

Nyt elektrofilter kan fjerne 98-99 procent af støvet fra halmfyring

Aarhus Universitet har i samarbejde med Maskinfabrikken REKA og Magnussen & Speiermann udviklet et elektrofilter, der er så effektivt, at det kan reducere udslippet af støvpartikler fra biomassefyrede anlæg med 98-99 procent.

Små halm- og træfyrede kedler kan være en væsentlig kilde til luftforurening, da røgen har et stort indhold af støvpartikler. For at opfylde kravene til nye anlæg i den europæiske standard EN 303-5 er der behov for et system til rensning af røgen. Især for halmfyrede kedler er det en stor udfordring, da der hidtil ikke har været egnede filtre på markedet.

Støvet er så finkornet, at det ikke kan udskilles med en cyklon. Posefiltre er ikke egnede, og de er forholdsvis dyre i både indkøb og drift. Der kræves en stor røgsuger for at overvinde tryktabet over filteret, og poserne er desuden sårbare over for høje røggastemperaturer, hvilket ofte forekommer ved mindre halmkedler.

En tredje mulighed er elektrofiltre, hvor røgen ledes gennem et kraftigt elektrisk felt. Her påføres støvpartiklerne en elektrostatisk ladning, som efterfølgende bliver tiltrukket af nogle opsamlerplader med modsat polaritet. Støvpartiklerne sætter sig fast på pladerne, som med jævne



Foto: Martin Glerup

Direktør for Maskinfabrikken REKA, Christian Larsen, ved styretavlen til elektrofilteret hos Ulbjerg Varmeværk.



Foto: Maskinfabrikken REKA

Test på AU-Foulum med biomassefyring, hvor elektrofilteret er henholdsvis slukket og tændt.

mellemrum renses. I traditionelle elektrofiltre sker det ved at banke på opsamlepladerne, så støvet falder af.

Ved halmfyring består støvet hovedsageligt af alkalisalte, der har en meget lav ledningsevne. Det betyder, at der kun skal være et meget tyndt lag opfanget støv, før den elektriske modstand bliver så stor, at filterets renseevne reduceres drastisk. Et så tyndt støvlag kan ikke fjernes via den beskrevne "banketeknik", så traditionelle elektrofiltre kommer hurtigt til kort over for støvet fra halmkedler.

I projektet har Aarhus Universitet, Institut for Ingeniørvidenskab i samarbejde med Maskinfabrikken REKA og Magnussen & Speiermann udviklet et elektrofilter, hvor de opsamlede støvpartikler bliver skrabet af. Systemet kører med succes ved Ulbjerg Varmeværk og AU-Foulum, hvor filteret reducerer udslippet af støv med 98-99 procent (se nedenstående tabel).

Titel:	Elektrofilter til biobrændselsanlæg
Kontakt:	Aarhus Universitet, Erik Fløjgaard Kristensen, ☎ 8715 7659, ✉ erikf.kristensen@eng.au.dk
Sagsnr.:	ENS 64014-0132
Tilskud fra:	EUDP
Tilskud:	2.870.000 kroner

Kedeffect	222 kW	215 kW
Brændsel	Hvedehalm	Flis
Røggastemperatur	210 °C	190 °C
Emission før filter	1.150 mg/nm ³	160 mg/nm ³
Emission efter filter	21,0 mg/nm ³	1,3 mg/nm ³
Renseeffekt	98 procent	99 procent

Testresultater ved fyring med henholdsvis halm og flis.

MycoFuelChem – nye veje for produktion af biobrændstoffer og biokemikalier

I MycoFuelChem-projektet har forskere ved Aalborg Universitet i samarbejde med DTU, Washington State University, Novozymes og Solum opnået banebrydende ny viden, som kan føre til nye veje for produktion af jettuel og højværdige kemikalier.

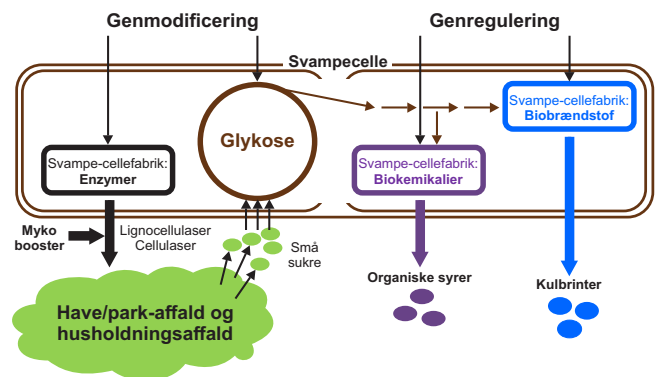
MycoFuelChem er et projekt under Innovationsfonden, som undersøger muligheden for at producere biokemikalier og biobrændstof direkte fra biomasse i målrettede "cellefabrikker" (se figuren i højre spalte). Projektet er under afslutning, og har opnået en række banebrydende resultater og publikationer foruden uddannelse af fem ph.d.-studerende.

Projektet har undersøgt kendte mikrosvampe som *Aspergillus*-arter for deres evne til at producere kulbrinter. Teamet bag projektet har som de første i verden fundet, at *Aspergillus carbonarius* under visse betingelser, såsom lav iltspænding, naturligt producerer en række dieselkomponenter, der er direkte anvendelige som transportbrændstof. Teamet har haft succes med at identificere og opregulere de gener, som er ansvarlige for produktionen og har derved kunnet øget den mængde, som produceres.

Foruden arbejdet med at forbedre de naturlige processer i den valgte mikrosvamp har forskerne arbejdet med at overføre gener fra en blågrøn bakterie til produktion af to specifikke kulbrinter, pentadecan og heptadecan. De er begge væsentlige komponenter i jettuel og hører ikke til blandt de kulbrinter, som svampe producerer.

Som de første i verden er det lykkedes at lave en aktiv stamme af *Aspergillus carbonarius*, som specifikt producerer jettuel-komponenter ved vækst på biomassebaseret sukker. I fremtiden vil der blive arbejdet målrettet på at forbedre denne proces, så det kan blive muligt at opsamle det ønskede produkt direkte under produktionen.

Aspergillus carbonarius har endvidere vist sig som en god producent af organiske syrer, der har en høj værdi



Princippet i en "cellefabrik" hvor biomasse omsættes direkte til biobrændstof og biokemikalier.

på verdensmarkedet som for eksempel ravsyre. Svampen producerer ikke ravsyre naturligt, men citronsyre i relativt store mængder. Ved at indsætte et særligt gen og opregulere det protein, der transporterer ravsyre ud af svampen, er det imidlertid lykkedes for forskerne at ændre svampens produktion fra citronsyre til ravsyre og æblesyre i store mængder.

Endvidere har teamet vist, at det er muligt at anvende have/park-affald og husholdningsaffald som vækstsubstrater og til produktion af enzymer, og at mikrosvampe kan producere produkterne fra biomasse-hydrolysater.

Titel:	MycoFuelChem – Konsolideret behandling af biomasse til avancerede brændsler og værdifulde bestanddele i svampecellefabrikker
Kontakt:	Aalborg Universitet, Birgitte Kiær Ahring ☎ 9940 2591, ✉ bka@bio.aau.dk
Sagsnr.:	ENMI 11-116803
Tilskud fra:	Innovationsfonden
Tilskud:	19.900.000 kroner



Foto: Torben Skott/BioPress

Have/park-affald og husholdningsaffald kan anvendes som vækstsubstrater og til produktion af enzymer.

Alger som råstof til fremtidens bioraffinaderi

Alger kan bruges til produktion af både brændstof og en lang række højværdiprodukter, men der er også udfordringer, viser et stort projekt støttet af Innovationsfonden. Den kemiske sammensætning af algerne varierer meget, og der er behov for at udvikle nye højværdiprodukter for at forbedre økonomien.

Biomasse er en begrænset ressource, og i takt med at de fossile brændsler udfases, og verdens befolkning bare vokser, stiger presset på jordens landbrugs- og skovarealer. Over 70 procent af jordens overflade er imidlertid dækket af hav, og her kan der dyrkes enorme mængder biomasse, hvis vi forstår at gøre det rigtigt. Alger kræver kun tilførsel af sollys, vand, CO₂ og de næringssalte, der forekommer naturligt i saltvand fra havet, og de er i stand til at reproducere sig selv inden for få dage til en måned.

Forskere har i årevis arbejdet med, hvordan alger mest effektivt kan bruges til fremstilling af blandt andet energi og fødevarer, og inden for de senere år er forskningen for alvor begyndt at tage fart. Tidligere blev der fokuseret meget på energiproduktion, men i dag er fokus rettet mod at bruge alger til fremstilling af forskellige højværdiprodukter. Energien er ikke blevet glemt, men det er primært restprodukterne, der skal bruges til det formål.

Et af de store danske forskningsprojekter om alger, der for nylig er blevet afsluttet, er MAB3, som Innovationsfonden har støttet med godt 20 millioner kroner. Teknologisk Institut har stået for ledelsen af projektet, og arbejdet er udført i samarbejde med en række virksomheder og førende forskere fra både Danmark, Irland, Tyskland og Italien.

I MAB3 har forskerne haft fokus på to brune algearter, nemlig fingertang og sukkertang. Der er blevet arbejdet med både dyrkning og høst, ligesom forskerne har demonstreret, hvordan algerne kan bruges som råvarer i et moderne bioraffinaderi. Her bliver biomassen forbehandlet og skilt ad ved hjælp af enzymer, så man får mulighed for at producere både højværdiprodukter og brændstof. I princippet kan der fremstilles et utal af produkter ud fra alger, men i MAB3 har man fokuseret på at bruge indhol-



Foto: Teknologisk Institut

Makroalger som fingertang og sukkertang kan dyrkes på reb eller stykker af tekstil i passende længder. De hæftes fast til lange liner, der er spændt ud mellem bøjler i havoverfladen.

det af protein og fedtsyrer til fiskefoder, mens restprodukterne med fordel vil kunne indgå i en produktion af biogas eller bioethanol.

Gennem MAB3-projektet har forskerne erfaret, at den kemiske sammensætning af algerne kan variere meget. Det afhænger blandt andet af den konkrete lokalitet, og hvornår algerne er høstet, og det kan blive en udfordring, når der skal etableres anlæg i industriel skala.

En anden udfordring er økonomien. Her er der behov for at optimere dyrkning- og høstmetoderne, ligesom det er vigtigt at fokusere på, hvordan algerne bedst kan bruges til forskellige højværdiprodukter.

Arbejdet fortsætter i de kommende år i et nyt projekt, MAB4, som Innovationsfonden støtter med 12 millioner kroner. I projektet vil der være særlig fokus på, hvordan algerne indhold af bioaktive stoffer varierer med årstiderne, og hvordan man bedst kan bevare de bioaktive stoffer i forbindelse med høst og lagring. Endvidere skal projektet udvikle og optimere bæredygtige, enzymatiske ekstraktionsmetoder til produktion af højværdiprodukter. Endelig skal der foretages en livscyklusvurdering (LCA) af algedyrkning, og det skal undersøges, hvordan algerne kan være med til at fjerne næringsstoffer fra havet.



Foto: Teknologisk Institut

Algerne kemiske sammensætning varierer meget, afhængig af blandt andet lokalitet og høsttidspunkt.

Titel:	MAB3 – Bioraffinaderi på makroalger med produktion af biobrændstof og fiskefoder
Kontakt:	Teknologisk Institut, Anne-Belinda Bjerre ☎ 7220 2912, ✉ anbj@teknologisk.dk
Sagsnr.:	ENMI 11-116872
Tilskud fra:	Innovationsfonden (tidligere Det Strategiske Forskningsråd)
Tilskud:	20.410.000 kroner

Effektiv produktion af brint – baseret på induktiv opvarmning

Anlæg til fremstilling af brint er ofte meget store, og en af de store udfordringerne er at få skabt en effektiv tilførsel af varme til den katalysator, der holder brintreaktionen i gang. I nærværende projekt er der udviklet en mere fleksibel teknologi baseret på induktionsopvarmning, men der er behov for yderligere udvikling, før processen kan anvendes i kommercielle anlæg.

Brint er et vigtigt grundstof, der bruges i store mængder i mange forskellige industrier, ligesom det i stigende grad er ved at vinde indpas i energisektoren, blandt andet som brændstof til biler med brændselsceller.

I dag produceres brint typisk ud fra metangas i en proces, hvor der skal tilføres store mængder varme til reaktionen, der forløber ved cirka 800-900°C.

I et typisk brintanlæg leveres den nødvendige varme ved forbrænding af metangas i et kammer placeret uden for reaktoren. Anlæggene er tit meget store, og en af hovedudfordringerne er at få skabt en effektiv tilførsel af varme til den katalysator, der holder brintreaktionen i reaktoren i gang.

I nærværende projekt er det blevet undersøgt, om det er muligt at udvikle en mere fleksibel teknologi baseret på induktionsopvarmning af katalysatoren, der samtidig giver mulighed for at benytte grøn strøm. Ved at inkorporere magnetiske materialer i katalysatoren kan induktionsvarme nemlig afsættes direkte til den kemiske reaktion, der producerer brint.

Til daglig kender vi bedst induktion fra komfurer, hvor de magnetiske svingninger bliver til varme i gryder og stegepander, når disse indeholder materialer, hvor det inducerede magnetfelt kan omsættes til varme. Det kan også ske i materialer, der bruges til at katalysere den kemiske reaktion mellem metan og damp til brint. Udfordringen er, at det kræver meget høje temperaturer at holde processen i gang.

Projektet har vist, at det er muligt at få dette til at lykkes ved at bruge en special fremstillet katalysator med induk-



Foto: Søren Bastholm Vendelbo, Teknologisk Institut

Forsøgssopstilling på Teknologisk Institut. En glasreaktor med en indbygget spole sikrer opvarmning af katalysatoren, som holder brintreaktionen i reaktoren igang.

tionsmodtagelige nanopartikler, der sikrer magnetisk induktion ved høje temperaturer. Konceptet er blevet påvist i laboratoriet, men forsøgene har også vist, at der skal bruges meget energi for at danne et tilstrækkeligt stort magnetfelt, der kan sikre en tilstrækkelig høj temperatur i reaktoren.

Det er således nødvendigt at opnå en højere effektivitet, hvis processen skal kunne anvendes i kommercielle anlæg. I det videre arbejde vil der derfor være fokus på at opnå en større afsætning af energi ved også at bruge andre materialer til de katalytiske nanopartikler, samt kigge på tilsætning af andre materialer i en blanding med katalysatorerne.

Titel: Brintproduktion baseret på induktiv opvarmning

Kontakt: Haldor Topsøe, Kim Aasberg-Petersen,
☎ 4527 2000, ✉ kap@topsoe.dk

Sagsnr.: ENS 64013-0511

Tilskud fra: EU DP

Tilskud: 6.720.000 kroner

Keramiske membraner til iltblæst forgasning

Nyudviklede membraner til iltseparation kan øge elvirkningsgraden for termiske forgasningsanlæg til biomasse.

Iltblæst forgasning er kendt for at være den teknologi, der mest effektivt kan omsætte biomasse til el, men i dag er teknologien ikke rentabel, da det er dyrt at producere rent ilt ved anvendelse af konventionelle teknologier. Derfor arbejder forskere på DTU Energi på at udvikle en teknologi, hvor membraner til iltseparation integreres i en termisk forgasser, så man på den måde kan øge virkningsgraden. Membranerne er keramiske materialer, der ved temperaturer på over 600 °C kan fraseparere 100 procent rent ilt fra for eksempel luft.

Det er imidlertid en udfordring at finde materialer, der kan klare de krævende betingelser i et forgasningsanlæg. I nærværende projekt er der arbejdet med at opskalere en rørformet iltmembran, og der er udført test med at integrere membraner i en biomasseforgasser. Side-løbende hermed er der arbejdet med at teste forskellige materialer med henblik på at forbedre membranernes ydelse samt mekaniske integritet.

Projektet er et vigtigt skridt i retning af yderligere integration af iltseparationsmembraner til biomasseforgasning. Opfølgingsprojekter vil undersøge flere scenarier med termisk og kemisk integration i biomasseforgassere, samt videreudvikle mere stabile membranmaterialer.



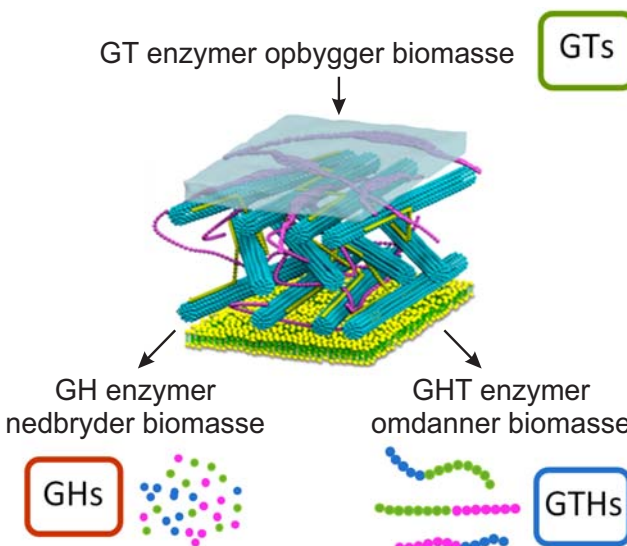
Foto: Kasper Haagen Skovse, DTU Energi

Rørformede keramiske iltmembraner.

Titel:	Keramiske membraner til iltblæstforgasning
Kontakt:	DTU Energi, Astri Bjørnetun Haugen ☎ 2156 0919, ✉ ahua@dtu.dk
Sagsnr.:	ForskEL-12202
Tilskud fra:	PSO
Tilskud:	5.520.000 kroner

Effektiv forbehandling af biomasse til bioethanol

Ny viden om centrale enzymer skal være med til at sikre en optimal udnyttelse af de biomasser, som anvendes til produktion af 2G-bioethanol.



Nedbrydningen af biomasse foregår ved enzymatiske reaktioner, der er grundpillen i produktion af 2G-bioethanol. For at kunne udnytte biomasse optimalt er det afgørende, at de enzymatiske reaktioner bliver videreudviklet, hvilket kræver ny viden om tre centrale enzymer: glykosyltransferaser (GT), glykosylhydrolaser (GH) og transglykosylaser (GTH).

I SET4Future-projektet har partnerne i fællesskab udviklet nye metoder til at identificere aktiviteten af alle tre klasser af enzymer. Teknologierne er dels baseret på robotteknologi, hvor tusindvis af prøver kan analyseres på få timer og dels på udvikling af en helt ny teknologi til at studere nedbrydning af komplekse kulhydrater fra biomasse. Sidstnævnte metode har ført til opstart af en virksomhed, GlycoSpot IVS, som producerer og sælger det nye kit til afprøvning af enzymaktivitet.

Partnerne har også anvendt veldefinerede oligosakkarider, fremstillet ved kemisk syntese, til at karakterisere enzymer, som er vigtige for effektiv nedbrydelse af biomasse. Disse modelstoffer gør det muligt at opklare, hvordan naturens katalysatorer fungerer helt ned i molekylær detalje.

Titel:	SET4Future – Bæredygtige enzymteknologier til fremtidens bioenergi
Kontakt:	DTU Kemi, Robert Madsen ☎ 4525 2151, ✉ rm@kemi.dtu.dk
Sagsnr.:	ENMI 11-116795
Tilskud fra:	Innovationsfonden
Tilskud:	18.000.000 kroner

Effektiv fremstilling af 2G bioethanol

Med en nyudviklet GMO-gærtype fra Terranol kan mere end 90 procent af både C5 og C6 sukkerarterne i halm omdannes til ethanol. Omdannelsen til ethanol sker inden for 48 timer ved anvendelse af en begrænset mængde gær.

Projektet har haft til formål at videreudvikle og demonstrere Terranols GMO-gær til fermentering af C5-sukre. På de første halmbaserede ethanolanlæg kunne man kun omsætte C6-sukre til ethanol, men med nye gærtyper som Terranols GMO-gær er man blevet i stand til at omsætte både C5- C6-sukre til ethanol.

Udviklingsarbejdet er sket i samarbejde med DONG/ Inbicon, og i projektet er GMO-gæren blevet testet i større industriel skala på Inbicons anlæg i Kalundborg. Resultaterne herfra viser blandt andet, at Terranols gær giver et udbytte tæt på det teoretiske maksimale, og processen er både robust og hurtig. Mere end 90 procent af C5 og C6 sukkerarterne blev således omdannet til ethanol inden for 48 timer ved anvendelse af en relativ lav mængde gær. Ved Inbicons pilotanlæg i Skærbæk blev der endvidere udviklet en fermenteringsprotokol med delvis tømning og genopfyldning, demonstreret i et 300 liter stort anlæg. Her blev der opnået et ethanol-udbytte på ikke mindre end 93 procent.

Næste skridt i teknologiudviklingen og kommercialiseringen vil være anvendelse af gæren i fuldskalaanlæg.

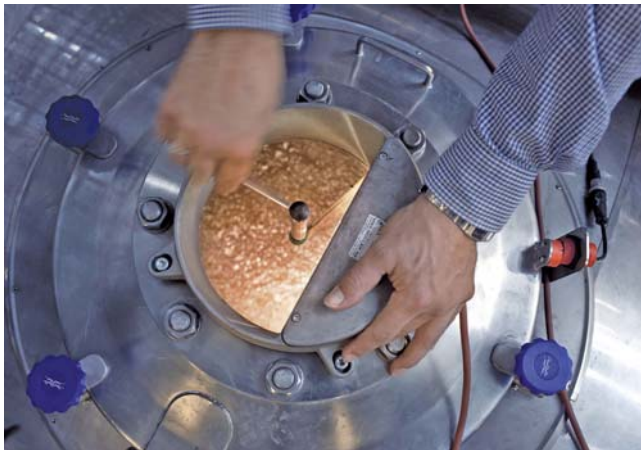


Foto: Inbicon

Nye gærtyper gør det muligt at omdanne både C5 og C6 sukkerarterne til bioethanol.

Titel:	Demonstration af en højeffektiv fermenteringsproces til 2G bioethanolproduktion
Kontakt:	Terranol, Birgitte Rønnov ☎ 4525 2320, ✉ br@terranol.com
Sagsnr.:	ENS 64012-0123
Tilskud fra:	EUDP
Tilskud:	7.680.000 kroner

Nyt værktøj til beregning af klimagevinsten ved biogas

Biogasproducenter har nu mulighed for at afprøve et beregningsværktøj, der kan beregne klimagevinsten ved biogas fra et bestemt biogasanlæg. Der er tale om en prototype og ikke om et færdigudviklet værktøj.

Brugeren af værktøjet skal indtaste oplysninger om de biomasser, der er anvendt i biogasanlægget, producerede gasmængder, og en række informationer om blandt andet procesenergiforbrug og metantab fra anlægget. Værktøjet beregner derefter den samlede udledning af drivhusgasser, som produktionen af biogassen giver anledning til, og resultatet sammenlignes med udledningen ved brug af fossil energi.

Metoden er en forsimplet livscyklusbetragtning, der indregner udledninger fra produktionskæden og tager hensyn til, at biogassen er produceret af forskellige biomasser. Værktøjet er blandt andet tiltænkt biogasproducenter, der ønsker at sælge opgraderet biogas til transportformål via naturgasnettet, men det kan også anvendes til den løbende registrering af tilførte biomasser, som skal indberettes en gang om året til Energinet.dk for at anvendelsen af biogassen kan få tilskud.

Opgraderet biogas kan bidrage til at opfylde kravet om iblanding af biobrændstoffer i transportbrændstoffer, men det kræver at biogassen er bæredygtigheds certificeret og opfylder kriterierne i VE-direktivet. Værktøjet er opbygget efter VE-direktivets retningslinjer og supplerer beregningsværktøjet Bio-Grace, der ofte bruges i forbindelse med flydende biobrændstoffer.

Energistyrelsen har offentliggjort prototypen for at illustrere, hvordan klimagevinsten fra et biogasanlæg kan beregnes, og for at give potentielle brugere mulighed for at afprøve værktøjet, inden det er færdigudviklet. Brugeren er selv ansvarlig for de data, der indsættes, og for beregningerne i øvrigt. Energistyrelsen vil meget gerne høre kommentarer til prototypen fra brugere.

Læs mere på <https://ens.dk>.

