidraget med værdifuldt input: One2Feed, FermentationExperts, Dansk Tang, Hjarnø Havdambrug.

Projektet er støttet af Region Midt's Udviklingsprogram for Bioøkonomi.

2. Baggrund

EU har udstukket et mål for reduktion af drivhusgasser (GHG) svarende til 39% for Dansk Landbrug inden 2030, sammenlignet med 2005. Den enteriske metanproduktion fra drøvtyggere udgør ca. 40% af den samlede GHG-udledning fra husdyrproduktionen, og der er derfor et stort potentiale for at opfylde en del af EU-målsætningen gennem en indsats mod denne udledning. Samtidigt repræsenterer den enteriske metanproduktion hos drøvtyggere et energitab, og indsatsen vil derfor også forbedre den overordnede foderudnyttelse.

Dette forprojekt vil undersøge muligheden for at producere og anvende additiver fra makroalger i kvægfoder med det formål at reducere udledningen af metan fra kvægbesætninger samt forbedre udbytte og kvalitet af produkter fra mælkekvæg i form af øget indhold af omega3 og antioxidanter.

Målgruppen for projektet er producenter af makroalger, mælkeproducenter, mejerisektoren og slagterier samt producenter af procesudstyr for hele værdikæden.

Da algeekstrakter i tidligere forsøg har vist at have positiv virkning på patienter med mave-tarmlidelser, skal det undersøges, om der er tale om andre indholdsstoffer, som kan ekstraheres før den efterfølgende anvendelse til foder og derved øge værdien ved bioraffinering af algeprodukterne.

Der er tale om en række komplekse processer og sammenhænge, så dette forprojekt vil fokusere på at tilvejebringe viden og datagrundlag for et større forskningsprojekt til et BBI-call med ansøgningsfrist i efteråret 2018. Call-teksten omhandler specifikt functional food and feed ingredients fra alger.

Projektet vil endvidere belyse potentialet for at opfylde et forbrugerønske om sundere mælke- og kødprodukter, idet det vil blive dokumenteret i hvor høj grad, at additiverne fra mikro- og makroalger i kvægfoderet vil resultere i forbedret omega3:6 ratio og et øget indhold af antioxidanter.

Projektet bygger blandt andet på viden opnået i EU projekter hvor Teknologisk Institut har haft en central rolle i både forskning og projektledelse. I disse projekter er der bl.a. etableret samarbejde med Silkeborg hospital omkring indledende undersøgelser af effekter på diarre hos mennesker.

I forhold til algernes mulige metan-inhiberende effekt i vommen hos køer kan det nævnes, at Teknologisk Instituts in vitro undersøgelser af fermenterede alger viste, at det var muligt at stoppe metan-udviklingen fuldstændigt med nogle arter høstet på bestemte tidspunkter. Denne effekt skal derfor undersøges nærmere for flere arter som forberedelse for et større udviklingsprojekt under BBI.

Forprojektet og et efterfølgende udviklingsprojekt har til formål at analysere, udvikle og demonstrere nye værdikæder og produkter som skal understøtte den cirkulære bioøkonomi.

Produktion af mikro- og makroalger foregår allerede i en række lande. Fokus i dette forprojekt vil derfor være at gennemgå og evaluere forskellige algearters egnethed til produktion og udvinding af de relevante indholdsstoffer. I hvilket omfang kan algerne tilføres foderet uden videre forarbejdning, og i hvilke tilfælde er det evt. relevant at ekstrahere indholdsstofferne først.

Dansk forskning har allerede vist, at brunalger under visse betingelser har en stærkt inhiberende effekt på metanproduktion – formentlig som følge af et stort indhold af antioxidanter. Andre studier har imidlertid ikke kunne påvise de samme effekter. I dette forprojekt granskes de allerede gennemførte studier med henblik på at finde mulige forklaringer på de divergerende resultater – f. eks. forskelle i høsttidspunkt for algerne – for derigennem at forberede et tilbundsgående studie af hvilke vækst- og andre parametre, optimerer effekterne.

Omega3 fedtsyrer fra marine ressourcer anerkendes i stigende grad som essentielle for human sundhed. Hidtil har man i alt overvejende grad hentet dette fra fisk, men stigende efterspørgsel og øget pres på fiskebestandene nødvendiggør opprioritering af andre kilder, og her er alger helt centrale som ressource. Det er vist, at man kan øge indholdet af omega3 fedtsyrer i mælkeprodukter ved tilsætning af mikroalger til foderet til malkekvæg. En anden effekt af denne tilsætning var en forøgelse af ydelsen (kg mælk/ko/dag) på ca 5%.

3. Makroalger og bioaktive stoffer

Makroalger er komplekse og diverse med hensyn til kemiske sammensætning. De vigtigste indholdsstoffer er mineraler, proteiner og kulhydrater, og der er klare forskelle i sammensætning af disse stoffer mellem rød-, grøn- og brunalger. Mindre bestanddele omfatter sekundære metabolitter som phenoler, alkaloider, terpener og steroider. Forskning på området viser, at nogle af disse indholdsstoffer kan have en række positive effekter, når de indgår i foder eller fødevarer.

I forbindelse med forarbejdet for Health'n'Algae ansøgningen er der foretaget et litteraturstudie med henblik på at klarlægge, hvilke algetyper og -arter, der på nuværende tidspunkt

vides at indeholde nogle af disse stoffer og dermed kan være interessante som ingredienser i foder eller fødevarer. I tabel 1 er vist resultaterne af denne analyse, dels:

- Hvilke grupper af indholdsstoffer, der findes – samt konkrete eksempler på stoffer
- Hvilke algegrupper, der er indeholder de forskellige stoffer
- Eksempler på effekter af indholdstofferne

Tabel 1. Litteraturstudie a bioaktive stoffer i makroalger

Value-added products		Main Existence in Macroalgae	Main Value-added Properties
Groups	Example		
Polyphenols	Phlorotan-nins	Brown algae (e.g. <i>Aari-aceae</i> , <i>Fucaceae</i> , and <i>Sargassaceae</i>)	Antioxidant ¹ , Anticarcinogenic, Antibacterial and Anti-inflammatory properties ⁸
Polysacchari-des	Alginate	Brown algae	Quick water absorbability (to be used as additives to e.g. slimming aids, textiles, gelling agent, and hydrogel biomaterial with various biomedical applications ¹⁷)
	Fucoidan	Brown algae ^{2,3}	Antitumor ⁴ , anticoagulant ⁵ , and immune modulation ⁶ properties
	Laminarin	Brown algae ⁷	Antibacterial, immune system boosting, serum cholesterol reducing properties ⁸
	Mannitol	Brown algae Red algae	Sugar alcohol mainly used in the food industry
	Galactan	Red algae (e.g. <i>Gracilaria</i> ⁹)	C4 epimer of glucose, less sweet than glucose. Galactose is widely found in dairy products
Pigments	Chlorophylls	Brown algae Red algae	Mixed facilitation of photosynthesis, antioxidant (β -caroten, fucoxanthin) ¹⁰ , precursor of vitamin A (β -caroten), anti-inflammation (fucoxanthin) ¹¹ , antitumor (fucoxanthin) ¹² ,
	Carotenes	Brown algae Red algae	blood lipid profile improvement (fucoxanthin) ¹³ ,
	Xanthophylls (fucoxanthin as dominant)	Brown algae Red algae	blood sugar level improvement (fucoxanthin) ¹⁴ ,
	Phycobins (e.g. Phycoerythrin, Phycocyanin)	Red algae	fluorescent markers in various biotechnological approach (phycobilins) ⁸ , food colorants ⁸
Proteins and amino acids	Leucine, valines, methionine, etc. ^{8, 15}	Brown algae Red algae	High nutrient values that can be applied as additions in various food, feed, and pharmaceutical industries. ¹⁶

¹ 1)Hemat 2007, 2) Berteau and Mulloy 2003, 3) Li et al 2008, 4) Synytsya et al 2010, 5) de Zoysa et al 2008, 6) Kim and Joo 2008, 7) Vera et al 2011, 8) Holdt and Kraan 2011, 9) Oza et al 2011, 10) D'Orazio et al 2012, 11) Shiratori et al 2005, 12) Yu et al 2011, 13) Matsumoto et al 2010, 14) Maeda et al 2007, 15) McHughes 2003, 16) Soler-Vila 2009
17) Lee and Mooney 2012

Enzymes Low molecular compounds	Anti-oxi- dants/oxi- dants	Red algae	Methane mitigation
---------------------------------------	----------------------------------	-----------	--------------------

I Health'n'Algae projektet vil der blive indsamlet op til 100 forskellige algearter med henblik på at identificere de tre (minimum) mest lovende arter. I dette forløb analyseres alle de indsamlede arter for indholdsstoffer, og der etableres en søgbar database med den kemiske og biokemiske sammensætning. I tabel 2 er vist de algearter, der ud fra den foreliggende analyse er mest relevante at undersøge med henblik på at udvælge de tre arter til dyrkning.

Tabel 2. Mest relevante makroalgearter mhp. identifikation af mest lovende arter

Algetype	Familie/art
Rødalger	Gracilaria Asparagopsis Taxiformis
Brunalger	Aariaceae, Fucaceae, and Sargassaceae) Laminaria digitate and Acorfillus nodosum
Grønalger	Ulva spp

3.1. Reduktion af metanledning fra drøvtyggere

Malkekøer har et energitab i form af metan fra vommen på 5.3-6.1% af det spiste foder (Benchaar et al. 2013, Steinfeld et al. 2006). Derfor har nogle af de mest effektive metoder til at reducere metanproduktion været at øge effektiviteten i dyrenes foderoptag gennem forbedret ernæringsmæssig håndtering (Steinfeld et al. 2006). Men størst effekt er opnået ved anvendelse af foderadditiver, der specielt inhiberer metandannelsen i vommen.

Nogle indholdsstoffer kan være effektive i forhold til at reducere metanemission, men kan så samtidig have negative effekter med hensyn til dyrenes foderoptag. Andre aktive indholdsstoffer kan have effekt på metanudledningen i en periode, men effekten kan aftage efterhånden som de metanproducerende bakterier i vommen har tilpasset sig. De mest lovende resultater er opnået med syntetisk 3-NOP (Lopes et al. 2016), men implementering af syntetiske stoffer generelt ikke så ønskeligt, specielt ikke i økologisk produktion. Derfor er det interessant, at der er fundet en ny gruppe af metanreducerende bioaktive komponenter i makroalger.

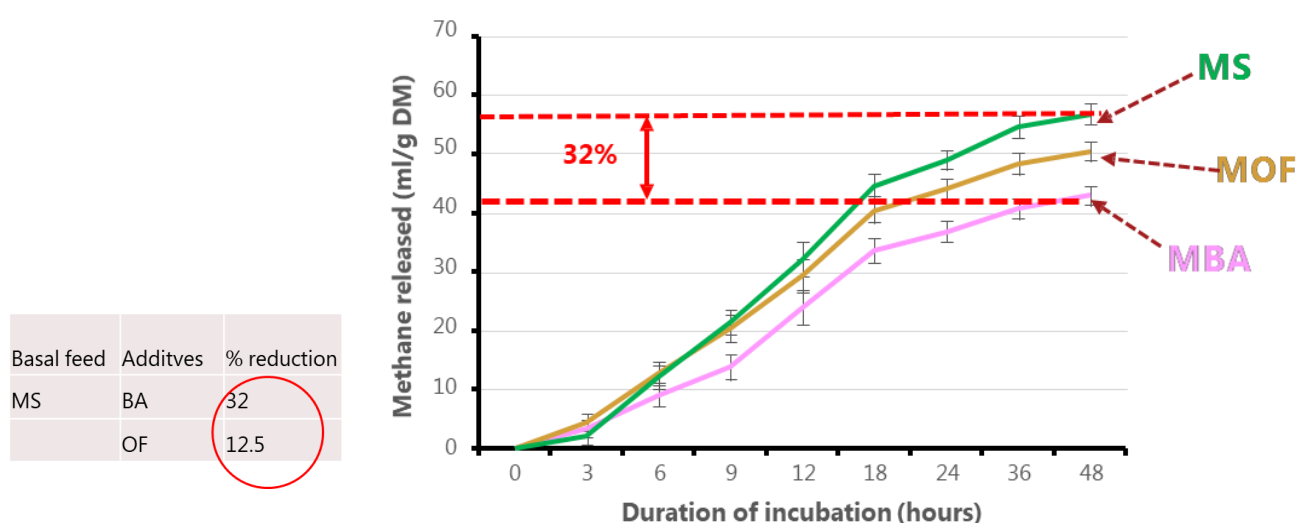
Dansk forskning har vist ten stærkt inhiberende effect på metanproduktion fra tidligt høstede arter af brunalger, *Laminaria digitate and Acorfillus nodosum*, der havde et stort indhold af antioxidanter (Bjerre & Nikolajsen 2016). Ydermere er der i Canadiske studier vist positive effekter på dyrenes produktivitet og reproduktion samt et forbedret immunsystem ved implementering af 2% Tasco®, som er et foderadditiv udvundet fra *A. nodosum* (17). Et andet studie med tilsætning af *A. nodosum* til foder til malkekvæg viste signifikante effekter på mælkenes sammensætning, særligt i forhold til aminosyresammensætning og øget indhold af jod (Lopes et al., 2016). Som en sideeffekt er der også blevet påvist en reduktion af patogene mikroorganismer i de færdige kødprodukter (Evans et al 2014, Allen et al 2001, Saker et al. 2001, Montgomery et al 2001). Den Irske virksomhed Ocean Harvest har fremstillet en kvægfoderblanding, der indeholdt 7 forskellige makroalger; effekten for dyrene var ca 5% øget mælkeproduktion, lavere celletal i mælken og færre tilfælde af mastitis (Morin et al. 2017). Denne blanding har imidlertid ikke været optimeret med henblik på at reducere metanproduktion i vommen.

Relativt lave mængder af rødalgen *Asparagopsis taxiformis*, der indeholder høje koncentrationer af bromoformer har vist en meget høj reduktion af metanproduktion in vitro (99%) (Evans et al. 2014, Allen et al. 2001), men en negativ sideeffekt var nedsat produktion af flygtige fedtsyrer (VFA) (Machado et al. 2016). Algerne optager jod, klor og især brom fra havet, og det indkorporeres i forbindelser som bromometan/-etan og bromoklorometan. Makroalger står for en betydelig andel af disse organohalider i atmosfærens nedre lag, men produktionsraten mellem algearter varierer enormt; rødalgen *Asparagopsis* toppe listen med et produktionsrate, der er i størrelsesordenen 10^3 højere end f. eks. *Ulva* arter (Laternus 2001). Disse forbindelser har i Australiske in vivo og in vitro forsøg resulteret i op til 97% reduktion af den enteriske metanproduktion hos kvæg og får (Tomkins et al. 2009; Machado et al 2014; Xixi et al 2016). Det er imidlertid aldrig undersøgt, hvilken effekt dannelsen af de antioxidant enzymer, der resulterer i dannelsen af organohaliderne, har, og de kunne have et stort potentiale for reduktion af enterisk metanproduktion.

I det danske MAB4 projekt (Macro Algae Biorefinery 4) blev der opnået reduktion på op til 32% af metanproduktionen i vommen ved fodring med et blandingsfoder hvor der var iblandet en række nordatlantiske algearter, som vist på figur 3.1

I det BBI-projekt, der nu er blevet ansøgt, vil der blive fokuseret på at udvælge makroalge arter med den optimale sammensætning af indholdsstoffer, og endvidere dokumentere optimale høsttidspunkter, idet det er vist, at koncentrationen af forskellige indholdsstoffer varierer markant over vækstsæsonen. De indledende tests, der er gennemført i MAB4 projektet vil blive opskalerede, og der vil blive gennemført in vivo og in vitro tests, der dels skal demonstrere potentialet for foderadditiver fra alger og deres indvirkning på metanemissioner og dels øge forståelsen af, hvilke bioaktive stoffer, der er afgørende for disse effekter.

Figur 3.1 Metan reduktion potentiale i vommen med blandingsfoder, indeholdende en række nordatlantiske algearter²



² Satessa, Nielsen, Legarth, Dhakal, Hansen: Effects of Seaweeds on in vitro rumen fermentation, methane and total gas production; Oct 2017

4. Aktører, interessenter og sammensætning af konsortium til BBI-ansøgning

4.1. Aktører og interessenter

Vi har gennemgået danske og udenlandske aktører og interessenter inden for forskellige delområder med relation til projektet. I tabel 3 er virksomheder og institutioner vist inden for delområderne:

- Dyrkning/produktion og håndtering af makroalger
- Raffinering og processering af alger
- Færdigprodukter, foder, fødevarer
- Animalsk produktion, dyrevelfærd
- Human velfærd
- Sustainability

Delområderne skal i denne sammenhæng forstås snævert, dvs. at de relaterer sig til projektets specifikke faglige indhold (og ikke f. eks. "sustainability" generelt). Mange af virksomhederne har aktiviteter inden for flere delområder; de er placeret dér, hvor deres primære aktiviteter ligger.

Tabel 3. Danske og internationale aktører og interessenter inden for projektets delområder.

Delområde	Aktører		Interessenter	
	Danske	Internationale	Danske	Internationale
Dyrkning/produktion og håndtering af alger	Algecenter Danmark (Teknologisk Institut, Århus Universitet, Kattégatcentret); Organic Seaweed – Ebeltoft Vig Aps; Pure Algae; Aliga; Hjarnø Havdambrug;	ALGA PLUS (PT); Hortimare BV (NL); Laminaria AS (NO); Pro Aqua AS (NO); Seaweed Energy Solutions AS (NO); Seaweed Harvest Nordsea (NL);	Miljøstyrelsen; Grenå Havn;	Scottish Association for Marine Science (UK);
Raffinering og processering af alger	Fermentation-Experts;	SIOEN (BE);	Højmark; Group A/S;	

Færdigprodukter, foder, fødevarer	One2Feed; Dansk Tang; BIOMAR;	Alginure (DE);	PenAgro; DLG Amba;	Lerøy Seafood Group (NO); Marine Feed (S);
Animalsk produktion, dyrevelfærd	Aarhus Universitet; Københavns Universitet;	Vlaams Instituut voor Biotechnologie (BE);	Landbrug & Fødevarer F.M.B.A; Danish Crown; Arla Foods Amba; Naturmælk	
Human velfærd	Silkeborg Sygehus;		DuPont Nutrition and Health;	Byggdastofnun (IS);
Sustainability		EURIDA Research Management (AT); Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg (DE);		

4.2. Sammensætning af konsortium til BBI-ansøgning.

Det har været ønsket at inddrage danske virksomheder i arbejdet med udarbejdelse af ansøgningen til BBI, og dermed også i konsortiet bag ansøgningen. Der er imidlertid én store udfordring i internationale projekter, at der meget sjældent kan være mere end nogle få partnere med fra hvert land. I dette tilfælde var det nødvendigt at inddrage Aarhus Universitet og Københavns Universitet som videnspartnere – udover naturligvis Teknologisk Institut som koordinator for projektet. Derfor var det ikke muligt at inddrage mere end én dansk virksomhed i det endelige konsortium, og det blev virksomheden Fermentation Experts, der slap gennem nåleøjet.

Det samlede konsortium bag BBI-ansøgningen er vist i tabel 4.

Tabel 4. Konsortiet bag BBI-ansøgningen

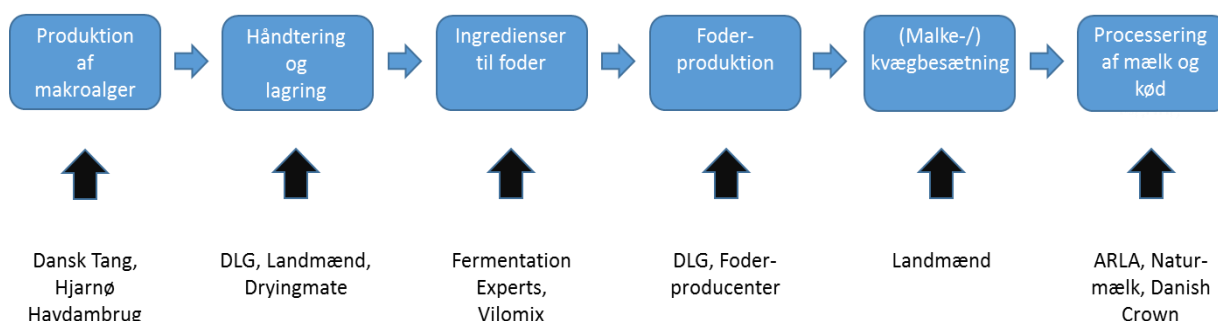
	Participant organisation name	Type	Country
1	Danish Technological Institute	RTD	DK
2	Aarhus University	UNI	DK
3	SIOEN Industries	Large Enterprise	BE

4	Seaweed Harvest Nordsea	SME	NL
5	Fermentation Experts	SME	DK
6	Eurida Research Management	SME	AT
7	Vlaams Instituut voor Biotechnologie	RTD	BE
8	Lambers-Seghers	SME	BE
9	Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg	RTD	DE
10	Cyber Colloids	SME	IRL
11	Feyecon	SME	NL
12	Celignis Biomass Analysis Laboratory	SME	IRL
13	Sustainable Innovations	SME	ES
14	University of Copenhagen	UNI	DK

5. Forretningspotentiale

5.1. Forretningsplan for dyrkning af makroalger til kvægfoder

Det vil være muligt for en række danske virksomheder at etablere en forretning inden for et eller flere af leddene i værdikæden fra produktion af alger, raffinering af råvarerne og foderproduktion. I figur 4.1 er vist værdikæden og der er angivet eksempler på virksomheder, der kunne etablere sig på de forskellige områder.



Nedenstående er opstillet forretningsplan for området "Produktion af makroalger". Dvs. den kunne gælde for virksomheder/aktører under delområde 1 i tabel 4, f. eks. Organic Sea-weed – Ebeltoft Vig Aps, Pure Algae, Aliga, Hjarnø Havdambrug. Forretningsplanen er udarbejdet efter skabelonen for forretningsplaner i GUDP projekter.

5.1.1. Projektets output

Projektets primære output er nye foderprodukter, der indeholder formalede makroalger eller ekstraherede/raffinerede indholdsstoffer fra disse. Producenter af makro alger får derved gennem et helt nyt marked for makroalger og raffinerede produkter herfra.

5.1.2. Markedet og kunder

De primære aftagere af makroalger i dag er virksomheder inden for fødevarerområdet samt - i mindre grad - inden for pharma og sundhedsområdet generelt. Dette projekt vil åbne et helt nyt marked inden for foder til husdyr, i første række til malkekøer og produktion af slagtekvæg

I tabel 5 estimeres markedets størrelse for Danmark ved henholdsvis 10% og 40% implementering, dvs. at 10% hhv. 40% af Danmarks malkekvægbesætninger anvender dette foder. Beregningen er baseret på, at der iblandes 2% alger (tørstof) i kvægfoderet, svarende til et årligt forbrug på ca 150kg TS/årsko. Værdien af produktionen er endvidere vist, idet prisen for algerne estimeres til 30kr/kg TS.

For at illustrere det enorme potentiale, der er, når projektets resultater udbredes, er endvidere vist de tilsvarende opsummerede tal for 7 EU-lande med stor mælkeproduktion (DK, UK, FR, IT, IR, NL, BE, DE).

Tabel 5. Markedet for afsætning af makroalger ved 10% hhv. 40% implementering af projektets resultater.

	Danmark	7 EU-lande
10% implementering - Markedets behov - Algeres salgsværdi	8.625 ton TS/år 259 mio kr	209.985 ton TS/år 6.299 mio kr
40% implementering - Markedets behov - Algeres salgsværdi	34.500 ton TS/år 1.035 mio kr	839.940 ton TS/år 25.198 mio kr

5.1.3. Forretningsmodel

Produktion af makroalger kan principielt foregå en ved at høste naturligt forekommende alger, eller ved at dyrke algerne i egentlige algeproduktionsanlæg. Såfremt der skal fremskaffes alger i de mængder, der er skitseret i tabel 5, er det imidlertid ikke realistisk at høste naturligt forekommende alger i relevante mængder. Derfor vil forretningsmodellen for algeproducerende virksomheder omfatte opformering og kultivering samt efterfølgende høst og håndtering, inden algerne kan afsættes.

Der er fortsat betydelige udfordringer forbundet med storskala produktion af makroalger. Med dagens teknologi vil produktionsanlæggene vil omfatte landbaserede faciliteter til at etablere algevæksten (i form af sporer på reb/net/vækstmedier) samt off-shore dyrkningsanlæg, hvor de algerne vokser på de etablerede reb/net/vækstmedier indtil høst.

Efter høst skal makroalgerne afvandes og transporteres til videre håndtering i landbase-rede anlæg. Det ansøgte BBI-projekt skal afdække, præcist hvordan biomassen skal håndteres for at opnå det optimale produkt i forhold til metanreducerende effekt. Dette omfatter analyse optimering på en lang række områder, herunder især høsttidspunkt, konservering, raffinering og formulering af færdige foderprodukter.

Logistikken og omkostninger ved denne forretningsmodel er beskrevet i (Trond & Hinge, 2014)

5.1.4. Risikoanalyse

Vi ser to risikoområder for succesfuld implementering og udnyttelse af projektets resultater.

Den første risikofaktor er, om de hidtidige positive resultater fra laboratorie- og småskala-forsøg kan eftervises og fastholdes. Der skal etableres en storskala produktion af de udvalgte makroalger, hvor indholdet og kvaliteten af de relevante aktive indholdsstoffer optimeres. Algerne skal processeres og indkorporeres i foderprodukter, samtidigt med at de aktive indholdsstoffer bibeholder deres effekt. Og endelig skal det dokumenteres, at den metanreducerende effekt i vommen er vedvarende; fra biogasanlæg kendes det fænomen, at de metanproducerende bakterier over tid vænner sig til de substrater – og eventuelle problemstoffer – der tilføres biogasanlægget. Det er naturligvis positivt for et biogasanlæg, men i denne sammenhæng vil det være uheldigt, hvis den metanreducerende effekt ikke opretholdes over tid.

En anden risikofaktor er, om algerne og de færdige foderprodukter kan fremstilles til en attraktiv pris. Dette vil naturligvis i høj grad afhænge af i hvilket omfang opskalering af makroalgeproduktionen kan modsvares af stordriftsfordele, således at omkostningerne kan reduceres, men også af i hvilket omfang de forventede produktivitets- og sundhedsmæssige fordele kan realiseres. Endelig kan der på sigt blive pålagt restriktioner på klimagasudledninger, der bevirker, at det er nødvendigt at gennemføre sådanne tiltag for at kunne opretholde produktionen.

6. Miljømæssigt potentiale

Implementering af projektets resultater vil potentielt have en banebrydende effekt på kvægsektorens udledning af drivhusgasser. Hvis metanudledningen omregnes til CO₂-ækvivalenter svarer det til, at en ko i gennemsnit udleder 4388 kg CO₂ årligt. Herudover kan indregnes den CO₂, som vil blive optaget ved dyrkning af alger.

I tabel 6 er vist potentialet for reduktion af CO₂-udledningen fra kvægbruget i en række vigtige kvægproducerende lande samt potentialet på verdensplan. Der er anvendt følgende forudsætninger:

- 2% makroalger (målt i TS) i foderet medfører en 30% reduktion af metanudledningen fra en ko
- Effekten beregnes for implementering i hhv 10% og 40% af kvægsektoren.

Tabel 6. Potentiale for reduktion af CO₂-udledningen fra kvægsektoren i Danmark – samt en række EU-lande med en stor kvægsektor

Land		10% implementering, ton CO ₂	40% implementering, ton CO ₂
Danmark	CO ₂ -fixering ved algedyrkning	16.388	65.550
	CO ₂ -ækv. reduktion i udledning	75.693.000	302.772.000
	total CO ₂ reduktion	75.709.388	302.837.550
Tyskland	CO ₂ -fixering ved algedyrkning	119.187	476.748
	CO ₂ -ækv. reduktion i udledning	550.518.480	2.202.073.920
	total CO ₂ reduktion	550.637.667	2.202.550.668
UK	CO ₂ -fixering ved algedyrkning	52.640	210.558
	CO ₂ -ækv. reduktion i udledning	243.139.080	972.556.320
	total CO ₂ reduktion	243.191.720	972.766.878
Frankrig	CO ₂ -fixering ved algedyrkning	102.999	411.996
	CO ₂ -ækv. reduktion i udledning	475.746.960	1.902.987.840
	total CO ₂ reduktion	475.849.959	1.903.399.836
Holland	CO ₂ -fixering ved algedyrkning	43.263	173.052
	CO ₂ -ækv. reduktion i udledning	199.829.520	799.318.080
	total CO ₂ reduktion	199.872.783	799.491.132
Italien	CO ₂ -fixering ved algedyrkning	49.761	199.044
	CO ₂ -ækv. reduktion i udledning	229.843.440	919.373.760
	total CO ₂ reduktion	229.893.201	919.572.804
Irland	CO ₂ -fixering ved algedyrkning	29.270	117.078
	CO ₂ -ækv. reduktion i udledning	135.194.280	540.777.120
	total CO ₂ reduktion	135.223.550	540.894.198
Total 7 lande	total CO ₂ reduktion	1.910 * 10 ⁶	7.641 * 10 ⁶

7. Referencer

Allen V., Pond K., Saker K., Fontenot J., Bagley C., Ivy R., Evans R., Schmidt R., Fike J. & Zhang X., 2001. Tasco: Influence of a brown seaweed on antioxidants in forages and live-stock – A review. *J. Anim. Sci.* 2001;79:E21-E31. doi: 10.2527/jas2001.79E-SupplE21x.

Benchaar C., Hassanat F., Gervais R., Chouinard P.Y., Julien C., Petit H.V., & Massé D.I., 2013. Effects of increasing amounts of corn dried distillers grains with solubles in dairy cow diets on methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance and milk production. *Journal of dairy science*, 96(4), pp. 2413-2427.

Berteau O. & Mulloy B., 2003. Sulfated fucans, fresh perspectives: structures, functions, and biological properties of sulfated fucans and an overview of enzymes active toward this class of polysaccharide. *Glycobiology* 13: 29-40

Bjerre AB. & Nikolaisen L., 2016. Report: the MacroAlgaeBiorefinery – sustainable production of 3G bioenergy carriers and high value aquatic fish feed from Macroalgae (MAB3). Ed. Bjerre AB., ISBN 978-8793037-01-4.

D’Orazio N., Gemello E., Gammone M., de Girolamo M., Ficoneri C. & Riccioni G., 2012. Fucoxantin: A Treasure from the Sea. *Marine Drugs* 10: 604-616.

Evans F. & Critchley A., 2014. Seaweeds for animal production use. *J. Appl. Phycol.* 2014;26:891-899. doi: 10.1007/s10811-013-0162-9.

Hemat RAS., 2007. Fat and muscle dysfunction. In *Andropathy* (edited by Hemat RAS): 83-85. Blackrock, Co. Dublin.

Holdt S.L. & Kraan S., 2011. Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology* 23: 543-597.

Kim M.H. & Joo H.G., 2008. Immunostimulatory effects of fucoidan on bone marrow-derived dendritic cells. *Immunology Letters* 115: 138-143.

Laternus F., 2001. Marine macroalgae in polar regions as natural sources for volatile organohalogens. *Environmental Science and Pollution Research*, 8(2), 103-108.

Lee K.Y. & Mooney D.J, 2012. Alginate: Properties and biomedical applications. *Progress in Polymer Science*. Vol. 37 (1) Jan 2012, pp 106-126.

Li B., Lu F., Wei X.J. & Zhao R.X., 2008. Fucoidan: structure and bioactivity. *Molecules* 13: 1671-1695

Lopes JC., de Matos LF., Harper MT., Giallongo F., Oh J., Gruen D., Kindermann M., Duval S. & Hristiv AN., 2016. Effect of 3-nitrooxypropanol on methane and hydrogen emissions, methane isotopic signature and ruminal fermentation in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2016 Jul;99(7):5335-5344. doi:10.3168/jds.2015-10832. Epub 2016 Apr 13.

Machado L., Magnusson M., Paul N.A., Kinley R., de Nys R. & Tomkins N., 2016. Identification of bioactives from the red seaweed *Asparogopsis taxiformis* that promote anti-methanogenic activity in vitro. doi: 10.1007/s10811-016-0830-7. *J. Appl. Phycol.* 28, 3117-3126.

Maeda H., Hosokawa M., Sashima T. & Miyashita K., 2007. Dietary combination of fucoxanthin and fish oil attenuates the weight gain of white adipose tissue and decreases blood glucose in obese/diabetic KK-A(y) mice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 7701-7706.

Matsumoto M., Hosokawa M., Matsukawa N., Hagio M., Shinoki A., Nishimukai M., Miyashita K., Yajima T. & Hara H., 2010. Suppressive effects of the marine carotenoids, fucoxanthin and fucoxanthinol on triglyceride absorption in lymph duct-cannulated rats. *European Journal of Nutrition* 49: 243-249.

McHughes D.J., 2003. A guide to the seaweed industry. FAO Fisheries Technical Paper No. 441. Rome, FAO 105 p.

Montgomery J., Allen., Pond K., Miller M., Wester D., Brown C., Evans R., Bagley C., Ivy R. & Fontenot J., 2001. Tasco-Forage: IV. Influence of a seaweed extract applied to tall fescue pastures on sensory characteristics, shelf-life and vitamin e status in feedlot-finished steers. *J. Anim. Sci.* 2001;79:884-894. doi: 10.2527/2001.794884x.

Moran C.A., Morlacchini M. & Fusconi G., 2017. Enhancing the DHA content in milk from dairy cows by feeding ALL-G-RICH™. *Journal of applied Animal Nutrition*, Vol 5.

Oza M.D., Mehta G.K., Kumar S., Meena R. & Siddhanta A.K., 2011. Galactans from *Gracilaria millardetii* and *G. textorii* (Gracilariales, Rhodophyta) of Indian waters. *Phycological Research* 59: 224-249

Saker K., Allen V., Fontenot J., Bagley C., Ivy R., Evans R. & Wester D., 2001. Tasco-Forage: II. Monocyte immune cell response and performance of beef steers grazing tall fescue treated with a seaweed extract. *J. Anim. Sci.* 2001;79:1022-1031. doi:10.2527/2001.7941022x.

Shiratori K., Ohgami K., Ilieva I., Jin X.H., Koyama Y., Miyashita K., Yoshida K., Kase S. & Ohno S., 2005. Effects of fucoxanthin on lipopolysaccharide-induced inflammation in vitro and in vivo. *Experimental Eye Research* 81: 422-428.

Soler-Vila A., Coughlan S., Guiry M.D. & Kraan S., 2009. The red alga *Porphyra dioica* as a fish-feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): effects on growth, feed efficiency, and carcass composition. *Journal of Applied Phycology* 21: 617-624.

Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T.D., Castel V. & de Haan C., 2006. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Food & Agriculture Org.

Synytsya A., Kim W.J., Kim S.M., Pohl R., Kvasnicka F., Copikova J. & Park Y.I., 2010. Structure and antitumour activity of fucoïdan isolated from sporophyll of Korean brown seaweed *Undaria pinnatifida*. *Carbohydrate Polymers* 81: 41-48.

Tomkins N.W., Colegate S.M. & Hunter R.A., 2009. A bromochloromethane formulation reduces entericmethanogenesis in cattle fed grain-based diets. *Anim. Prod. Sci.*, 2009, 49, 1053-1058.

Trond L.G & Hinge J., 2014. Macro Algae Logistics. Report, DTI, 2014. https://www.teknologisk.dk/ /media/58744_Macro%20algae%20logistics.pdf .

Vera J., Castro J., Gonzalez A. & Moenne A., 2011. Seaweed polysaccharides and derived oligosaccharides stimulate defense responses and protection against pathogens in plants. *Marine Drugs* 9: 2514-2525.

Yu R.X., Hu X.M., Xu S.Q., Jiang Z.J. & Yang W., 2011. Effects of fucoxanthin on proliferation and apoptosis in human gastric adenocarcinoma MGC-803 cells via JAK/STAT signal pathway. *European Journal of Pharmacology* 657: 10-19.

de Zoysa M., Nikapitiya C., Jeon Y.J., Jee Y. & Lee J., 2008. Anticoagulant activity of sulfated polysaccharide isolated from fermented brown seaweed *Sargassum fulvellum*. *Journal of Applied Phycology* 20: 67-74.