


Affald på tanken



Værdifulde rester

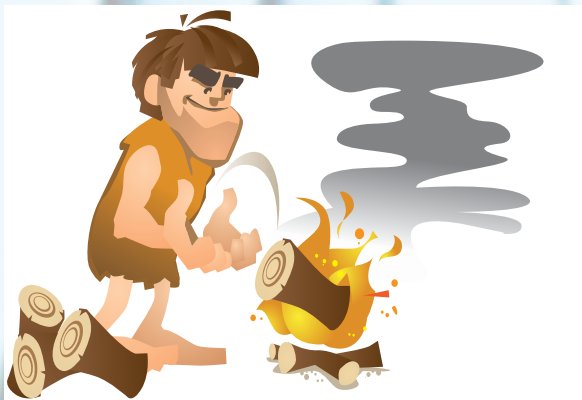
Biomasse som energikilde er ikke nogen ny ide. Men for at undgå at bruge de dele af planterne, som vi spiser, går forskerne nye veje. De vil lave rester fra marken, skoven og skraldespanden om til fremtidens grønne brændstof.

A close-up photograph of a large pile of food waste, including peels, seeds, and scraps of various fruits and vegetables. The waste is colorful, with shades of red, orange, yellow, and green. A yellow oval callout box is overlaid on the top right of the image, containing text in Danish.

Nyt fra laboratoriet:
Forskerne genbruger
kasseret biomasse.

Comeback til
brændeknuden

74



Fedt på tanken:
Kødrester får nyt liv

75



Svensk skoveventyr:

Her går energien ikke til
spilde

78



Hvad sker der i dette kapitel?

- ☛ Planter danner biomasse ved hjælp af Solens energi.
- ☛ Vi får varme og elektricitet fra biomasse.
- ☛ Bakterier omdanner sukker til alkohol og mælkesyre.
- ☛ Alkohol bliver til biobrændstoffer, og mælkesyre bliver til plastik.
- ☛ Forskerne forsøger at lave billigere biobrændstoffer.
- ☛ Forskerne vil omdanne uspiselig biomasse til kemisk energi i alkohol.



Forskerens udfordring: 82

Andreas gør op med misforståelser om biomasse



'Katte' styrer forskerne mod nye brændstoffer 77



Indhold – Kapitel 4

Introduktion:

Skraldespandens værdifulde rester 70

Biomasse begynder med planterne 72

Biomasse giver energi til kroppen 73

Biomasse som energikilde til samfundet 74

Biobrændstof med naturens hjælp 76

Nye 'katte' til nye brændstoffer 77

Biomasse er fuld af carbon 80

Katalyse baner vejen for miljøvenlig plastik 80

Forskerens udfordring:

Til bords med misforståelser og mirakelkure 82

Kan du arbejde som forsker? 83

Resume: Fra sort til grøn energi 84

Det ved du nu 85

Test dig selv 85

Dansk opfindelse: 81

Fra sukker til syre



Skraldespandens værdifulde rester

Forestil dig en verden, hvor intet affald går til spilde, men bliver genbrugt til at lave brændstof og nye materialer. I gamle dage blev kartoffelskræller til jord i kompostbunken og madaffald til grisefoder. I fremtiden vil vi gøre som i fortiden og aldrig smide noget væk. Ved hjælp af videnskab og teknologi vil forskerne lave affald og planterester om til CO₂-neutrale materialer som brændstof, plastik og kemikalier. Måske vil plastikkærmen på din mobiltelefon en dag være lavet af bananskræller og flyet til Thailand bruge brændstof fra grisefedt og afgnavede majscolber.

Biomasse er alt biologisk materiale, der oprindeligt er dannet af planterne ved hjælp af Solens energi. Biomasse er også menneskets ældste energikilde. Længe før vi kendte til olie, kul og gas, var det biomasse i form af træ, som vi smed på bålet for at få varme og lave mad.

Det betyder dog ikke, at biomasse er en gammeldags og umoderne energiform. Tværtimod er den et populært alternativ til fossile brændstoffer som olie, kul og gas, fordi den er både en CO₂-neutral og vedvarende energikilde. Biomasse er nemlig solenergi, der er omdannet til kemisk energi og derfor let at bruge som brændsel. Ved at anvende biomasse har vi altså en smart genvej til at bruge solenergi og dermed udnytte vores største vedvarende energikilde.

I Danmark har vi for eksempel erstattet endel olie og kul med halmrester og kødaffald til at lave varme i mange kraftvarmeværker. Men forskernes ambitioner er større. I stedet for kun at lave varme ved at brænde plante- og kødrester af vil de bruge den kemiske energi i affaldet til at lave brændstoffer til vores transportmidler.

I dag er produktionen af brændstoffer fra biomasse ofte baseret på afgrøder som majs og sojabønner, som vi kunne have spist i stedet. Derfor forsøger forskerne at udvikle teknologier til at udnytte de dele af biomassen, som vi alligevel ikke spiser. Hvis forskerne lærer at nedbryde den kasserede biomasse og sætte den sammen igen til nye molekyler, kan de lave mere miljøvenlige brændstoffer.

De nye teknologier kan også bruges til at lave andre materialer, der i dag fremstilles af olie, kul og naturgas. Det kunne for eksempel være plastik og mange vigtige kemikalier. Samtidig kan vi gemme den spiselige biomasse til middagsbordet. Affald vil blive en værdifuld ressource og samtidig skåne miljøet.

I dette kapitel går vi tæt på forskernes forsøg på at bruge biomasse til at gemme Solens energi. Kapitlet lægger også op til nogle af de vigtige overvejelser, der er omkring udnyttelsen af biomasse. I vores iver efter at stoppe brugen af de fossile brændstoffer må vi ikke glemme, at biomasse er vigtig for alt liv på Jorden, og ikke kun for os mennesker.



Biomasse er alt levende eller nylig afdødt biologisk materiale, for eksempel planter, dyr, kødaffald og trærester.



Grundstoffer i dette kapitel:

C Carbon (dansk: kulstof)

er livets byggesten. For eksempel er der carbonatomer i hver eneste celle i din krop.

H Hydrogen (dansk: brint)

er det simpleste grundstof på Jorden, og alligevel er det svært at få fat på. Hydrogen findes nemlig ikke frit, men er bundet i kemiske forbindelser, for eksempel vand (H_2O). Ved hydrogen forstås normalt gassen H_2 .

O Oxygen (dansk: ilt)

er livsnødvendigt for langt de fleste organismer på Jorden. Din krop skal bruge oxygen for at forbrænde mad og få energi. Uden oxygen i atmosfæren var mennesket aldrig blevet til. Ved oxygen forstås normalt gassen O_2 .

Kemiske forbindelser i dette kapitel:

$C_6H_{12}O_6$ Glucose

er et sukkerstof og kroppens vigtigste brændstof.

C_xH_yOH Alkoholer

er carbonkæder med hydrogenatomer og en OH-gruppe.

Methanol (CH_3OH) er den korteste alkohol med kun et carbonatom. Methanol er giftig.

Ethanol (CH_3CH_2OH) indeholder to carbonatomer. Det er den alkohol, som findes i øl og vin. Ethanol kan også bruges som brændstof i biler.

$CH_3CH(OH)COOH$ Mælkesyre

er en svag syre. Visse bakterier danner mælkesyre, når de nedbryder glucose ved gæring. Som navnet antyder, findes syren blandt andet i mælk.

CO Carbonmonoxid

er en gas, der består af et carbonatom og et oxygenatom.

CO_2 Carbondioxid

er en tung gas, der består af et carbonatom og to oxygenatomer. Det skrives som CO_2 , og sådan omtaler man også tit forbindelsen. Kuldioxid er et gammelt navn for CO_2 .

DME Dimethylether

er et brændstof, der kan fremstilles af biomasse. Dieselmotorer kan køre på DME.



Når du møder dette symbol, skifter energi form.

Ordliste

Ord i *kursiv* er forklaret i ordlisten bagerst i bogen.



Scan koden med din mobil, og besøg www.energiपालager.dk.



Biomasse begynder med planterne

For at kunne forstå hvad biomasse kan bruges til, må vi først se på, hvad biomasse er, og hvor den kommer fra.



Biomasse er alt levende eller nylig afdødt biologisk materiale.



Planterne omdanner solenergi til kemisk energi i sukker.

FAKTA

Algerne er havets primære biomasse og står for cirka halvdelen af al fotosyntese på Jorden.



Biomasse er en betegnelse for alt biologisk materiale. Planter som træ, græs og alger er eksempler på biomasse. Når dyr og mennesker spiser planterne, omdanner vi det til knogler, hud og muskler,

som er vores form for biomasse. Biomasse dækker derfor både over korn og rester fra marken samt bøffer og kødaffald fra slagterierne. Din madpakke og dit æbleskrog er også biomasse, ligesom alle de andre biologiske materialer, der er levende eller har været det for nylig.

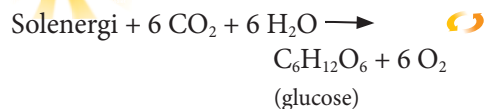
Selvom biomasse ser vidt forskellig ud, indeholder det alt sammen energi. Faktisk er der energi nok i den mængde biomasse, der gror frem hvert år, til at dække vores årlige energiforbrug op til flere gange, men som du kan læse i dette kapitel, er det ikke al biomasse, der er lige nem at bruge.

Biomasse bliver først dannet ved hjælp af planternes *fotosyntese*, som er Jordens vigtigste kemiske reaktion. Uden den ville der ingen planter være på Jorden, og uden planter ingen oxygen og dermed heller intet liv, som vi kender det i dag.

I fotosyntesen bruger planterne energi fra Solen til at lave carbondioxid (CO₂) og vand om til glucose og oxy-

gen. Glucose er et sukker, der består af carbon, oxygen og hydrogen. Glucose er et af de molekyler, der udgør plantens biomasse.

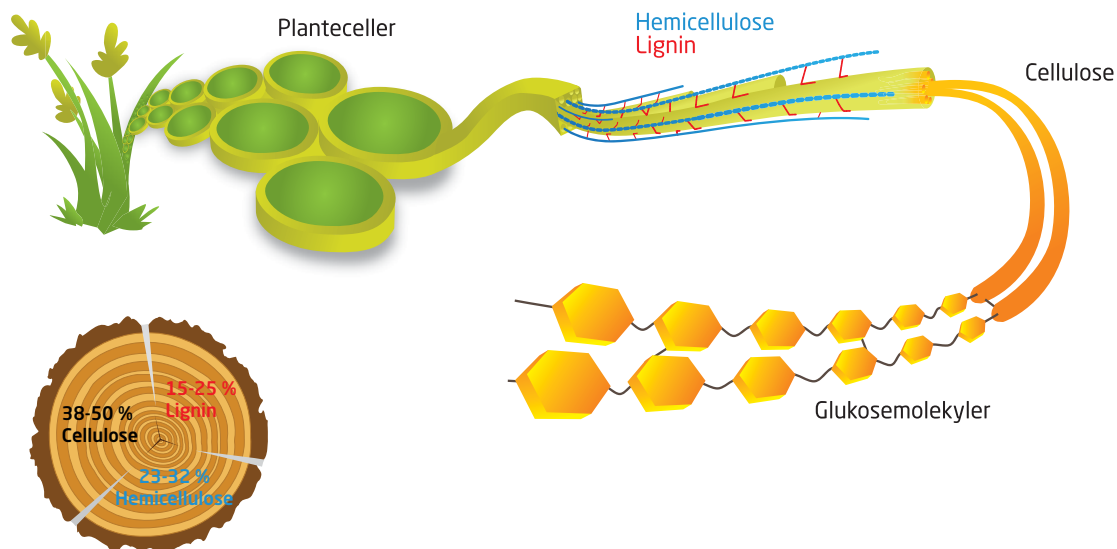
Fotosyntesens samlede reaktion er:



I reaktionen bliver energi fra Solen omdannet til kemisk energi i sukkeret. Når planten har brug for energi, starter *enzym*er i plantecellerne den modsatte reaktion af fotosyntesen og laver glucose om til CO₂. Hvis der derimod er et overskud af glucose, laver planten det om til stivelse, som er lange kæder af glucosemolekyler. De indeholder også kemisk energi og fungerer som plantens energireserve. Kartoffler indeholder for eksempel masser af stivelse.

Planten bruger også glucose til at vokse og lave nye molekyler, for eksempel cellulose. Den består ligesom stivelse af lange kæder af glucose. Cellulose er dog langt mere robust end stivelse. Det er, fordi de kemiske bindinger mellem glucosemolekylerne er anderledes og kæderne derfor tættere pakket.

Andre vigtige molekyler, planterne danner, er hemicellulose og lignin. Sammen med cellulose giver de tre molekyler planten struktur og holder den oprejst. De indeholder alle kemisk energi, der oprindeligt stammer fra solenergi, som er blevet omdannet i fotosyntesen.



Plantens biomasse består af molekyler som glucose, stivelse, cellulose, hemicellulose og lignin. De sidste tre udgør størstedelen af planternes biomasse. Deres mængde varierer, men fordelingen er typisk som vist på figuren.

Når vi mennesker høster plantebiomasse, høster vi derfor indirekte solenergi. Vi kan udnytte energien på mange måder:

- Vi kan spise planterne og bruge deres kemiske energi i kroppen.
- Vi kan brænde biomassen af i et kraftvarmeværk og producere varme og elektricitet.
- Vi kan nedbryde og omdanne biomassen til flydende brændstof, der er let at hælde på biler. Sådanne brændstoffer kaldes *biobrændstoffer*.

FAKTA

Brændstoffer lavet af biomasse kaldes biobrændstoffer. Biodiesel, biobenzin og bioalkohol er alle eksempler på biobrændstoffer.

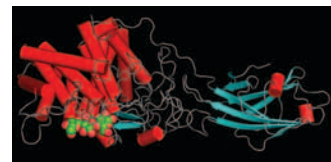
Biomasse giver energi til kroppen

For os mennesker udgør glucose og stivelse en stor del af vores føde. Glucosen udnytter vi med det samme, mens stivelsen først nedbrydes til glucose ved hjælp af enzymer i vores mund og tarme. Cellulose og lignin kan vi til gengæld ikke fordøje, da vores enzymer ikke kan nedbryde de robuste molekyler. Derfor spiser vi ikke blade og stængler.

Kun bakterier kan nedbryde de seje plantedele. Bakterierne lever blandt

andet i maven på mange dyr som køer og hjorte, og derfor lever dyrene fint på græs og blade.

Når dyr og mennesker spiser plantebiomasse, laver vi vores egen biomasse, som senere bliver nedbrudt og genbrugt til at lave ny plantebiomasse. På den måde indgår planter, dyr og mennesker i et stort fælles biomassekredsløb. Når du læser om biomasse som energikilde, er der dog ikke tale om mennesker og levende dyr.



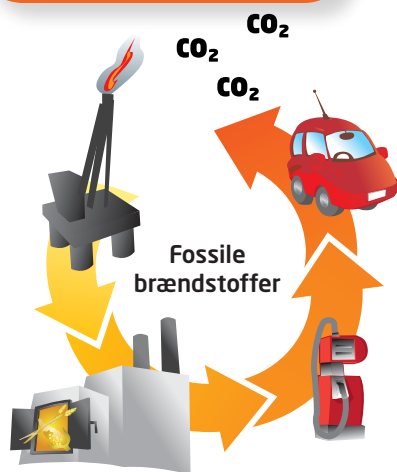
Cellulase. Bakterier fordøjer cellulose (grønt) ved hjælp af enzymet cellulase (rødt og blå). Mennesker har ikke dette enzym.

Biomasse som energikilde til samfundet

FAKTA

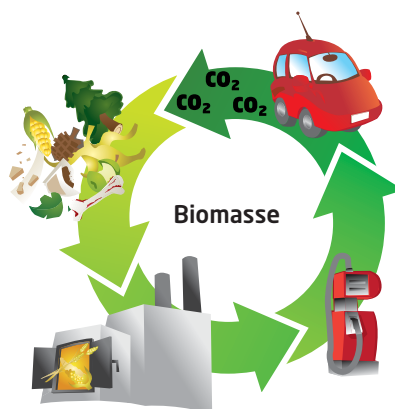
Biomasse er alt levende eller nyligt afdødt biologisk materiale.

Fossile brændstoffer er dødt biologisk materiale, der er millioner af år gammelt. De vigtigste er olie, kul og naturgas.



Vedvarende og CO₂-neutral

Som energikilde har biomasse mange fordele i forhold til fossile brændstoffer. Ud over at være vedvarende er den også CO₂-neutral. Godt nok udleder biomasse CO₂, når den bliver nedbrudt eller brændt af, men den har optaget lige så meget CO₂ fra *atmosfæren*, mens den levede og voksede.



Husk på, at biomasse bliver dannet under planternes fotosyntese, hvor CO₂ og vand laves om til glucose og oxygen. Når biomassen nedbrydes, slipper CO₂ ud igen, uanset om det er mennesket eller naturen, der nedbryder den.

Biomasse kan derfor være en god erstatning for fossile brændstoffer, men vi skal bruge den med omtanke. (Ex. 4.1)

For eksempel er biomassen kun en vedvarende energikilde, så længe der bliver plantet den samme mængde igen efter høsten. Og selvom biomasse i princippet er CO₂-neutral energi, kræver det energi og derved udledning af CO₂ at dyrke, bearbejde og transportere den rundt.

Fra hulemandens bål til kraftvarmeværker

Ilden knitrer, og stegen syder over bålet. Et nyt stykke træ bliver smidt ind i flammerne, og alle rykker tættere på for at nyde godt af varmen. Biomasse er ikke en ny energiform, og forbrænding er den ældste og simpleste måde at udnytte den på. Helt tilbage til huleboernes tid har vi brændt træ af for at lave mad og få varme, og i mange udviklingslande er træ stadig den vigtigste kilde til energi. De rige nationer har siden *industrialiseringen* været afhængige af fossile brændstoffer, men nu har de også fået øjnene op for det gammeldags brændsel.

I dag er mange danske kraftvarmeværker gået over til at brænde biomasse af for at spare på de fossile brændstoffer og udlede mindre CO₂. Typisk bruger de halm, træflis eller husholdningsaffald til at producere varme og elektricitet. I Danmark er biomasse den mest anvendte form for vedvarende energi og udgør hele 70 % af vores vedvarende energiforsyning.



Første og anden generation

Det er naturligt bedst, hvis vi laver varme, strøm og brændstoffer fra de dele af biomassen, som vi mennesker ikke kan spise. Både for at sikre, at der er mad nok til alle på Jorden, men også, fordi det er den uspiselige del, der er mest af. Strøm og varme kan vi sagtens lave, men det er langt sværere at omdanne biomassen til flydende brændstoffer.

Indtil videre har forskerne haft størst succes med at lave brændstof af spiselig biomasse, for eksempel majs og sojabønner, fordi disse består af stoffer, der er nemme at omdanne. Disse biobrændstoffer lærte vi at lave først, derfor kalder vi dem 1. generation. For at undgå at bruge fødevarer vil forskerne dog hellere lære at lave 2. generationsbiobrændstoffer, det vil sige fremstillet af den biomasse, som vi ikke spiser. Det kunne for eksempel være afpillede majscolber og kødafald. Målet

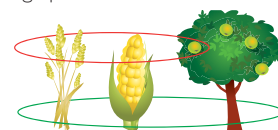
er, at biobrændstoffer af 2. generation skal erstatte noget af den olie, vi i dag bruger til at fremstille benzin, diesel og andre typer brændstoffer.

Uanset hvilken type biomasse vi benytter, skal vi dog huske på, at træer og planter også er mad og levesteder for dyr og insekter. Så selvom vi bliver bedre til at bruge den for mennesker uspiselige biomasse, skal den stadig bruges til andet end energi til samfundet. Nogle forskere vurderer, at vi kan dække 5 % af verdens energiforbrug med biomasse uden at påvirke klimaet eller fødevarerproduktionen negativt. Det kan vi gøre ved primært at dyrke biomasse på forladt landbrugsjord.

I resten af kapitlet kan du læse om nogle af de metoder, som industrien allerede i dag bruger til at omdanne biomasse til brændstof. Du kan også læse om helt nye metoder, som forskerne forsøger at udvikle.

FAKTA

Biobrændstoffer af 1. generation er lavet af biomasse, der kan spises eller forarbejdes til fødevarer (rød). Populære eksempler er sukerrør, majs og sojabønner, der er rige på sukker eller stivelse.



Biobrændstoffer af 2. generation er lavet af uspiselig biomasse (grøn) som træ, halm, madrester og slagteriaffald.

Fire fornuftige krav !

Brug af biomasse skal:

1. Erstatte en del af de fossile brændstoffer
2. Nedsætte CO₂-udledningen
3. Bevare eller fremme plante- og dyrelivet
4. Levne plads til, at vi kan dyrke nok fødevarer.

Fedt på tanken

Hug! Med en stor kødkniv og et øvet sving med hånden skærer slagteren fedtkanter, brusk og knogler fra de gode kødstykker. Mens lækre bøffer og stege havner i butikernes kølediske, ligger de usælgelige dele tilbage på landets slagterier. Normalt bliver resterne kasseret, men virksomheden Daka vil hellere end gerne have fat i de fedtede klumper. På deres fabrik syd for Horsens laver de nemlig fedtet om til biodiesel. Faktisk kan de lave både dyrefedt, friturefedt og uspiselige fiskeolier om til brændstof, og de lover, det ikke lugter af gris, når man sætter bilen i gang.

I dag laves næsten al diesel af fossile brændstoffer, men ved hjælp af nye teknologier som Dakas kan vi erstatte nogle af de fossile brændstoffer med alternative råstoffer. Forskere vurderer, at vi kan fremstille 9 % af vores nuværende forbrug af diesel i Danmark fra fiskeri- og slagteriaffald. I første omgang har EU vedtaget, at al diesel til almindelige køretøjer skal indeholde 7 % biodiesel.

Biobrændstof med naturens hjælp

FAKTA

Når bakterier og gærceller nedbryder sukker uden at bruge oxygen, kaldes det for gæring.

Planter, dyr og mennesker bruger oxygen til at nedbryde sukker. Hvad hedder denne proces?

Tip: Se side 28-29



Ved gæring omdannes en del af den kemiske energi i glucose til kemisk energi i ethanol.

FAKTA

Både danske og svenske tankstationer sælger benzin, der indeholder ethanol. I Danmark markedsføres det blandt andet som Bio95. I Sverige som E85.

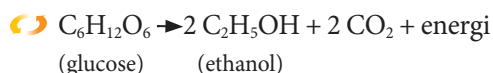
Bio95 **E85**

Brug google.dk til at undersøge, hvilken af de to typer brændstoffer der indeholder mest ethanol. Diskuter i klassen, hvornår man kan kalde benzin for grøn.



Forskerne prøver hele tiden at blive bedre til at nedbryde og omdanne biomassen, så det foregår så effektivt som muligt og med mest mulig omtanke for miljøet. I en metode tager de naturen til hjælp og lader bakterier og gærceller om det hårde arbejde.

Alle levende organismer nedbryder glucose (sukker) for at få energi. Visse bakterier og gærceller kan dog nedbryde den uden brug af oxygen. Det kaldes gæring. Som biprodukt danner de alkoholen ethanol, som indeholder en del af den kemiske energi fra glucose. (Ex. 4.2)



Gæring bruges på bryggerier til at lave ethanol, som er den alkohol, du kender fra øl og vin. Ethanol er dog også et populært biobrændstof til biler. Ved at blande ethanol i benzin kan vi spare på de fossile brændstoffer, som bliver brugt til at lave benzin.

Glucosen til at fremstille ethanol kommer ofte fra biomasse, der er rig på stivelse, som majs og kartofler. Derfor er der både brug for bakterier til at nedbryde stivelsen og til at omdanne glucosen. Begge processer sker ved hjælp af enzymer, der får de kemiske reaktioner til at forløbe hurtigere og mere effektivt.

Enzymer er et vigtigt redskab for forskerne, når de laver biomasse om til brændstof, men hidtil har forskerne kun haft enzymer til rådighed, som kan nedbryde spiselig biomasse. Det er problematisk, da vi jo også bruger denne type biomasse som mad.

Forskere fra den danske virksomhed Novozymes har derfor brugt mange år på at udvikle nye enzymer, der kan nedbryde uspiselig cellulose til ethanol. Gennembruddet i Novozymes' forskning betyder, at de nu også kan omdanne noget af den sværtnedbrydelige biomasse som strå og andet landbrugsaffald til ethanol.

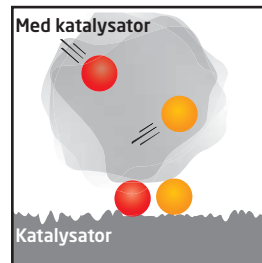
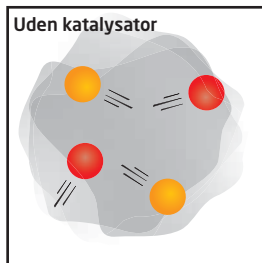
Enzymer kaldes også for biologiske *katalysatorer*. Katalysatorer virker ved at binde de molekyler, som skal reagere med hinanden, i stedet for at de farer frit rundt. Det gør det nemmere og hurtigere for molekylerne at reagere.

Der findes dog også katalysatorer, der ikke er biologiske, for eksempel metaller som kobber, guld og platin.



Gæringstanke til vinfremstilling.

De ikke-biologiske katalysatorer, eller i forskerslang 'katte', har den fordel, at de er mere robuste end enzymerne. Mange forskere prøver derfor at lave katalysatorer, der er billigere og bedre til at fremstille biobrændstoffer end enzymerne. Du kan læse mere om forskerne og deres 'katte' i de følgende afsnit.



Katalysatorer virker ved at holde de molekyler fast, som skal reagere med hinanden.

Nye 'katte' til nye brændstoffer

En gruppe forskere fra CASE-projektet på DTU arbejder på at fremstille biobrændstoffer fra 2. generations-biomasse. CASE står for Catalysis for Sustainable Energy. På dansk betyder det 'Katalyse til vedvarende energi'.

Det er ikke nogen let opgave, forskerne har kastet sig over. For eksempel er det en stor udfordring at nedbryde de meget solide cellulose- og lignin-molekyler. Bagefter skal de nedbrudte molekyler sættes sammen igen til lige præcis de molekyler, som forskerne er interesserede i, og det er heller ikke så let. Derfor leder de med lys og lygte efter katalysatorer, der kan styre de kemiske reaktioner.

Forskerne er blandt andet interesserede i at fremstille alkoholer. En af udfordringerne er at lave alkoholerne så lange som muligt, det vil sige med flest mulige carbonatomer i en kæde. Længere alkoholer indeholder nemlig mere energi per kilo, de er lettere at blande i benzin og er mindre giftige. De er derfor bedre brændstoffer end korte alkoholer.

For eksempel kan der højst blandes 10-15 % af den korte alkohol ethanol i benzin. For at blande mere ethanol i benzin kræver det, at vi bygger bilmotorerne om, og da vi har 900 millioner biler i verden, er det en stor udfordring. Længere alkoholer kan vi derimod blande i benzinen i større mængder uden at ændre bilmotoren.

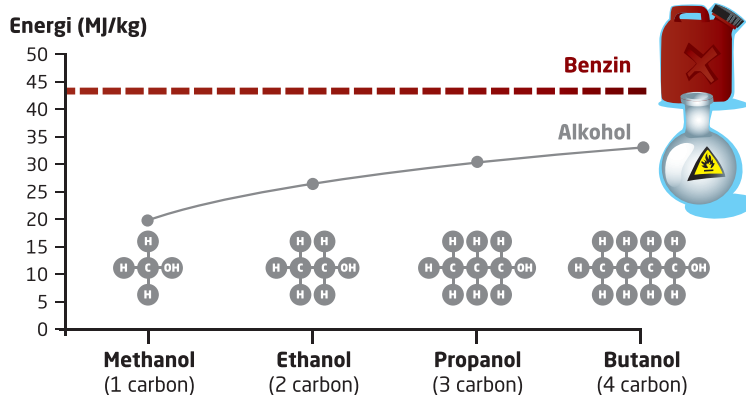
Desværre er de lange alkoholer også de sværeste at fremstille. I det følgende kan du læse om to af forskernes metoder til at fremstille biobrændstoffer.

FAKTA

En alkohol består af en carbonkæde med flere hydrogenatomer (H) og en alkoholgruppe (-OH). Alkoholer har navne, der ender på -ol.

Heptanol har formelen $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{OH}$. Prøv at tegne dens struktur, og byg den med et molekylesæt.

Tip: Hepta betyder 7



Længere alkoholer indeholder mere kemisk energi per kilo. En alkohol med en kædelængde på fire carbonatomer indeholder næsten lige så meget energi som benzin (stiplet linje). MJ betyder megajoule.



Forgasning. Træ og andet svært nedbrydeligt materiale omdannes til gasserne CO og H₂ ved høje temperaturer.



Metode 1: Varme nedbryder biomassen

CASE-forskerne arbejder med to forskellige metoder til at fremstille bio-brændstoffer. I den ene metode nedbryder de biomassen fuldstændigt til simple molekyler, som de sætter sammen igen til et brændstof. Selv den mest hårdføre biomasse kan nemlig nedbrydes, hvis bare man varmer den nok op.

Ved hjælp af temperaturer op til 1.200 °C og kontrolleret tilførsel af oxygen, luft eller vanddamp bliver selv træ og appelsinskræller til gasser. Metoden hedder forgasning, og produktet kaldes syntesegas. Det består primært af gasserne H₂ (hydrogen) og CO (carbonmonoxid). Forgasning er smart, fordi det kan nedbryde solid biomasse som træ og stængler, men til gengæld efterlader processen kun små gasmolekyler,

som forskerne må arbejde videre med. Derfra er der lang vej til de eftertragtede lange alkoholer.

For at gøre vejen kortere og hurtigere tager forskerne i CASE katalysatorer til hjælp, når de skal omdanne syntesegas til alkohol. Desværre er de katalysatorer, man kender i dag, ikke tilstrækkelig gode. Ud over at lave lange alkoholer laver de nemlig også helt korte carbonforbindelser, som forskerne ikke kan bruge i denne sammenhæng. Udbyttet af de lange alkoholer er typisk under 40 %, og derfor er de stadig alt for dyre at fremstille ved denne metode.

Forskerne er hele tiden på jagt efter nye katalysatorer, der kan bruges til at lave højere koncentrationer af de eftertragtede, lange alkoholer, så fremstillingen af brændstoffer bliver billigere og mere effektiv.

En svensk fyr i bilen

Oppe i de svenske skove står store fyrretræer side om side, sprængfyldte med kemisk energi. På en fabrik bliver træerne lavet om til papir, men fremstillingen efterlader en sort, tyktflydende væske. Restproduktet kaldes for sortlud og er en blanding af lignin og hemicellulose, og det indeholder stadig over halvdelen af den oprindelige kemiske energi fra fyrretræerne.

Et nyt dansk-svensk projekt med katalysefirmaet Haldor Topsøe og ledet af bilfirmaet Volvo går ud på at lave væsken om til brændstof. I projektet bliver sortluden forgasset, og syntesegassen omdannes til et brændstof ved hjælp af katalysatorer eller 'katte'. Brændstoffet hedder dimethylether (DME) og kan bruges i dieselmotorer. Forskning i forgasning og katalysatorer fører altså til nye brændstoffer, og i fremtiden kan vi måske erstatte hele vores diesel- og benzinforbrug med miljøvenlige brændstoffer.





Se også filmen
'Affald på tanken'.

Metode 2: Salte nedbryder biomassen

I den anden metode, som forskerne i CASE arbejder med, nedbryder de kun biomassen delvist. Det kræver nemlig en masse energi at forgasse biomasse på grund af de høje tryk og temperaturer i processen. Ved kun at nedbryde biomassen delvist sparer de på energiforbruget.

I mange år har der ikke været andre alternativer til forgasning end at bruge ineffektive enzymer eller giftige opløsningsmidler til at nedbryde eksempelvis cellulose. Men i det seneste årti har forskerne fået øje på en gruppe opløsningsmidler, som de håber kan være et grønt alternativ til forgasning og de giftige kemikalier.

De alternative opløsningsmidler er faktisk salte, men i modsætning til traditionelle salte smelter de ved meget lavere temperaturer. Mens almindeligt bordsalt for eksempel først smelter ved 800 °C, smelter de salte, som forskerne i CASE benytter, generelt under 100 °C og ofte allerede ved stuetemperatur. Derfor kaldes de for ioniske væsker.

Fordelene ved ioniske væsker er mange, blandt andet er de ofte mindre miljø- og sundhedsfarlige og også bedre end organiske opløsningsmidler til at opløse cellulose og andre biologiske molekyler.

Til gengæld er det svært at adskille den ioniske væske fra de nedbrudte dele af biomassen, som forskerne jo skal bruge til at lave nye brændstoffer. Derfor er udfordringen for forskerne at udvikle katalysatorer, der kan samle de opløste dele til brændstof nede i selve væsken. Sådanne katalysatorer findes nemlig ikke i dag.

Som du har læst om i de foregående afsnit, forsøger forskerne altså at udvikle bedre metoder til at fremstille biobrændstoffer af 2. generation. Nye metoder afhænger dog især af, at forskerne udvikler katalysatorer til at styre de kemiske reaktioner. Både til nedbrydningen af biomassen og til fremstillingen af brændstoffer som alkohol og DME. Biobrændstofferne skal erstatte noget af den benzin og diesel, som transportsektoren er afhængig af, og som i dag bliver fremstillet af olie.



Ionisk væske. Træspåner (øverst) bliver opløst i en ionisk væske ved opvarmning til 100 °C. Billederne viser reaktionen efter 1 time (midten) og efter 5 timer (nederst).

En svær cocktail



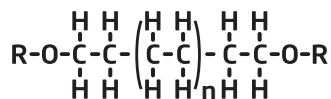
Biomasse er fuld af carbon

Læs mere i kapitel 2 om forskernes forsøg på at bruge carbon fra CO₂.

Biomasse er ikke kun vigtig som alternativ energikilde. Den bliver også en vigtig kilde til carbon, når vi en dag løber tør for fossile brændstoffer. Olie, kul og naturgas indeholder store mængder carbon, der bliver brugt til at fremstille en lang række af de materialer, som vi omgiver os med til hverdag. Carbon indgår nemlig i alt lige fra plastik og computere til rengøringsmidler, makeup og medicin. Ligesom vores samfund i dag er afhængig af fossile brændstoffer som energikilde, er vi altså også afhængige af dem som carbonkilde. Forskellen er dog, at mens vi

har flere gode alternative energikilder, har vi kun få andre carbonkilder. Biomasse er en af dem. (Ex. 4.3)

Hver eneste dag bliver der dannet næsten en halv milliard ton ny biomasse på Jorden. Fossile brændstoffer er derimod millioner af år om at blive dannet, og med den fart, vi bruger dem, forudser forskerne, at vi løber tør for olie og kul inden for få hundrede år. Derefter vil biomassen være en af de eneste carbonkilder, vi har tilbage til at lave alle de materialer, som vi er så afhængige af.



Polyethen (PE) er en af de vigtigste typer plastik. PE består af kæder med hundredetusinder af atomer af carbon og hydrogen. n betyder, at C₂H₄-gruppen i parenteser gentages mange gange. R betyder en kemisk gruppe, eksempelvis CH₃.



Katalyse baner vejen for miljøvenlig plastik

Så snart vi har gode katalysatorer til at omdanne biomasse, åbner mulighederne sig for at lave meget andet end brændstof. Med de rette katalysatorer kan vi for eksempel lave plastik af biomasse i stedet for af olie.

Plastik fra biomasse har dog svært ved at konkurrere med plastik lavet af olie, fordi den første er meget dyrere at fremstille. Det vil dog ikke vare ved. En dag løber vi tør for fossile brændstoffer,

og så bliver vi tvunget til at hente den nødvendige carbon fra alternative råstoffer som biomasse. Derfor er fremskridt inden for udviklingen af oliefrig plastik vigtige allerede nu, og forskerne arbejder hårdt på at fremstille billigere miljøvenlig plastik. (Ex. 4.4)

Plastik fra biomasse kan fremstilles på flere måder. I en af metoderne er den vigtigste ingrediens mælkesyre (CH₃CH(OH)COOH). Som navnet



Plastik fremstilles normalt af olie. Det globale forbrug af plastik er 250 millioner tons om året.

antyder, findes mælkesyre blandt andet i mælk, hvor den bliver dannet af visse bakteriers enzymer. Mælkesyren er et biprodukt, når bakterierne nedbryder glucose for at få energi. Reaktionen foregår uden oxygen og er derfor en gæringsproces, men faktisk er det ikke en særlig effektiv måde for bakterierne at få energi på. Størstedelen af den kemiske energi i glucosen ligger nemlig tilbage i mælkesyren.

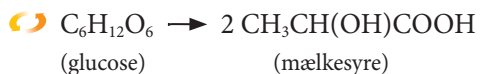
Forskerne benytter sig i dag af enzymerne, når de vil fremstille mælkesyre til bionedbrydelig plastik. Desværre er det en meget dyr proces, men som i mange andre tilfælde kan produktionen forbedres af katalysatorer. 'Kattene' er ofte billigere og mere effektive end enzymer, to faktorer, der er nødvendige, for at biomassen kan konkurrere med olien i fremstillingen af plastik.



FAKTA



Mælkesyregæring er én type gæring. Hvilken anden gæringsproces har du læst om i dette kapitel?



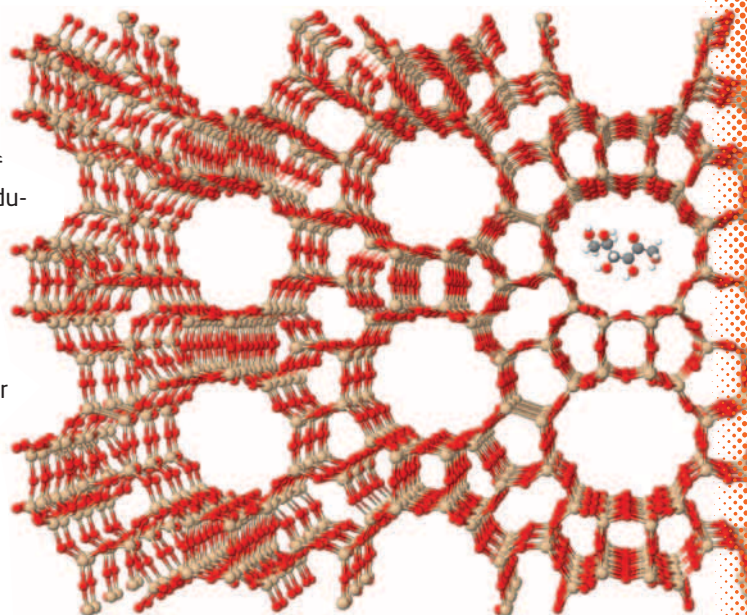
Bakterier omdanner størstedelen af den kemiske energi i glucose til kemisk energi i mælkesyre.

Danmark i front: Mælkesyre fra sukkersvampe

Det ligner lidt en mikroskopisk badesvamp. Sådan en med en masse huller, som vandet siver ind igennem. I stedet for vand suger svampen dog glucose til sig. Sukkersvampen er faktisk en katalysator, der ligesom bakterier omdanner glucose til mælkesyre. Men katalysatoren er mere end bare en kopi af bakterierne. Katalysatoren kan også tåle den syre, den selv producerer, en praktisk egenskab, der mangler hos bakterierne. De dør, når der kommer for meget mælkesyre.

Katalysatoren er et gennembrud for forskere på DTU og hos den danske katalysatorproducent Haldor Topsøe. Som de første i verden er det lykkedes dem at lave den nye katalysator ved at bygge grundstofferne titan, tin og zirconium sammen i et særligt gitter.

På den måde kan de omdanne sukker til mælkesyre i ét trin. Katalysatoren findes stadig kun i laboratoriet, men den har potentiale til at blive en hjørnesten i fremtidens produktion af miljøvenlig plastik.



Forskerens udfordring: Til bords med misforståelser og mirakelkure

Andreas fortæller:

- Alt for mange mennesker hører om eller læser i medierne, at der er fundet en mirakelkur mod vores energiproblemer. Det er der ikke, så jeg prøver at nuancere folks holdninger.

Andreas sætter sig ved det nydeligt dækkede frokostbord. Der er dækket stort op, for hele familien er samlet.

- Hvad er det nu, du beskæftiger dig med unge mand? hører Andreas sin onkel spørge, mens rugbrødet bliver sendt rundt. Andreas snupper en mundfuld karrysild og fortæller, at han er ph.d.-studerende på DTU. Her forsker han i at lave biomasse om til brændstof. Det er vigtigt, fordi vi på et tidspunkt løber tør for den olie, som vi i dag bruger til at lave benzin og diesel.

- Biobrændstof ..., udbryder onklen irriteret. – Er det ikke spild at lave mad om til brændstof? Det ender med at tage brødet ud af munden på os! Han slår en bøvs og vifter vredt med en skive franskbrød, så krummerne flyver omkring ham.

Andreas beroliger sin onkel:

- Faktisk går min forskning ud på at lave biobrændstoffer af de ting, vi ikke kan spise; køkken- og landbrugsaffald og sådan noget.

- Høhø, klukker onklen nu i bedre

humør. - Siger du, at min Toyota skal til at køre på appelsinskræller? Andreas nikker og snupper en slurk sodavand.



- Det forstår jeg ikke, bryder Andreas' tante ind. - Jeg har da set i fjernsynet, at vi bare kan køre i elbiler? Før Andreas når at svare, blander hans kusine sig i samtalen. Hun har læst på internettet, at brintbiler er fremtiden

og løsningen på alle vores problemer. Det er ikke første gang, Andreas møder folk, der har hørt i medierne, at der er fundet en mirakelkur til verdens energiproblemer. Det er lidt af en udfordring at forklare, at det ikke er så simpelt.

- Måske bliver det løsningen en dag, forklarer Andreas. - Men el- og brintbiler kan ikke alene løse problemerne, sådan som verden ser ud lige nu. Vi har brug for rigtig meget brændstof, både til skibe, lastbiler og fly, og det skal være nemt at transportere rundt. Han griber efter leverpostejnen og fortsætter:

- Derfor har vi brug for mange forskellige teknologier.

I samme øjeblik skinger mostestens stemme igennem selskabet. Hun spørger, om der ikke er nogle, der kan spise lidt mere, ellers går maden bare til spilde.

- Næ, det gør den ikke, griner onklen. - For Andreas har en god fidus. Han vil have, vi skal til at køre på køkkenskrald! Lad os skåle og ønske ham held og lykke med sin forskning!

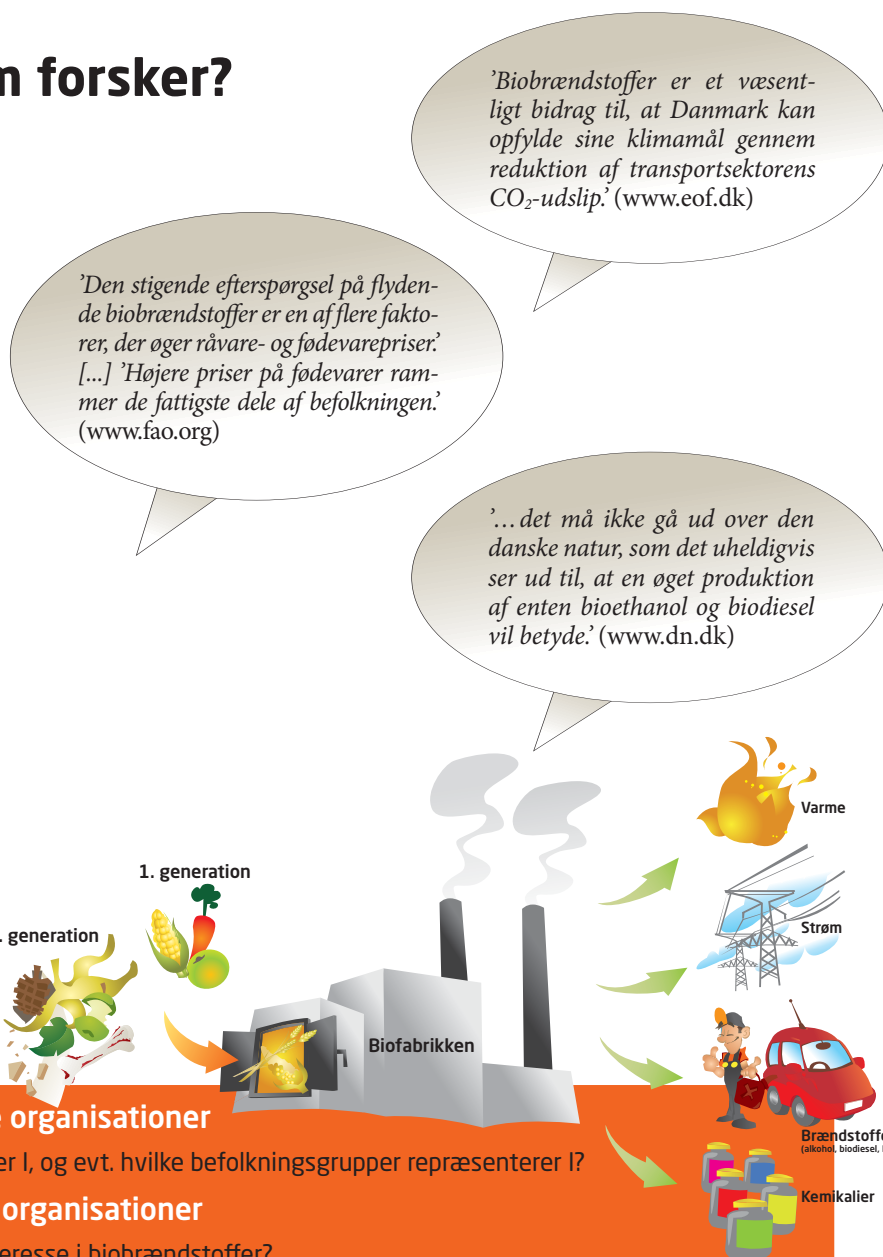
Andreas Kunov-Kruse er med sine 25 år en af de yngste forskere i CASE-projektet på DTU. Her forsker han i at nedbryde biomasse ved hjælp af ioniske væsker og udvikle katalysatorer, der kan lave biomassen om til brændstof. Som forsker synes han, det er vigtigt at få folk til at forstå, at verden har brug for mange forskellige løsninger, hvis vi vil have energi nok i fremtiden.

Kan du arbejde som forsker?

Nogle gange er der uenigheder i befolkningen om, hvordan og hvor meget man bør benytte nye teknologier, for eksempel biobrændstoffer. En forsker må tit tage stilling til sådanne dilemmaer og overvejelser.

Start med at inddele klassen i fire grupper. Tre af grupperne skal repræsentere organisationer med forskellige interesser i biobrændstoffer. Til højre ses tre citater fra de forskellige organisationer. Vælg et citat i gruppen, og undersøg, hvem hjemmesiden tilhører, og hvad organisationens formål er. Den fjerde gruppe er forskere. I skal ved hjælp af bogens kapitel kommentere på de tre organisationers udtalelser.

Forestil jer, at organisationerne er kaldt sammen for at planlægge Danmarks fremtidige brug af biobrændstoffer. Lav en paneldebat, hvor hver gruppe har forberedt en præsentation. Gruppen kan dele præsentationen imellem sig.



Runde 1: Præsentation af de tre organisationer

A. Hvem er I, hvilke interesser varetager I, og evt. hvilke befolkningsgrupper repræsenterer I?

Runde 2: Debatoplæg fra de tre organisationer

- A. Hvorfor har I en holdning til eller interesse i biobrændstoffer?
B. Hvad er jeres holdning? (fremlæg citatet med jeres egne ord).

Runde 3: Kommentarer fra forskerne

- A. Synes I, organisationerne har ret i deres udtalelser?
Forbered jer med afsnittet: Biomasse som energikilde til samfundet.
B. Hvilke nye forskningsmetoder inden for biobrændstoffer kan I oplyse organisationerne om?
Forbered jer med afsnittet: Nye 'katte' til nye brændstoffer.

Runde 4: Diskussion og overvejelser

- A. Kan I nå til enighed om Danmarks fremtidige brug af biobrændstoffer?
B. Har det haft betydning for debatten, om I diskuterede biobrændstoffer af 1. eller 2. generation?

Fra sort til grøn energi

Vores moderne samfund er dybt afhængigt af energi og carbon. Indtil nu har vi skaffet begge dele fra fossile brændstoffer, men det kan ikke vare ved. I en ikke så fjern fremtid løber vi tør for olie og kul. Derfor er vi nødt til at se os om efter alternative energi- og carbonkilder.

Et oplagt alternativ er biomasse, der ligesom de fossile brændstoffer indeholder masser af både carbon og kemisk energi. Samtidig har biomasse den fordel, at den er vedvarende og CO₂-neutral, hvis vi udnytter den rigtigt. Derfor er biomasse et godt, grønt alternativ både som energikilde og til at lave de materialer, der i dag bliver fremstillet af olie eller kul, eksempelvis plastik og kemikalier.

I dette kapitel har du læst om forskernes metoder til at omdanne biomasse til brændstof og carbonholdige materialer.

I dag er enzymer en populær metode, men den har sine begrænsninger. De enzymer, som bliver brugt, er nemlig skrøbelige og har svært ved at nedbryde den cellulosefyldte biomasse.

I stedet forsøger nogle forskere at erstatte enzymerne med mere robuste ikke-biologiske katalysatorer. Målet er at udvikle katalysatorer, som både kan nedbryde de mange restprodukter fra vores landbrug og slagterier og styre de kemiske reaktioner præcist mod fremstillingen af det produkt, som forskerne ønsker. Produkterne kan for eksempel være alkoholer som propanol og butanol, der består af lange, energirige carbonkæder. De er derfor gode som brændstoffer i vores biler og lastbiler.

Hvis det lykkes forskerne at udvikle de rette katalysatorer, kan vi erstatte en stor del af vores forbrug af olie med alt lige fra madrester til haveaffald. Samtidig kan vi nedsætte udledningen af CO₂.

Bliver du måske en af de forskere, der giver verden et nyt syn på kartoffelskræller, fedtrester og visne blade?



Det ved du nu

- Biomasse er alt levende eller nylig afdødt biologisk materiale.
- Planterne fremstiller biomasse i fotosyntesen.
- Sukker og stivelse er molekyler, der er nemme at nedbryde, mens cellulose og lignin er svære at nedbryde.
- Biomasse er en CO₂-neutral og vedvarende energikilde.
- Biobrændstoffer er brændstoffer, der er fremstillet af biomasse.
- Ethanol og biodiesel er eksempler på biobrændstoffer.
- Gær og bakterier hjælper forskerne med at fremstille ethanol.
- Forgasning eller opløsning i ioniske væsker nedbryder al slags biomasse.
- Forskerne leder efter katalysatorer, der kan samle den nedbrudte biomasse til nye produkter.
- De rette katalysatorer vil gøre det nemmere og billigere at fremstille biobrændstoffer og plastik af biomasse.



Test dig selv

- * Nævn tre eksempler på biomasse.
- * Hvilke typer biomasse bruger danske kraftvarmeværker?
- * Skriv en reaktion, der er et eksempel på en gæringsproces.
- * Hvad kendetegner en alkohol?
- * Hvad er den vigtigste ingrediens i plastik af biomasse?
- ** Hvilken energiform bliver solenergi omdannet til i planternes fotosyntese?
- ** Nævn to eksempler på, hvordan mennesker kan udnytte biomasse.
- ** Forklar forskellen på biomasse af 1. og 2. generation.
- ** Hvad er problemet med den benzin og diesel, vi i dag bruger som brændstof?
- ** Hvilket grundstof er vi særligt afhængige af for at fremstille mange af vores hverdagsprodukter?
- *** Giv et eksempel på, hvordan enzymer hjælper forskerne.
- *** Nævn nogle fordele ved ikke-biologiske katalysatorer i forhold til enzymer?
- *** Hvorfor er lange alkoholer bedre som brændstof end korte alkoholer?
- *** Hvad bliver biomasse nedbrudt til, når man forgasser den?
- *** Nævn nogle fordele ved ioniske væsker i forhold til traditionelle opløsningsmidler.

