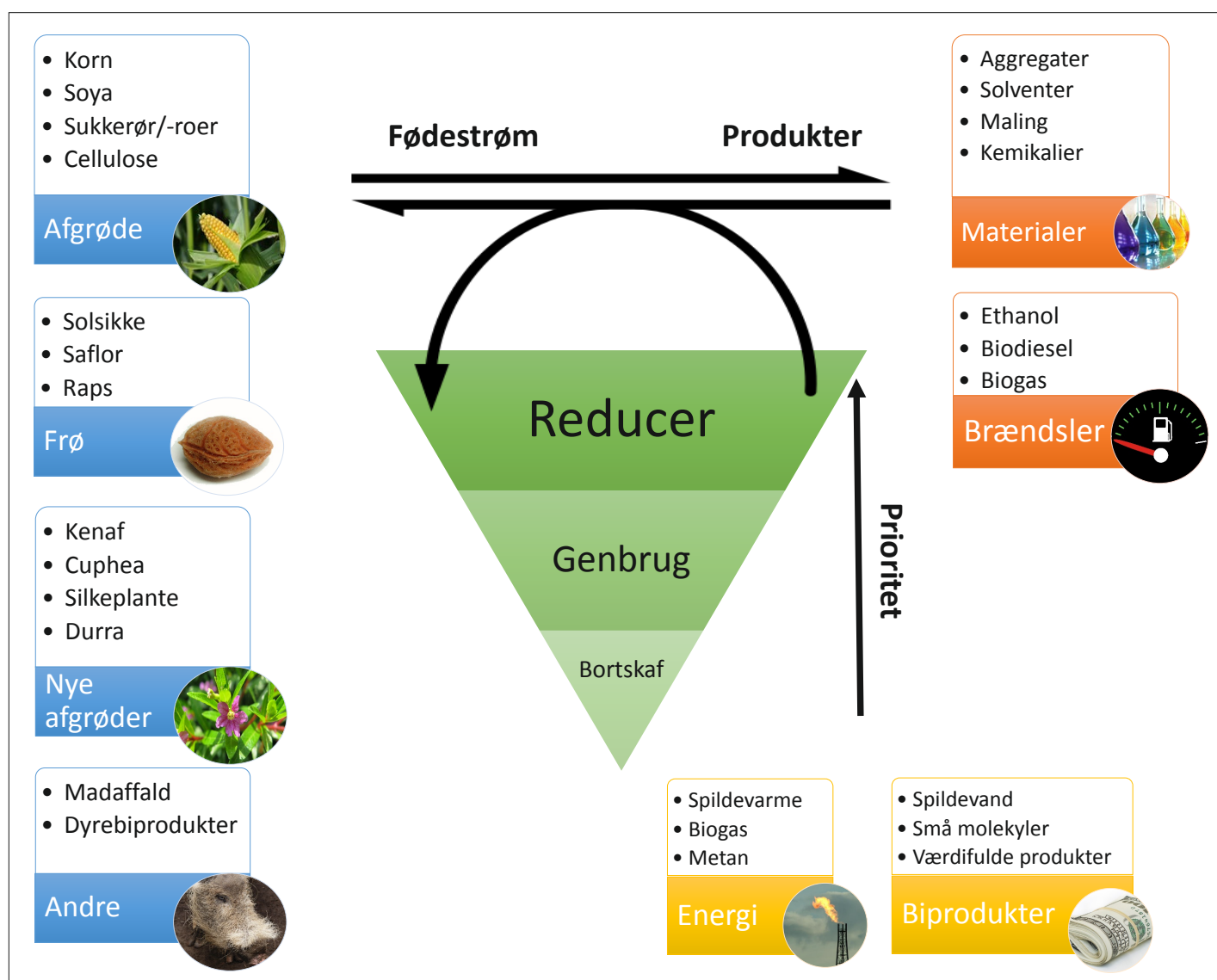


Ressourcegenvinding – vejen til øget bæredygtighed i biobaserede produktionsprocesser

Opstrømsprocesser, såsom fermentering, foregår typisk under ret milde forhold, f.eks. af temperatur, pH og tryk. Til gengæld resulterer dette ofte i relativt stærkt fortyndede produkter. Som en konsekvens bliver der genereret store mængder af spildevand, som kan indeholde værdifulde ressourcer - inklusiv vandet selv.

Af Seyed Soheil Mansouri¹, Stefano Cignitti¹, Isuru A. Udugama¹, Aleksandar Mitic¹, Xavier Flores-Alsina¹, Jesper Bryde-Jacobsen² og Krist V. Gernaey¹

¹ PROSYS Forskningscenter, Institut for Kemiteknik, DTU - ² BIOPRO



Figur 1. Oversigt over biobaserede processer og affaldsstrømme (se også tabel 1).

Ressourcespild i tal

Komponenter	Fremtidig anvendelse	Pris [USD/ton]	Markedets størrelse [Mio. ton]	Markedsværdi [Mia USD]
Organisk syre	Bioplast prod.	1200	2,9	3,5
Fosfater	Struvite Diammoniakfosfat	500-800 500-800	-	-
Kulhydrater	Bioethanol prod.	260-953	-	-
Lipider	Biodiesel prod.	600-1400	-	-
Proteiner	Fødevareadditiv	700	-	-
Anitbiotika	Medicin	4000	0,2	0,8
Vitaminer	Medicin	3500	0,2	0,7
Enzymer	Multianvendelse	3000	0,1	0,3
Hesperidin	Medicin	11.000-250.000	-	-
Cadmium	Coating, batteries	1200	-	-

Tabel 1.

(Kilde: Deloitte, 2014)

Grundet øgning af velstand og befolkningstal bliver tilgængeligheden af ressourcer mindre. Oveni er der flere stramninger af miljøreguleringer og retningslinjer for industrien. Det driver miljømæssige og økonomiske nødvendigheder for ressourcegenvinding i de danske biobaserede industrier for at bibeholde deres globale konkurrenceevne.

Fortiden, nutiden og fremtiden af ressourcegenvinding

Hvis man kigger tilbage til den tid i historien, hvor man startede med at bygge nye biobaserede fabrikker, så var energiudgifterne lave, vandmangel var ikke et problem, klimaforandringer var ikke en bekymring, og der var kun begrænsede økonomiske fordele ved at genvinde ressourcer fra spildevand. Målet var primært at beskytte nærmiljøet og sikre en lav sundhedsrisiko for samfundet.

I dag har det pga. økonomiske og lovmæssige krav højeste prioritet at forholde sig til genvinding af værdifulde ressourcer fra spildevand fra processtrømme, såsom tilbageløb og energistrømme. Det skal sikre rent vand, genanvendelse af råvarer med tilsvarende værditilvækst, og at overskudsvarme udvindes fra spildstrømmene.

En succesfuld implementering af ressourcegenvindingsteknologier fra spildevand vil øge processernes økonomiske ydeevne pga. en begrænset øgning af driftsomkostningerne.

Flere forskellige typer af affaldsstrømme og processtrømme dannes i fermenterings- og oprensningsprocesserne, som hver især kan indeholde potentielle ressourcer i variable mængder, figur 1. Afhængigt af tilgængeligheden og forholdene af spildevandstrømmene kan der anvendes forskellige separationsteknikker til at genvinde specifikke ressourcer.

Hvis ressourcegenvinding bliver en industristandard i biobaserede produktionsprocesser, så bør der i fremtiden blive tilstrækkeligt markedspotentiale til at få aftaget disse ressourcer.

Løftet om ressourcegenvinding

Ressourcegenvinding fra produktionsprocesser såsom traditionelle petrokemiske- og mejeriprocesser er allerede veletablerede. Hvis der er tilgængelige teknologier til at genvinde disse ressourcer til en rimelig pris, så har ressourcegenvindingenshederne en god chance for også at blive kommercialiseret inden for biobaserede produktionsprocesser.

I den traditionelle petrokemiske industri bliver energien, som bliver båret af processtrømme, betragtet som en væsentlig ressource. Derfor har udvikling og implementering af varmegenvindingsmetoder fundet sted i mange år.

I mejeriindustrien er ressourcegenvinding derimod en relativ

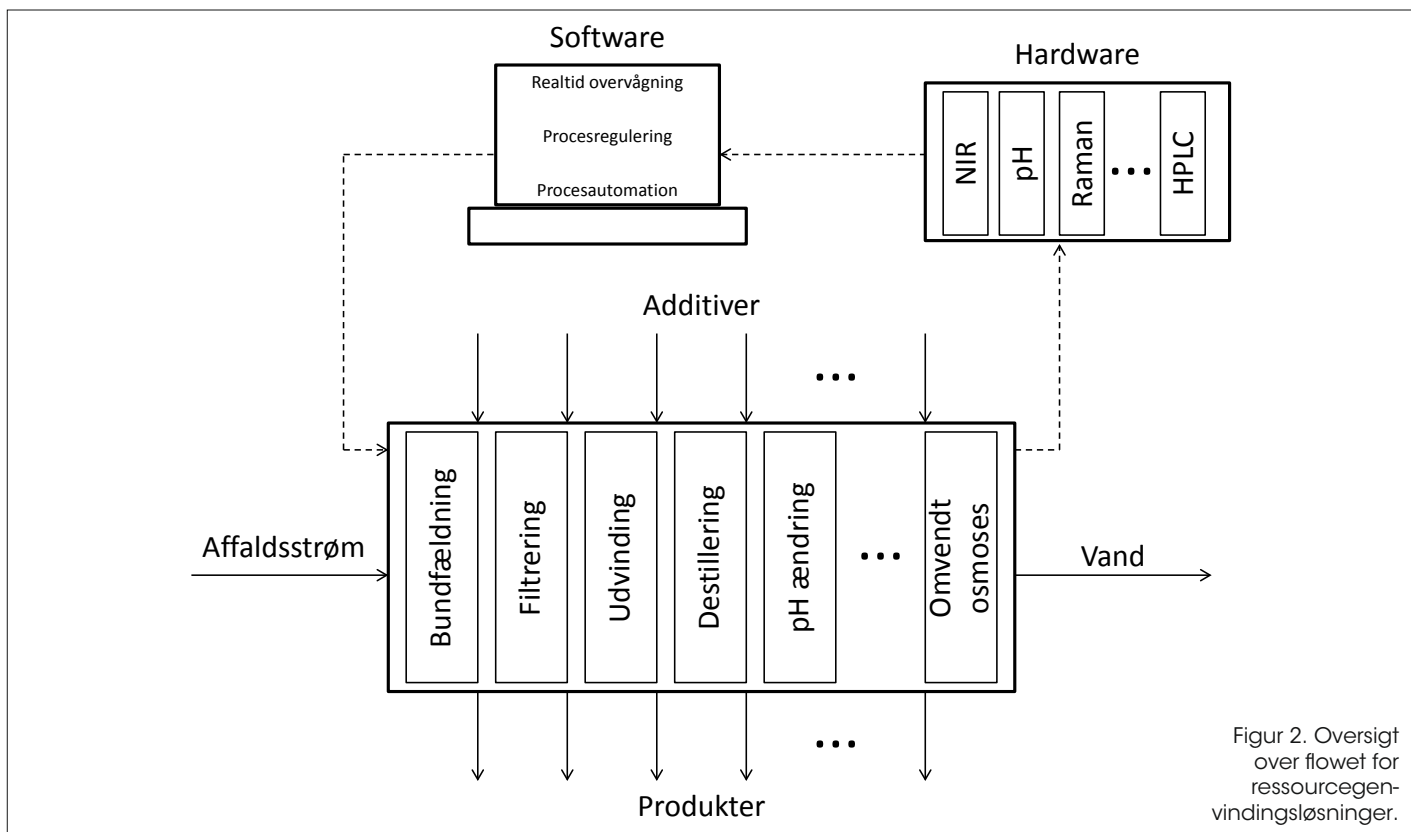


RheoSense

Simply Precise™



Biolab A/S
Sindalsvej 29
DK-8240 Risskov
Telefon 8621 2866
Telefax 8621 2301
E-mail: sales@biolab.dk



ny udvikling. Et eksempel er valleprotein, hvor adskillelse med et membranmodul er det første skridt mod at producere det værdifulde valleprotein-pulver. Spildvarme fra mejeriindustrien findes også i betydelige mængder, og er dermed også under kontinuerlig udvikling mht. varmegenvinding (Cignitti et al., 2016).

Generelt er markedspotentialet for mange ressourcer i biobaserede produktionsaffaldsstrømme stort, mens der er store udsving i værdien af de forskellige ressourcer, der kan genanven-

des. F.eks. har hesperidin en markedsværdi på 250.000 USD pr. ton, og kulhydrater en markedsværdi på ca. 250 USD pr. ton. Fra et rent økonomisk synspunkt kan ressourcegenvinding fra biobaserede produktionsstrømme således være en væsentlig lovende proces, der bidrager på bundlinjen af dansk industri.

■ BIOPRO Strategisk Forskningscenter og PROSYS Forskningscenter

BIOPRO:

Oprettelsen af et biotekpartnerskab på Sjælland er den grundlæggende idé bag BIOPRO (www.biopro.nu). Der har været globale bioteknologiske ledere i vores region i mange år og ved at forene kræfterne skal der skabes et partnerskab, der gavner af eksisterende knowhow og skaber ny viden og beskæftigelse. Partnerskabet står på tre ben: industri, universiteter og et frugtbart regionalt erhvervsklima. Industrien sigter efter øget konkurrenceevne og bæredygtighed. Partnere er CAPNOVA, Chr. Hansen, Novozymes, Novo Nordisk, DONG Energy, CP Kelco, Københavns Universitet og Danmarks Tekniske Universitet.

PROSYS:

Forskningscenteret er en del af instituttet for Kemiteknik på Danmarks Tekniske Universitet, DTU. Det er internationalt anerkendt for sin forskning, som er rettet mod udvikling og implementering af den næste generation af bæredygtige processer i den kemiske, biobaserede og farmaceutiske industri. PROSYS fungerer på grænsefladen mellem flere discipliner, herunder bioteknologi, procesteknik, kemi og systemteknologi.

Domænerne af ressourcegenvindingsteknikker

I biobaserede produktionsprocesser kan mange af de traditionelle kemiske procesanlæg anvendes, såsom membranbaserede separationsenheder, bundfældning, damp-væske destillation, solvent-baseret udvinding, varmegenvinding gennem anvendelse af varmekraftmaskiner og varmepumper. Derfor er området stort og mange af disse teknikker er veletablerede i den kemiske og petrokemiske industri. Der har også været en udvikling af matematiske modeller, softwareværktøjer og testanlæg (fra mikroskala til storskala og industriskala).

Derfor kan den danske biobaserede industri udnytte denne relativt enkle adgang til viden, hvorved et potentielt ønske om nyttiggørelse af ressourcer hurtigt kan identificeres, designs/eftermonteres og implementeres på en bæredygtig og effektiv måde. Metoder og redskaber fra processystem-teknologi (Eng: *process systems engineering* (PSE)), såsom procesmodellering, computerbaseret produkt- og processyntese og design kan bruges til at identificere den optimale konfiguration af ressourcegenvindingsenheder, herunder hybride, intensive og integrerede processer. Dette suppleres med principper som *Quality by design* (QbD) og procesanalytisk teknologi (Eng: *Process Analytical Technology* (PAT)). Ved at kombinere allerede eksisterende værktøjer og teknologier kan der designs og implementeres omkostningseffektive og robuste ressourcegenvindingsløsninger, figur 2.

Økonomi og implementering

Idéen om at undersøge muligheden for at omdanne et spildevandsrensingsanlæg fra et industrielt biobaseret produktionssted til et ressourcegenvindingsanlæg er baseret på økonomisk potentiale. Dette potentiale kan skyldes markedets efterspørgsel

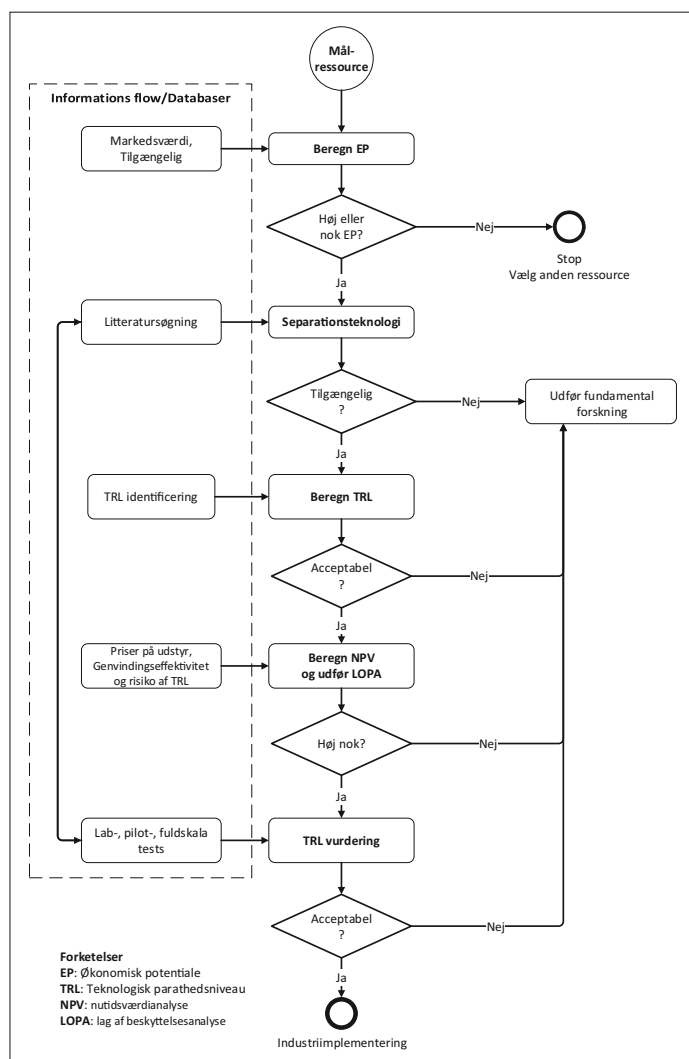
efter en værdifuld ressource, som findes i affaldsstrømmen (herunder vand i sig selv), samt opstå på grund af opstramninger af miljølovgivningen.

Der er mange separationsteknologier, som kan bidrage til at realisere det økonomiske potentiale. Men skalaen, modenhed og anvendeligheden af disse teknologier er forskellige og skal systematisk overvejes. Derfor skal udviklingen af en separationsteknologi til dette formål baseres på overvejelser af både tekniske og økonomiske aspekter.

Det kan opnås ved at anvende et sæt af teknisk-økonomiske retningslinjer sammen med nutidsværdianalyse (Eng: *net present value* (NPV)), teknisk-økonomisk risikovurdering og lag af beskyttelsesanalyse (Eng: *layer of protection analysis* (LOPA)). Disse kan fremmes ved hensigtsmæssig brug af tilgængelige PSE-metoder og værktøjer. Figur 3 viser en teknisk-økonomisk retningslinje, der inkorporerer veletablerede og industrielt accepterede principper som teknologisk parathedsniveau (Eng: *technology readiness level* (TRL)) til at vurdere de tekniske aspekter af et projekt, mens begreber som nutidsværdianalyse kan bruges til at vurdere de økonomiske aspekter af projektet. Den teknisk-økonomiske vurdering vil gøre det muligt at stoppe projekter, som ikke er praktiske eller rentable allerede tidligt i processen, hvorved der kan fokuseres på udvikling af mere lovende projekter.

Fremtidige perspektiver

Vil man fremme ressourcegenvinding i fremtiden, bør man



Figur 3. Teknisk-økonomisk retningslinje for ressourcegenvinding.

fokuserer på samarbejdet mellem dansk industri og den akademiske verden gennem fælles udviklingsprojekter. Et potentielt problem, der kan hindre en sådan udvikling, er, at virksomheder kun sjældent besidder detaljerede oplysninger om sammensætningen af de affaldsstrømme, der dannes i processerne. Derfor er en detaljeret analyse af affaldsstrømmene nødvendig i kortlægningen af potentielle ressourcer. Samarbejde mellem industri og universiteter er nødvendigt, så der kan opnås optimal fremgang af videnskab og teknologi til at udvikle ressourcegenvinding som en vigtig ekstra proces, der giver et væsentligt positivt bidrag til industrielle og kommercielle interesser. For at nå dette mål inden for forholdsvis kort tid, kræves der nationale såvel som internationale samarbejdsinitiativer. Et eksempel er BIOPRO2 Strategisk Forskningscenter.

Funding

Forskningsarbejdet er udført som en del af BIOPRO2 strategisk forskningscenter (InnovationsFonden, sagsnummer 4105-00020B).

E-mail:

Stefano Cignitti: steci@kt.dtu.dk

Kilder

Deloitte, Opportunities for the fermentation-based chemical industry, (2014), <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/nl/Documents/manufacturing/deloitte-nl-manufacturing-opportunities-for-the-fermentation-based-chemical-industry-2014.pdf>, hentet 24 Februar 2017. Cignitti, Stefano; Frutiger, Jerome; Zühlsdorf, Benjamin; Bühler, Fabian; Andreasen, Jesper Graa; Müller, Fridolin; Haglund, Fredrik; Elmegaard, Brian; Abildskov, Jens; Sin, Gürkan; Forbedring Af Industrielle Processers Energieffektivitet, (2016), Dansk Kemi, 97, 10, 10-12.

Advanced LC Method Development: Best Practices for HPLC and UHPLC

A comprehensive course in liquid chromatography method development using Quality by Design (QbD)

11-12 October 2017 at Symbion in Copenhagen

HPLC and UHPLC Troubleshooting: A Performance Qualification Approach

A comprehensive short course in the isolation, correction, and prevention of liquid chromatographic problems

13 October 2017 at Symbion in Copenhagen

By the highly recognized expert
Dr. John Dolan, USA



Detailed information about the two courses at:

<http://md-scientific.dk/courses>

In collaboration with:



www.md-scientific.dk – 7027 8565 – info@md-scientific.dk