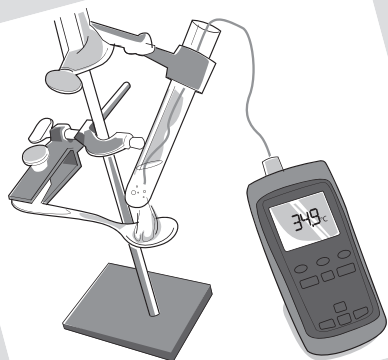
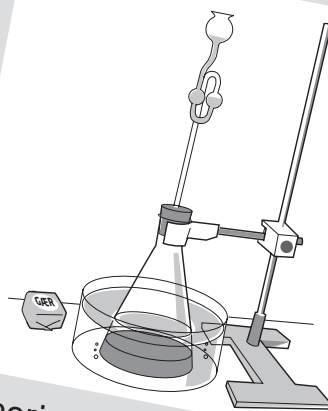


# Kapitel 4: Affald på tanken



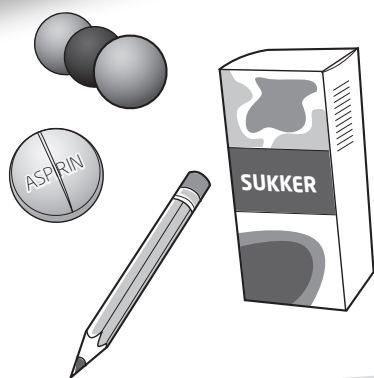
Ekperiment 4.1:  
Brænd en nød

65



Ekperiment 4.2:  
Biobrændstoffer

69



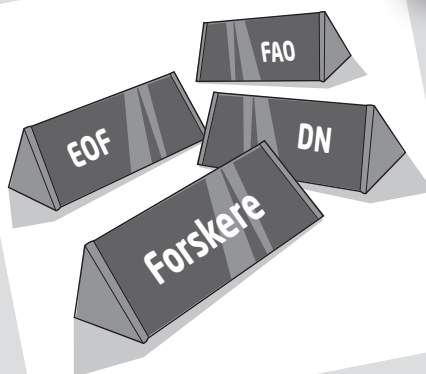
Ekperiment 4.3:  
Carbon i hverdagen

73



Ekperiment 4.4:  
Plastik fra mælk

77



Klasseopgaven:  
Kan du arbejde  
som forsker?

80



## Eksperiment 4.1: Brænd en nød

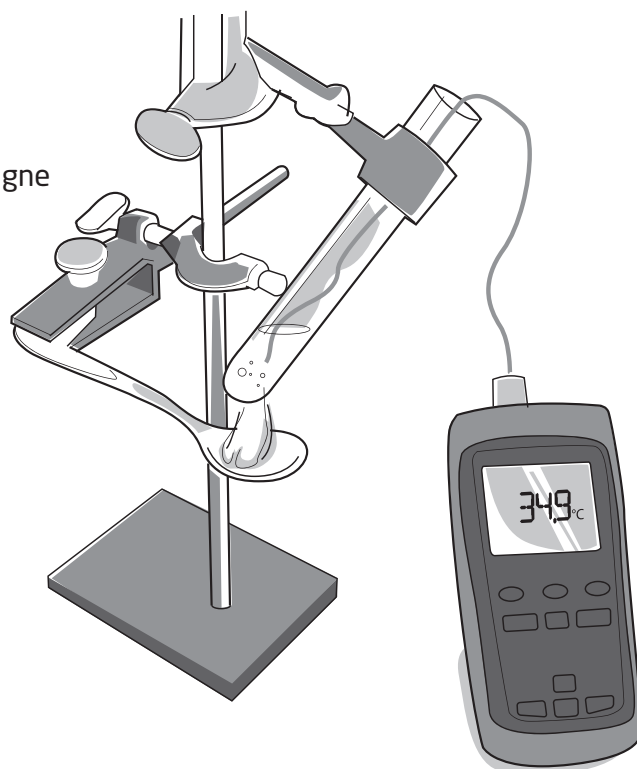
### *Eksperiment om energiindholdet i biomasse*

#### **Formål**

I skal afbrænde forskellige typer biomasse og sammenligne deres energiindhold.

#### **I skal bruge**

En peanut, en teskefuld rapsolie, andefedt og en sukkerknald samt lidt aske  
Evt. andre typer biomasse, eksempelvis tørrede bønner, appelsinskræl eller nødder  
Bunsenbrænder  
Forbrændingsske  
Måleglas (10 ml)  
Reagensglas  
Stativ m/muffer og to klemmer  
Termometer  
Tændstikker  
Væge fra fyrfadsllys  
Vægt



#### **Oplæg**

Al biomasse indeholder energi. Ved at brænde biomassen af kan vi lave varme og elektricitet. Vi kan også omdanne biomassen til andre brændstoffer, eksempelvis ethanol. Rapsolie indeholder kun fedt, mens sukker derimod består af kulhydrater. Da fedt indeholder mere end dobbelt så meget energi per gram som proteiner og kulhydrater, vil vi forvente, at afbrænding af rapsolien kan opvarme vand mere, end afbrænding af sukker kan. I eksperimentet skal I undersøge energiindholdet i forskellige typer biomasse ved at lade flammen fra forbrændingen opvarme et reagensglas med vand. Ved at måle temperaturstigningen i vandet og veje biomassen kan I sammenligne energiindholdet i de forskellige typer biomasse.

#### **Sådan gør I**

1. Monter et stativ med klemmer til forbrændingsskeen og et reagensglas.
2. Fyld 25 ml vand i reagensglasset, og skru det fast på skrå i klemmen.
3. Sæt et termometer i vandet, og aflæs temperaturen, når den er stabil. Noter temperaturen i skema 1 nedenfor.
4. Læg en peanut i forbrændingsskeen, og vej ske og peanut. Noter massen i skemaet.
5. Monter forbrændingsskeen i stativet. Sæt ild til peanuttens bunsenbrænder ved at holde flammen ned over nødden. Sluk bunsenbrænderen, når peanuttens bunsenbrænder af sig selv.
6. Drej klemmen med reagensglasset ind over den brændende peanut som vist på tegningen.
7. Aflæs og noter vandets temperatur, når nødden er brændt ud.
8. Vej skeen med forbrændingsresterne (slaggen). Noter massen.
9. Skift vandet efter eksperimentet, og gentag punkt 2-9 med andre typer biomasse. Brug en væge fra et fyrfadsllys til rapsolien og andefedt. Læg vægen på skeen sammen med biomassen. For at få sukkeret til at brænde skal I blande det med lidt aske fra en tændstik.

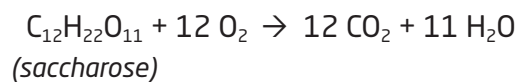
Skema 1

	Stof	Peanut	Rapsolie	Andefedt	Sukkerknaid
1.	Masse af ske med biomasse og evt. væge (g)				
2.	Masse af ske med slagge (g)				
3.	Masse af brændt materiale (g)*				
4.	Starttemperatur af vand (°C)				
5.	Sluttemperatur af vand (°C)				
6.	Temperaturstigning				
7.	Temperaturstigning per gram				

\* Træk massen af skeen med slagge fra massen af skeen med biomasse og evt. væge.

### Forklaring

Ved forbrændingen reagerer molekylerne i biomassen med oxygen fra luften. Eksempelvis reagerer kulhydratet saccharose, som er det, vi kender som sukker, med oxygen således:



### Efterbehandling

Udfyld skema 1 med beregninger.

1. Hvor stor en temperaturstigning gav afbrændingen af den fedtrige rapsolie?
2. Hvor stor en temperaturstigning gav afbrændingen af sukker, som er rig på kulhydrater?

Brændværdien er den mængde varme, som et gram af et stof frigiver ved fuldstændig forbrænding. Den måles i kilojoule per gram. I skema 2 er tabel-brændværdierne for de stoffer, som I undersøgte i eksperimentet:

Skema 2

Stof	Brændværdi (kJ/g)
Saccharose ('sukker')	6,5
Peanut	23,8
Rapsolie	35
Andefedt	37,7

3. Det kræver 0,105 kJ at opvarme 25 ml vand en grad. Denne værdi kalder vi varmegærdien af vand. Den skal du bruge i denne opgave. Beregn brændværdien af de stoffer, som I undersøgte i eksperimentet, efter følgende formel:

$$\text{Brændværdi} = \text{Temperaturstigning/gram } (^\circ\text{C/g}) \cdot \text{Vands varmegærdi } (\text{kJ}/^\circ\text{C})$$

Eksempel: Hvis vandet blev opvarmet 20 °C per gram peanut, er brændværdien af peanut:

$$\text{Brændværdi (peanut)} = 20 \text{ } ^\circ\text{C/g} \cdot 0,105 \text{ kJ}/^\circ\text{C} = 2,1 \text{ kJ/g}$$

Beregn brændværdierne for alle fire stoffer:

Brændværdi (peanut) \_\_\_\_\_ Brændværdi (rapsolie) \_\_\_\_\_  
 Brændværdi (andefedt) \_\_\_\_\_ Brændværdi (sukker) \_\_\_\_\_

4. Jeres beregnede brændværdier afviger sandsynligvis fra værdierne i skema 2. Hvad kan forklaringen være?

## Ekspæriment 4.1: Brænd en nød

### Ekspæriment om energiindholdet i biomasse

#### Baggrundstekst

Afsnittene 'Biomasse giver energi til kroppen' og 'Biomasse som energikilde til samfundet'

#### Beskrivelse

Eleverne finder og sammenligner energiindhold og brændværdi af forskellige typer biomasse ved at brænde disse af og bruge forbrændingsvarmen til at opvarme vand.

#### Forklaringer

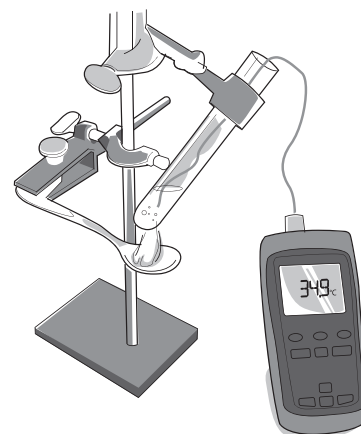
Hvis vi kan skaffe en større del af vores energi fra biomasse, vil vi kunne reducere vores forbrug af fossile brændstoffer og vores CO<sub>2</sub>-udledning. Biomasse kan som i dette ekspæriment bruges til opvarmning. Varmen kan omdannes til elektricitet, og biomasse kan desuden omdannes til brændstoffer som ethanol ved hjælp af enzymer. Produktionen af brændstoffer sker i dag primært fra spiselig biomasse som majs og hvede, der er let at nedbryde. For at undgå konflikter forbundet med stigende priser på fødevarer er det dog mere fornuftigt at bruge de dele af biomassen, som vi mennesker ikke kan fordøje, eksempelvis plantestængler og -blade. Brændstoffer produceret fra disse typer biomasse kaldes for 2. generations-biobrændstoffer. Desværre bremses produktionen af manglen på både enzymer og katalysatorer, der effektivt kan nedbryde cellulose, som er den primære bestanddel i de ufordøjelige plantedele. Der forskes derfor intenst i udviklingen af nye katalysatorer til nedbrydningen af dette sejlivede materiale. Man kan diskutere fordele og ulemper ved biobrændstoffer af første og anden generation med eleverne og for eksempel bede dem overveje, hvorfor man er startet med at bruge første generation, når det har den ovenstående ulempe.

Aske får sukker til at brænde lettere på grund af mikroskopiske spor af jern og jernsalte i asken. Jernet virker som en katalysator, der mindsker den mængde energi, der skal til for at starte forbrændingsreaktionen.

I opgave 4 vil eleverne opdage, at deres beregninger afviger væsentligt fra tabel-brændværdierne. Det skyldes, at ekspærimentet blev udført et åbent sted, og det meste af energien derved gik tabt til luften omkring reagensglasset ('skorstenstab'). Eleverne vil dog kunne se en forskel på cirka en faktor to i temperaturstigningen og dermed også i brændværdien for biomasse med et højt indhold af henholdsvis fedt og kulhydrater. Denne forskel afspejler fedtstoffernes større brændværdi.

Eksempler på målinger og brændværdier:

Stof	Andefedt (brændetid 35 min.)	Sukker (brændetid nogle min.)
Masse af brændt materiale (g)	0,76	0,70
Starttemperatur (°C)	22,4	23,2
Sluttemperatur (°C)	53,3	38,2
Temperaturstigning per gram (°C/g)	40,7	21,4
Brændværdi (kJ/g)	4,3	2,7



**Gode råd til eksperimentets udførelse**

1. Bemærk, at illustrationen af eksperimentopstillingen viser en almindelig metalske, mens teksten anviser brugen af en forbrændingsske. Begge dele kan anvendes, men sidstnævnte er bedre, da den ikke leder varme.
2. For at undgå at vandet koger, bør eleverne bruge mindst 25 ml til peanuteksperimentet. Kogning bør undgås, da der ikke sker en yderligere temperaturstigning efter de 100 °C, og der i øvrigt er et større varmetab til omgivelserne, når vandet bliver meget varmt.
3. Andefedtet brugt i eksperimentet er købt i Irma og er tyktflydende ved stuetemperatur. På grund af andefedtets lange brændetid kan det være en god ide, at eleverne først laver målingerne på peanut og sukker og derefter bruger tiden på at lave de tilhørende beregninger, mens andefedtet brænder.
4. Eksperimentet kan kombineres med eksperiment 2.2, hvor eleverne påviser, at der dannes CO<sub>2</sub> og vand ved en forbrænding, og med eksperiment 4.2, der handler om at lave biobrændstoffer.

## Eksperiment 4.2: Biobrændstoffer

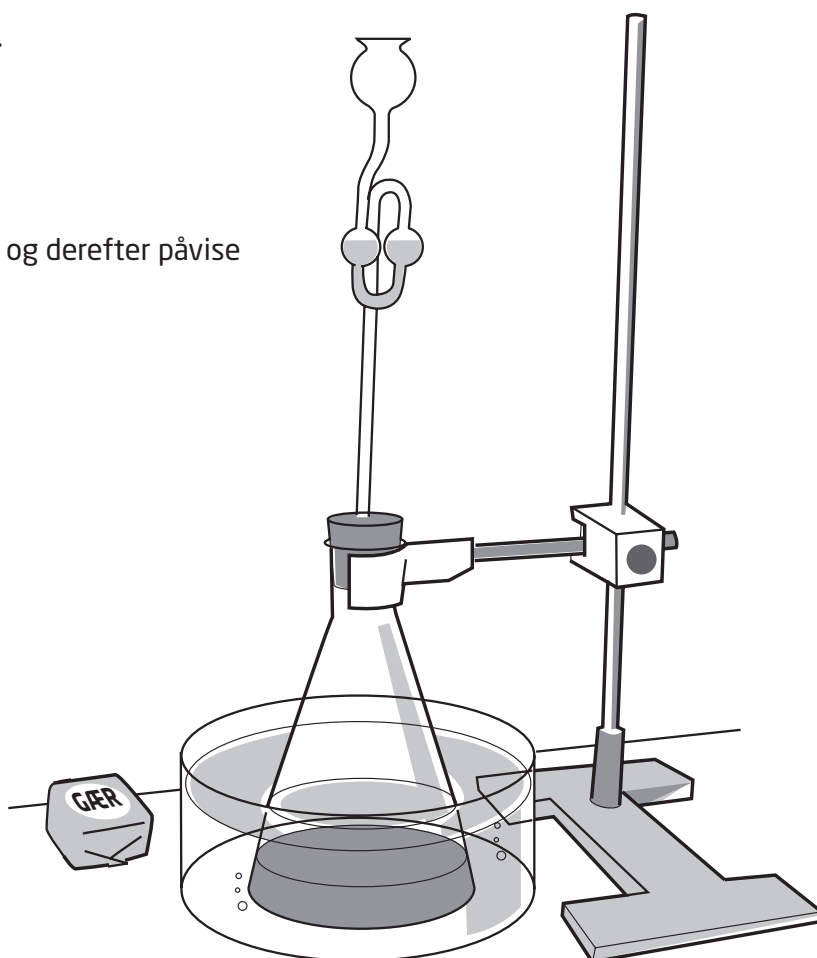
### Fremstilling af alkohol ved gæring

#### Formål

I skal fremstille alkohol ved gæring af sukker og derefter påvise dannelsen af alkohol.

#### I skal bruge

Glucose (druesukker)  
Iod-kaliumiodidopløsning  
Mættet kalkvand  
Natriumhydroxid (NaOH) (1 M)  
Frisk gær  
Filterpapir  
Forsøgsstativ med muffe og klemme  
Gærrør  
Måleglas (25 ml)  
Prop med hul  
Reagensglas  
Ske  
Termometer  
To koniske kolber (250 ml)  
Tragt  
To plastikpipetter  
Vandfad



#### Oplæg

Gær består af gærceller, der er levende organismer. De findes overalt i naturen, men de fleste kender nok gær fra brødbagning. Gærceller lever af sukker, som de omdanner til alkoholen ethanol og luftarten carbon-dioxid ( $\text{CO}_2$ ). Det er  $\text{CO}_2$ , der får brødet til at hæve. Omdannelsen af sukker til ethanol kaldes for gæring, og den bruges også til at fremstille øl, vin og andre alkoholiske drikke. Ethanol kan også bruges som brændstof, og når sukkeret kommer fra biomasse, kaldes brændstoffet for bioethanol. Biomassen kan for eksempel være sukkerroer, majs eller korn. I dette eksperiment skal I først omdanne glucose til ethanol og derefter påvise dannelsen af ethanol.

#### Sådan gør I

##### Fremstilling af alkohol ved hjælp af gær

1. Byg opstillingen på tegningen et sted, hvor den kan stå i nogle dage.
2. Hæld nogle skefulde glucose i en 250 ml konisk kolbe. Hæld en skefuld smuldret gær oveni.
3. Fyld cirka en tredjedel af kolben med  $30^\circ\text{C}$  varmt vand. Ryst kolben, til sukkeret er opløst.
4. Sæt kolben ned i et vandfad, og fastgør kolben til et forsøgsstativ.
5. Sæt en prop med hul på et gærrør. Sæt derefter proppen på kolben.
6. Hæld mættet kalkvand i gærrøret.
7. Fyld cirka  $40^\circ\text{C}$  varmt vand i vandfadet.

Efter cirka 10 minutter starter gæringen. I kan se det ved, at der dannes bobler i væsken. Når der ikke mere er bobler i gærrøret, er gæringen slut. Det sker efter et par uger. Alkoholprocenten er nu over 10 procent. I kan påvise tilstedeværelsen af ethanol ved hjælp af iodoformprøven:

### Iodoformprøven

Det er vigtigt, at I har sikkerhedsbriller på under hele dette eksperiment

8. Sæt en tragte med filterpapir i en ren konisk kolbe, og filtrer 15-20 ml af væsken fra gæringseksperimentet ved at hælde den igennem tragten.
9. Afmål 5 ml af den filtrerede væske, og hæld det over i et reagensglas.
10. Tilsæt med pipetter 5 dråber iod-kaliumiodidopløsning og 10 dråber natriumhydroxid-opløsning.
11. Ryst forsigtigt reagensglasset fra side til side et par gange. Hvad sker der?

- 
- 
12. Vent to minutter, og betragt så omhyggeligt indholdet i reagensglasset ved at holde det op mod lyset. Beskriv, hvad der sker med væsken.

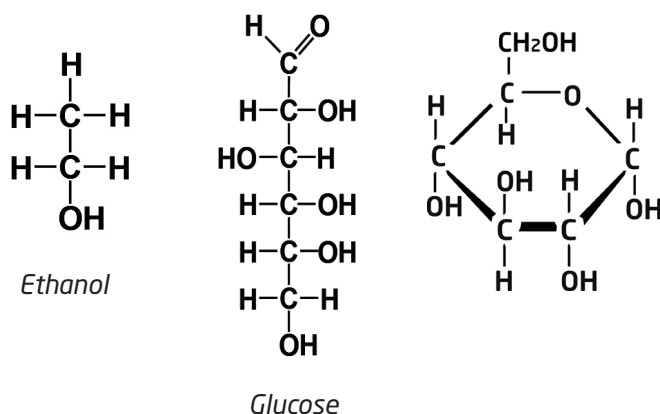
- 
- 
13. Sammenlign eventuelt jeres resultat med lærerens kontroleksperiment. Kan I forklare en eventuel forskel?

### Forklaring

Når  $\text{CO}_2$  og kalkvand reagerer, dannes der et bundfald. Ved at boble luften gennem mættet kalkvand under gæringen kan I dermed påvise, at den dannede luftart er  $\text{CO}_2$ . Ethanol påvises ved, at der dannes et gult bundfald af triiodmethan (iodoform), når man blander ethanol med iod-kaliumiodidopløsningen.

### Efterbehandling

Byg et ethanol-, et glucose- og et  $\text{CO}_2$ -molekyle med et molekylbyggesæt. Glucosemolekylet er egentligt en ring, som tegningen yderst til højre viser, men I kan bygge det som et udstrakt molekyle efter formlen i midten.



## Ekspæriment 4.2: Biobrændstoffer

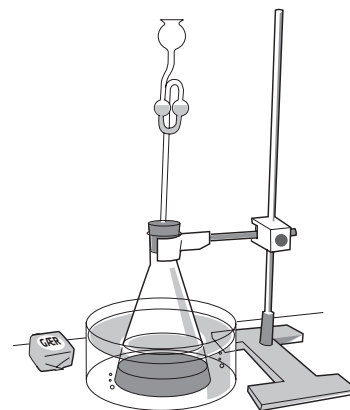
### Fremstilling af alkohol ved gæring

#### Baggrundstekst

Afsnittet 'Biobrændstof med naturens hjælp'

#### Beskrivelse

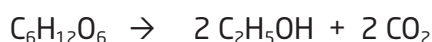
Eleverne fremstiller alkohol ved gæring af sukker med almindeligt bagegær. Gæringen starter allerede kort efter, at eleverne har blandet ingredienserne, men er først helt afsluttet efter nogle uger. Efter gæringen påviser eleverne dannelsen af alkohol med iodoformprøven.



#### Forklaringer

##### Gæring

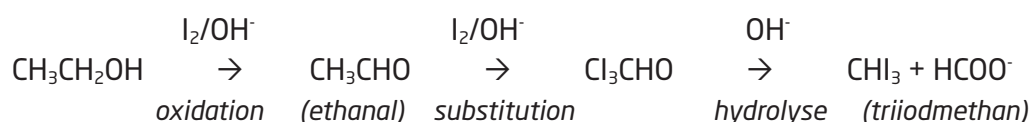
Gærceller indeholder enzymet zymase, der spalter glucose til luftarten carbondioxid (CO<sub>2</sub>) og alkoholen ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH). Gæringsreaktionen kan skrives således:



Gærarten *Saccharomyces* er en af de mest anvendte til ethanolproduktion på grund af dens effektivitet og tolerance over for alkoholkoncentrationer helt op til 18 %.

##### Iodoformprøven

Ethanol kan som den eneste primære alkohol påvises med iodoformprøven. Iodoformreagenset er en stærkt basisk opløsning af I<sub>2</sub> i KI(aq), og under reaktionen bliver ethanolopløsningen i reagensglasset først uklar efterfulgt af dannelsen af et gult bundfald af triiodmethan (iodoform). Sideløbende bliver ethanol oxideret til ethanal. Bundfaldet har en særlig antiseptisk lugt. Iodoformreaktionen sker i tre trin:



Da prøven udføres på en fortyndet alkoholopløsning (ca. 5-10 %), er bundfældningen længe om at løbe til ende, men eleverne kan iagttage den umiddelbart efter tilsætningen af iod-kaliumiodid- og natriumhydroxid-opløsningerne. En fuldstændig bundfældning tager omkring 20 min.

##### Mikroskalakemi

Iodoformprøven er et eksperiment i mikroskala. Begrebet betegner eksperimenter, der udføres i meget små beholdere og derfor også med meget små mængder kemikalier, ofte kun en eller to dråber af hvert reagens. Eksperimenter i mikroskala har typisk færre udgifter til kemikalier og udstyr samt mindre mængder affald. Desuden er sikkerheden for eleverne større, idet de små mængder kemikalier nedsætter eksponeringen og risikoen for skader og brand.

##### Ethanol som biobrændstof

Ethanol dannet fra biomasse er et populært alternativ til fossile brændstoffer, fordi det reducerer udledningen af CO<sub>2</sub> og andre drivhusgasser. I Brasilien, som i 2009 var verdens næststørste producent af bioethanol (størst er USA), er over 70 % af bilerne såkaldte full-flex biler, der kører på en blanding af op til 90 % ethanol i benzinen.



Sukkeret til fremstilling af bioethanol kommer blandt andet fra sukkerrør, majs og korn. Når bioethanol forbrændes, udleder det i princippet blot den samme mængde  $\text{CO}_2$ , som planterne optog, da de voksede på marken. I praksis sænker brugen af bioethanol dog ikke udledningen af drivhusgasser helt så meget, som man kunne forvente, fordi man bruger energi fra fossile brændstoffer til at så, gøde, høste og forarbejde biomassen. Biobrændstoffer konkurrerer desuden om både vand og land med produktionen af fødevarer, hvilket kan have alvorlige konsekvenser for verdens fattige lande.

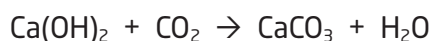
Disse ulemper bliver dog mindre i takt med, at teknologien bliver bedre. De biobrændstoffer, der i dag hældes i bilerne, er fremstillet ved at bruge spiselig biomasse. Forskerne i CASE og mange andre steder i verden arbejder på at udvikle metoder til at omdanne de langt sværere nedbrydelige dele af biomassen, som træ, blade og stængler, til brændstoffer. Det vil ifølge det amerikanske energiministerium kunne mindske udledningen af drivhusgasser med over 85 % i forhold til afbrændingen af fossile brændstoffer. Desuden vil problemer knyttet til land, vand og fødevarer blive langt mindre, fordi vi kan bruge planteaffaldet fra fødevarerproduktionen som biobrændstof.

### Gode råd til eksperimentets udførelse

1. Elevernes eksperimenter kan suppleres med en kontrolopstilling, hvor gær udelades, som bevis for at dannelsen af alkohol skyldes gærcellernes aktivitet. Læreren kan så udføre iodoformtesten på kontrolblandingen sideløbende med elevernes test, så de kan sammenlignes.
2. Gæringen forløber hurtigere, hvis man tilsætter lidt næringssalt, for eksempel en blanding af 1,5 g dinatriumhydrogenphosphat ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ), 0,5 g ammoniumsulfat ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), 0,15 g kaliumchlorid (KCl) og 0,1 g magnesiumsulfat ( $\text{MgSO}_4$ ) per hold.
3. Mættet kalkvand fremstilles ved at opløse 1 g calciumoxid i 500 ml demineraliseret vand. Det kan også fremstilles ved at opløse 1,5 g fast calciumhydroxid (melkalk,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) i vandet. Efter nogle timer dekanteres opløsningen, hvorefter den filtreres. Opløsningens koncentration bliver 0,02 mol/l. Det er bedst at bruge frisk fremstillet kalkvand, da kalkvand suger  $\text{CO}_2$  til sig og danner bundfald i flasken.
4. Iod-kaliumiodidopløsningen kan købes hos Søren Frederiksen, der forhandler en opløsning indeholdende 1,3 g iod og 5 g kaliumiodid per 100 ml.
5. Natriumhydroxid (NaOH) i den brugte koncentration skal mærkes C; R34. Kaliumiodidopløsninger ( $\text{KI}(\text{aq})$ ) op til 0,1 M kræver ingen mærkning.

### Fejlkilder

Når  $\text{CO}_2$  bobler gennem kalkvand, dannes der bundfald af calciumcarbonat,  $\text{CaCO}_3$ , der er tungtopløseligt. Reaktionen for dannelsen af bundfald er:



Man skal være opmærksom på, at bundfaldet efter et stykke tid vil gå i opløsning ved den fortsatte gennembobling med  $\text{CO}_2$ . Det sker ved følgende reaktion, hvor der dannes calciumhydrogencarbonat, som er letopløseligt:



## Eksperiment 4.3: Carbon i hverdagen

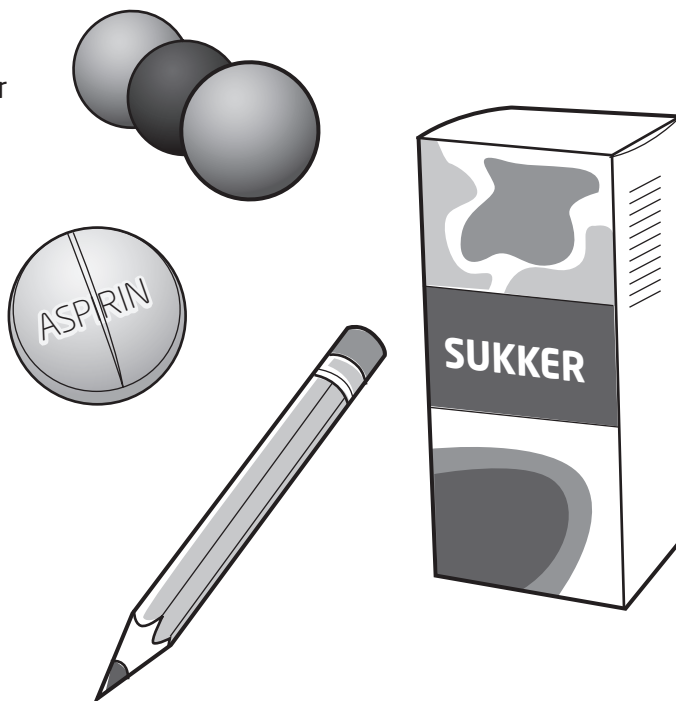
*Eksperimenter, der viser, at carbon findes i mange kemiske forbindelser*

### Formål

Læreren viser, at både madvarer, planter og kemikalier indeholder carbon.

### Læreren skal bruge

Aspirin  
CO<sub>2</sub> fra en trykflaske  
50 ml flormelis  
10 ml koncentreret svovlsyre (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)  
Beskyttelsesbriller  
Beskyttelseshandsker  
Bunsenbrænder  
Digeltang  
Forbrændingsske  
Glødepind  
Magnesiumstrimmel (10 cm)  
Måleglas (10 ml)  
Spatel  
To bægerglas (250 ml)  
To glødepinde



### Oplæg

Carbon findes ikke kun i fossile brændstoffer, faktisk er vi omgivet af carbon. Alle organiske stoffer, som papir, træ og sukker indeholder grundstoffet carbon. Hvis man fjerner hydrogen og oxygen fra en træpind, bliver alene carbon tilbage. Det kan man se, fordi carbon er sort. Mange kemikalier indeholder også carbon. Desuden findes der også masser af carbon i luften i form af CO<sub>2</sub>.

### Sådan gør læreren

#### *Træ og sukker*

1. Hæld 10 ml koncentreret svovlsyre i et 10 ml måleglas.
2. Dyp en træpind ned i svovlsyren i cirka fem sekunder. Pinden er nu helt sort.
3. Hæld cirka 50 ml flormelis i et 250 ml bægerglas. Brug en spatel til at lave en fordybning midt i flormelissen.
4. Hæld den koncentrerede svovlsyre ned i hullet i flormelissen.
5. Rør rundt med spatlen, så syren blandes godt med flormelissen.
6. Efter cirka et til to minutter bliver sukkeret sort, og en sort 'sukkerpølse' vokser op af glasset.

#### *Aspirin*

1. Læg en aspirin i forbrændingsskeen. Sæt ild til pillen med bunsenbrænderen ved at holde flammen ned over pillen. Sluk bunsenbrænderen, når pillen brænder af sig selv.
2. Efter cirka 2 minutter er pillen brændt ud, og et sort pulver ligger tilbage. Pulveret får sin sorte farve fra det uforbrændte carbon, der er tilbage.

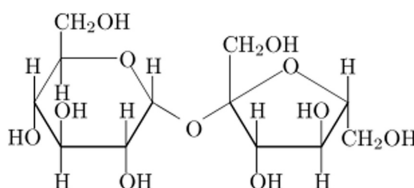
$CO_2$

1. Fyld et højt cylinderglas med  $CO_2$  fra en gasflaske. Dæk eventuelt glasset med en glasplade, indtil det skal bruges.
2. Vis, at træ ikke kan brænde i  $CO_2$ , ved at stikke en brændende træpind ned i glasset.
3. Hold med en digeltang et 10 cm langt stykke brændende magnesium nede i glasset, og før det op og ned i glasset, til det er brændt ud. NB: Det er vigtigt, at eleverne ikke kigger direkte på det brændende magnesium. Flammen udsender meget UV-lys, som kan skade øjnene. I stedet skal eleverne kigge til siden, så de ser lyset ud af øjenkrogen.
4. De små sorte klatter på indersiden af glasset er carbon fra det  $CO_2$ , der er blevet forbrugt ved forbrændingen af magnesium.

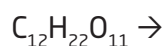
### Efterbehandling

1. Svovlsyre er en stærk syre, og på koncentreret form kan den suge vand ud af for eksempel sukker og træ. Sukkerstoffet saccharose indeholder ikke vand, men det indeholder hydrogen og oxygen, som er bestanddelene i vand, og som svovlsyren reagerer med. Den sorte 'sukkerpølse', som vokser op under eksperimentet, er det tiloversblevne carbon, der danner en rørformet gitterstruktur, lidt som en rulle hønsenet.

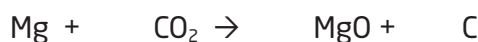
Formlen for sukermolekylet saccharose (almindeligt sukker) er  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , og molekylet ser sådan ud:



Skriv de produkter, saccharose bliver spaltet til, når det reagerer med svovlsyre:



2. Magnesium reagerer med  $CO_2$  efter følgende reaktionsligning:



Afstem reaktionen.

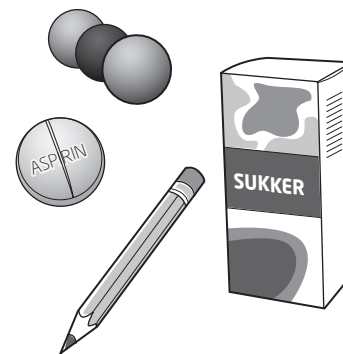
*Tip: Princippet bag afstemning af en reaktion er, at antallet af et grundstofs atomer skal være det samme på begge sider af reaktionspilen. Det gøres ved at justere antallet af molekyler, altså sætte et tal foran molekylformlen. Selve formelen for et molekyle må ikke ændres!*

## Eksperiment 4.3: Carbon i hverdagen

*Eksperimenter, der viser, at carbon findes i mange kemiske forbindelser*

### Baggrundstekst

*Afsnittet 'Biomasse er fuld af carbon'*



### Beskrivelse

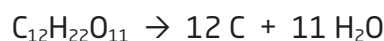
I eksperimentet, som læreren udfører, trækkes vand ud af en træpind og af flormelis ved hjælp af koncentreret svovlsyre. Ved at fjerne vandet bliver kun carbon tilbage. Det ses ved sortfarvningen af både glødepinden og sukkeret. Endelig forbrændes magnesium i  $\text{CO}_2$ , hvorved carbon bliver tilbage, hvilket ses som en sortfarvning på indersiden af et glas. Formålet er at vise eleverne, at vi er omgivet af stoffer, der indeholder carbon, herunder organiske forbindelser som træ, sukker og aspirin og inorganiske forbindelser som  $\text{CO}_2$ .

### Forklaringer

#### Svovlsyre

Svovlsyre er en stærk syre, og på koncentreret form har den endnu en egenskab. Den er vandsugende. Det er denne egenskab, som eksperimentet udnytter. Reaktionen mellem svovlsyre og vand er en stærkt exoterm reaktion, det vil sige, at der frigives store mængder energi. Under reaktionen stiger temperaturen således kraftigt, og når den lokalt kommer over  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , fordampes vandet. Den dannede vanddamp presser de omgivende stofdele fra hinanden, og 'sukkerpølsen' vokser frem.

Almindeligt sukker er opbygget af molekylet saccharose,  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ . Her findes hydrogen og oxygen i forholdet 2:1. Præcis samme forhold som i vand,  $\text{H}_2\text{O}$ . Når svovlsyre trækker vand ud af saccharose, kan reaktionen skrives sådan:



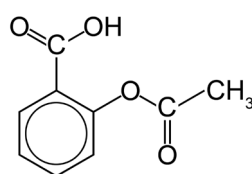
Dette er dog en forenkling af reaktionen, da noget carbon oxideres til carbonmono- og dioxid ( $\text{CO}$  og  $\text{CO}_2$ ).

Man kan også hælde lidt koncentreret svovlsyre på et stykke filterpapir. Både papir og træ er fortrinsvis opbygget af cellulose, som er meget store molekyler, der kan skrives som  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ . Cellulose er altså opbygget af  $n$  enheder, hvor  $n$  er et meget stort tal. Den enkelte enhed indeholder carbon, hydrogen og oxygen i forholdet 6:10:5. I enheden indgår hydrogen og oxygen også i forholdet 2:1.

Huden er også opbygget af organiske stoffer, der indeholder hydrogen og oxygen. Hvis man får koncentreret svovlsyre på huden, suges vandet hurtigt ud af disse stoffer, hvorved huden straks ødelægges og bliver sort. På grund af denne vandsugende virkning er koncentreret svovlsyre et meget farligt stof.

#### Aspirin

Det aktive stof i aspirin hedder acetylsalicylsyre, der har den kemiske bruttoformel  $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$ . Som det fremgår, indeholder acetylsalicylsyre ligesom mange andre lægemidler og andre kemikalier carbon, der oprindeligt stammer fra fossile brændstoffer.



Acetylsalicylsyre

$CO_2$

Eksperimentet viser, at  $CO_2$  indeholder carbon, som frigives under forbrændingen af magnesium. Da magnesium således brænder i  $CO_2$ , kan man ikke bruge  $CO_2$ -pulverslukkere til at slukke brændende jagerfly, da de indeholder store mængder magnesium.

### **Gode råd til eksperimentets udførelse**

1. Elever må ikke arbejde med koncentreret svovlsyre. Koncentreret svovlsyre er mærket med faresymbolet ætsende og med R-sætningen: Alvorlig ætsningsfare. Der er følgende S-sætninger: Opbevares under lås og utilgængeligt for børn. Kommer stoffet i øjnene, skylles straks grundigt med vand, og læge kontaktes. Hæld aldrig vand på eller i produktet. Ved ulykkestilfælde eller ved ildebefindende er omgående lægehjælp nødvendig; vis etiketten, hvis det er muligt.
2. Aspirin købes i blisterpakning på apoteket. Derved undgår man belægning på pillen og kan regne med, at det er mere eller mindre ren acetylsalicylsyre.
3. Lærerdemonstrationen kan suppleres med eksperimenter, hvor eleverne selv brænder små stykker mad af, eksempelvis brød, ost, mel og majs, og konstaterer, at restproduktet indeholder carbon (sort).

## Eksperiment 4.4: Plastik fra mælk

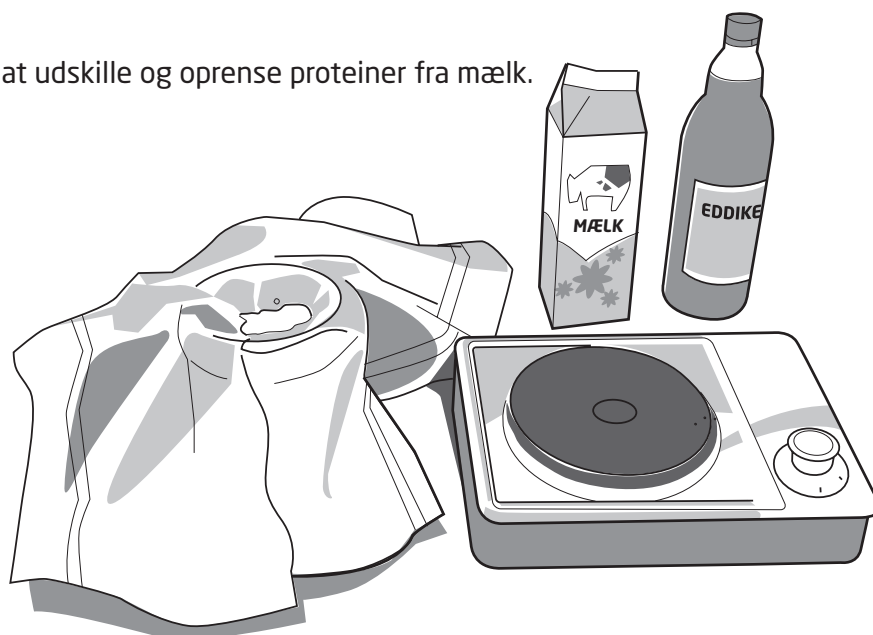
### *Eksperiment om at lave plastik fra biomasse*

#### Formål

I skal fremstille plastik fra biomasse ved at udskille og oprense proteiner fra mælk.

#### I skal bruge

20 ml eddike  
200 ml mini- eller skummetmælk  
Bægerglas (250 ml)  
Bægerglas (500 ml) eller stor skål  
Indikatorpapir  
Måleglas (100 ml)  
Røreske  
Termometer  
Varmeplade  
Viskestykke



#### Oplæg

Plastik er en såkaldt polymer. 'Poly' betyder mange, og en polymer er et molekyle, der er sat sammen af mange mindre, ens dele (mer = del). Eksempelvis består plastikken polyethen (PE) af mange gentagelser af ethen-molekylet ( $C_2H_4$ ), der danner en lang kæde med hundredtusindvis af carbonatomer. De lange polyethen-kæder filtrer sig sammen og gør derved materialet meget stærkt.

Næsten al plastik består af carbon og hydrogen. Derfor fremstilles plastik oftest af olie eller naturgas, der indeholder det nødvendige carbon og hydrogen. Men når vi en dag løber tør for fossile brændstoffer, får vi brug for en alternativ carbonkilde til at fremstille plastik. Biomasse indeholder masser af carbon, og for mere end 100 år siden blev der faktisk opfundet en metode til at fremstille plastik fra biomasse, nemlig ved hjælp af proteiner fra mælk. Metoden blev opfundet i Tyskland, fordi skolelærerne ville have hvide tavler at skrive på i stedet for sorte. Den hvide mælkeplastik endte dog i stedet med at blive populær til blandt andet knapper og smykker. Det mælkeprotein, man bruger i fremstillingen, hedder kasein. I dette eksperiment skal I lave plastik af kasein.

#### Sådan gør I

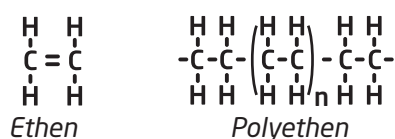
1. Stil et 500 ml bægerglas eller en stor skål frem, og læg et viskestykke over glasset.
2. Hæld 200 ml mælk i et 250 ml bægerglas.
3. Tænd varmepladen, og stil bægerglasset med mælken på pladen. Sæt termometret i mælken.
4. Opvarm mælken under oprøring. Mælken må ikke koge.
5. Sluk for varmen, når mælken er ca. 55 °C. Mål pH-værdien med indikatorpapir: \_\_\_\_\_
6. Tilsæt eddiken, og mål pH-værdien: \_\_\_\_\_
7. Rør godt rundt i et par minutter.
8. Hæld den klumpede mælk forsigtigt gennem viskestykket ned i bægerglasset/skålen.
9. Når klumperne er afkølet lidt, kan I presse dem sammen og forme jeres plastik, som I foretrækker.

### Forklaring

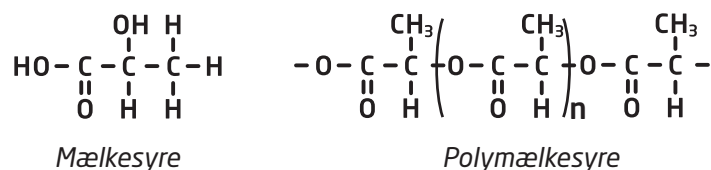
Kaseinmolekylerne i mælk samler sig i små kugler, der kaldes miceller. De består af mange tusinde molekyler. Ved normal pH-værdi er micellerne jævnt fordelt i mælken, fordi de er negativt ladede og derfor frastøder hinanden. Når man tilsætter en syre som eddike, neutraliseres de negative ladninger af positive hydrogenioner fra eddiken, og kasein-micellerne klumper sig sammen til et fast stof. Plastik lavet af kasein er altså ikke opbygget på helt samme måde som traditionel plastik. I modsætning til de lange carbonkæder i eksempelvis polyethylen, der filtrer sig sammen, binder de kugleformede miceller sig ikke lige så stærkt til hinanden. Derfor er denne type plastik ikke så holdbar.

### Efterbehandling

1. Forklar, hvad der sker med carbonbindingerne i ethen-molekylet, når det bliver bundet i polyethen. (n betyder, at ethen-enheden gentages mange gange).



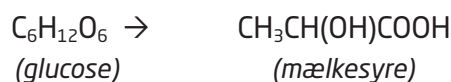
2. Den vigtigste ingrediens til at lave plastik fra biomasse i dag er mælkesyre. Plastikken hedder polylactic acid (PLA), som betyder polymælkesyre. Formlen for mælkesyre er  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$ .



Hvilke atomer bliver tilovers, når et mælkesyre-molekyle bliver bundet i en polymælkesyre-kæde?

---

3. Mælkesyre kan fremstilles ved gæring af glucose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ). Det er dog en dyr proces, så forskerne forsøger at fremstille mælkesyre ved hjælp af katalysatorer i stedet. Afstem reaktionen for mælkesyregæring:



*Tip: Princippet bag afstemning af en reaktion er, at antallet af et grundstofs atomer skal være det samme på begge sider af reaktionspilen. Det gøres ved at justere antallet af molekyler, altså sætte et tal foran molekylformlen. Selve formelen for et molekyle må ikke ændres!*

4. Når mælk bliver gammel og sur, skyldes det, at bakterier omdanner mælkesukker til mælkesyre. Hvad sker der med pH-værdien, når koncentrationen af syre stiger?
- 

5. Hvorfor tror du, at gammel mælk klumper?
-

## Eksperiment 4.4: Plastik fra mælk

*Eksperiment om at lave plastik fra biomasse*

### Baggrundstekst

*Afsnittet 'Katalyse baner vejen for miljøvenlig plastik'*



### Beskrivelse

Eleverne fremstiller plastik fra biomasse ved at udskille og opsamle kaseinproteiner fra mælk.

### Forklaringer

*pH-værdiens indflydelse på kasein*

Mælk består primært af kulhydrater, fedtstof og proteiner samt små mængder vitaminer, salte og enzymer. Komælk indeholder 3-4 % protein, hvoraf ca. 80 % er kaseiner. De enkelte kaseinmolekyler samler sig i små kugler, der kaldes miceller, og som består af mange tusinde molekyler. pH i mælk er normalt tæt på neutral, og i denne tilstand er micellerne negativt ladede og frastøder derfor hinanden. Hvis man sænker pH til 4,6 for eksempel ved at tilsætte husholdningseddike, neutraliseres micellernes negative ladninger af syren. Det medfører, at kasein-micellerne klumper sig sammen og fælder ud. Ved endnu lavere pH bliver micellerne hovedsageligt positivt ladede.

Udfældningsfænomenet kendes også fra syrnede mælkeprodukter som yoghurt, der er tykkere i konsistensen end mælk. Det skyldes en lavere pH-værdi, der får kasein-micellerne til at klumpe og øge viskositeten. Ved syrnede mælkeprodukter bruger man bakterier, der omdanner mælkesukker (laktose) til mælkesyre, hvorved pH sænkes. Det er også mælkesyrebakterier, der gør mælken sur og klumpet, når den står for længe. Det er dog ikke de samme bakterier som i yoghurt, og derfor smager mælken dårligt.

*Fra monomer til polymer*

Den kemiske reaktion, hvorved polymeren dannes, kaldes for en polymerisering. Den kan foregå ved forskellige kemiske reaktioner. For at danne polyethen er det for eksempel nødvendigt at bryde dobbeltbindingen i ethen. For at danne polymælkesyre derimod skal der fraspaltes et vandmolekyle fra mælkesyre-enheden.

*Plastik fra biomasse. Før og nu*

Kasein-plastik blev første gang fremstillet i 1897. Den industrielle produktion adskiller sig fra elev-eksperimentet ved, at man lader kasein reagere med formaldehyd (methanal). Reaktionen eliminerer vand og hærder plastikken, men det kan ikke anbefales til elev-eksperiment. I dag findes der en lang række metoder til at fremstille bioplastik, for eksempel fra cellulose, stivelse eller sukker. Selv polyethen kan fremstilles fra biomasse ved at omdanne bioethanol til bioethen. Produktionen af plastik fra biomasse er dog oftest afhængig af enzymatiske processer, som hæver prisen i forhold til traditionel plastik. Forskning i billige og mere stabile ikke-biologiske katalysatorer kan være med til at øge effektiviteten på fremstillingen og sænke prisen på bioplastik. Eksempelvis udvikler DTU og firmaet Haldor Topsøe en ny metalkatalysator til produktion af mælkesyre. Katalysatoren har blandt andet den fordel over enzymerne, at den ikke selv tager skade af mælkesyren.

### Gode råd til eksperimentets udførelse

Kaseinplastikken bliver mest holdbar ved brug af mini- eller skummetmælk, da mælakens lave fedtkoncentration giver en renere udfældning af kasein.



## Klasseopgaven: Kan du arbejde som forsker?

### Rollekort til uddeling i klasseopgaven

Eleverne skal repræsentere forskere eller organisationer og debattere biobrændstoffer. De elever, der repræsenterer organisationerne, skal søge information ved hjælp af webadresserne i opgaven. Bagefter kan rollekortene uddeles for at sikre, at eleverne kan gennemføre en nuanceret klasses debat. Forskergruppen kan finde tilstrækkelig information i elevbogens kapitel.

#### Rollekort:

**Energi- og Olieforum (EOF)** er en brancheorganisation for virksomheder, der udvikler og markedsfører energiprodukter i Danmark, blandt andet benzin, dieselolie og biobrændstoffer. Organisationens formål er at sikre gode betingelser for sine medlemmer. De ønsker derfor at fremme brugen af biobrændstoffer. EOF's medlemsvirksomheder omsætter årligt ca. 9 milliarder liter olieprodukter i Danmark. Det svarer til lige under 40 % af Danmarks samlede energiforbrug.



**Danmarks Naturfredningsforening (DN)** er Danmarks største natur- og miljøorganisation med 135.000 medlemmer. DN arbejder for at bevare naturen i Danmark, og organisationen mener, at flere afgrøder til biobrændstoffer vil øge presset på den i forvejen hårdt trængte natur. DN vil gerne have miljøvenlige alternativer til olie og kul, men populært sagt vil de 'ikke ofre naturen for at redde miljøet'. DN anbefaler et totalt forbud mod biobrændstoffer af 1. generation, men forholder sig mindre kritisk til biobrændstoffer af 2. generation.



**FN's fødevarer- og landbrugsorganisation (FAO)** organiserer den internationale kamp mod sult. FAO frygter forhøjede fødevarerpriser ved brug af 1. generations-biobrændstoffer. FAO fremhæver dog også, at uspiselig biomasse som planterester er vigtig som gødning og til at skabe god struktur i muldjorden. Derfor kan et stort forbrug af uspiselig biomasse også have negative konsekvenser. På den positive side kan investeringer i bioenergi hjælpe udviklingslande ved at skabe bedre infrastrukturer og jobmuligheder.



OBS: [www.fao.org](http://www.fao.org) er på engelsk. Hjælp eventuelt eleverne med at finde 'FAO's views on Bioenergy'.

#### Hjælp til at komme i gang med debatten:

- EOF-gruppen påpeger, at biobrændstoffer kan nedsætte Danmarks CO<sub>2</sub>-udledning.
- DN-gruppen udspørger forskerne om fremskridt inden for 2. generations-biobrændstoffer.
- FAO-gruppen argumenterer imod 1. generations-biobrændstoffer på grund af forhøjede fødevarerpriser.
- Forskergruppen nuancerer debatten ved at fortælle, at biobrændstoffer ikke er 100 % CO<sub>2</sub>-neutrale, når dyrkning, bearbejdning og transport tages i betragtning. Omvendt kræver biobrændstoffer ikke nødvendigvis nye landarealer, men kan fremstilles af affald som halmrester, dyrefedt og sortlud. Endelig kan gruppen fremhæve nogle udfordringer ved at fremstille 2. generations-biobrændstoffer, for eksempel omkostningerne, og fortælle om den nuværende forskning i ioniske væsker og katalyse.
- Grupperne behøver ikke være uenige hele debatten igennem. Opgaven spiller på forskellige interesser og prioriteringer og dermed forskellige indgangsvinkler til emnet.