

Slutrapport

BiomassProtein™ GreenLab Skive Proteinfabrik Bioøko ERST projekt 065

Projektperiode: 26.04.2018 til 31.05.2020



DEN EUROPÆISKE UNION

Den Europæiske Fond
for Regionaludvikling



Vi investerer i din fremtid



AGRO
BUSINESS
PARK

Indhold.

1. Indledning
2. Placering af BiomassProtein™ i GreenLab Skive
3. Beskrivelse af proteinudvindingsprocessen
4. Anvendelsesmuligheder af biomassefraktionerne
5. Fordele ved græsdyrkning i det økologiske sædskifte
6. Test af bakteriestammen til fermenteringsprocessen
7. Afdækning af prototypens omfang
8. Massebalance for anlægget
9. Tekniske overvejelser for opførelse af prototypen
10. Undersøgelse af græspotentiale til udvinding af protein i GreenLab Skive
11. Valg af lokalitet til produktionsafprøvninger
12. GreenLab Skive miljøgodkendelse
13. Konklusioner
14. Referencer

1. Indledning.

Proteiner baseret på græs vurderes at blive en vigtig kilde til at imødekomme den store efterspørgsel fra en voksende befolkning over de næste 20 år. Grøn bioraffinering særligt med fokus på protein udvinding til enmavede dyr har dannet grundlag for en række forskningsprojekter inden for de seneste år. Projekterne har i høj grad været anvendelsesorienteret med henblik på at danne grundlag for at opføre egentlige produktionsanlæg pga. øget interesse fra landbrugserhvervet samt øget politisk bevågenhed på området. Interessen i de seneste år er bl.a. kommet fra økologisk side, da det økologiske landbrug står med en række udfordringer mht. sædskifte, gødning og med at skaffe tilstrækkeligt økologisk proteinfoder til enmavede dyr. Disse udfordringer søges løst gennem bioraffinering af grønne afgrøder.

BiomassProtein™ er grundlagt i 2017 på baggrund af mange års forskning på Aalborg Universitet med fremstilling af proteiner baseret på græs. Selskabets teknologi skal danne udgangspunkt for etablering af lokale fabrikker til produktion af proteiner til både dyrefoder og fødevarer, samt brug af restfraktionerne til andre formål – altså en ”zero waste” løsning. BiomassProtein™ arbejder på at etablere den første fabrik i GreenLab Skive, der er en unik park for virksomheder med et symbiosenetværk, der arbejder aktivt med integreret vedvarende energi, energilagring og ressourceeffektivitet. Nærværende rapport udgør slutrapport for RegionMidt Bioøko ERST projektet: Etablering og udvikling af fyldestgørende investeringsoplæg om projektering, design, opføring, ibrugtagning og drift af BiomassProtein™ plante proteinfabrik, placeret i GreenLab Skive.

Projektet har haft til formål at belyse og afdække en lang række forhold i den supply chain, der er involveret i at etablere en planteproteinfabrik. Disse forhold spænder fra sikring af tilstedeværelsen af råvaren (plante biomasse), til aftalerne med råvareproducenterne, til overordnet design af fabrikkens delelementer (modtagelse, evt. vask af biomassen, presning, udvinding af protein, tørring, lagring og distribution, spildevandshåndtering og evt. ”tilslutning” til det eksisterende biogasanlæg) og endeligt til kommunen, der skal give de regulatoriske godkendelser til opførsel af fabrikken. Projektet udmærker sig ved at være baseret på stærk lokal interesse fra leverandør-aktører som første led i værdikæden og muligheden for en håndtering af restprodukterne lokalt i et biogasanlæg, så der skabes merværdi i hele værdikæden og konkret efterspørgsel fra eksisterende foderstofproducenter. Rapporten beskriver det indledende arbejde med design og dimensionering af fabrikken sammen med de undersøgelser, vurderinger og overvejelser, som er gjort igennem projektperioden.

BiomassProtein™ har siden projektstart og sammen med samarbejdspartnere nået vigtige skridt frem imod realisering af den første kommercielle bioraffinaderifabrik til produktion af græsprotein. Det blev undervejs klart, at det vil være vigtigt med en række produktionsafprøvninger for at afklare de mange valg, der skal foretages for de forskellige procestrin i en græsproteinproduktion. Konkret har RegionMidt projektet derfor dannet baggrund for en række efterfølgende produktionsafprøvninger sammen med forskellige udstyrsleverandører i lejede lokaler på havnen i Skive gennem græssæsonen i 2019. De efterfølgende undersøgelser og beregninger har vist, at økonomien i et anlæg vil være udfordret, hvorfor BiomassProtein™ har

valgt at fokusere på flere produktionsafprøvninger, hvor der sideløbende med foderprotein skal produceres fødevareprotein. Markedet for planteproteiner til fødevarer forventes at stige eksplosivt i de kommende år og afhængig af funktionalitet, kan der opnås markant højere priser end for foderprotein.

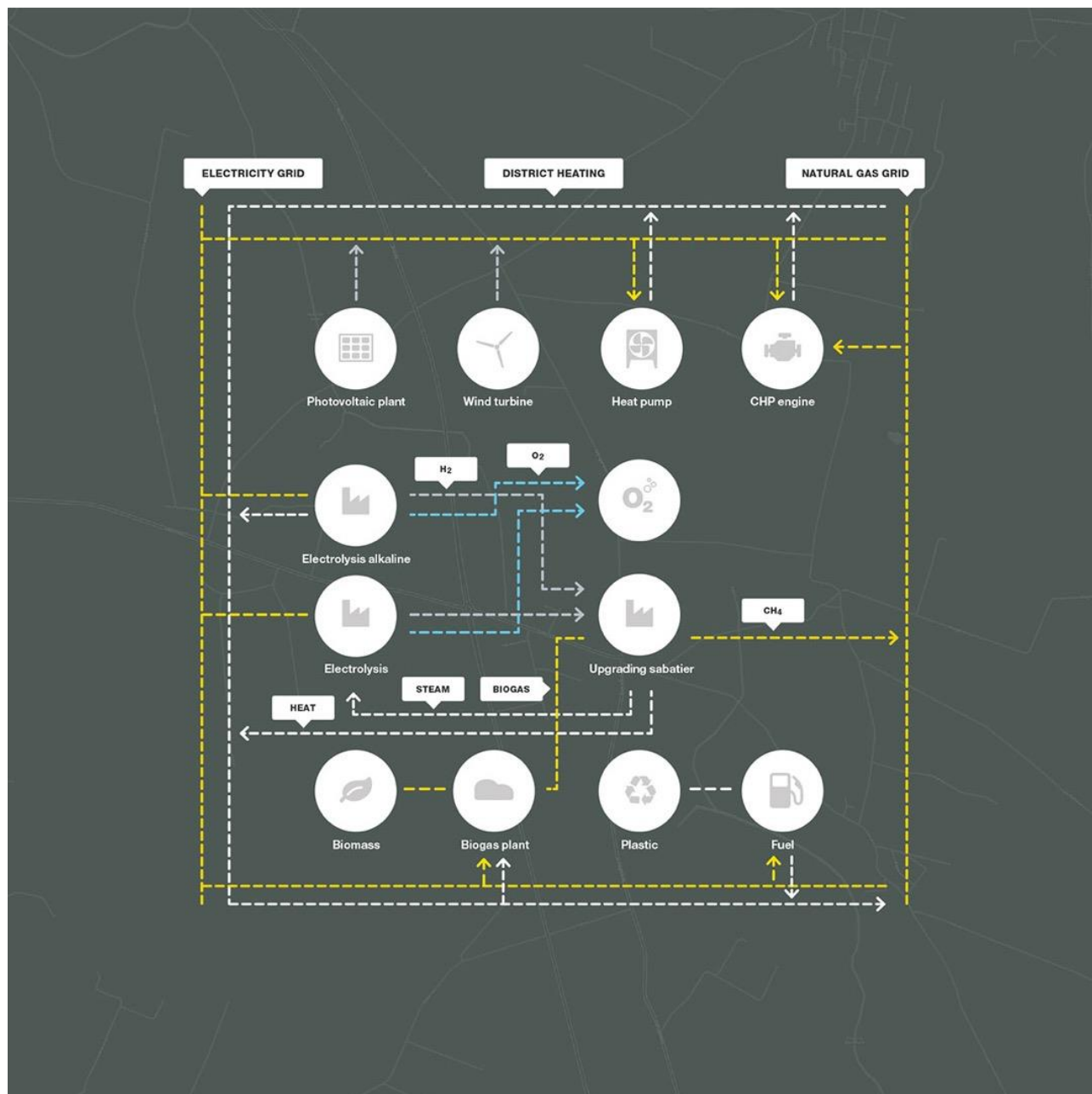
RegionMidt projektet er udført i samarbejde med følgende virksomheder samt en vidensinstitution:

- Aalborg Universitet, Institut for Kemi og Biovidenskab
- GreenLab Skive A/S
- International Starch Institute A/S
- Aktive Energi Anlæg A/S
- Greenetic Energy Aps
- KJN Maskinrådgivning Aps

2. Placering af BiomassProtein™ fabrik i GreenLab Skive

Greenlab Skive A/S er en erhvervspark med virksomhedsklynger inden for fremstilling af bl.a. biogas, solenergi og vind samt balancering af energisystemer gennem samarbejde i en energisymbiose, hvor overskudsvarme, energi og vand fra en virksomhed kan udnyttes af en anden virksomhed i klyngen, der alle er placeret på samme matrikel. Samtidigt er der også fokus på affaldshåndtering. Erhvervsparken har på indeværende tidspunkt bl.a. en vindmøllepark, Søstjernefabrik med tørreanlæg og biogasanlæg (GreenLab Skive Biogas Aps), der forventes færdigbygget ved udgangen af 2019 samt Quantafuels, der omdanner plastik til brændstof. Figur 1 og Figur 2 viser virksomhederne i symbiosenettet og illustrerer, hvordan strømme af biomasse, vand, energi, varme og affald drager nytte af samarbejdet.

Ved at placere proteinfabrikken ved Greenlab Skive er der mulighed for at benytte symbiosenettet mht. energi. Derudover kan der være muligheder for samarbejde med biogasanlægget om afgasning af restfraktionerne fra proteinudvindingen (presserest og brunsaft) og afsætning af afgasset biomasse. Endeligt er der mulighed for samarbejde med Søstjernefabrikken, som primært tørrer søstjerne i vintersæsonen. Denne fabrik vil derfor kunne udnytte sin kapacitet i græssæsonen ved at tørre proteinkoncentratet.



Figur 1. Skematisk overblik over symbiosenettet i GreenLab Skive (www.greenlab.dk).

GreenLab Skive

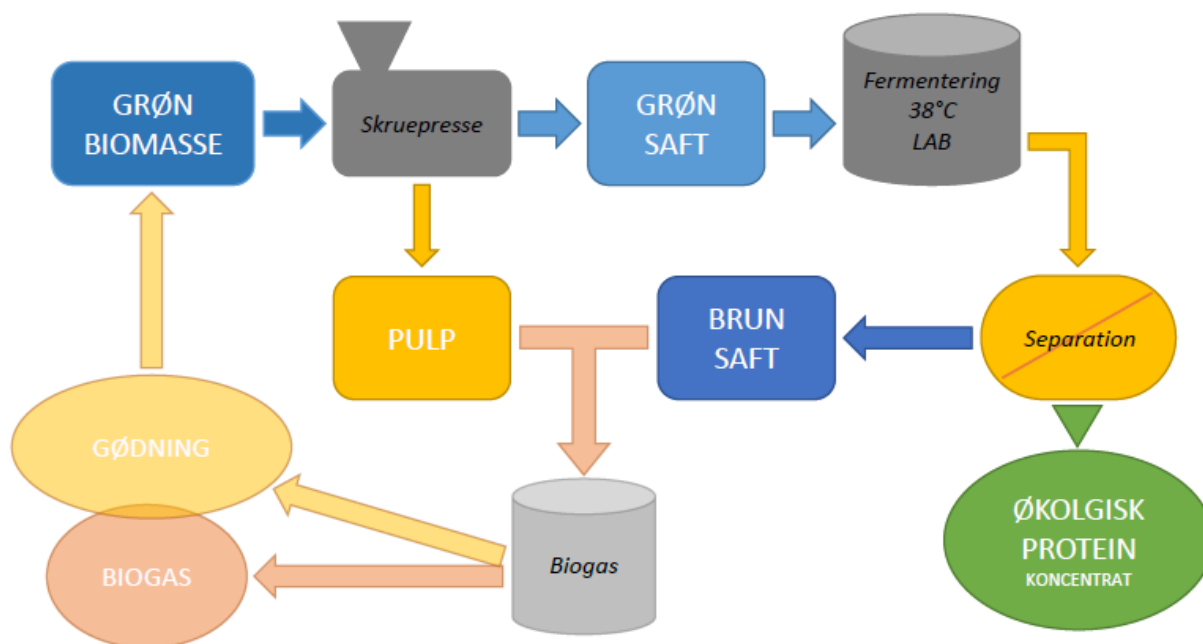
5 MW Alkaline Electrolysis

- Heat [kW]
- LT Heat [kW]
- Bio Gas [kW]
- Synthetic Natural Gas [kW]
- Electrolysis [kW]
- Biomass [kW]
- Norcel [kW]
- Plastic [kW]
- Natural Gas [kW]
- HT Heat [kW]
- Hydrogen [kW]

The diagram illustrates the energy flows at GreenLab Skive. Key components include:

- Inputs:** Biomass (80MW), Plastic (2000.0 kW), Norcel AS (2000.0 kW), Electricity (Wind) (6450.0 kW).
- Processing Units:** Danish Marine Protein, BioMass Protein, DREF (CHP), Boiler, Heat Pump, Pressure Electrolysis, Methanation, E.ON Biogas Plant, E.ON Biogas Upgrading.
- Outputs:** Buildings (200.8 kW), Excess Heat (1750.0 kW), Synthetic Natural Gas (15000.0 kW), Direct Combustion (28000.0 kW).
- Internal Flows:** Water (central hub), Biomass (1900.8 kW), Bio Gas (900.0 kW), HT Heat (1500.0 kW), LT Heat (400.0 kW), Bio Gas (400.0 kW), Synthetic Natural Gas (15000.0 kW), Excess Heat (1750.0 kW), Buildings (200.8 kW).

saften (Santamaria-Fernandez *et al.* 2017). Presseresten, der fremkommer som et restprodukt, efter at det friske græs er bearbejdet i en skruepresse, kan anvendes enten til kvægfoder eller i biogasanlæg til produktion af metan. I OrganoFinery projektet blev processen opskaleret i demo-skala på Nybro-tørreri til produktion af forsøgsfoder i samarbejde med partnere fra to andre projekter (BioValue og Multiplant) (Santamaria-Fernandez *et al.* 2019a). Forsøgsfoderet er blevet testet i æglæggende høner (OrganoFinery), slagtekyllinger og grise (Multiplant) og kvæg (BioValue) i løbet af vinteren 2016-2017. Presseresten blev ensileret og givet til kvæg. Forsøgene fra BioValue udført af Aarhus Universitet viser, at presseresten er et godt foder, der øger køernes mælkeydelse (Damborg *et al.* 2019). OrganoFinery konceptet er skematisk vist i Figur 3.



Figur 3. OrganoFinery processen. Frisk høstet græs skruepresses, og græssaften opvarmes til 38 °C og tilsættes mælkesyrebakterier. Efter fermentering i 6-8 timer sænkes pH til ca. 4, og de udfældede proteiner separeres fra til et proteinkoncentrat. Pulpen og restsaften (brunsaft) anvendes til produktion af biogas (Santamaria-Fernandez *et al.* 2018). Det afgassede saft kan derefter anvendes til gødning (Santamaria-Fernandez *et al.* 2019b).

4. Anvendelsesmuligheder af biomassefraktionerne

Anvendelse af protein til svin, kvæg og fjerkræ

Græsproteinkoncentratet vurderes til at have en proteinkoncentration på 45% råprotein i tørstoffet, hvilket svarer til proteinkoncentrationen i sojakage.

Til grisefoder er det beregnet, at økologisk græsproteinkoncentrat skal under 545 kr/100 kg for at være konkurrencedygtig i forhold til sojaskrå i en foderblanding. Det vurderes at

være velegnet til svinefoder, bortset fra at indholdet af Cystein er ikke er så højt. Som Cysteinkilde kan tilsættes afskallet havre. Forsøg i det GUDP finansierede projekt SuperGrassPork har vist, at græsprotein tilsat i koncentration på hhv. 5, 10 og 15% af foderet gav samme tilvækst i slagtesvin som kontrolfoder (DCA, 2019). Efterfølgende slagtning viste desuden, at den gruppe grise, som fik 15% kløvergræsprotein havde en signifikant højere kødprocent end de øvrige forsøgsgrupper. Resultaterne viste også, at kløvergræsprotein giver højere indhold af omega-3 fedtsyrer i kødet (DCA, 2019).

Til fjerkræ vurderes økologisk græsprotein at have høj værdi, da indholdet af Methionin, som er den vigtigste aminosyre til fjerkræ, er væsentlig højere i græsprotein end i sojaskrå. Som ved grisefoder er indholdet af Cystein lavt, og der skal suppleres med f.eks. afskallet havre. Græsprotein med højt proteinindhold er beregnet til at have en værdi op til 645 kr/100 kg, og dermed er fjerkræ den dyregruppe, hvor græsprotein har den højeste værdi. Forsøg med æglæggere i OrganoFinery projektet har vist gode resultater med græsprotein tilsat i koncentration på hhv. 4, 8 og 12%. Der var ingen forskel i ægproduktionen mellem de tre behandlinger og kontrolgruppen. Der var heller ingen forskel i æg vægt, eller foderudnyttelse (kg foder/kg æg) (Steenfeldt og Lübeck, 2018). Græsproteinet er desuden en naturlig kilde til en mørkere blomfefarve (Figur 4).



Figur 4. Æg fra høns fodret med 0, 4, 8, og 12% græsprotein. Blomfefarven bliver mørkere med stigende indhold af græsprotein. Foto: Sanna Steenfeldt.

Til kvægfoder vurderes proteinkoncentratet ikke at være ligeså interessant som til enmavede dyr, da kvæg ved hjælp af den mikrobielle omsætning i vommen selv er i stand til at producere mikrobielt protein af græs.

Afskallet havre ser ud til at blive en vigtig Cysteinkilde i kombination med græsprotein. Havre er i forvejen en god afgrøde i et økologisk sædskifte, da den dækker godt for ukrudtet, og har samtidig en god forfrugtsværdi. Det burde derfor ikke være et problem at få havre til afskalning, hvis prisen er fornuftig. Afskalning af havre sker i forvejen, og virksomheden Gl. Buurholt har

allerede mobilt udstyr der kan foretage afskalningen (Nielsen, KJ 2018).

Anvendelse af presseresten til kvægfoder

Det antages, at presseresten indeholder 70-80% af den oprindelige foderværdi, målt i foderenheder. Det betyder dermed også, at en økologisk kvægproducent, der vælger at "låne" sit græs ud til proteinproduktion, får en presserest tilbage, hvor der mangler 20-30%. For at dyrke tilstrækkeligt med grovfoder, skal producenten derfor øge sit græsareal til grovfoder med 20-30%. Som tidligere nævnt har resultater fra Aarhus Universitet vedrørende fodring med presseresten vist, at køer, der fodres med presseresten, havde en højere mælkeproduktion i forhold til køer fodret med græsensilage (Damborg *et al.* 2019). Det tyder derved på, at den positive effekt vil kunne kompensere en del for det manglende foder. For at sikre en god ensileringsproces i presseresten er det vigtigt, at den ensileres effektivt og hurtigt umiddelbart efter presningen.

Anvendelse af presserest til svinefoder

Presseresten kan også anvendes til svinefoder. Da den er ensileret, og derved har en lav pH-værdi, har den en positiv påvirkning af mave-/tarmsundheden. Fodringsteknikken i stalden vil være udfordret af, at der skal tilsættes ensileret foder, og derfor vil det skulle indrettes til fodring med presserest. Der findes i dag teknik i nogle stalde, som automatisk kan tildele halm, og derfor er det ikke uvant, at der tilføres halm/grovfoder. Der er også svinestalde, hvor der tilføres ensileret græs fra wrapballer, som ikke er nær så findelt, som presseresten vil være.

Det kan være oplagt at wrappe presseresten i en rundballe for at sikre en god ensilering og undgå varmedannelse i en større ensilagestak. Dannelse af varme opstår, når der kun udfodres mindre mængder dagligt, hvilket må forventes at være tilfældet til svineproduktionen.

Wrapballer er også lette at transportere over større afstande og kan sælges som en handelsvare.

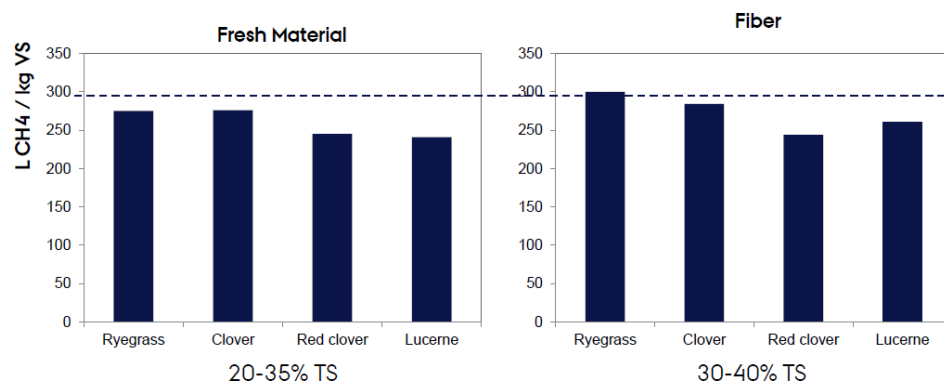
Anvendelse af presserest til fjerkræ

Hønernes ædelyst til presserest forventes at være begrænset ud fra erfaringer fra fodring med ensilage (Fog *et al.* 2018). Den fysiske neddeling, og at det forventes at næringsstofindholdet i pressekagen er mere tilgængelig, kan gøre det velegnet til høner. Der mangler dog fodringsforsøg til at konkludere på presserestens egnethed til fodring af fjerkræ.

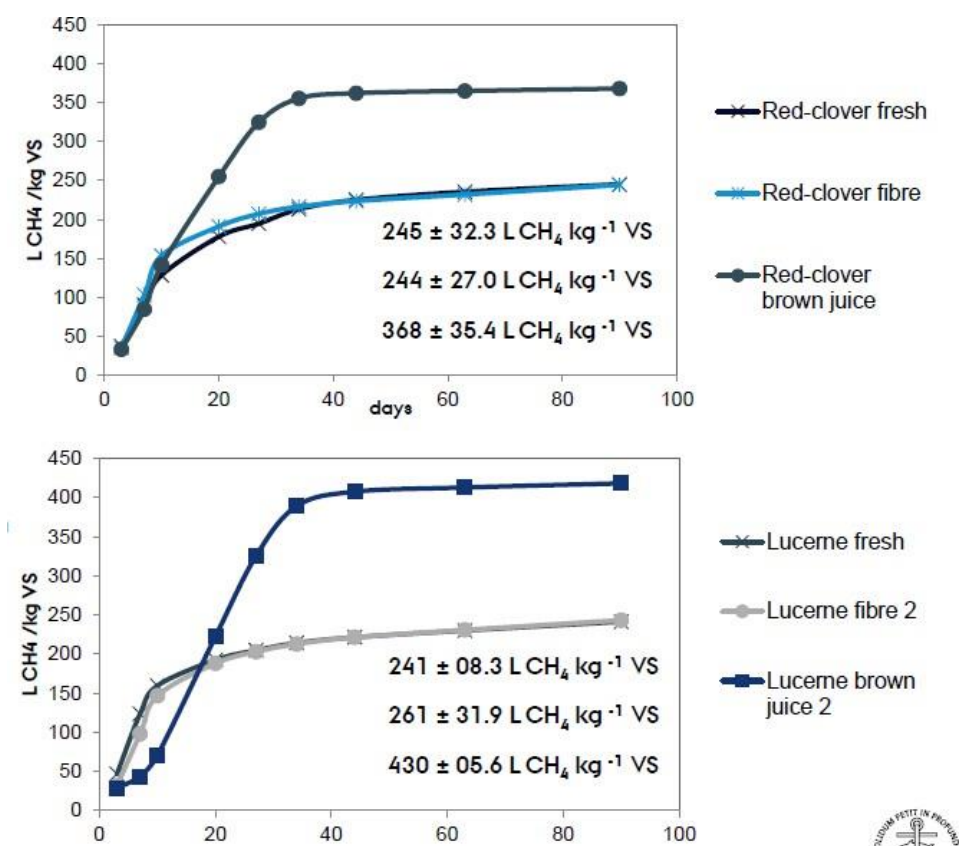
Anvendelse i biogasanlæg

Biogaspotentialer i presseresten er undersøgt af bl.a. Aarhus Universitet Foulum, og som det fremgår af (ref) ligger gaspotentialer i liter metan/kg organisk tørstof ($L\ CH_4/kg\ VS$) på 250-275 liter i frisk græs (Figur 5 og 6). Omregnet til metan pr. tons svarer det til ca. 67,5 – 75 m^3

metan/ tons i frisk materiale (30% ts). Presseresten ligger på 250-300 L CH₄/kg VS, svarende til 79 – 95 m³ metan pr tons (Figur 5 og 6). For at opnå disse metanudbytter skal biogasanlæggene have en opholdstid (HRT) på minimum 40 dage. Mange af de eksisterende biogasfællesanlæg har kortere opholdstid, men mange af de nye, der bygges til at håndtere store mængder faste biomasser, har opholdstider fra ca. 40 dage.



Figur 5. Metanpotentiale i friske afgrøder og presseresten



Figur 6. Resultater fra udrådningsforsøg af rødkløver og Lucerne

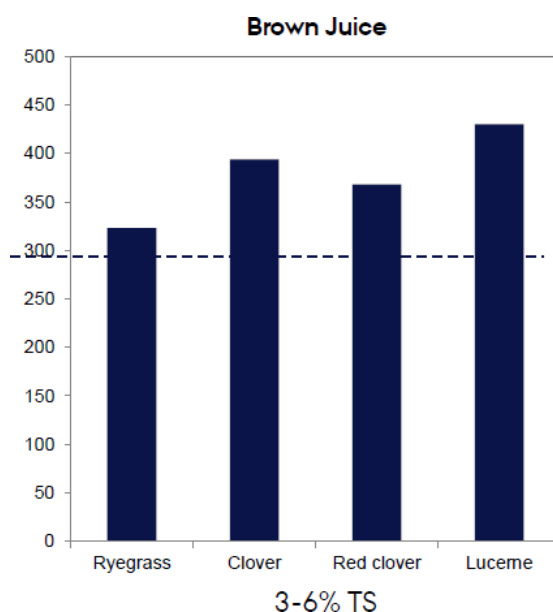
Værdi af presseresten.

Greenlab Skive Biogas har tilbudt leverandører en pris på ca. 280 kr/tons ensilage, leveret på biogasanlægget med ca. 30% tørstof. Med udgangspunkt i at metanpotentialet er ca. 70 m³ metan/tons i denne ensilage, og metanpotentialet i presseresten er ca. 90 m³ metan pr. tons, er der et ekstra metanindhold på ca. 28%. Med disse forudsætninger kan det antages, at presseresten har en værdi på ca. 360 kr/tons, leveret på biogasanlægget. Presseresten har samtidig de fordele, at den ikke indeholder sand og fremmedlegemer, samt den er findelt og dermed let at håndtere.

Anvendelse af brunsaft

Brunsaften udgør ca. halvdelen af den samlede mængde og kan anvendes til biogasproduktion, eller alternativt inddampes til gødning. Som det fremgår af Figur 7 er der et metanpotentiale på 325 – 425 L CH₄/kg VS, svarende til ca. 15 – 19 m³ metan pr. tons ved 5% tørstof. Brunsaften har et højere metanpotentiale end gylle, men da den ikke indeholder mere end ca. 2 kg N/ton³, vil den reducere næringsstofindholdet i den afgassede gylle. Det lave næringsstofindhold gør produktet mindre interessant for biogasanlæg, da den afgassede biomasse får lavere værdi. Hvis et biogasanlæg kører med et højt tørstof, hvor enkelte anlæg i dag tilsætter vand for at kunne pumpe tørre biomasser rundt i anlægget, vil det for dem være mere interessant at erstatte vandet med brunsaft.

I forbindelse med håndtering af KOD, hvor plast, metal, glas mm., skal sorteres fra, før det bliver til pulp, kan brunsaften eventuelt anvendes som tilsætning i stedet for vand, da tørstofindholdet skal være så lavt i KOD at glasset kan sorteres fra. Nogle anlæg bruger vand til fortynding, men brunsaft kunne benyttes i stedet for.



Figur 7. Metanpotentiale i brunsaft fra forskellige afgrøder

5. Fordele ved græsdyrkning i det økologiske sædskifte

Produktion af protein af f.eks. kløvergræs og lucerne øger mulighederne for at opbygge kulstof i jorden, og dermed gøre den mere dyrkningssikker. At opretholde kulstofindholdet i jorden er meget vanskeligt i et normalt kornsædskifte, men her har de flerårige græsser en stor fordel (Olesen n.d.).

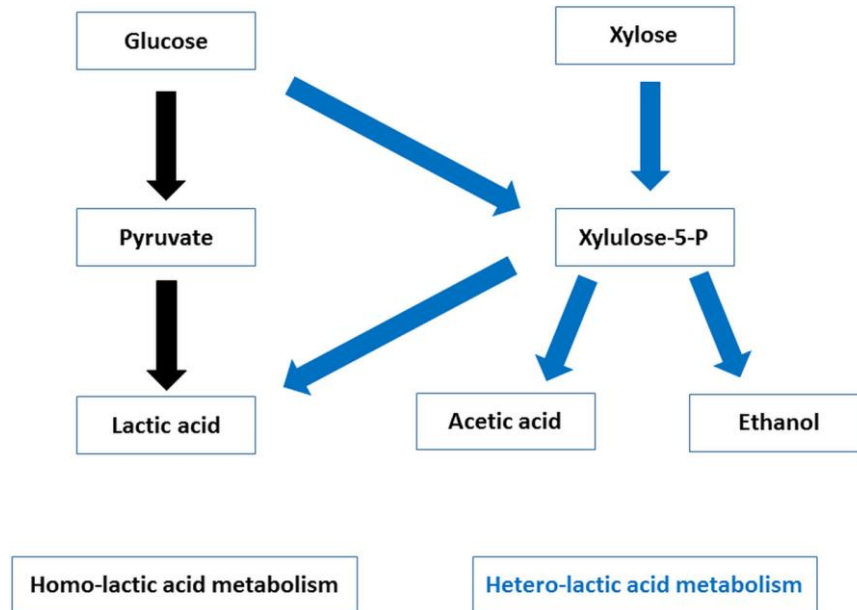
Resultater fra markforsøg viser en kulstoflagring ved:

Rod, stub, bladtab mv.	300 kg C/ha/år
Halmnedmuldning (5 t tørstof/ha)	300 kg C/ha/år
Tilførsel af gylle (30 tons/ha med 5% tørstof)	200 kg C/ha/år
Efterafgrøde (rajræs, udlagt i forår)	400 kg C/ha/år
Vedvarende græs til slæt	1100 kg C/ha/år

Udvinding af protein fra græs og dermed dyrkning af flere hektar med slætgræs, samtidig med tilførsel af gylle vil have en meget positiv effekt på kulstoflagringen. Hvedehelsæd og majs-helsæd bidrager ikke positivt til jordens indhold af kulstof, men det gør derimod kløvergræs og ekstensivt græs. De har også en positiv indflydelse på nitratudvaskningen.

6. Test og valg af bakteriestammen

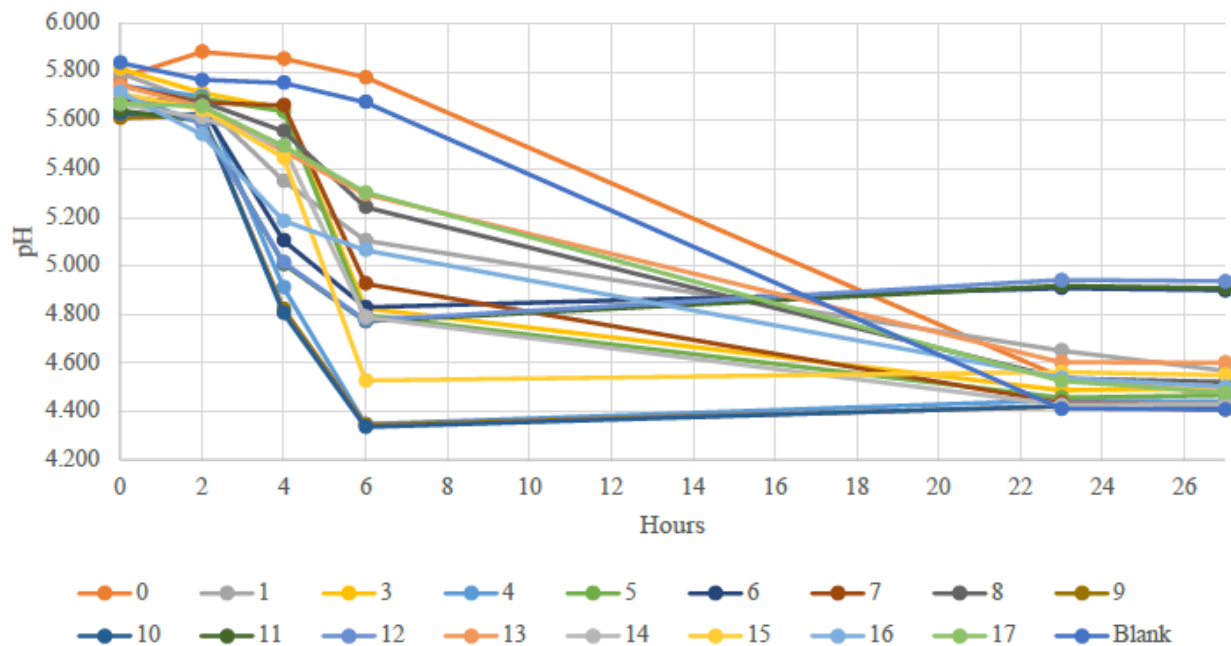
Det er tidligere vist, at naturlig fermentering kan være risikabel og kan medføre fejlfermentering, således at der opformeres uønskede bakterier, som producerer andre syrer end mælkesyre eller en blanding af forskellige syrer sammen med mælkesyre. Derfor er det vigtigt at kontrollere fermenteringen ved tilsætning af en kendt mælkesyrebakteriestamme, som er uskadelig og ønskeligt have probiotiske egenskaber. Desuden er det vigtigt for bakteriestammen, at den er robust, stabil og nedsætter pH så hurtigt som muligt, hvilket nedsætter retentionstiden i en fermenteringstank samt mindsker nedbrydningen af proteinerne i græssaften. En robust og stabil bakteriekultur skal være konkurrencedygtig i forhold til de øvrige mikroorganismer, der uundgåeligt kommer med saften. Der findes en række mælkesyrebakterier, som udelukkende er homofermentative, dvs. udelukkende producerer mælkesyre, og en række andre mælkesyrebakterier, der er heterofermentative, hvilket betyder, at de producerer mælkesyre sammen med eddikesyre og ethanol (Figur 8). Udover at homofermentative mælkesyrebakterier kun producerer mælkesyre, er en anden fordel, at mælkesyre har en lavere pK_A værdi end eddikesyre og derved hurtigere nedsætter pH (Lübeck og Lübeck 2019).



Figur 8. Oversigt over mælkesyrebakteriers metabolisme, der kan være enten homofermentativ (illustreret med sort) eller heterofermentativ (illustreret med blå) (Lübeck og Lübeck, 2019)

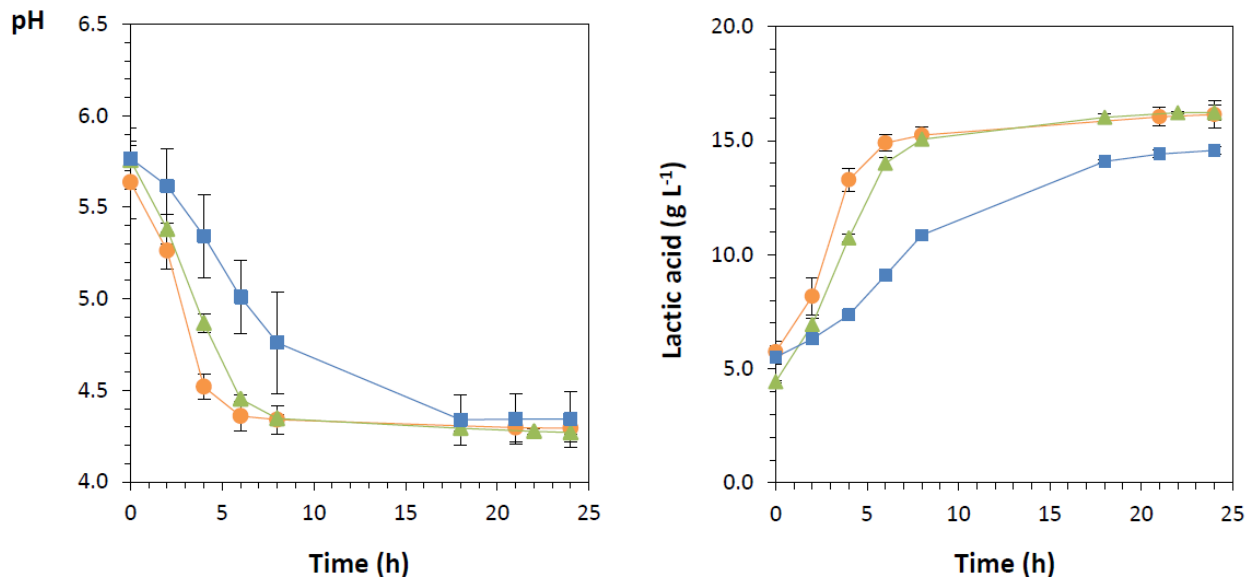
Udvælgelse af egnede bakteriestammer

Aalborg Universitet har hidtil primært arbejdet med en enkelt bakteriestamme, men har inden og gennem RegionMidt projektet erhvervet en række mælkesyrebakterier tilhørende vidt forskellige arter blandt andet gennem isolering fra kløvergræs og lucerne. I projektperioden har der været udført en række undersøgelser af forskellige stammer til endelig udvælgelse af den stamme, der anses for bedst egnet til fermentering af græssaft. Af figur 9 fremgår, at pH sænkes betydeligt hurtigere ved tilsætning af effektive bakteriestammer sammenlignet med naturlig fermentering. Af figuren ses endvidere, at pH efter fermentering natten over opnår ca. samme pH fald også ved naturlig fermentering, hvor det er de bakterier, der kommer med saften, der sørger for fermenteringen. Hvis der tilsættes heterofermentative bakterier, opnås ikke samme pH fald, selv efter længere tids fermentering (bakteriestamme 11 og 12), da pKA værdien for eddikesyre er højere end for mælkesyre. Bakteriestamme 4 og 10 sænkede pH hurtigst.



Figur 9. Undersøgelse af pH fald i grønsaft tilsat 17 forskellige mælkesyrebakterier. Den blå kurve er en kontrol (blank), dvs. naturlig fermentering, og den orange kurve repræsenterer en bakterie, der ligesom kontrollen kun nedsætter pH langsomt og utilstrækkeligt.

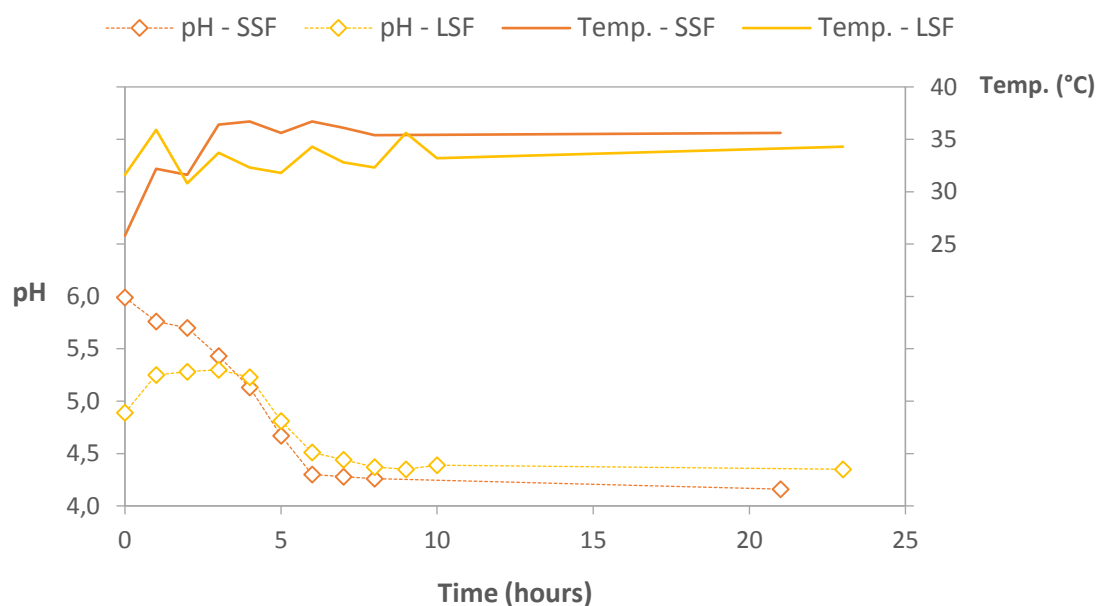
En enkelt interessant sporedannende stamme har temperaturoptimum ved 52°C, hvor de øvrige primært har optimum ved 38°C. En fordel ved at anvende en stamme med højere temperaturkrav kan være forbedret konkurrence evne i forhold til de øvrige mikroorganismer. En anden fordel ved anvendelse af en sporedannende stamme vil være bedre overlevelsespotentiale ved efterfølgende behandlinger af proteinkoncentratet. Derved vil stammen potentielt kunne fungere probiotisk i de dyr, der skal spise foder med græsprotein. En ulempe ved højere temperatur er, at det er mere energikrævende. Undersøgelserne af denne stamme sammen med to udvalgte stammer har vist, at stammen med det høje temperaturkrav tager længere tid om at nedsætte pH og blev fravalgt af den årsag (figur 10). I figur 10 er den sporedannende stamme vist med blå farve.



Figur 10. Undersøgelse af fermentering af grønsaft tilsat tre forskellige homofermentative mælkesyrebakterier. Til venstre ses fald i pH over tid, hvor den orange stamme 4 og den grønne stamme 10 bevirker et hurtigere pH fald end den blå stamme. Til højre ses produktion af mælkesyre som følger udviklingen i pH. Stamme 4 (orange) og stamme 10 (grøn) viser hurtigst mælkesyreproduktion, og den "blå" stamme producerer mælkesyre noget langsommere.

pH værdien i frisk grønsaft ligger tæt på pH 6. I de nævnte undersøgelser blev der arbejdet med optøet grønsaft (fra lucerne). Som det fremgår af figur 10 var start pH på ca. 5,7 og at det tog ca. 5-6 timer at sænke pH til 4,3, som derefter ikke ændredes yderligere. Slut pH for fermentering afhænger meget af råmaterialet, da samme bakteriestamme kan sænke pH til f.eks. 3,8 ved fermentering af græssaft, men kun til pH 4,2-4,3 for lucernesaft. Indhold af sukker i saften er en forudsætning for succesful fermentering, da det er sukkeret, der omdannes til mælkesyre (Figur 9). Selvom der stadig kan være sukker tilbage efter fermenteringen er stoppet uden yderligere produktion af mælkesyre og dermed fald i pH, er derfor tale om forskellig buffervirkning i forskellige plantesafter. Det er derfor vigtigt at kende råvarens buffereffekt for at kunne planlægge en optimal fermenteringsproces.

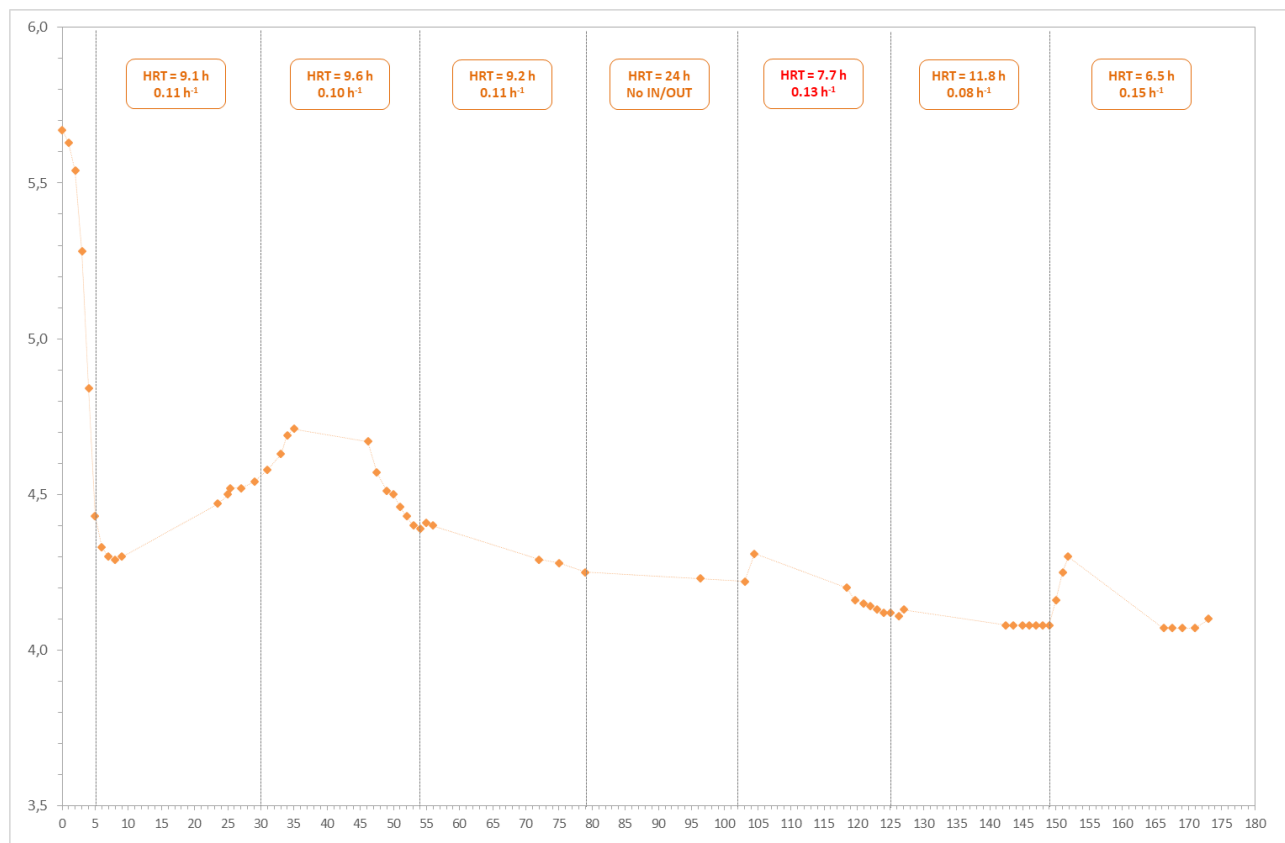
Konklusion fra valg af bakteriestamme, er udvælgelse af to homofermentative mælkesyreproducerende stammer, begge med pH optimum på ca. 38°C. De to stammer kommer fra to forskellige arter med kendte probiotiske virkninger. De to arter tilhører to forskellige bakterieslægter og har derfor forskellige egenskaber mht. morfologi, temperaturfølsomhed og egenskaber mht. produktion af hhv. D- og L-mælkesyre. Den ene er der mest erfaring med og er derfor oplagt at benytte til opskaleret produktion, men den anden har nogle interessante egenskaber og vil derfor være interessant at undersøge nærmere mht. robusthed, stabilitet mv. Den kendte stamme (*Lactobacillus salivarius*) er sammenlignet i laboratorieskala og i pilotskala i samme grønsaft (Figur 11).



Figur 11. Sammenligning af laboratorieskala (SSF) og pilotskala fermentering (LSF) af lucernesaft med *L. salivarius*. Som det ses, var udgangs pH lavere i saft i pilotskala, hvilket skyldes, at det tager lidt mere tid til at opvarme saft og fylde fermenteringstanken inden tilsætning af *L. salivarius*.

Kontinuerlig fermentering

Ud over valg af bakteriestamme har der været arbejdet med en kontinuerlig fermenteringsproces, som vil give en række fordele i et fabriksanlæg ved at sænke kapaciteten af fermenteringstanke. Ved 40 tons i timen vil der komme 20-25 tons saft i timen, hvilket ved en batch fermentering vil give et behov for flere fermenteringstanke i størrelsesorden 120 m³/tank. En kontinuerlig fermenteringsproces vil kunne have et nogenlunde konstant lavt pH i tanken, hvor påfyldning af grønsaft og aftapning af fermenteret grønsaft vil skulle ske med samme hastighed. Derved kan antal og størrelsen af tanke sænkes betydeligt. I laboratorieskala blev der arbejdet med en kontinuerlig fermentering over 7,5 dage (Figur 12). Det blev vist, at det fungerede fint i praksis. Der blev udtaget mikrobiologiske prøver til sikring af, at det var den valgte bakteriestamme, der arbejdede. Der blev arbejdet med optøet grønsaft, som blev holdt på køl, hvilket havde den problemstilling, at nogle mælkesyrebakterier kan formere sig under kølige forhold. Det bevirkede, at en konkurrerende bakteriestamme begyndte at co-fermentere efter ca. 4-5 dage. Det havde dog ikke indvirkning på proteinudbyttet. Den kontaminerende bakteriestamme blev undersøgt nærmere og viste sig at være en homofermentativ mælkesyrebakterie med kendte probiotiske virkninger. Fluktuationen på dag 2 skyldes regulering af pumperne til influx og efflux (Figur 12), som efterfølgende blev justeret til et mere optimal og ensartet flow.



Figur 12. Resultater fra pH målinger fra kontinuerlig fermentering over 7,5 dage. Der ses en retentionstid på godt 5 timer fra start af reaktoren.

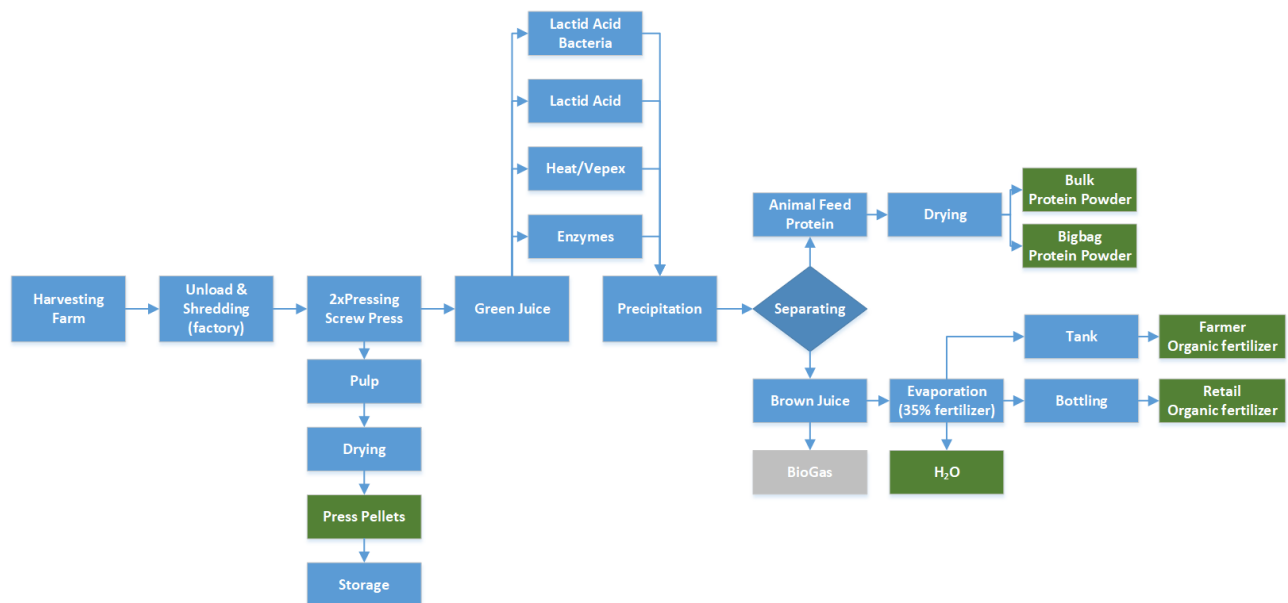
De to hovedkonklusioner fra den kontinuerlige fermenteringsproces er derfor:

1. at det er muligt at udføre kontinuerlig fermentering
2. at der skal startes med frisk podekultur ved opstart hver uge

Derudover vil der formodentligt være perspektiv i at arbejde med en blandingskultur for at have en mere robust fermenteringsproces.

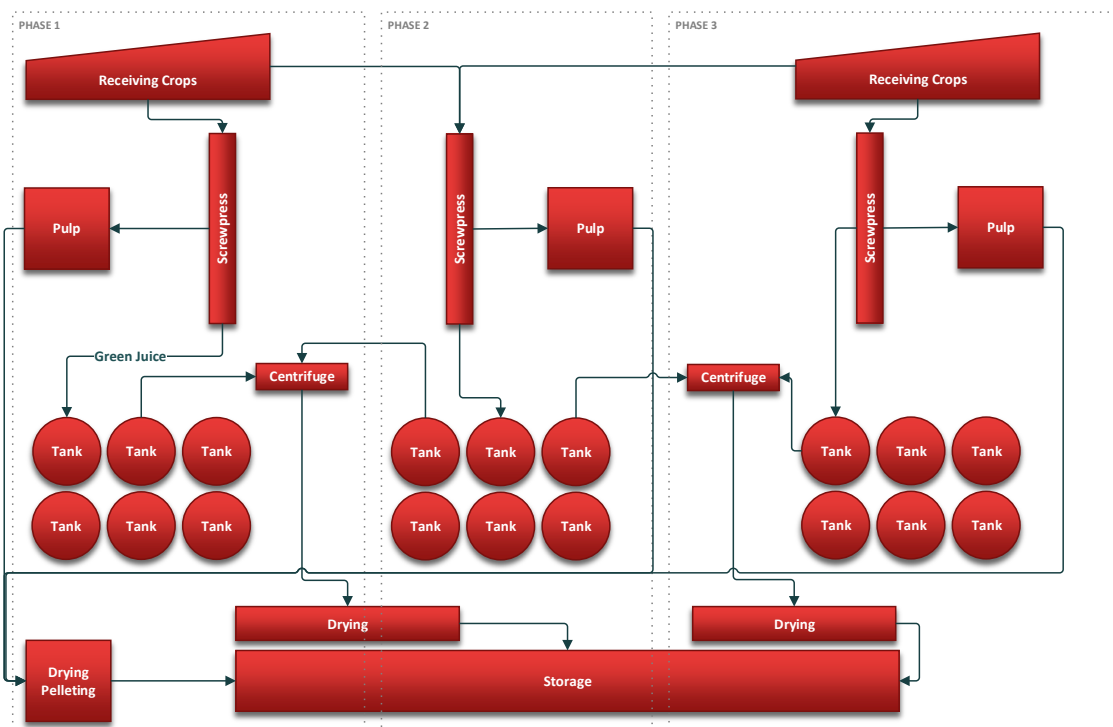
7. Afdækning af prototypens omfang

Processerne i et anlæg kan tænkes at foregå på forskellige måder, og der kan tænkes forskellige løsninger ind for de enkelte procestrin. Der har været arbejdet med forskellige løsninger og setups. Et af disse setups er vist i nedenstående figur 13.



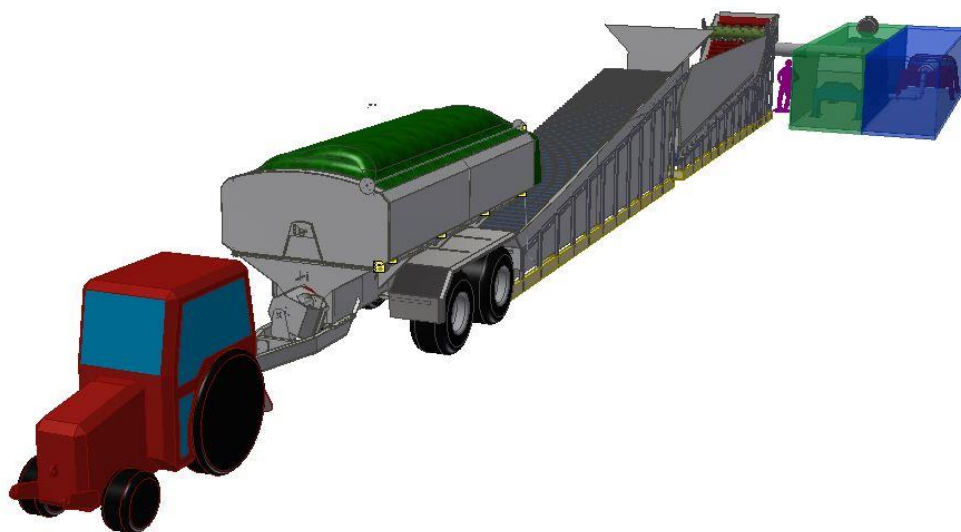
Figur 13. Skitsediagram til mulige processer i en BiomassProtein™ fabrik.

GreenLab Skive fabrikken er i første omgang estimeret til at bearbejde græs med et arbejdsvolumen på 40 tons i timen, 22 timer i døgnet i alt i 130 dages græskampagne. Grundlaget for tilstrækkeligt areal i nærområdet til dyrkning af den nødvendige mængde af økologisk græs er analyseret, se afsnit 10. I første fase vil der være udfordringer ved at skaffe tilstrækkelige mængder økologisk græs i nærområdet til at understøtte fabrikken. Dette tænkes løst ved at høste græs fra nabokommunerne og ved, at der formodentligt vil komme et incitament til at økologerne i nærområdet øger deres græsproduktion til mere end de estimerede 30%, og at konventionelle arealer omlægges fra konventionelt til økologisk. Ved en senere udbygning f.eks. ved at anvende konventionelt dyrket græs eller ved at anvende græs fra udtagne arealer i nærområdet (Limfjorden) kan fabrikken udbygges til at køre med eksempelvis tre parallelle linjer, som skitseret i nedenstående figur 14.

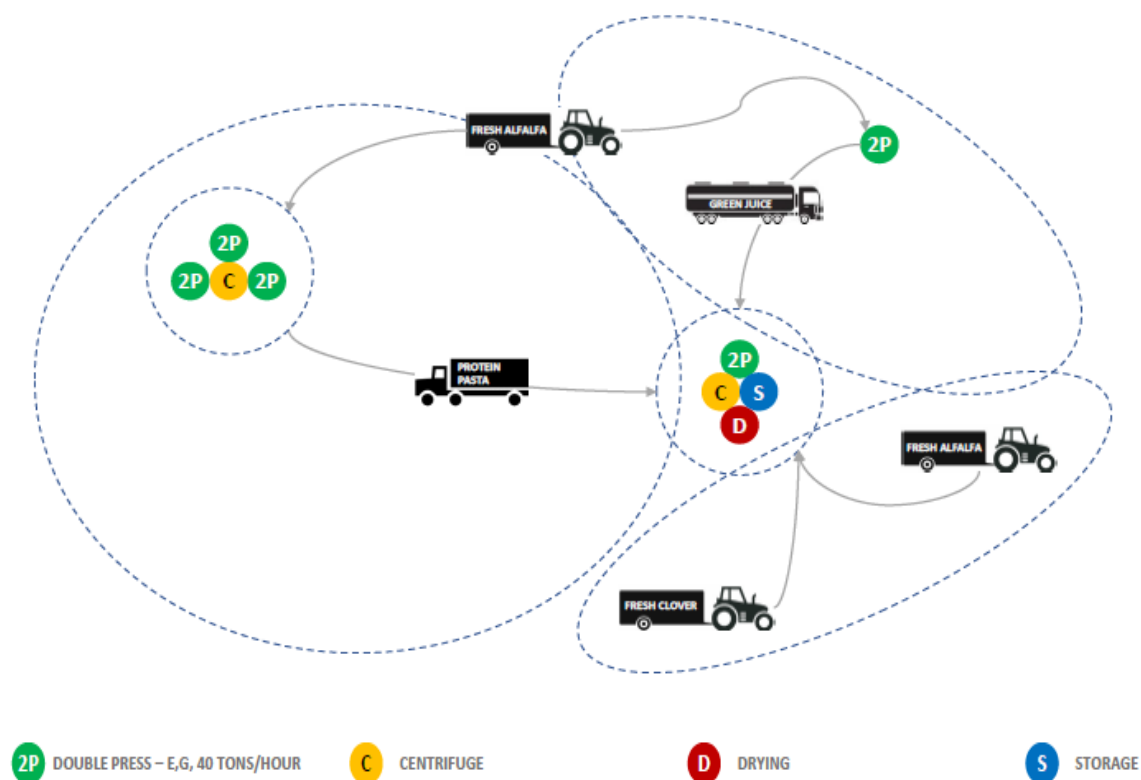


Figur 14. Skitse af BiomassProtein™ fabrik med tre parallelle linjer, der hver kan processere 40 tons græs i timen.

En anden oplagt måde til at øge græsarealet til understøttelse af fabrikken vil være at færdigudvikle BiomassProtein™s mobile unit, som der arbejdes på. Nedenstående figur 15 er en skitsemodel af den mobile unit, og figur 16 illustrerer, hvordan en mobil unit vil kunne være med til at øge indsamlingsdistancen.



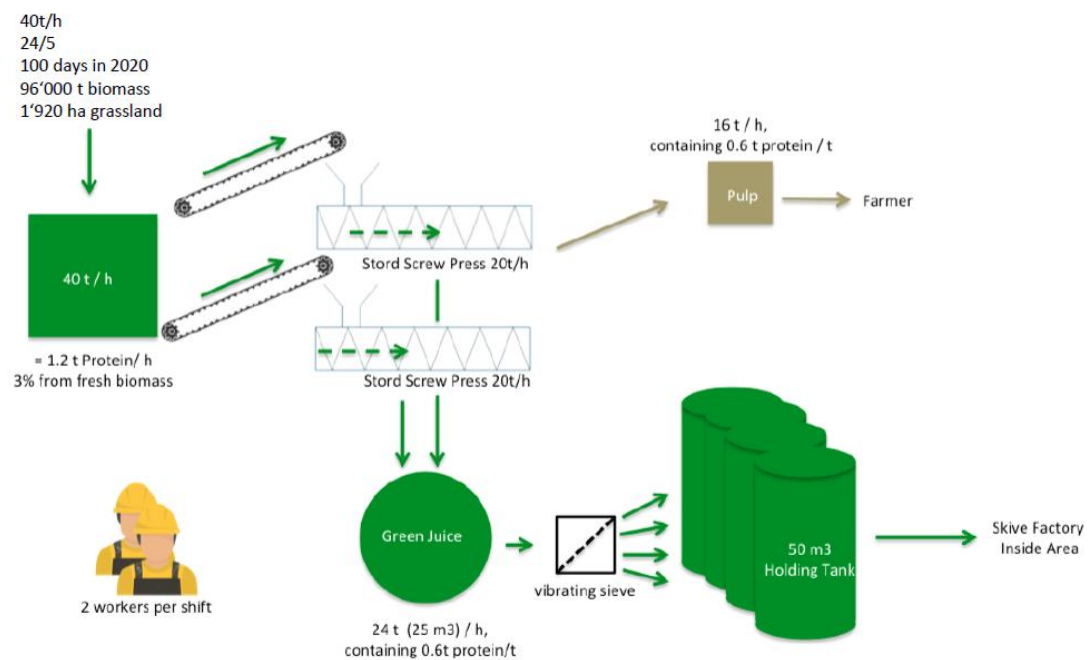
Figur 15. Skitsetegning af en BiomassProtein™ mobil unit.



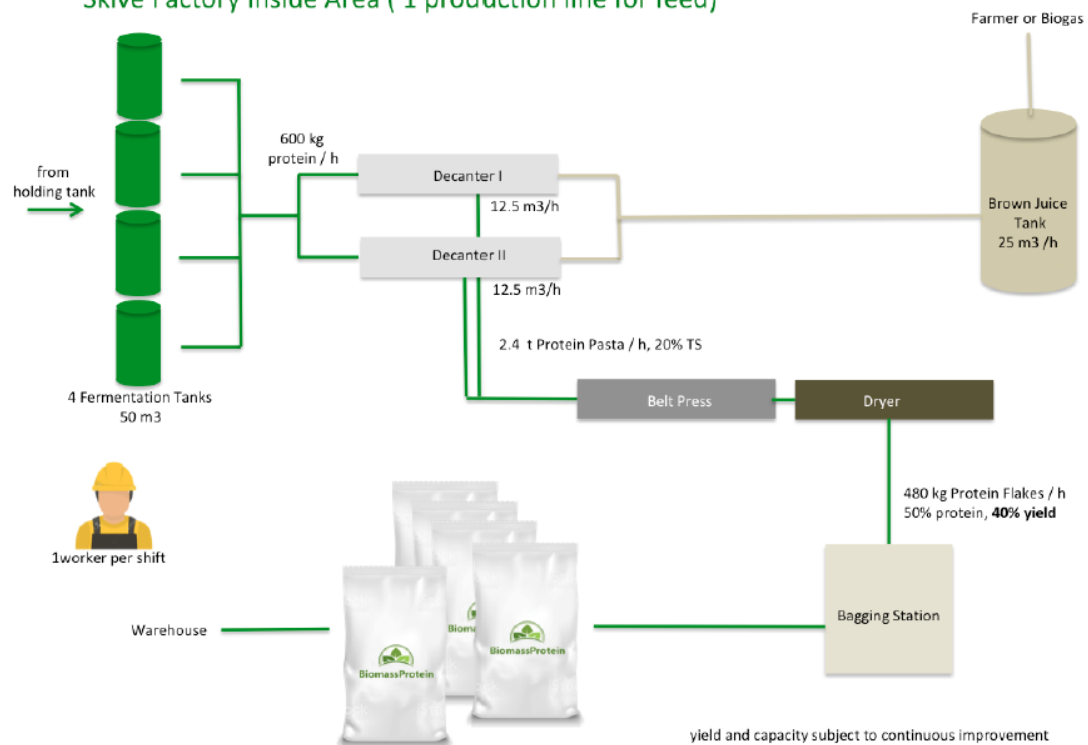
Figur 16. Skitse over hvordan decentraliserede pressestationer eller mobile units vil kunne øge radius for høst og indsamling af græs til understøttning af en central fabrik.

8. Massebalance for anlægget

I nedenstående figur 17 vises et overblik over BiomassProtein™ fabrikken med 1 linje baseret på 40 tons frisk græs i timen. Massebalancen i figur 17 er baseret på antagelser om forventet produktion efter alle processerne er optimerede. Der er også lavet et blokdiagram med massebalancer for fabrikken (Figur 18), hvor massebalancerne er baseret på tidligere forsøg foretaget af forskere på AAU. I blokdiagrammet er der også vist flow for en evt. dobbeltpresning, skumkontrol og fjernelse af sand, der kommer med det høstede græs. I afsnit 10 er der også en massebalance baseret på totale mængder af høstet græs, baseret på et areal på 1050 ha.



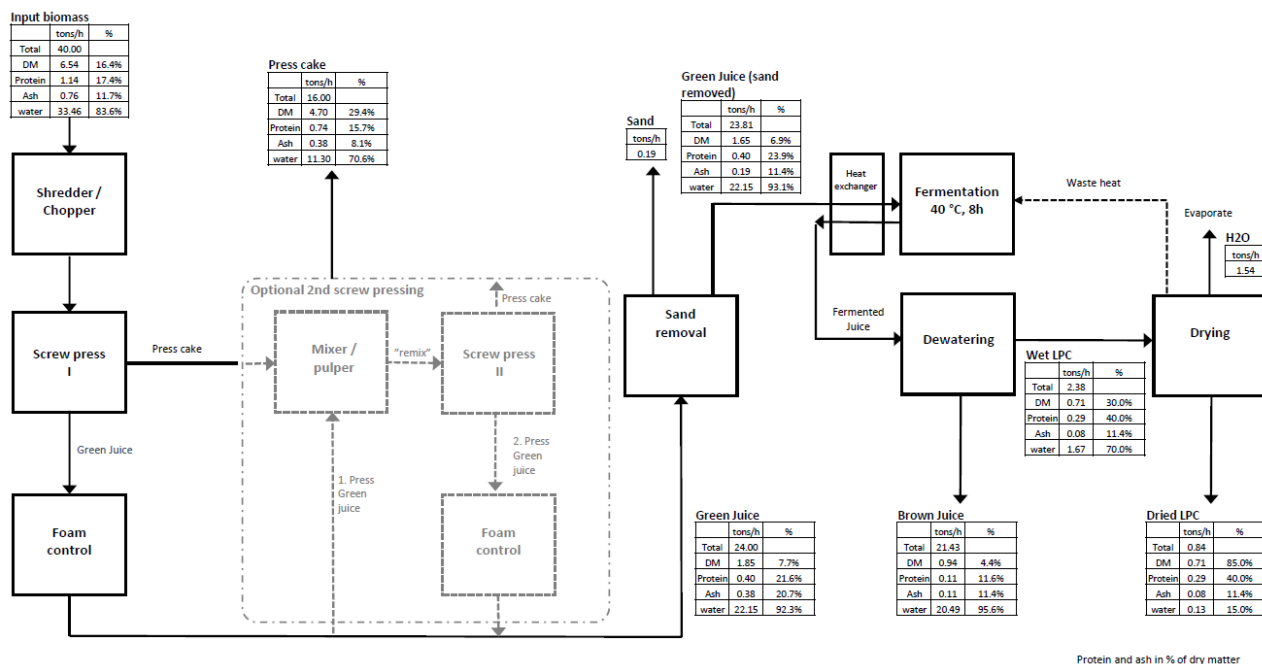
Skive Factory Inside Area (1 production line for feed)



Figur 17. Skitse af BiomassProtein™ GreenLab Skive fabrik med overordnet masseflow.

LPC production flow chart

Feedstock: Red clover, alfalfa or clover grass



Figur 18. Blokdiagram med massebalancer ved processing af 40 tons græs i timen.

9. Tekniske overvejelser for opførsel af prototypen

I projektet har der været grundige diskussioner af de enkelte procestrin og hvilke maskiner, der vil skulle anvendes til de enkelte procestrin.

Høst og indsamling af græs.

De forskellige løsninger til høst og indsamling af græs til fabrikken blev diskuteret. Der er en række fordele og ulemper ved forskellige metoder, og det blev besluttet, at der i første omgang skal anvendes almindeligt tilgængeligt høstudstyr til høst og snitning af græsset. Det vil betyde, at der skal arbejdes nøje med logistik, således at der høstes i det samme tempo, som fabrikken kan processere det høstede og finsnittede. Desuden skal græsset processeres, så snart det ankommer til fabrikken. I SuperGrassPork projektet har det været undersøgt, hvor lang tid høstet og snittet græs kan opbevares efter høst i et såkaldt "worst case scenarie". Der vil være et vindue på op til 6 timer, men der vil være en udbyttenedgang jo længere tid, der går, afhængigt af vejrforholdene (Lene Stødkilde, upublicerede data).

Da der foregår en del udvikling på området mht. høst og indsamling af græs i andre projekter, vil der blive fulgt med i udviklingen og efterfølgende implementeret de bedste løsninger.

Skruepresning.

Der findes en række fabrikanter af skruepressere, og da ingen af dem er udviklet til skruepresning af græs til maksimal udvinding af saft, er det en ganske svær opgave at vælge den bedst egnede. Det er også en nær ved umulig opgave at sammenligne procesdata fra forskellige projekter med udvinding af græsprotein, da udgangsmaterialet (græsset) hver gang er forskelligt mht. plantetype(r), planternes udviklingstrin, jordbund, og vejrforhold (temperatur, fugtighed, tidspunkt på dagen). Der vil alt andet lige kunne presses mere saft ud af våde planter høstet i regnvejr end planter, der har været udsat for en længerevarende tør periode. Indhold af tørstof og proteinindhold i græssaften varierer tilsvarende.

Udvinding af saft med høj proteinindhold igennem presning er grundlaget for en effektiv produktion af planteprotein. Samtidig er dette procestrin måske det mest vanskelige mht. optimering: naturlig variationer i græssets vandindhold (pga. vejrforhold) og beskaffenhed (pga. høsttidspunkt og græsart) kan give stor udsving i pressens effektivitet. I en best-case scenarie vil man bruge forskellige pressetyper alt efter forholdene for at opnå et maximalt udbytte. For at holde processen simpelt og begrænse omkostninger er målet dog at kun bruge en presse. Det vil være attraktivt at vælge en fleksibel model, der løbende kan tilpasses til ændringer i udgangsmaterialet. Figur 19 viser presning af lucerne i en Vettertec skruepresse.



Figur 19. Presning af lucerne i en Vettertec skruepresse (Vettertec GmbH, Germany)

Der findes en mange forskellige typer skruepressere, som stort set alle er designet til at producere en pressekage med lavest muligt vandindhold eller maksimalt udvinding (eller fjernelse) af saft. Grøntttørrerier, hvoraf der kun er to aktive anlæg tilbage i Danmark, har alle haft til formål, at producere en tør pressekage, der kan anvendes til produktion af foderpiller. Saften i disse anlæg har ikke været i fokus. Dvs. at skruepressere ikke er optimeret mht. maksimalt udbytte af protein. Adskillige fysiske sammenhæng gør, at udvinding af mere græssaft ikke er ensbetydende med højere proteinudbytte (Pirie, 1987). Eksempelvis kan et højere tryk i pressen give mere saft, men det kan også føre til at opløste proteiner bliver mast ind i fibrene, hvorved de forbliver i pressekagen (Bals et al. 2012). Det er attraktivt til produktion af foderpiller, der derved bliver mere proteinrige, men naturligvis uhensigtsmæssigt mht. produktion af en proteinrig saft til

udvinding af proteiner fra saften. Derudover kan pressekagens tykkelse i skruen have indflydelse på proteinudbyttet pga. filtreringseffekter (Pirie, 1987).

Pressedesignt kan optimeres mht. disse forhold bl.a. ved at tilpasse sneglens geometri. En konisk snegl der gradvist øjer trykket på græsset, mens pressekegellaget bliver stadig tyndere, kan føre til at mere protein kommer i saften (Colas et al. 2013a). Pressekegestemplets form (forenden af sneglen) og dens modtryk kan også påvirke proteinudbyttet. Således kan en presse med modtryk-kontrol tilpasse sig græssets aktuelle beskaffenhed.

Generelt skal optimering af pressedesign foregå i pilot-skala (pga. store skalerings-effekter) og er derfor dyrt og tidskrævende. Af denne grund bliver skruypressemodeller ofte valgt efter pris og tilgængelighed. Resultater fra pilotforsøg viser at en "almindelig" model kan ekstrahere 24-50% af græssets protein (Bals et al. 2012), mens forsøg i lab-skala (45-70%) viser et stort potentiale til forbedringer.

Ud over skruepressernes effektivitet mht. mængde af udvundet protein, kan faktorer som energiforbrug, valg af kapacitet, kvalitet, robusthed og tilgængelighed af service og reservedele være med til at afgøre, hvilken skruepresse, der vælges.

Afprøvning af sekundær presning

Protein og saftudbytte kan yderligere forøges ved at presse græsset to gange (Kuntz, 2018; Knuckles *et al.* 1972). Dette har været testet på to forskellige måder. Den ene var skruepresning af pressekegellaget i samme skruepresse i pilotskala, og den anden var skruepresning af pressekegellaget i pilotskala efterfulgt af skruepresning i laboratorieskala (Angel Juicer) (Tabel 1). I pilotskala blev der opnået op til ca. 10% forøgelse af proteinudbyttet, mens at udbyttet i laboratorieskala kunne forbedres med op til 45% ved at tilføje vand til pressekagen inden sekundær presning. Tabel 1 viser effekten af anden presning i laboratorieskala ved tilføjelse af forskellige mængder vand.

Tabel 1. Effekt af sekundær presning på proteinudbyttet

	% tilføjet vand (w/w)	Proteinudbytte kg/tons frisk græs	Relativ Proteinudbytte	Merudbytte relativ til enkelt presning	Protein koncentration i grøn saft (kg/m ³)
enkelt presning	0	21	47%		36
2 presninger	0	27	61%	29%	32
2 presninger	25	29	65%	37%	30
2 presninger	50	31	69%	45%	27

første presning i pilot-skala, anden presning i Lab-skala

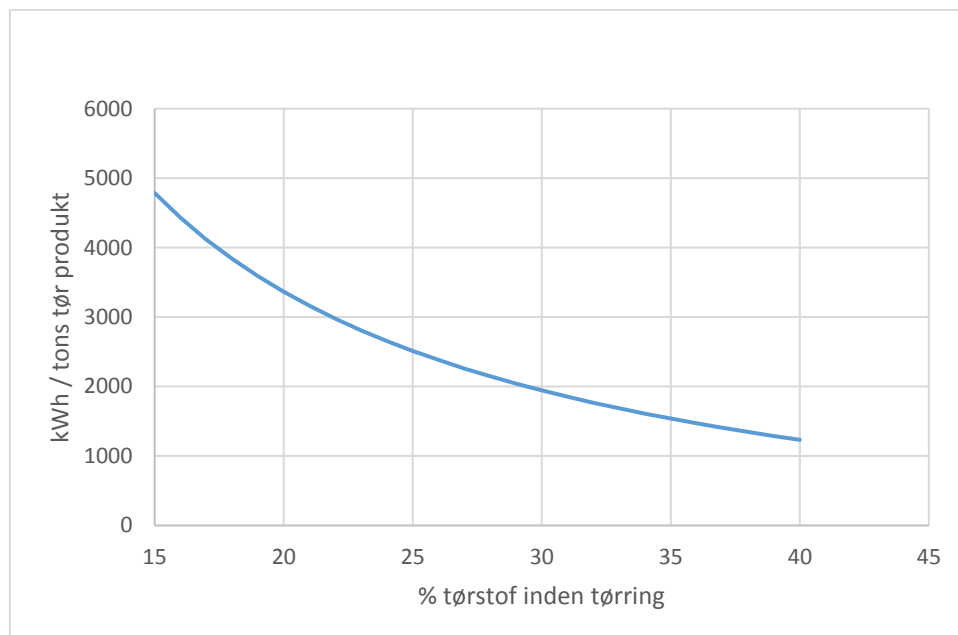
Mekanisk forbehandling

Tilgængeligheden af planteproteiner til udvindingen kan forbedres ved at forbehandle græsset inden skruepresning. Forskellige metoder såsom hammermøller, snitemøller og ekstruder ødelægger plantens fiberstruktur og åbner cellerne (Bals og Dale, 2010). Udbyttet kunne øges med op til 25% ved anvendelse af en to-trins pulping/presning proces. På den anden side kan designet

af skruepressen ændres således at en øget friktion i pressen ligeledes kan åbne cellerne. Fremtidlige presseforsøg vil have fokus på celledestruktion.

Separation / afvanding

Grønsaft indeholder op til 93% vand, og efter proteinerne er blevet udfældet skal saften opkoncentreres. Målet er at fjerne så meget vand som muligt med mekanisk afvanding for at nedbringe energiforbruget i den efterfølgende tørringsproces. Der kan opnås en tørstofindhold på op til 40% (Kuntz, 2018). Figur 20 viser sammenhæng mellem tørstofindhold og energiforbrug i et spin flash tørringsanlæg. Beregninger peger på 30% tørstof som minimum for en rentabel tørringsproces.

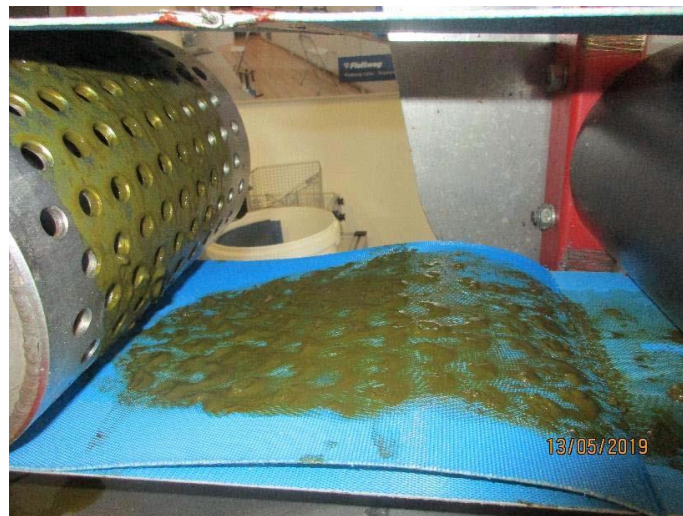


Figur 20. Energiforbrug ved tørring af proteinkoncentrat

Der findes mange separationsmetoder, men centrifugering i en dekanter er den fortrukne teknologi i processer til produktion af varmeudfældet planteprotein. Det har været anvendt i de tidligere anlæg det amerikanske Pro-Xan og det danske Vepex, samt anvendes af det franske Desialis, der er specialiseret i at producere proteinprodukter af lucerne. Sedimentationsforsøg i pilotskala har dog vist, at proteiner, der er udfældet ved fermentering i stedet for varmeudfældning, er sværere at separere i en dekanter. Pilotforsøg i Foulum viste, at dekantering kun opnåede et tørstofindhold på 19 – 21 %. En detaljeret gennemgang af alternative separationsmetoder udpegede bl.a. filterpressere og vakuumfiltrering som de meste lovende alternativer. Prøver med fermenteret græssaft blev sendt til forskellige producenter for at teste, hvordan forskellige metoder vil kun anvendes i et kommende fabriksanlæg. Forsøgene viste, at grønsaften giver en høj filtrationsmodstand, og at filterkagen har en høj kompressibilitet. Dette gør

hydrauliske filterpressere og tryk- eller vakuumbaserede separationsmetoder ineffektive eller uegnede (BHS Sonthofen 2019, Kübler 2019).

Konklusionen er, at der skal bruges to-trins-separation. En dekanter vil fjerne en tilstrækkelig mængde væske, så koncentratets konsistens tillader anvendelsen af en båndpresse. Konceptet er blevet testet hos Flottweg (Flottweg 2019). Her blev saften centrifugeret i en sedicanter op til 26% tørstof. Koncentratet blev efterfølgende afvandet yderligere på en båndpresse til 39% tørstof (Figur 21). Disse resultater er lovende, men om kombination er en effektiv løsning skal dog stadig undersøges i pilot-skala for at redegøre for mulige skaleringseffekter ligesom skruepressere.



Figur 21. Afvandingsforsøg i en båndpresse hos Flottweg Filtration Technology i Tyskland.

En anden mulighed er membranfiltrering (Zhang *et al.*, 2014). Separation ved hjælp af membraner er generelt dyrere end de ovennævnte metoder, men kan blive relevant med henblik på en videreudvikling af processen, hvor der udvindes hvide og grønne proteinfraktioner separat.

Tørring

Slutproduktet skal have et tørstofindhold på mindst 86% for at stabilisere produktet og sikre holdbarhed. Ud over fordampning af vand påvirker tørringsprocessen produktets egenskaber som fordøjelighed, tekstur, hårdhed, partikelstørrelse, lugt og smag. Valg af tørringsteknologi er derfor afgørende med henblik på den endelige produktkvalitet. Derudover har anlæggets energieffektivitet stor betydning for hele processens økonomi. Tørring fra 30% til 86% tørstof kræver 2.0 – 2.5 kwh /kg produkt. Dette kræver teknologier, der både er skånsomme og energieffektive. Frysetørring er meget udbredt i fødevarerindustrien, fordi teknologien påvirker produktet minimalt. Omkostningerne er dog alt for højt til tørring af foderprotein, men frysetørring tjener som en reference for at evaluere andre metoder (Arkcoll, 1973).

Blandt de mest lovende teknologier er spray-drying, pulse-combustion drying eller spin flash drying, som bliver anvendt bl.a. til at tørre æggehvide (Zhongua *et al.*, 2015). Disse teknologier er

skånsomme fordi produktet kun bliver udsat for høj temperatur i 1-3 sekunder. Sammentidligt køler fordampningen partiklerne, hvorved proteinernes egenskaber forbliver upåvirket.

Som konklusion er det tydeligt, at det vil være optimalt at udføre forsøgsafprøvninger og leverandørudvælgelse for at vælge de mest optimale leverandører, maskiner og teknologier inden endelig udvælgelse til den kommende fabrik. Det har som tidligere nævnt har ført til, at der i græssæsonen er blevet gennemført forsøgsproduktioner med forskelligt udstyr på havnen i Skive (se afsnit 11).

10. Undersøgelse af græspotentiale til udvinding af protein i GreenLab Skive

Det naturlige indsamlingsområde for græs er naturligvis Skive kommune, men også de omkringliggende kommuner som Struer, Holstebro, Viborg og Morsø. Alle kommuner undtagen Morsø ligger i Region Midtjylland. Den nordlige del af Herning vil have kortere afstand til Greenlab Skive i Kåstrup, end den østlige del af Viborg kommune, men det vil ikke være bestemt af kommunegrænser, men om interesse fra leverandørernes side. Nedenstående to figurer viser hhv. kommunegrænserne (Figur 22) og kort over det relevante område (Figur 23).

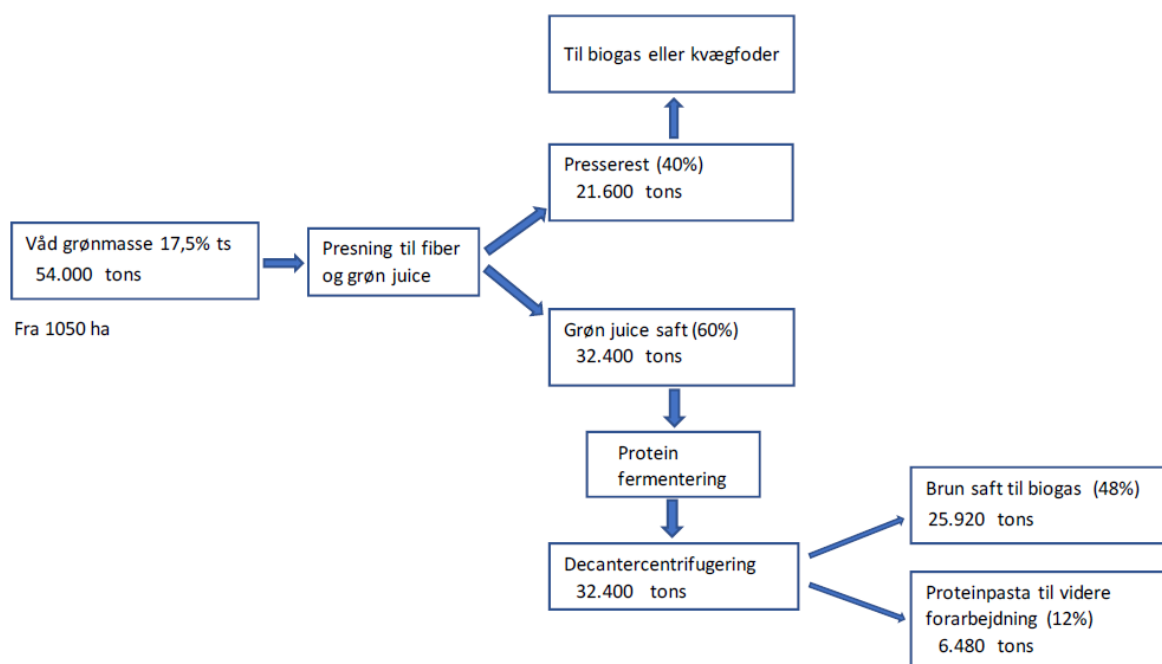


Figur 22. Kort over kommunegrænser i den nordvestlige del af Region Midtjylland



Figur 23. Kort over området – Skive og omegn

Presseresten udgør ca. 40% af mængden afhængig af afgrøden og tørstofindholdet ved høst. Hvis den første presning sker hos landmanden, eller hos det biogasanlæg, der skal anvende det efterfølgende, kan transporten til proteinfabrikken reduceres med 40%. Det er forudsat i Figur 24, at der hentes græs fra 1.050 ha økologiske arealer og med en andel på 40% i presseresten, bliver der ca. 21.600 tons, der enten kan bruges til kvægfoder eller til biogasproduktion. Hvis der kan etableres decentral presning, og en stor del af presseresten kan anvendes til kvægfoder, vil transporten kunne reduceres meget, når denne del kan blive på ejendommen. Transport af 21.600 tons svarer til ca. 600 lastbiltræk med en nyttelast på ca. 35 tons. Til en fuld udbygget produktion med 40 tons i timen er der behov for det dobbelte areal og det dobbelte antal lastbiltræk.



Figur 24. Massebalance ved høst af græs fra 1050 ha

Som udgangspunkt er der to kundegrupper til levering af økologisk græs til protein. Den ene er den økologiske kvægproducent, som i forvejen er vant til at dyrke græs til grovfoder. Oftest har økologiske mælkeproducenter ikke udfordringer med sædskifte og at have tilstrækkelig med gødning. Det mest oplagte her er, at kvægproducenten leverer græs til proteinfabrikken (evt. presset på ejendommen) og får presseresten retur til ensilering eller leveret i indpakkede baller. Derved kan kvægproducenten levere græs, og få det meste retur i form af presserest. Som tidligere nævnt, viser forsøg, at der forsvinder op til 20-30% af FE i grønsaften, og derfor skal græsarealet enten øges med 20-30%, eller der skal købes presserest til grovfoder fra proteinfabrikken.

Den anden kundegruppe er svineproducenten og den økologiske planteavler. De er begge afhængige af et godt sædskifte, hvor der både tages højde for at holde ukrudtstrykket nede, og at der samles gødning til afgrøderne. Økologiske planteavliskonsulenter bl.a. Syddansk økologi anbefaler et godt sædskifte med 20-30% kløvergræs, lucerne eller kløverfrø, 40-60% vårsæd og 20-40% vintersæd (Poulsen, 2017). Hvis græsset ikke kan afsættes, skal det dyrkes som grøngødning for at sikre tilstrækkelig med gødning til efterfølgende afgrøder og for at kunne holde ukrudtstrykket nede. Græs har høj konkurrenceevne overfor mange ukrudtsarter. Ved at få mulighed for at dyrke græs til protein, får landmændene afsætning til denne afgrøde og kan opnå et dækningsbidrag på marker, som de ellers ville tage ud til grøngødning. Ved at kunne tage slæt på græsmarkerne 3- 5 gange årligt vil der være en god ukrudtsbekæmpelse.

Ved begge kundegrupper vil der være interesse og erfaring i at producere græs, og muligheden

for at levere græs til proteinfremstilling vil være en ny afsætningsmulighed.

Greenlab Skive Biogas Leverandørforening

Med udgangspunkt i at Proteinfabrikken placeres ved Greenlab Skive Biogas, er det oplagt at undersøge mulighederne for at få græs fra biogasanlæggets leverandører af husdyrgødning. Disse leverandører har i forvejen en interesse i vedvarende energi og i at være biomasseleverandører.

Greenlab Skive Biogas Leverandørforening har pr. oktober 2018 ca. 68 medlemmer, hvoraf de ca. 17 er økologer (Tabel 2). Den økologiske andel forventes at stige de kommende år, og derfor forventes gode muligheder for at få mere økologisk biomasse. Leverandørforeningen skal levere flydende og faste biomasser til biogasanlægget. Efter at biomasserne er afgasset, transporteres de igen ud til landmanden i hans lagertanke, hvorefter det anvendes til gødning i markerne. Ud over husdyrgødning har flere af dem vist interesse for at levere energiafgrøder som græs, majs, halm og frøgræshalm. Især økologerne har vist interesse for at levere græs i form af ensilage, da det giver dem fordele i et forbedret sædskifte, og det kan være med til at reducere ukrudtstrykket.

Det vil være oplagt at etablere et samarbejde med leverandørforeningen og biogasanlægget, hvor leverandørforeningens medlemmer kan levere græs til proteinfabrikken, og efterfølgende kan biogasanlægget modtage brunsaften og presseresten helt eller delvist. Om presseresten skal anvendes til biogasanlæg eller anvendes til kvægfoder vil afhænge af udbud og efterspørgsel samt markedsprisen.

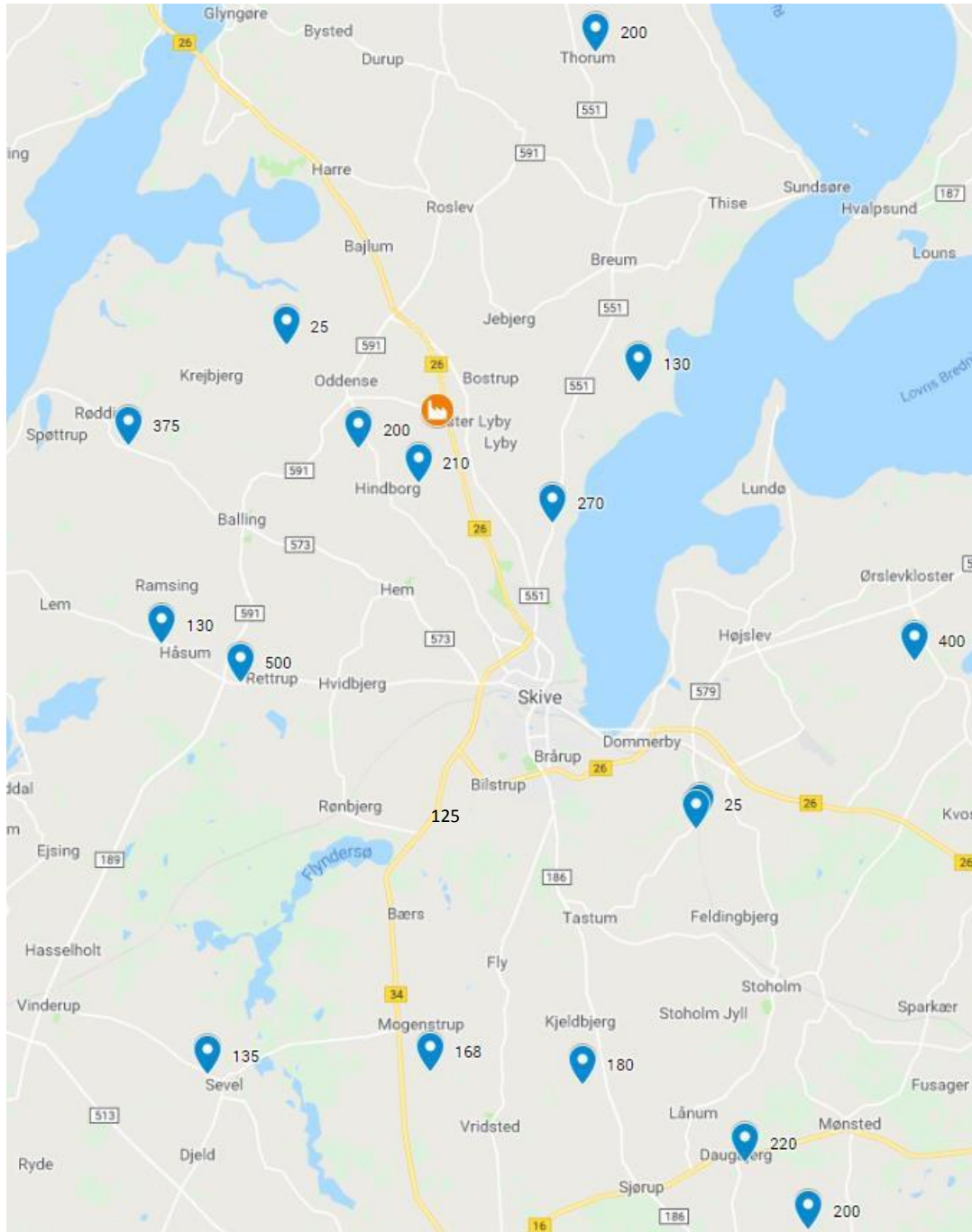
De økologer, der er tilknyttet leverandørforeningen, fremgår af Tabel 2 med de hektar, de hver især råder over. Det samlede areal er på ca. 3.500 ha, og hvis det indregnes at 30% dyrkes med græs, svarer det til godt 1.000 hektar. Med et tørstofudbytte på 10-12 tons/ha vil der kunne høstes ca. 10-12.000 tons tørstof hos disse leverandører. Leverandørforeningen kan naturligvis ikke give garanti for, at de vil producere græsset, da det vil være afhængig af den pris, GreenLab Skive proteinfabrikken kan betale for varen.

Tabel 2. Liste over økologer som er leverandører til biogasanlægget og deres arealer

Leverandørforeningen			
Økotype		Post nr. og by	Hektar i alt
Øko/kvæg	Lev. Nr. 1	7860 Spøttrup	375
Øko/kvæg	Lev. Nr. 2	7800 Skive	168
Øko/kvæg	Lev. Nr. 3	7840 Højslev	400
Øko/kvæg	Lev. Nr. 4	7870 Roslev	130
Øko/plant	Lev. Nr. 5	7870 Roslev	200

Øko/kvæg	Lev. Nr. 6	8800 Viborg	220
Øko/kvæg	Lev. Nr. 7	7800 Skive	270
Øko/kvæg	Lev. Nr. 8	7840 Højslev	25
Øko/kvæg	Lev. Nr. 9	7800 Skive	210
Øko/kvæg	Lev. Nr. 10	7860 Spøttrup	130
Øko/plant	Lev. Nr. 11	7860 Spøttrup	500
Øko/kvæg	Lev. Nr. 12	7830 Vinderup	135
Øko/kvæg	Lev. Nr. 13	8800 Viborg	200
Øko/plant	Lev. Nr. 14	7860 Spøttrup	25
Øko/plant	Lev. Nr. 15	7870 Roslev	200
Øko/plant	Lev. Nr. 16	7840 Højslev	125
Øko/svin	Lev. Nr. 17	7800 Skive	180
I alt			3.493

Som det fremgår af Figur 25 ligger de økologiske bedrifter temmelig spredte i øjeblikket. Det er derfor vigtigt, at der tages hensyn til at reducere transportomkostningerne mest muligt, eksempelvis ved at separere decentralt. Vest for biogasanlægget, der er markeret med orange, er der en koncentration af økologiske bedrifter med midtpunkt omkring Balling. Hvis der skal etableres en decentral pressestation for disse ejendomme, kunne det være i dette område. Syd for Skive er de økologiske medlemmer indtil videre rimelig spredte.



Figur 25. Kort der viser den geografiske placering af økologiske leverandører til Greenlab Skive Biogas med de hektar, der hører til hver bedrift (tal ved siden af blå markering).

Potentiale i Skive og nærliggende kommuner

Det er nærliggende at undersøge mulighederne for at finde græsarealer i de nærliggende kommuner. Ved at samle de økologiske arealer fra Skive og fire nærmeste kommune, kommer det samlede økologiske areal op på ca. 17.500 ha (Tabel 3). Hvis alle hektar kunne indregnes med 30 % græs på alle bedrifter, ville der være et græsareal på ca. 5.250 ha og med et udbytte ca. 10 tons tørstof pr. ha, vil der kunne høstes ca. 52.500 tons tørstof.

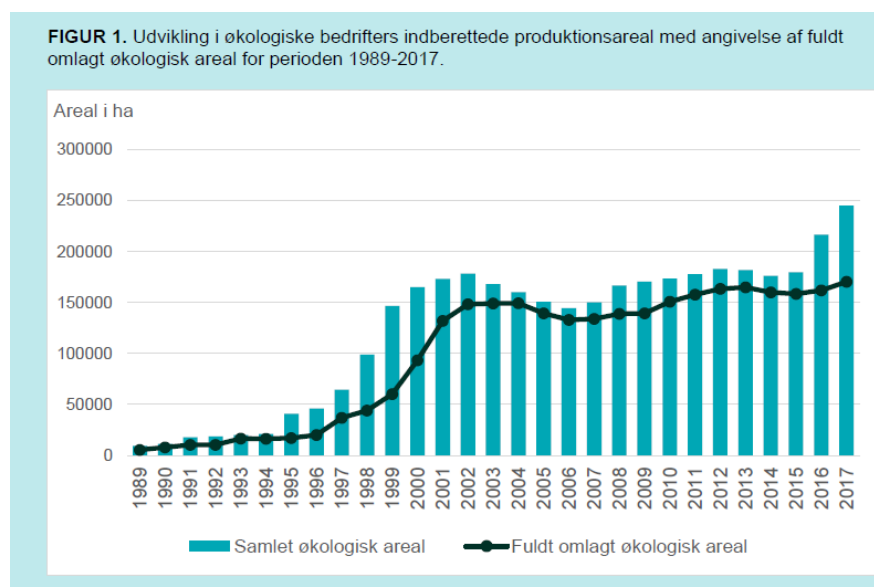
Tabel 3. Sammendrag af de økologiske arealer i de nærliggende kommuner (kilde: Statistik over økologiske jordbrugsbedrifter 2017, Autorisation & produktion)

Kommune	Samlet areal		Malkekvæg		Svinebe- drifter		Fjerkræ- bedrifter		Gartnerier		Flere produkti- onsgrene		Øvrige produkti- onsgrene		I alt økologisk	
Skive	48.749	Ha	1.225	ha	15	ha	-	Ha	549	Ha	-	ha	1.877	Ha	3.666	ha
Viborg	85.905	Ha	1.620	ha	200	ha	85	Ha	1.709	Ha	8	ha	2.583	Ha	6.205	ha
Struer	18.272	Ha	565	ha		ha		Ha		Ha		ha	331	Ha	896	ha
Holstebro	47.746	Ha	2.768	ha	336	ha	132	Ha	474	Ha	491	ha	1.771	Ha	5.972	ha
Morsø	Ikke oplyst	Ha	255	ha	-	ha	2	Ha	-	Ha	-	ha	437	Ha	694	ha
														I alt øko	17.433	ha

Det vil dog ikke være realistisk at indregne alle hektar som potentielle til dyrkning af græs, da nogle arealer ligger afsides, nogle er meget små og andre er optaget af andre afgrøder. Efterafgrøder, der etableres i kornafgrøder før høst eller umiddelbart efter høst, kan være mulighed. Det varierer dog meget, hvor store de kan nå at blive, men en god efterafgrøde ligger på ca. 3 tons tørstof/ha.

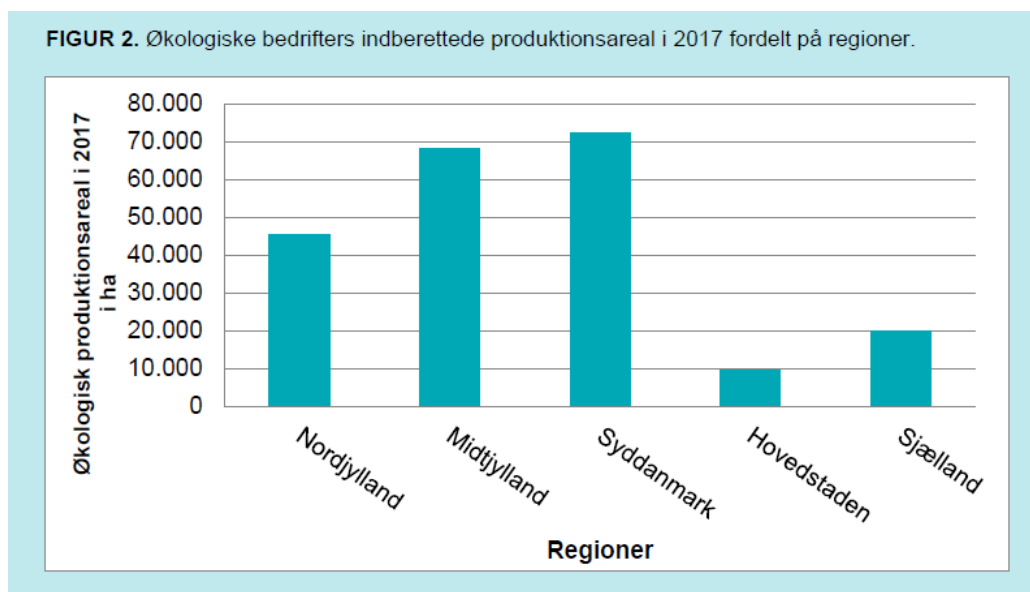
Udviklingen i det økologiske areal

Det økologisk areal har været stigende især i slut 90'erne, hvorefter det har været rimeligt stabilt frem til 2015 for igen at stige i 2016 og 2017 (Figur 26). I øjeblikket er det bl.a. gode priser på økologiske råvarer og en tro på, at der også fremover vil være gode afsætningsmuligheder, der gør, at arealet øges. Det tyder derfor på, at der også fremover vil være et incitament for flere landmænd til at omlægge deres produktion.



Figur 26. Udviklingen i det økologiske produktionsareal og det fuldt omlagte økologiske areal (Kilde: Landbrugsstyrelsen, 2017).

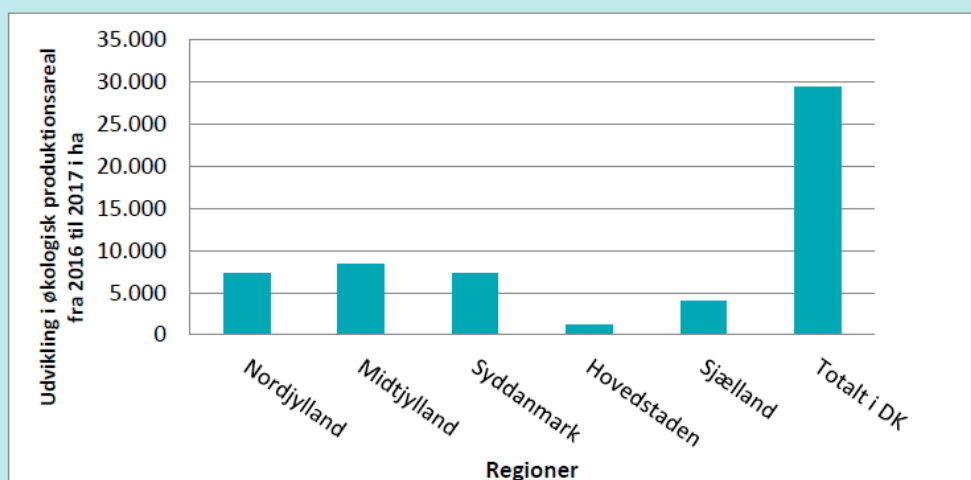
Fordelingen af det økologiske produktionsareal på de fem regioner fremgår af Figur 27. Størstedelen af arealet fandtes i 2017 i regionerne Midtjylland og Syddanmark med tilsammen 156.503 ha. I forhold til denne udvikling med Region Midtjylland som regionen med det næststørste økologiske areal, er der gode forudsætninger for at få biomasse. Region Nordjylland, som Mors hører under, følger også godt med, og dette område er også oplagt at indsamle græs fra.



Figur 27. Fordelingen af det økologiske produktionsareal på de fem regioner (Kilde: Landbrugsstyrelsen, 2017).

I figur 28 ses den regionale udvikling for det økologiske produktionsareal fra 2016 til 2017. Det ses, at der har været arealmæssig tilgang i alle regioner, men det er Midtjylland som har den største vækst.

FIGUR 3. Udvikling fra 2016 til 2017 i økologiske bedrífers indberettede produktionsareal fordelt på regioner.



Figur 28. Den regionale udvikling for det økologiske produktionsareal fra 2016 til 2017 (Landbrugsstyrelsen, 2017).

Udtagne arealer i Nærområdet.

Ifølge vandplanerne skal der frem til 2027 ske en meget betydelig reduktion i udledningerne af kvælstof til Limfjorden. Det er undersøgt om øget dyrkning af græs med afsætning til protein, kan være en metode til reduktion (Børgesen *et al.*, 2018). Forsøg på AU Foulum har vist, at dyrkningen af flerårige afgrøder sammenlignet med etårige afgrøder kan give en betydelig reduktion i kvælstoftabet fra dyrkningsfladen også i situationer, hvor afgrøderne gødes optimalt. Gennem ændringer i afgrødevalget er det således muligt at øge produktionen af biomasse og samtidig reducere kvælstoftabet. Et ændret afgrødevalg fra enårige til flerårige afgrøder forudsætter dog, at der kan sikres en stabil og rentabel afsætning af biomassen, og at man kender de forventede effekter på bl.a. miljø og klima samt økonomi og beskæftigelse.

Analysen har koncentreret sig om oplandet til Skive Fjord, Lovns Bredning, Bjørnsholm Bugt, Riisgårde Bredning og Hjarbæk Fjord. En del af dette område ligger i Greenlab Skive's naturlige indsamlingsområde. Miljø og Fødevareministeriet har beregnet et årligt indsatsbehov på 1505 tons kvælstof (N) i mindre tab til disse fjorde og kystvande i Vandområdeplanen 2015-2021. Effekten af den allerede vedtagne indsats i 2015-2021 forventes at være 529 tons N/år, således at den manglende indsats (som er udskudt til perioden efter 2021) udgør 977 tons N/år.

For at opnå den yderligere reduktion på 977 tons N/år til disse oplande, har analysen opsat og analyseret fire scenarier for mulig fremtidig arealanvendelse for et areal i Limfjordsoplandet på ca. 169.000 ha. De fire scenarier er:

1. Uændret Scenarie (høj andel af enårige afgrøder – korn og majs)
2. Biomasseoptimeret Scenarie (omlægning til højtgødet rent græs)
3. Økologisk Scenarie (omlægning til lavt gødet kløvergræs)
4. Bioenergiscenarie (omlægning til energipil)

Resultaterne af analyserne viser, at der skal omlægges mellem 16 og 28% af landbrugsarealet i oplandet, svarende til mellem 25.000 og 47.000 ha for at opnå den udskudte reduktion i fjorden. Størst omlægning vil kræves i det Biomasseoptimerede Scenarie, mens mindst omlægning kræves for Bioenergiscenariet.

I forhold til anvendelse af græsfibre til kvægfodring vil en ændring af fodring til malkekøer, hvor majsensilage erstattes af fiberpulp, betyde, at der kan afsættes græsfiberpulp fra et areal på ca. 19.000 ha i det område, som der er analyseret på. Der er således kun afsætning for omkring halvdelen af det græsareal, der kræves etableret i biomassescenariet ved 100% målopfyldelse, og resten af fibrene må enten eksporteres ud af oplandet eller benyttes til f.eks. biogas.

Analysen viser, at der er et stort potentiale til dyrkning af græs til protein, og det kan samtidig være et virkemiddel til at opnå kvælstof reduktion. Selv om det bliver forskellige kombinationer, hvor der også omlægges til energipil, vil det stadig være store arealer. Dyrkning af græs til protein, som giver landmanden mulighed for afsætning af græs til en konkurrencedygtig pris i forhold til andre afgrøder, forventes at gøre det attraktivt at dyrke mere græs. Da græsprotein i øjeblikket er for dyr til konventionelt foder, i forhold til sojaskrå, kræver det dog, at græsmarkerne skal omlægges til økologi.

11. Valg af lokalitet til produktionsafprøvninger

Som det fremgår af afsnit 9 om tekniske overvejelser vedr. valg af teknologier og procesudstyr til GreenLab Skive fabrikken, er der en lang række overvejelser, hvilke endelig valg, der vil være de bedste, inden fabrikken endeligt designs og bygges. Projektet har derfor givet nogle konkrete input til, hvilke procestrin, der vil skulle testes yderligere i forskellige produktionsafprøvninger. Samtidigt vil produktionsafprøvninger give mulighed for at gennemteste forskellige typer udstyr gennem udstyrsljeaftaler. For at sådanne produktionsafprøvninger kan ske under så virkelighedsnære og relevant omgivelser som muligt, har der været fokus på at finde en egnet lokalitet til afprøvningerne. Lokaliteten skal herefter kunne godkendes af myndighederne til

afprøvninger, hvor godkendelseskravene dog er mindre og mere smidige end godkendelse til egentlig produktion, se afsnit 12.

Det ville være en fordel, at produktionsafprøvingerne foregår i nærområdet af de interesserede økologiske landmænd sammen med en interesseret relevant maskinstation, som der fremover skal samarbejdes med om dyrkning, høst og levering af græs i forbindelse med den endelige fabrik i GreenLab Skive. Der blev identificeret to forskellige muligheder for produktionsafprøvingerne. Den ene hos en landmand, der råder over tomme lokaler på hans ejendom i Møldrup, og den anden på havnen i Skive, hvor der var en tom bygning i et erhvervsområde. Som det ses af nedenstående oversigt (Tabel 4), var der en række overvejelser inden det endelige valg faldt på havnen i Skive. Blandt de udslagsgivne overvejelser var afstand til landmænd, mulighed for opstilling af laboratorie til fermentering, adgang til el og vand, samt at det foregår i samme kommune som GreenLab Skive. Sidstnævnte var en vigtig parameter i forbindelse med godkendelsesprocedure, da det er samme kommune, som der skal etableres kontakt med til diverse godkendelser i forbindelse med bygning af fabrik og produktion, afsnit 12.

Tabel 4. Opstilling af overvejelser til valg af egnet lokalitet til forsøgsproduktioner.

LOKATION	Skive havn	Møldrup
Landmænd/leverandører med "politisk" indflydelse skal være med fra starten (bruges som testimonial)	Arne Bisgaard, Grundvadvej 3, 7860 Spøttrup Søren Bilstrup, Holstebrovej 478, 7860 Spøttrup Søren just Torsmark Holding ApS, Hindborgvej 8, 7860 Spøttrup	
Maskinstation er den fremtidige "krumtap" i logistikken og skal være med fra starten	Gårdejer Martin Børsting, Ballingvej 98, 7800 Skive	
Placering i forhold til leverandører	Det betyder der er ca. 30 km. mindre kørsel pr. læs	Ca. 1 times ekstra kørsel i forhold til Skive havn / læs
Tilkørselsforhold	OK	OK
Adgangsforhold	Der skal etableres ny højere port. Gøres af udlejer	ukendt
Myndighed	Samme kommune som fabrikken skal bygges, derfor samme myndighed og mulighed for at opbygge gode relationer.	Viborg kommune ikke kendt for at være let at arbejde sammen med (Ginnerup mfl.)
El forsyning	Rigelig installeret kapacitet	Forventer at skulle leje / købe udstyr
Vandforsyning	Rigelig kapacitet	Ukendt, men formodentlig rigelig kapacitet
Spildevand	Til kommunalt anlæg	Nedsivning / bortkørsel
Afløbsforhold	Der skal etableres ACO dræn og opstilles barrierer	ukendt
Varme til proces	70 kW fyr installeret i bygningen. Der skal evt. lejes ekstra udstyr.	Der skal lejes udstyr
Støj	Ikke problem	Ikke problem
Lugt	Forventer ikke problem (tidligere foderstof-bygning på havnen)	Ikke problem
Velfærdsbygning (WC, omklædning mm.)	Alt til rådighed	Ukendt
Laboratorie	Der kan indrettes midlertidigt laboratorie (sterilt arbejde)	Ukendt
Ventilation	Meget kraftig ventilation er installeret af tidligere lejer	Ukendt
Bygningens standard	God og rengøringsvenlig, gulvet kan bære tankene	Ukendt
Pladsforhold	Rigelig plads, god højde. Der er nogle pallereoler der evt. skal flyttes, men ikke noget problem.	Ukendt
Låneaftale	Antagelig dyrere end Møldrup	Antagelig billigere end Skive havn

12. GreenLab Skive miljøgodkendelse

For at opføre en fabrik i GreenLab Skive skal der indhentes en række forskellige godkendelser udover selve byggesagsbehandlingen inden opstart af produktion. Det drejer sig primært om en miljøgodkendelse, men det er uklart, om det er kommunen eller Miljøstyrelsen, der vil blive endelig miljømyndighed. Dette kan tidligst afklares med kommunen, når hele den konkrete produktionsproces er fastlagt, f.eks. mht. mængder og håndtering af spildevand.

For en ansøgning om miljøgodkendelse er der i bekendtgørelsen faste punkter, der skal oplyses og som nævnt er der forskel på, om det er kommunen eller miljøstyrelsen, der er myndighed. Desuden skal udarbejdes en VVM-screening for at afgøre, om aktiviteterne i produktionsanlægget er VVM-pligtige. Det er normalt et skema, som udfyldes i forbindelse med en VVM-screening, og dette foregår ligesom byggetilladelser normalt via byg og miljø. Generelt er der tale om, at der skal være en beskrivelse af virksomheden og virksomhedens drift samt de miljøforhold, der er omkring virksomheden. Punkterne man skal beskrive er særligt følgende: 1) ansøger og ejerforhold, 2) virksomhedstype og beskrivelse, herunder om der arbejdes med farlige stoffer, 3) etablering og tidsplan, 4) virksomhedens beliggenhed, herunder oversigtsplan, driftstider, og til- og frakørselsforhold, 5) tegninger over virksomhedens indretning, 6) beskrivelse af virksomhedens produktion, herunder kapacitet, proces og energianlæg, 7) opstart og nedlukning af anlæg, 8) BAT-oplysninger, 9) forurening og forureningsforanstaltninger mht. luft, spildevand, støj, affald, jord og grundvand, og 10) forslag til vilkår og egenkontrol.

Undervejs i projektet har der været afholdt en række møder med Skive Kommune omkring projektet. Eksempelvis har der i forbindelse med, at Skive havn blev fundet som lokation til produktionsafprøvningerne, været en efterfølgende Besigtigelse af lokalet til forsøg og indhentning af Kommunens tilladelse til anvendelse af bygningen til afprøvningerne. Ansøgningen til kommunen er vedlagt som bilag.

Der har været desuden været kontakt til Fødevarestyrelsen for at afklare muligheder og krav for afsætning af færdigvarerne som foder. Med hensyn til produktion af græsproteinfoder er der en række krav, en virksomhed skal leve op til. Fødevareforordningen stiller krav om, at foderet er sikkert og ikke har en direkte negativ indvirkning på miljøet eller på dyrevelfærden

Med hensyn til afsætning og markedsføring af fodermidler findes der en liste over fodermidler i fodermiddelfortegnelsen (Fødevarestyrelsen, 2019). I fodermiddelfortegnelsen findes der ikke et græsprotein produkt. Men listen er ikke en udtømmende liste over fodermidler, og der kan markedsføres andre fodermidler end dem, der er optaget i fodermiddelfortegnelsen. De skal dog til gengæld optages i fodermiddelregistret, en regel der står i markedsføringsforordningen (Fødevarestyrelsen, 2019). I dette register står der allerede opført et græsproteinprodukt, som er fremkommet gennem koagulering af protein fra græssaft (<https://feedmaterialsregister.eu/>). Der står

ikke præciseret den præcise metode til koagulering, hvorfor proteinprodukter produceret med hhv. fermentering, pH udfældning eller varme-udfældning, der alle får proteiner til at koagulere, vurderes til at være dækket af denne registrering.

13. Konklusioner

Sammen med partnerne har projektet givet en lang række konkrete afklaringer mht. samarbejdet med GreenLab Skive og placering af en fabrik i symbiosenetværket. Det er blevet afklaret, at der delvist er økologisk græs tilgængeligt, men at der er mulighed for at hente yderligere økologisk græs i nærområdet, at den eksisterende biogas leverandørforening og det kommende biogas anlæg i GreenLab Skive er interesserede i samarbejde. Derudover har der været arbejdet på, hvordan der skal indhentes tilladelser til produktion, og at det er muligt at markedsføre græsprotein til foder, da et lignende produkt er opført i fodermiddelregistret.

Alle procestrin på nær tørring har været gennemgået både teoretisk og i praksis i laboratorieforsøg og på pilotanlægget i Foulum, Aarhus Universitet. Der blev identificeret to velegnede bakterier til fermenteringsprocessen, og den ene blev testet i pilotskala undervejs i Foulum samt i kontinuerlig fermentering i laboratorieskala gennem en periode på 7,5 dage. Fermenteringsgrundlaget er derfor afklaret. De teoretiske overvejelser med forskellige procestrin samt undersøgelser af udstyr på markedet har bevirket, at projektet undervejs afklarede, at det vil være nødvendigt med forskellige produktionsafprøvninger for de forskellige procestrin i en græsproteinproduktion inden endelig fabriksdesign. Projektet blev derfor undervejs ændret i retning af at finde en lokalitet (Skive havn) og få denne godkendt til produktionsafprøvningerne og udstyrstestene. Der blev i sidste fase af projekt anvendt en del tid på planlægning af de efterfølgende produktionsafprøvninger sammen med forskellige udstyrsleverandører.

BiomassProtein™ har på baggrund af projektet fået mulighed for at opnå produktionserfaringer og proof-of-scale af alle procestrin til produktion af foderprotein fra græs. Projektet har derfor været et vigtigt skridt for BiomassProtein™ frem imod realisering af den første kommercielle BiomassProtein™ bioraffinaderifabrik til produktion af græsprotein.

14. Referencer

Arkcoll, D.B. (1973). The preservation and storage of leaf protein preparations. J. Sci. Food Agric. 24, 437–445.

Bals B, Dale BE. (2011). Economic comparison of multiple techniques for recovering leaf protein in biomass processing. Biotechnol Bioeng. 108: 530–7. pmid:20967802

Bals, B.D., Dale, B.E., Balan, V. (2012). Recovery of Leaf Protein for Animal Feed and High-Value Uses, in: Biorefinery Co-Products: Phytochemicals, Primary Metabolites and Value-Added Biomass Processing, pp. 179–197. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK.

BHS-Sonthofen GmbH (Filtration Technology), Sonthofen, Tyskland. Personlig korrespondance med Christian Gassen, 2019. christian.gassen@bhs-sonthofen.de

Børgensen, C.D., Dalgaard, T., Pedersen, B.F., Kristensen, T., Jacobsen, B.H., Jensen, J.D., Gylling, M., Jørgensen, U. (2018). Kan reduktionsmålsætninger for nitratudvaskning til Limfjorden opfyldes ved øget dyrkning af biomasse? DCA rapport nr. 131. Aarhus Universitet.

Colas, D., Doumeng, C., Pontalier, P.Y., Rigal, L. (2013a). Green crop fractionation by twin-screw extrusion: Influence of the screw profile on alfalfa (*Medicago sativa*) dehydration and protein extraction. Chem. Eng. Process. Process Intensif. 72, 1–9.

Damborg, V. K., Jensen, S. K., Johansen, M., Ambye-Jensen, M., Weisbjerg, M. R. (2019). Ensiled pulp from biorefining increased milk production in dairy cows compared to grassclover silage. Journal of Dairy Science.

DCA (2019). <http://dca.au.dk/aktuelt/nyheder/vis/artikel/groent-protein-er-godt-til-grise/>

Flottweg Denmark & Sweden ApS, Skanderborg. Tlf./phone: +45 2322 3700 kolby@flottweg.com

Fog, E., Knage-Drangsfeldt, K., Johansen, N.F., Strudsholm, F., Petersen, J.S. (2018). Bioraffineret græsprotein til økologisk husdyr. SEGES.

Fødevarestyrelsen (2019). Vejledning om foder og fodervirksomheder. Miljø- og Fødevarestyrelsen, sags nr. 2016-28-33-00103.

Jensen, J.D. og Gylling, M. (2018). Økonomiske vurderinger i forhold til værdikæden for Grøn Bioraffinering. Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet, 2018.

Knuckles, B.E., Bickoff, E.M., Kohler, G.O., 1972. Pro-Xan Process: Methods for Increasing Protein Recovery from Alfalfa. J. Agric. Food Chem. 20, 1055–1057.

Kuntz, Andreas, Vettertec GmbH, Kassel, Tyskland. Personlig Korrespondance, 2018. Andreas.kuntz@vettertec.com

Kübler Filtrationstechnik; Pforzheim, Tyskland. Personlig korrespondance med Matthias Krämer, 2019. matthias.kraemer@jkf-kuebler.de, www.jkf-kuebler.de

Landbrugsstyrelsen (2017). Statistik over økologiske jordbrugsbedrifter 2017 Autorisation & produktion. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Tvaergaaende/Oekologi/Statistik/Statistik_oekologiske_jordbrugsbedrifter_2017.pdf

Lübeck, M. and Lübeck, P.S. (2019). Application of lactic acid bacteria in green biorefineries. FEMS Microbiology Letters 366 <https://doi.org/10.1093/femsle/fnz024>

Olesen, J.E. (n.d.). Hvad sker der med jordens kulstofindhold og hvad kan vi gøre ved det?

<http://www.ecoadvice.dk/wp-content/uploads/Hvad-sker-der-med-jordens-kulstofindhold-og-hvad-kan-vi-g%C3%B8re-ved-det-J%C3%B8rgen-E-Olesen.pdf>

Poulsen, D.B (2017). Får vi nok ud af gødningen? https://centrovice.dk/wp-content/uploads/2014/02/%C3%98kologim%C3%B8de_25.-januar_2017.pdf

Pirie, N.W. (1987). An economical unit for pressing juice from fibrous pulps. J. Agric. Eng. Res. 38, 217–222.

Santamaría-Fernández, M., Molinuevo-Salces, B., Kiel, P., Steinfeldt, S., Uellendahl, H., Lübeck, M. (2017) Lactic acid fermentation for refining proteins from green crops and obtaining a high quality feed for monogastric animals. Journal of Cleaner Production 162, 875-881.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.115>

Santamaría-Fernández, M., Molinuevo-Salces, B., Lübeck, M., Uellendahl, H. (2018). Biogas potential of green biomass after protein extraction in an organic biorefinery concept for feed, fuel and fertilizer production. Renewable Energy 129, 769-775

<http://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.012>

Santamaría-Fernández, M., Ambye-Jensen, M., Damborg, V.K., Lübeck, M. (2019) Demonstration scale protein recovery by lactic acid fermentation from grass clover – a case production of protein concentrate and press cake silage for animal feeding trials. Biofuels, Bioproducts and Biorefining 13, 502-513 <https://doi.org/10.1002/bbb.1957>.

Santamaria-Fernandez, M., Karkov Ytting, N., Lübeck, M., and Uellendahl, H. (2019). Nutrient recovery in a green biorefinery for production of feed, fuel and fertilizer for organic farming. Waste and Biomass Valorization. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00842-3>.

Zhang, C., Sanders, J.P.M., Bruins, M.E., 2014. Critical parameters in cost-effective alkaline extraction for high protein yield from leaves. Biomass Bioenergy 67, 466-472..

Zhonghua, Wu, Lien, Yue, Rehkopf, James A., 2015. Pulse Combustion Spray Drying of Egg White: Energy Efficiency and Product Quality. [Food and Bioprocess Technology](#), Volume 8, [Issue 1](#), pp 148–157.