

lys med en bestemt bølgelængde (såkaldt monokromatisk lys) igennem kuvetten og måler intensiteten det vil sige styrken, af det lys der trænger igennem kuvetten med prøven.

Spektrofotometeret viser en værdi der kaldes *absorbans*. Absorbansen er defineret som:

$$A = \log \frac{I_0}{I}$$

hvor I_0 er intensiteten af det lys der sendes igennem kuvetten i en prøve af vækstmediet uden mikroorganismer, og I er intensiteten af det lys der kommer igennem kuvetten i en prøve med mikroorganismer. Hvis intensiteten af lyset efter passage af prøven kun er fx 10 % af referenceprøven, bliver absorbansen:

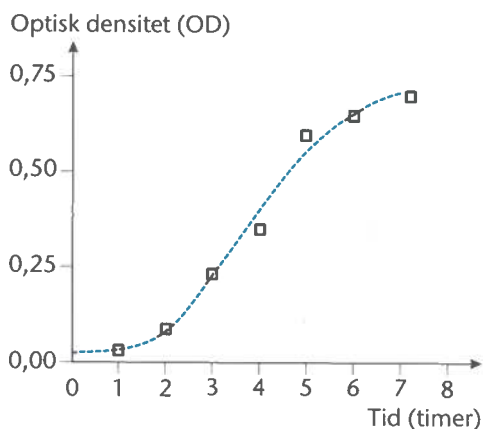
$$A = \log \frac{100\%}{10\%} = 1$$

Sammenhængen mellem absorbans og celletæthed er ligefrem proportional indtil cellekulturen bliver for tæt og uigennemsigtig. I sådanne tilfælde må man fortynde sin prøve. Når absorbansen overstiger værdien 1, fortynder man typisk sin prøve.

I cellekulturer sker der i højere grad en spredning af lyset i kuvetten end der sker en egentlig absorption af lys. Man kalder det derfor ikke absorbans, men *optisk densitet* (OD) når man måler på kulturer af mikroorganismer.

I figur 141 ses en vækstkurve der er fremkommet ved anvendelse af spektrofotometri.

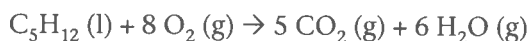
Figur 141. Vækstkurve fremstillet ved hjælp af spektrofotometri.

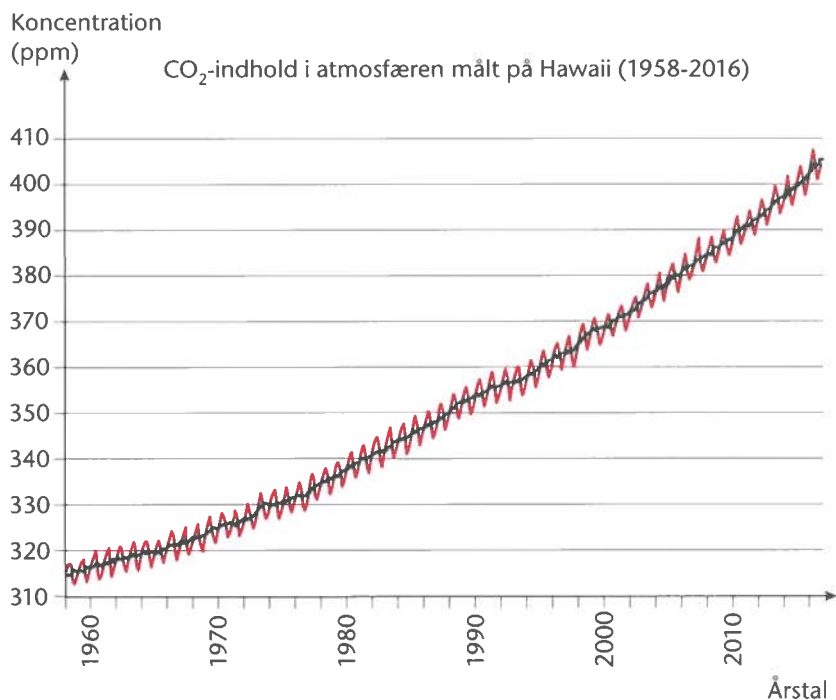


Dødsfasen ses ikke, da de døde celler ligesom de levende celler spreder lyset. Viden om mikrobiel vækst og betydning af forskellige vækstfaktorer kan udnyttes i forbindelse med fremstilling af bioethanol som er beskrevet i det følgende.

Produktion af bioethanol

Afbrænding af fossile brændstoffer som kul, olie og gas er den væsentligste årsag til den globale opvarmning. Benzin som består af en blanding af carbonhydrider fx pentan (C_5H_{12}), danner ved en fuldstændig forbrænding carbondioxid og vand, som vist i reaktionsskemaet:





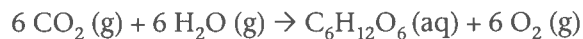
Figur 142. Indhold af carbondioxid i atmosfæren.

I figur 142 ses hvordan indholdet af carbondioxid i atmosfæren er steget fra slutningen af 1950'erne hvor mekaniseringen af landbruget og vækst i transportsektoren for alvor satte ind i industrilandene, og frem til 2016.

Indholdet af carbondioxid er angivet i parts per million (ppm). Det viser hvor stor en andel carbondioxid udgør af den totale atmosfæriske lufts gasser i en tør luft.

Samtidig med at koncentrationen af carbondioxid stiger i atmosfæren, øges vores energiforbrug ligeledes, som vist i figur 144 på næste side. Det øger behovet for alternative energikilder som på en bæredygtig måde kan gøre os fri af de fossile brændstoffer.

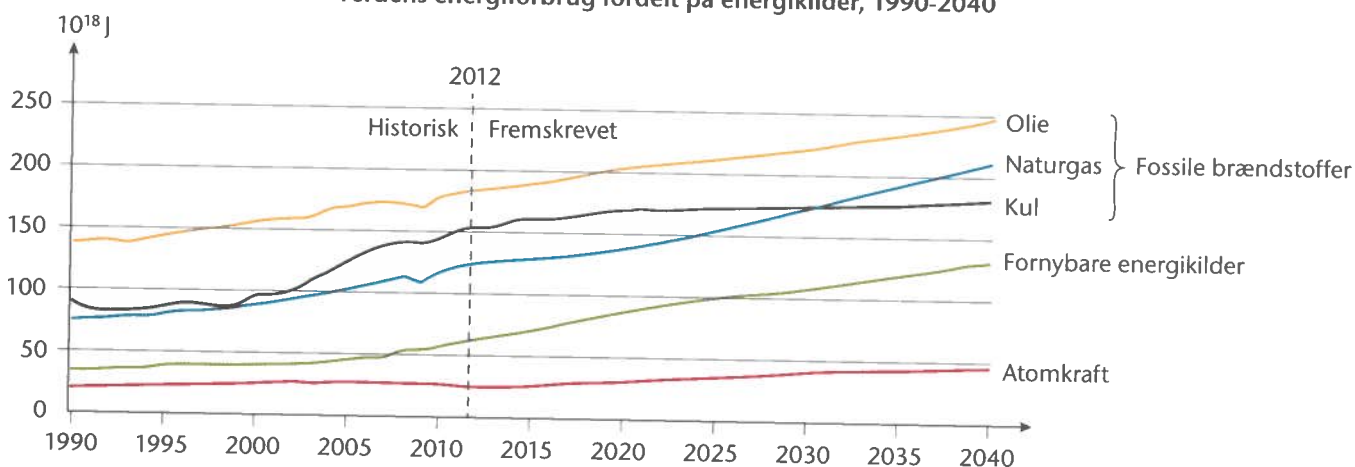
Bioethanol hører med under de fornybare energikilder. Det er et muligt alternativ til de fossile brændstoffer, da det som det forklares senere, er et CO₂-neutralt brændstof, se figur 143. Bioethanol er ethanol som er produceret ud fra biomasse, hvilket betyder organiske stoffer der er dannet ved fx fotosyntesen. Ved fotosyntesen optager planterne vand og carbondioxid, og det omsættes til glucose og dioxygen:



Figur 143. Bioethanol er et CO₂-neutralt brændstof.



Verdens energiforbrug fordelt på energikilder, 1990-2040

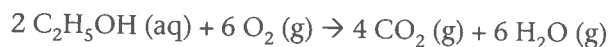


Figur 144. Energiforbruget 1990-2012 og derefter fremskrevet til 2040.

Under anaerobe forhold omdanner gærceller glucose til ethanol. For hvert glucosemolekyle dannes der to molekyler ethanol og to molekyler carbondioxid:

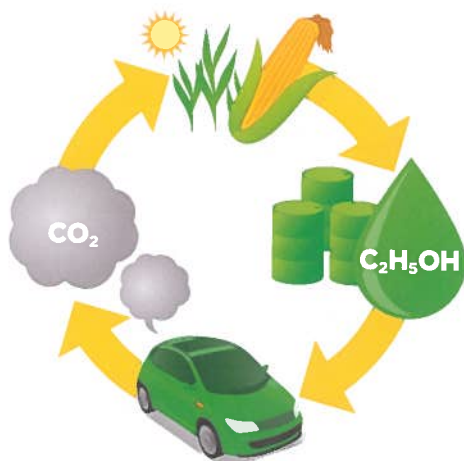


Reaktionen kaldes fermentering eller gæring. Når bioethanol forbrændes, dannes der ligeledes carbondioxid:



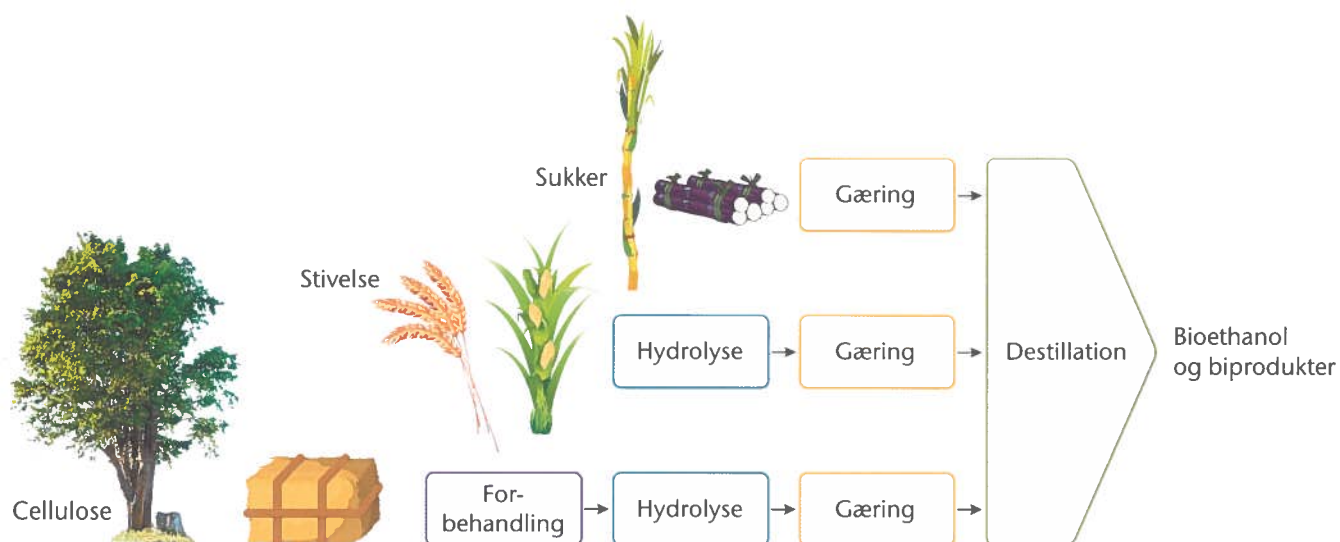
Af reaktionsskemaerne ses at der optages seks molekyler carbondioxid ved fotosyntesen, mens der ved gæring og forbrænding frigives henholdsvis to og fire molekyler carbondioxid. Da planterne inden for kort tid har optaget en tilsvarende mængde carbondioxid ved fotosyntese som senere frigives, kaldes bioethanol for et CO_2 -neutralt brændstof. I modsætning hertil har de fossile brændstoffer været oplagret i jorden i millioner af år og er derfor ikke længere en del af det aktive carbonkredsløb. Frigivelsen af carbondioxid ved afbrænding af fossile brændstoffer øger derfor koncentrationen af carbondioxid i atmosfæren, se figur 145.

Figur 145. Bioethanols placering i carbonkredsløbet.



Som vist i figur 146, kan bioethanol produceres ud fra tre typer af råmateriale:

- Sukker, som kan komme fra sukkerrør, sukkerroer og frugt.
- Stivelse, som kan komme fra majs, korn, cassava, kartofler og rodfrugter.
- Cellulose, som kan komme fra træ, halm og papir.



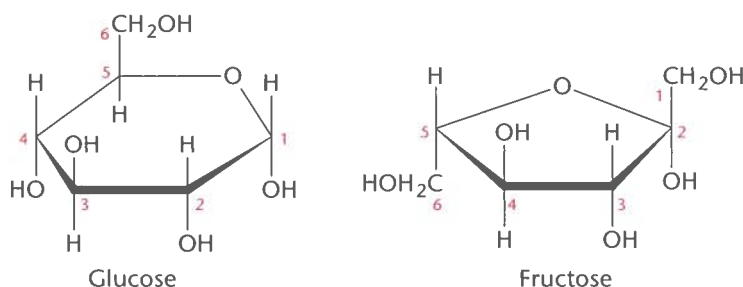
Produktion af bioethanol ud fra sukker eller stivelse kaldes første generation af bioethanol, mens produktion ud fra cellulose kaldes anden generation af bioethanol.

Figur 146. Tre typer af biomasse som kan omdannes til bioethanol.

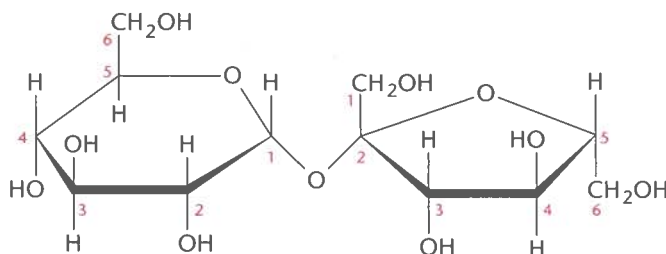
Første generation af bioethanol

Gærceller kan kun omdanne simple carbohydrater som glucose (druesukker) og fructose (frugtsukker) til ethanol. Disse carbohydrater kaldes monosaccharider og har molekylformlen $C_6H_{12}O_6$, se figur 147.

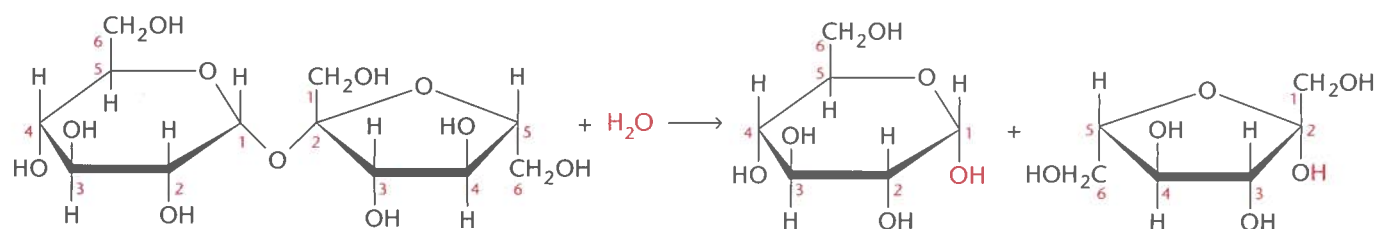
Sucrose (rørsukker, roesukker) er et disaccharid med molekylformlen $C_{12}H_{22}O_{11}$ som er sammensat af monosacchariderne glucose og fructose, som vist i figur 148. Sucrose og andre disaccharider skal derfor



Figur 147. De kemiske strukturer af monosacchariderne glucose og fructose.



Figur 148. Den kemiske struktur af disaccharidet sucrose.



Figur 149. Reaktionsskema for hydrolyse af sucrose til glucose og fructose.

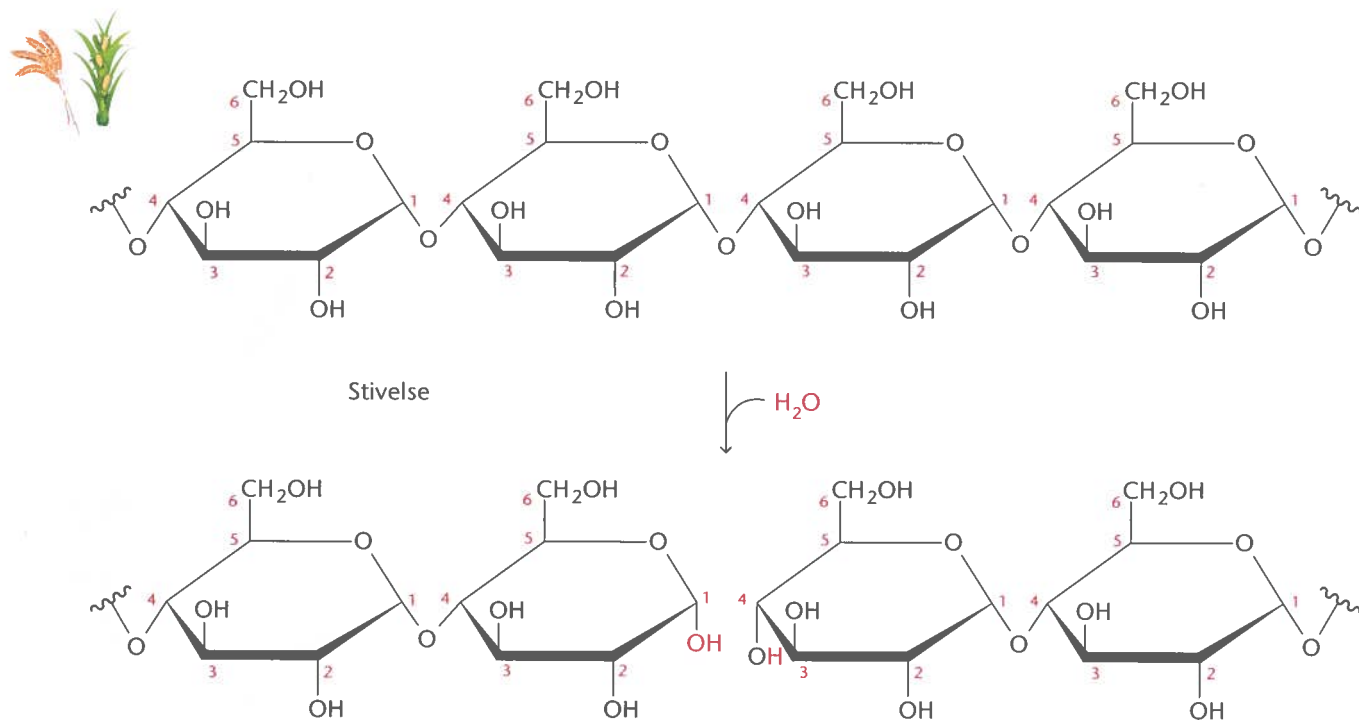
først nedbrydes til monosaccharider, før de kan udnyttes af gærcellerne.

Enzymet sucrase katalyserer hydrolysen af sucrose hvorved bindingen mellem glucose og fructose brydes, som vist i figur 149.

Stivelse er et polysaccharid der består af lange kæder af glucose-molekyler. De er bundet sammen på en særlig måde som man kalder α -bindinger (α udtales alfa), se figur 150. Enzymet α -amylase katalyserer hydrolysen af stivelse ved at bryde α -bindingerne mellem glucose-molekylerne.

Da sukker og stivelse indgår i basisfødevarer som frugter, rodfrugter og kornprodukter der udgør hovedbestanddelen af kosten i mange udviklingslande, er det etisk problematisk at fremstille brændstoffer heraf, når der samtidig er mangel på fødevarer i store dele af verden. Det har ledt til udvikling af anden generation af bioethanol.

Figur 150. Den kemiske struktur af et udsnit af stivelse og hydrolyse af stivelse.



Anden generation af bioethanol

Anden generation af bioethanol fremstilles ud fra cellulose som er hovedbestanddelen af cellevæggen i planteceller. Det betyder at der kan anvendes planteaffald som halm, stokke fra majsplanter og træflis til produktionen af bioethanol. Det er en stor fordel at affald kan bruges som en ressource, da det alligevel skulle have været afbrændt hvorved der ville blive udledt carbondioxid.

Cellulose er ligesom stivelse et polysaccharid som er opbygget af lange kæder af glucosemolekyler, se figur 151. Hvor bindingen i stivelse kaldes en α -binding, kaldes den i cellulose en β -binding (β udtales beta). Denne forskel betyder at enzymet α -amylase ikke kan spalte bindingen, hvilket også betyder at vi mennesker ikke kan fordøje cellulose, da vi mangler det enzym som skal bryde β -bindinger. I udviklingen af anden generation af bioethanol har man derfor fundet enzymer som kan spalte β -bindinger – de kaldes cellulaser. Cellulaser findes hos nogle bakterier og svampe, fx bakterier der lever i maven på køer og andre drøvtyggere.

Brugen af planteaffald kompliceres af at cellulose er bundet sammen med hemicellulose og lignin, hvilket gør plantematerialet hårdere og mere robust, se kapitel 2 side 27 om cellevæggen. Hemicellulose er ligesom stivelse og cellulose et polysaccharid som består af mange monosaccharider. Hemicellulose indeholder ud over glucose også monosacchariderne xylose og arabinose. Det kræver mange forskellige enzymer at få nedbrudt hemicellulosen, da det er et mere komplekst molekyle som består af flere forskellige bindingstyper. Gærceller kan desuden ikke omdanne xylose og arabinose til ethanol. Lignin er også et stort komplekst molekyle som er vanskeligt at nedbryde, og det kan ligeledes ikke omdannes til ethanol af gærcellerne. For at frigive cellulose fra planteaffald kræves derfor en forbehandling, så enzymerne kan få adgang til cellulosen.

Figur 151. Kemisk struktur af cellulose.

