

Affald på tanken



CASE's tredje forskningsområde handler om at omdanne biomasse til brændstoffer. Metoden er endnu en vej til indirekte at udnytte solenergi og lagre den på kemisk form. Biomasse er imidlertid ikke kun en energikilde, men også vores fødegrundlag. Når det handler om energi, skal vi blive bedre til at udnytte den uspiselige del af biomassen. Derfor er forskningen i CASE inden for biobrændstoffer koncentreret omkring udnyttelse af uspiselig biomasse som planterester fra marken og levninger fra husholdningen. Med det håber

forskerne at gøre det lettere at erstatte fossile brændstoffer og i stedet hælde affald på tanken.

Kapitlet indledes med fotosyntesen, som er kilden til al biomasse. Hvor fotosyntesen i kapitel 3 blev gennemgået med fokus på planternes udnyttelse af solenergien, fokuserer vi i dette kapitel på de vigtigste molekyler, som planterne danner. Når det drejer sig om at bruge biomasse som energikilde, kan de centrale molekyler indeles i letnedbrydelige og sværtnedbrydelige molekyler, der

anvendes til henholdsvis 1. og 2. generations-biobrændstoffer. Der bliver gennemgået flere metoder til at fremstille biobrændstoffer, og eleverne bliver dermed introduceret for både de enzymatiske nedbrydnings- og gæringsprocesser, man primært bruger i dag, og de katalytiske reaktioner, der i højere grad kan blive en del af fremtidens produktion.

En introduktion til enzymer vil være en fordel, inden eleverne arbejder med kapitlet. Alternativt kan eleverne finde en grundlæggende forklaring på, hvad et enzym er, i ordlisten bagerst i bogen. Ligesom for de andre kapitler vil en generel viden om energiproblematikken, som den bliver gennemgået i kapitel 1 og 2, desuden give eleverne en større forståelse for betydningen af biomasse som energikilde.

Følgende emner behandles:

- ☛ **Fotosyntese og planters kemiske bestanddele**
- ☛ **Forskellen på biomasse og fossile brændstoffer**
- ☛ **Begreberne vedvarende energi og CO₂-neutral energi**
- ☛ **Letnedbrydelig og sværtnedbrydelig biomasse**
- ☛ **Biobrændstoffer af første og anden generation**
- ☛ **Enzymatisk produktion af bioethanol ved alkoholgæring**
- ☛ **Forskning i katalytisk nedbrydning af biomasse og fremstilling af biobrændstoffer af anden generation**
- ☛ **Plastik fremstillet af biomasse i stedet for af olie**

Gode råd og mere viden

Biomasse begynder med planterne Biomasse giver energi til kroppen

Formålet med disse afsnit er ikke blot at introducere eleverne til fotosyntesen, men også til de forskellige molekyler, planter består af. Det er vigtigt for elevernes udbytte af resten af kapitlet, at de forstår, at al biomasse indeholder kemisk energi, men at det findes i forskellige kemiske forbindelser. Molekyler som sukkerstoffer og stivelse kan vi nedbryde i kroppen, mens molekyler som cellulose og lignin er ufordøjelige. Dette er vigtigt, både for at forstå problematikken omkring fødevarer versus biobrændstoffer og forskellen på 1. og 2. generations-biobrændstoffer, som behandles senere i kapitlet.

Inden der tages hul på kapitlet, kan det være en god øvelse at lade eleverne lave en liste over alt det, de mener, er biomasse. Efter arbejdet med kapitlet kan eleverne gentage øvelsen og sammenligne deres nye liste med den oprindelige. Det er nok de færreste elever, der er klar over, at biomasse både omfatter deres madpakke, madaffald, kæledyr og deres egen krop. Den endelige liste kan udbygges ved at understrege de former for biomasse, der er relevante som energikilder (det vil sige mennesker og levende dyr undtaget). Listen kan desuden opdeles i spiselig og ikke-spiselig biomasse.

For uddybende information om fotosyntesen og planternes forskellige

farvepigmenter se lærervejledningens afsnit 'Planternes opskrift på brændstof', side 24.

Biomasse som energikilde til samfundet

Når der står i elevbogen, at biomasse som energikilde i princippet er CO₂-neutral, skal det forstås ud fra den betragtning, at biomassen indbygger samme mængde CO₂ fra atmosfæren gennem fotosyntesen, som den udleder ved afbrænding eller naturlig nedbrydning. Men hvis forbrændingen af biomasse ikke modsvares af væksten af ny biomasse, er forbruget naturligvis ikke CO₂-neutralt på langt sigt og påvirker derfor Jordens carbonbalance.

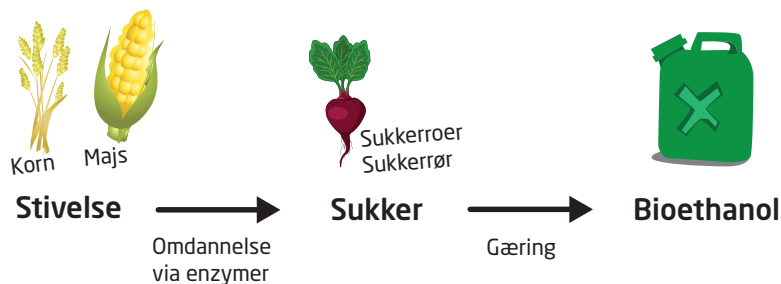
International Energy Agency (IEA) vurderer, at biomasse og affald dækker ca. 10 % af verdens energiforbrug (2008). I dag er 2,5 milliarder mennesker afhængige af biomasse som træ og planterester for at dække deres mest basale behov for opvarming og madlavning. Forbruget er dog hverken effektivt eller fuldt ud bæredygtigt, da ikke al biomassen bliver genplantet. I gennemsnit er effektiviteten vurderet til 5-20 % i husholdninger i udviklingslande, mens de industrialiserede lande udnytter biomasse med en effektivitet på 65-80 %. Derudover er forurennet indendørsluft en uheldig følgevirkning af biomasseforbrændingen i udviklingslandene. IEA vurderer, at 1,3 millioner mennesker, primært kvinder og børn, dør hvert år som følge af dette.

Fra afsnittet om fotosyntesen ved eleverne, at biomasse indeholder kemisk energi. Den energi udnytter vi for eksempel i kroppen ved at forbrænde mad eller på kraftvarmeværker, når vi brænder biomassen af. Den kemiske energi er dog ikke umiddelbart tilgængelig i en form, vi kan udnytte til brændstoffer i transportsektoren. For at bruge biomasse som brændstof skal de kemiske forbindelser først omdannes til en form, der kan forbrændes i en bilmotor.

Kun omkring 2 % af verdens biomasseforbrug går til produktionen af biobrændstoffer, men produktionen er stigende. Her er det vigtigt at gøre sig klart, at begrebet CO₂-neutral kun dækker over biomassens vækst og endelige afbrænding. Både produktion, forarbejdning og transport af biomassen sker ofte ved hjælp af fossil energi. Det påvirker det overordnede CO₂-regnskab i negativ retning. CO₂-udledningen fra den fulde cyklus i produktionen af biobrændstoffer varierer meget. Ifølge USA's energiministerium (2008) resulterer bioethanol fremstillet af majs i en ca. 20 % reduktion af drivhusgasser i forhold til benzin. En reduktion på hele 86 % kan derimod opnås med ethanol fremstillet af celluloseholdigt materiale og ved brug af biomassebiprodukter som energikilde.

Biobrændstof med naturens hjælp

Produktionen af biobrændstoffer varierer meget fra land til land. USA



Fremstilling af 1. generations-bioethanol med eksempler på fødevarer, der bruges som råstof.

og Brasilien står sammenlagt for 87 % af produktionen af ethanol til brændstof (2009), men de to lande bruger dog forskellige afgrøder. Brasilien fremstiller ethanol af sukkerrør, mens USA primært benytter majs. Sukkerrørene kræver tropiske eller subtropiske betingelser for at gro. Til gengæld er sukkeret frit tilgængeligt og blot en gæringsproces væk fra ethanol. Ved brug af råvarer som majs, korn og kartofler derimod skal stivelse først frigives og konverteres til sukker ved hjælp af enzymatiske processer. I begge tilfælde er der tale om 1. generations-biobrændstoffer, det vil sige brændstoffer baseret på spiselige afgrøder. Spiselige afgrøder er nemmest at benytte, fordi enzymer let kan spalte de kemiske bindinger i stivelse og frigøre de enkelte glucosemolekyler. I celluloseholdig biomasse derimod er de kemiske bindinger mellem glucosemolekylerne sværere at bryde, og desuden er glucosekæderne bundet stærkt til hinanden ved hjælp af hydrogenbindinger.

1. generations-biobrændstoffer har været genstand for både politisk og folkelig debat. Bekymringerne gælder især brugen af landområder til dyrkning af afgrøder til brændstoffer i stedet for til fødevarer. Dertil

kommer stigende fødevarerpriser og afskovning af regnskove. Problemstillingen kan gøres tydelig for eleverne ved at lade dem regne på, hvor mange mennesker man kan brødføde med den mængde majs, USA bruger til bioethanol. Majs indeholder omkring 4.500 kJ/kg, og USA producerede ca. 107 millioner ton majs til ethanol i 2009. En danskers daglige energiforbrug er omkring 10.000 kJ. Majsproduktionen kan altså brødføde ca. 130 millioner mennesker i et år. Eksemplet giver naturligvis et forenklet billede af problemstillingen, da fødevarerproduktion og verdens madfordeling er mere kompliceret end som så.

Vender vi blikket mod biodiesel, er det EU, som er førende på området med 75 % af verdens samlede produktion. Biodiesel består af estere af langkædede fedtsyrer og er fri for svovl i modsætning til almindelig diesel. Brændstoffet fremstilles ved en katalytisk reaktion mellem alkohol og vegetabilsk olie eller animalsk fedt. Ofte er alkoholen methanol, da den er billigst at fremstille, hvorfor

man kalder biodieselen for en methylester. Som olie-/fedtkilde bruges rapsolie (RME), palmeolie (PME) eller fedtsyrer (FME), der blandt andet udvindes fra dyrefedt. Afsnittet 'Fedt på tanken' fremhæver det danske firma Daka, der netop bruger dyrerester som fedtkilde. Læs mere på www.daka.dk. Methylesterne skal ikke forveksles med DME, der står for dimethylether (CH_3OCH_3), og som nævnes senere i kapitlet under afsnittet om forgasning af sortlud. DME kan ikke som methylesterne blandes i konventionel diesel. Til gengæld er det relativt simpelt at ændre dieselmotorer til at køre på ren DME.

I fremtiden vil alger måske spille en større rolle i produktionen af biodiesel, da fedtstof kan udvindes herfra. Algeproduktion er på mange måder fordelagtigt, da den ikke konkurrerer med fødevarer om landbrugsjord og samtidig kan bruges til at rense forurennet vand for næringsstoffer. På Lolland i Onsevig Klimapark dyrker man alger i forsøgsbassiner både for at producere biodiesel, rense dræn- og overfladevand fra landbruget og beskytte området med diger. Læs mere på www.lolland.dk eller www.onsevighavn.dk/onsevig-klimapark.dk.

Nye 'katte' til nye brændstoffer

De stærke kemiske bindinger i celluloseholdigt biomasse stiller store udfordringer til fremstillingen af 2. generations-biobrændstoffer. Flere



virksomheder, heriblandt danske Novozymes, har udviklet enzymer til at nedbryde cellulose, men den biologiske nedbrydningsmetode er dyr. Desuden kræver biomassen en aggressiv forbehandling typisk ved hjælp af syre for at muliggøre de enzymatiske processer. CASE arbejder i stedet på at fremstille biobrændstoffer ved hjælp af ikke-biologiske processer og katalysatorer.

Den første metode, der behandles i elevbogen, er forgasning. Det er en proces til at nedbryde biomasse til gasser, primært hydrogen (H_2) og carbonmonoxid (CO) (tilsammen kaldt syngas). Forgasningen sker ved hjælp af varme og kontrolleret tilførsel af oxygen og vanddamp. Fordelen ved metoden er, at den kan nedbryde alle typer biomasse. Til gengæld er processen meget energikrævende, og de katalysatorer, man har i dag, er ikke tilstrækkelig gode til at styre dannelsen af lange alkoholer. Længere alkoholer er fordelagtige, fordi de indeholder mere energi per kilo, er lettere at blande i benzin og er mindre giftige end korte alkoholer som methanol. Forskerne i CASE forsøger derfor dels at udvikle nye katalysatorer, dels at bygge videre på de korte alkoholer ved at blande dem med syngas, så molekylerne kombinerer til længere alkoholer. For eksempel har forskerne haft succes med at tilsætte ethanol til syngassen og derved øge produktionen af 1-butanol ($CH_3(CH_2)_3OH$) i de katalytiske processer.

Den anden metode, der beskrives i elevbogen, er opløsning af celluloseholdigt biomasse ved hjælp af

ioniske væsker. Det er en nyere og mindre energikrævende metode end forgasning. Ioniske væsker er defineret som salte med smeltepunkter under $100\text{ }^\circ\text{C}$. I modsætning til for eksempel bordsalt, der først smelter omkring $800\text{ }^\circ\text{C}$, kan ioniske væsker være på væskeform fra stuetemperatur og helt op til $300\text{--}400\text{ }^\circ\text{C}$. Væskerne har været kendt siden starten af 1900-tallet, men det er den nyere generation udviklet fra 1990'erne, der har tiltrukket sig opmærksomhed. Det skyldes, at de nye ioniske væsker er mere stabile i vand, og det gør det muligt at benytte væskerne til katalyse og organisk syntese. Væskerne har også gode opløsningssegenskaber og kan nedbryde celluloseholdig biomasse. Det er dog besværligt at oprense den dannede glucose fra væsken og derfor ikke muligt efterfølgende at gære glucosen til alkohol. I stedet satser CASE på at fremstille andre brændstoffer som dimethylfuran (DMF) ved hjælp af reaktioner direkte i den ioniske væske. Da DMF er uopløselig, skiller den ud i et separat lag, der let kan aftappes. DMF har gode egenskaber som biobenzin og bedre blandbarhed end ethanol. Læs mere om CASE's forskning i 2. generations-biobrændstoffer på www.case.dk.

Biomasse er fuld af carbon Katalyse baner vejen for miljøvenlig plastik

Biomasse bliver ofte nævnt som energikilde, men de færreste tænker over, at biomasse også er et alternativt råstof til de mange carbonholdige varer, vi er afhængige af i vores moderne forbrugssamfund. Alt fra plastik og medicin til konserveringsmidler og

billigt kunststof er afhængige af den kemiske industri, og 95 % af alle organiske kemikalier fremstilles i dag af carbon fra olie og naturgas. Oftest benyttes olie, fordi den enorme produktion af oliebasebrændstoffer gør det muligt at fremstille kemikalier direkte på olieraffinaderierne. Det gælder blandt andet for de fire mest producerede kemikalier ethen, propen, benzen og xylen. Kemikalierne ender primært som polymerer i plastik. I dag er det globale forbrug af plastik på omkring 250 millioner ton, og i Europa bruger hver indbygger omkring 100 kg plastik om året.

I bogens afsnit om miljøvenlig plastik untlades betegnelsen bioplastik, selvom det er populært i daglig tale. Det skyldes, at ordet bioplastik ikke er officielt defineret. Bioplastik omfatter både plastik fremstillet af biomasse, der ikke er bionedbrydelig, og bionedbrydelig plastik fremstillet



Plastikforbruget i Europa forventes at stige. I dag er det på 100 kg om året per indbygger.

af olie, gas eller en blanding af disse og biomasse. Endelig findes der plastik, der er fremstillet af biomasse og samtidig er bionedbrydelig. Det gælder blandt andet for plastikken PLA, der fremstilles af mælkesyre som beskrevet i elevbogen. Med en nyudviklet katalysator fra Haldor Topsøe, der omdanner sukkerstoffer til mælkesyre i ét trin, er vejen samtidig banet for en mere effektiv og billigere produktion af PLA end ved brug af enzymer. Katalysatoren er en såkaldt zeolit, som er et krystallinsk materiale, der er særligt porøst. De

mange små porer giver katalysatoren en meget stor overflade, hvor molekyler kan diffundere ind, reagere og komme ud igen. Zeolitten bruges pudsigt nok også til at omdanne olie til benzin, men ved at ændre på den har Haldor Topsøe altså skabt en mælkesyrekatalysator. Firmaet har blandt andet udskiftet nogle af zeolittens traditionelle metaller med titan, zirconium og tin.

Klasseopgaven

I denne opgave skal eleverne repræsentere forskere eller organisationer,

der har en interesse i eller holdning til biobrændstoffer. Eleverne skal forberede oplæg til de planlagte run-der, som er defineret i opgaven. Det kan være en udfordring for eleverne at forstå, at de skal repræsentere en organisations holdning frem for deres egen, så opgaven kan med fordel præsenteres som et rollespil for at øge elevernes indlevelse i rollerne. Som en hjælp til eleverne kan man vælge at kopiere og uddele de bearbejdede rollekort, som findes i eksperiment-hæftet side 80.

Svar på opgaver

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

Svar: Processen hedder respiration. Som hjælp henvises eleven til carbonkredsløbet i kapitel 2. Opgaven kan efterfølges af en snak om, hvorfor oxygen er nødvendigt for livet på Jorden, og hvilken reaktion i naturen der danner oxygen (fotosyntese).

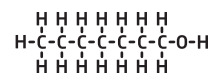
? Både danske og svenske tankstationer sælger benzin, der indeholder ethanol. I Danmark markedsføres det blandt andet som Bio95. I Sverige som E85. Brug google.dk til at undersøge, hvilken af de to typer brændstoffer der indeholder mest ethanol.

Diskuter i klassen, hvornår man kan kalde benzin for grøn.

Svar: Det danske brændstof Bio95 er benzin iblandet 5 % ethanol, mens det svenske brændstof E85 overraskende nok er benzin iblandet 85 % ethanol. Derved markedsføres de to produkter ganske forskelligt. Brug opgaven til klassedebat om, hvordan man som forbruger skal forholde sig til markedsføringen. Statoil markedsførte oprindeligt Bio95 med et logo, der indeholdt en blomst, men forbrugerombudsmanden betragtede dette som 'greenwashing', hvorpå Statoil trak blomsten ud af logoet. Det kan bruges som startskud til en debat om, hvor høj eller hvor lav eleverne synes, koncentrationen af ethanol bør være, før man kan kalde et brændstof for 'grønt' eller miljøvenligt eller tillade sig at markedsføre det med en blomst.

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

Svar: Heptanol tegnes som vist. Forbindelsen kaldes heptanol-1, da OH-gruppen sidder på det første carbonatom.



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

Svar: Kapitlet gennemgår ethanol-gæring (også kaldt alkoholgæring) på side 76 i forbindelse med bakteriers nedbrydning af glucose til ethanol og CO_2 .

Eksperimenter

Følgende eksperimenter er udarbejdet til at supplere kapitlets emner.

I eksperimentsamlingen findes både en vejledning til eleverne og til lærerne.

