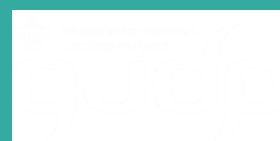

SLUTRAPPORT
GUDP-projekt 2018-2021

GRØNBIORAF



7. FEBRUAR 2022

Af Morten Ambye-Jensen, lektor
Institut for Bio- og Kemiteknologi
Aarhus Universitet



Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram, GUDP, som er en erhvervsstøtteordning under Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

GUDP giver tilskud til projekter, der understøtter grøn og bæredygtig omstilling af fødevarerhvervet, og programmet dækker hele værdikæden fra primærproduktion til forarbejdningsindustri og afsætningsled.

Det er GUDP's ministerudpegede bestyrelse, som beslutter, hvilke projekter der skal modtage tilskud. Bestyrelsen betjenes af GUDP-sekretariatet i Landbrugsstyrelsen.

GUDP-sekretariatet i Landbrugsstyrelsen

Nyrupsgade 30, 1780 København V

Augustenborg Slot 3, 6440 Augustenborg | Tlf.+45 33 95 80 00

Mail: gudp@lbst.dk

Web: www.gudp.dk

Denne slutrapport er godkendt af GUDP, men det er alene rapportens forfatter/projektlederen, som er ansvarlige for indholdet. Rapporten må citeres med kildeangivelse.

SLUTRAPPORT

FAKTA OM PROJEKTET

Projektdeltagere:

- Morten Ambye-Jensen, lektor (projektleder)
Institut for Bio-og Kemiteknologi, Aarhus Universitet
- Uffe Jørgensen, professor
Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet
- Agro Business Park
- Københavns Universitet

Bevilling fra GUDP:

8 mio. DKK

Projektperiode:

2018-2021

Hjemmesider:

[Green Biorefining Technologies at Aarhus University \(au.dk\)](http://au.dk)

[Center for Cirkulær Bioøkonomi \(au.dk\)](http://au.dk)

FORMÅL

Motivationen for GRØNBIORAF-projektet og deraf etableringen af bioraffineringsanlægget (demonstrationsanlægget) på AU Foulum var funderet på forskning og udvikling i grønne biomasser, som græs og kløver, der de seneste år havde vist sig at have potentiale til at blive produceret som alternativ proteinkilde; ikke blot til dyr men på sigt også til mennesker, hvor udnyttelsen og produktionen af biomasserne blev tænkt ind i en bæredygtig og cirkulær kæde: fra jord til jord.

Konceptet gav anledning til at anvende grønne biomasser på en ny måde samt muligheder og fordele for landmænd, fødevarerindustri – foruden de store miljømæssige gevinster.

Fødevarerproduktionen på globalt plan havde på det tidspunkt - og har til stadighed - et presserende behov for at blive gentænkt i forhold til den globale, øget befolkningsvækst og stigende velstand, hvor behovet for- og efterspørgslen på protein skal kunne følge med.

Demonstrationsanlægget skulle med sine erfaringer og resultater skabe et grundlag for at bioraffinaderier inden for grønne biomasser, kunne skaleres på kommercielt niveau og derved gå i front i udviklingen af grøn bioraffinering i Danmark.

Helt konkret skulle demonstrationsanlægget behandle frisk grøn biomasse til tre slutprodukter: 1) proteinkoncentrat til fodring af enmavede dyr; 2) et proteinrigt fiberprodukt til fodring af drøvtyggere og/eller til biogas produktion; og 3) en restjuice til biogasproduktion eller fermentering.

PROJEKTETS RELEVANS

Med etableringen af bioraffineringsanlægget på AU Foulum i 2019 blev der bygget et, på verdensplan, unikt forskningsbaseret demonstrationsanlæg helt fra bunden af.

Det har været en proces, hvor megen viden og mange erfaringer er blevet tilegnet undervejs, med det formål at bygge et *state of the art* demonstrationsanlæg, hvor virksomheder og teknologiudviklere kunne få testet og procesoptimeret ny teknologi på en kommercielt relevant platform.

HOVEDRESULTATER

Med stor succes har demonstrationsanlægget indtil videre kunne tiltrække mere end 20 forsknings-og udviklingsprojekter, hvori den har medvirket i større eller mindre grad. Interessen fra industri er markant stigende år for år.

I løbet af demonstrationsanlæggets tre sæsoner, fra 2019-2021, og i GRØNBIORAF-projektet har der været fokus på udvikling og demonstration af basisprocessen, som vi har defineret som produktionen af de tre mest simple produktstrømme: proteinkoncentrat til enmavede dyr; fiberpulp til flermavede dyr (eller til biogas); brunsaft til biogas, hvorefter næringstoffer kan recirkuleres.

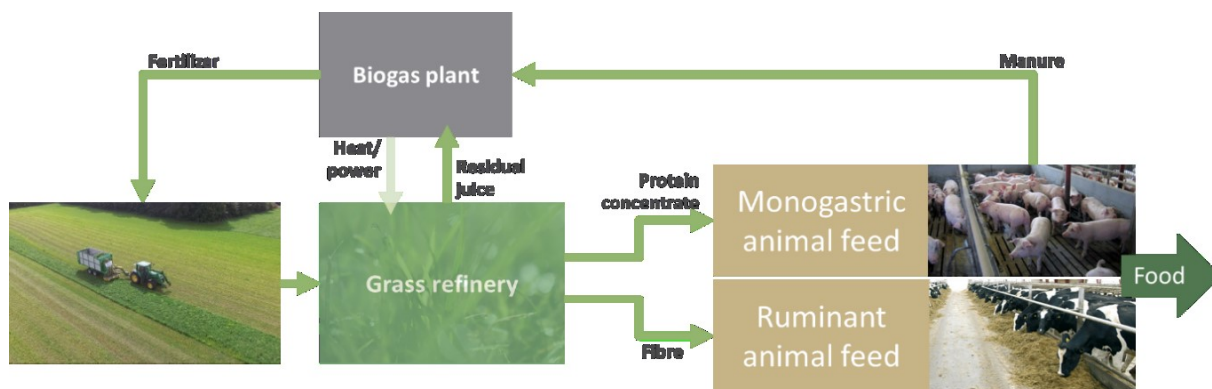
Etableringen af demonstrationsanlægget, der var både større og procesteknisk optimeret i forhold til tidligere pilotforsøg, gav hurtigt en markant forbedring i kvalitet og proceseffektivitet for produktionen af proteinkoncentrater fra græs, kløver og lucerne. Demonstrationsanlægget har gjort det muligt at teste disse produktkvaliteter i større fodringsforsøg med enmavede dyr, hvilket har været helt nødvendigt før reel kommerciel implementering kunne startes.

Disse forsøg viste absolut ingen tegn på bekymringer for anvendelsen af lokale grønne proteinkoncentrater som erstatning for sojaprotein. Tværtimod er det blevet vist, at der relativt nemt kan produceres produkter med højere kvalitet end gængs sojaskrå og dermed med potentielt højere værdi.

Demonstrationsanlægget har vist, hvordan basisproduktionen kan gøres i industriel skalérbar skala. Der er dog stadig masser af potentiale for yderligere optimering og udvikling. Proteinkoncentratet er produceret og grundig testet og har vist, at det kan 100% substituere sojaskrå til enmavede dyr. Fiberpulpen er testet i fodringsforsøg med malkekvæg, der har vist positive egenskaber, men også at

kvaliteten som foder kan variere betydeligt og afhænger meget af input-biomassen samt processeringen. Disse fodringsforsøg er lavet i samarbejde med andre projekter indenfor grøn bioraffinering, men GRØNBIORAF projektet har leveret produkterne.

Brunsaften har vist sig aldeles anvendelig til biogas, både i almindelige omrørte reaktorer, hvor den blandes sammen med gylle, halm og andre biogassubstrater og i specielle immobiliserede reaktorer, hvor den omdannes direkte til biogas uden tilsætning af andre substrater.



Figur: Demonstrationsanlægget kan bidrage til videreudvikling af højværdiprodukter og optimal udnyttelse af ressourcer.

GRØNBIORAF- projektets arbejde med forretningsplanerne for grøn bioraffinering har vist, at økonomisk bæredygtighed kræver en effektiv høst og logistik, bestræbelse på at anvende anlægget året rundt samt en vis værdiforøgelse af produktstrømmene. Det er derfor stadig helt afgørende for forretningsplanerne, at værdikæden og bioraffineringsprocesserne videreudvikles og modnes. Vores vurdering er dog, at potentialet er intakt, og at denne videreudvikling er godt i gang, både på demonstrationsanlægget og i de kommercielle aktiviteter.

I forhold til værdisætning af produktstrømmene er der næsten utallige muligheder, men gennem projektperioden er der dog et par udviklinger, der er skiller sig ud.

For proteinkoncentratet står det klart, at den helt store økonomiske gevinst vil være at opgradere så meget protein som muligt til fødevarer og dermed værdiforøge med en faktor på mellem 10-100. Forstudier på demonstrationsanlægget indikerer, at omkring 25% af proteinet kan opgraderes og separeres i tilpas kvalitet til anvendelse i fødevarer, bl.a. ved hjælp af membranfiltrering. For fiberpulpen er det gennem projektperioden blevet mere klart, at kvalitet og indhold kan variere enormt meget.

Værdien for anvendelse af fiberpulpe til kvægfoder vil derfor også variere markant. Samtidig er der flere og flere synergetiske fordele ved at anvende fiberpulpen til bioenergi og økologisk gødning gennem biogasproduktion.

Samtidig er biogasprisen steget stødt i 2021 - især efter krigen i Ukraine. Det virker derfor til, at forretningsplanen på nuværende ser mere attraktiv ud ved at lave biogas af fiberpulpen i forhold til anvendelsen som kvægfoder.

For brunsaften er det ligeledes gradvist blevet mere attraktivt at anvende den til biogasproduktion, men alternativer såsom separation af sukre til præcisionsfermentering, og næringsstoffer til gødningsvand i drivhuse holder stadig et større økonomisk potentiale.



Demonstrationsanlægget set udefra.

Foto: Lars Kruse, AU

GRØNBIOGRAF-projektet bestod af syv arbejds pakker (AP), procesdele, som kort er beskrevet nedenfor:

AP1: Procesdesign

Formålet var at sikre et gennemtænkt, robust design, der lever op til industrielle- og forskningsmæssige krav og ønsker for et demonstrationsanlæg til grøn bioraffinering.

Et projektteam bestående af ingeniører og maskinmestre fra AU med erfaring i procesdesign og udstyrsspecifikation, fik, på baggrund af erfaringer fra AU's tidligere pilotanlæg og international forskning, bygget et unikt og fleksibelt demonstrationsanlæg til forskning og udvikling i grøn bioraffinering.

AP2: Etablering

Et eksternt etablerings- og kommissioneringsteam forestod etableringen af anlægget i efteråret 2018 til foråret 2019. Trods lange leveringstider på essentielle komponenter, blev demonstrationsplatformen etableret og indviet i overensstemmelse med tidsplanen - den 25. juli 2019.

AP3: Procesvalidering

Undervejs i indkøringsfasen blev hele proceskæden valideret, og produktions- og udviklingsteamet tilegnede sig viden og erfaringer om anlægget. Det kom hurtigt i gang med at køre i sommeren/efteråret

2019, hvor der allerede blev produceret proteinkoncentrater af tilfredsstillende kvalitet med et proteinindhold på op til 60% af tørstof.

Kapacitetstests viste, at målet om at køre 10 ton/timen kunne nås på nogle biomasser, mens der på andre kunne køres max. 5 ton/ timen. Dette er stadig tilfældet, men det har sidenhen vist sig ikke at være så vigtigt, hvor høj kapaciteten er, da vi sjældent skal producere meget store mængder, men i stedet lave mange mindre forsøg hvor procesoptimering og test er i højsædet til fordel for produktion.

AP4: Udvikling og demonstration

Demonstrationsanlægget har haft – og har - et fast team af ingeniører og operatører tilknyttet, som kunne viderudvikle teknologien og varetage produktion, test og udviklingsaktiviteter.

Fra 2019-2021 har demonstrationsanlægget indgået i 20 forsknings og udviklingsprojekter, hvor processerne kunne anvendes og demonstreres.

Arbejdet har inkluderet alle aspekter af værdikæden for grøn bioraffinering:

- Fra mark til bioraffinering – høst og logistik
- Fra frisk råvare til saft og fiberpulp - neddeling og saftpresning
- Fra saft til proteinkoncentrat – filtrering, udfældning og separation
- Fra proteinkoncentrat til brugbart foderprodukt – tørring og lagerstabilitet
- Proces optimering og proces udvikling – bedre udbytter og kvalitet
- Integration med andre biomassekonveteringsteknologier – såsom biogas, pyrolyse, HTL, bioethanol
- Produktion af højværdi produkter – eks. fødevarerprotein, precisionsfermenterings produkter fra brunsaft og tekstiler eller emballage fra fiberpulpen.



Lucerne i fem forskellige former og kvaliteter efter processering i bioraffineringsanlægget.

Fra venstre: frisk lucerne; macereret og presset fiberpulp; grøn juice; grønt proteinkoncentrat; brun juice.

Foto: Ida Marie Jensen.

AP5: Kortlægning af miljøeffekter

Der er blevet indsamlet data fra demonstrationsanlægget for flere forsknings-og udviklingsprojekter til at beregne scenarier for klima- og miljøeffekter samt teknoøkonomiske scenarier for implementering og kommercialisering af grøn bioraffinering, alt sammen ved hjælp af en generetisk dataplatform.

Samtidig er der udført beregninger for økonomisk bæredygtighed for hele værdikæden af grøn bioraffinering, og forudsætninger for implementering og kommercialisering er blevet diskuteret med både industri og myndigheder.

Kortlægning af miljøeffekterne er i flere af de tilknyttede projekter ikke fuldt ud afsluttet endnu. Dette skyldes både, at datakvaliteten er øget markant gennem projektet, og derfor giver nyere data en bedre kvalitet af effektberegningen.

Der er dog eksempelvis beregnet carbon footprint i forbindelse med to forskningsprojekter, CSR Pork og Green Eggs, hvor GRØNBIOGRAF-projektet har leveret data. Her konkluderede CSR Pork, at carbon footprint for grise fodret med lokal produceret grøn protein kan reduceres med ca. 20% i forhold til importeret soja. Til sammenligning konkluderede Green Eggs, at carbon footprint kun reduceres med 6% i æggeproduktionen.

Reduktionen af kvælstofudvaskningen og pesticidforbrug i forbindelse med grøn bioraffinering, afhænger udelukkende af den landbrugsmæssige produktion af græs og kløver, og hvilke afgrøder denne produktion erstatter.

Etableringen af demonstrationsanlægget i GRØNBIOGRAF har ikke ændret på denne effektberegning. Den teknoøkonomiske analyse er udarbejdet gennem simuleringssværktøjer, hvor der er etableret en generisk model for basisprocessen af den grønne bioraffinering; her kan der beregnes adskillige teknoøkonomiske scenarier.

Resultatet af de første scenarier viste, ganske som forventet, at den økonomiske bæredygtighed er en udfordring - især for konventionel produktion. Men selv med proteinpriser svarende til non-GMO soja, og økologisk soja er det svært at skabe et profitindeks.

For økologisk produktion, der giver den bedste økonomi, er der derfor stadig behov for yderligere optimering af profitten. Der er mange potentielle muligheder til dette. Eksempelvis kan der etableres en produktion, der strækker sig over hele året, hvis der vel at mærke udvikles processer til at anvende ensileret græs, eller den integreres med anden agroproduktion.

Der kan optimeres i høst og logistikkæden, således at råvaren, der udgør 75% af driftomkostningerne, reduceres. Derudover kan der skabes merværdi af sidestrømmene (fiberpulp og brunsaft), eksempelvis ved at anvende fiberpulpen til biomaterialer og tekstil og brunsaften til substrat for precisionsfermentering af højværdi biokemikalier.

AP6: Kommercialisering og forretningsudvikling

Analyser af business cases blev gennemført ud fra anlæggets data om produktspecifikationer og integreret proces-økonomi.

Der er nu en færdig beregningsmodel, som kan anvendes til alle konkrete etableringsprojekter. Der arbejdes ydermere på at oversætte modellen til engelsk og anvende den i det relaterede EU-projekt GO-GRASS, hvor den danske case for grøn bioraffinering forsøges at blive udbredt til andre dele af EU.

AP7: Projektledelse og kommunikation

Kommunikation har haft en central plads i GRØNBIORAF-projektet. Den eksterne kommunikation af projektet og dets aktiviteter, er gennemført via åbent hus-arrangementer, workshops og bidrag til forskellige medier, nationalt såvel internationalt.

KONKLUSION OG PERSPEKTIVERING

GRØNBIORAF- projektet og etableringen af demonstrationsanlægget har været afgørende for udviklingen af en grøn bioraffinerings-industri i Danmark.

Demonstrationsanlægget fungerer som forventet og har skabt presedens for, at udvinding af grøn biomasse har skalerbart og kommercielt potentiale.

Gennem tæt dialog med mange interessenter til en fremtidig grøn bioraffinerings-industri kendes der til adskillige andre kommercielle aktiviteter, der inkluderer etablering af flere nye anlæg.

I efteråret 2021 blev det i Folketinget vedtaget under 'Aftalen om grøn omstilling af dansk landbrug' (fra den 4. oktober 2021) at oprette en støtteordning på 260 mio. DKK til etablering af nye grønne bioraffinerier i perioden 2022-2026.

Demonstrationsanlægget har i den forbindelse bidraget med erfaringer og resultater for at denne støtteordning kan blive så effektiv som muligt.

FORMIDLING

Åben kommunikation om erfaringer og resultater fra demonstrationsanlægget har givet afgørende bidrag både direkte og indirekte til design og etablering af Danmarks to første kommercielle anlæg: Ausumgaard og BioRefine. Begge anlæg har været i tæt dialog med demonstrationsanlægget i forbindelse med design, etablering og opstart.

Teknologien er ny, og der er stadig masser af optimeringspotentialer og nye muligheder i grøn bioraffineri. Derfor fortsættes den tætte dialog mellem demonstrationsanlægget og kommercielle aktiviteter, hvor erfaringer deles begge veje, og demonstrationsanlægget kan anvendes som testfacilitet for nye kommercielle ideer.

Der har været – og er – stor interesse for græsprotein. Selve åbningen af anlægget gav meget omtale, og siden da er interessen og mængden af artikler blot vokset nationalt og internationalt. Eksempelvis fik demonstrationsanlægget besøg af EU-politikere dette forår 2022.

På vores hjemmeside er links til forsknings- og populærartikler samt videoer.

Læs mere om GUDP's projekter på www.gudp.dk