

BÆREDYGTIG KATALYSE

NINA LOCK

LEKTOR VED INSTITUT FOR BIO- OG KEMITEKNOLOGI, AARHUS UNIVERSITET

Med klimakrisen står menneskeheden over for store udfordringer, og nye teknologiske løsninger er essentielle for at nedbringe CO₂-udledningen. En konstruktiv tilgang er at fjerne drivhusgassen CO₂ og udnytte den som en ressource til fremstilling af fx brændstof eller plastik. En anden tilgang er at erstatte fossile brændstoffer med alternative energiteknologier såsom brint. Men hvad kræver det? Hvorfor er det så svært at omdanne CO₂? Og hvordan kan kemien bidrage til bæredygtige løsninger?

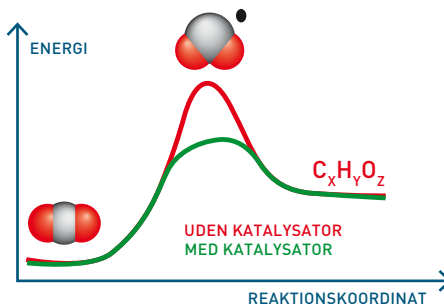
Fotosyntesen finder sted i planter, hvor CO₂ og vand omdannes til biomasse og ilt ved brug af sollys.



Siden den industrielle revolution har vores energiforbrug været stigende som følge af den teknologiske udvikling. Vi tager for givet, at vi kan pendle på arbejde, flyve på ferie, og at der er strøm til alt fra komfuret og tørretumbleren til robotplæneklipperen, og selvfølgelig er der nem adgang til rengøringsmidler, plastik, maling og cement. Og sådan skal det blive ved med at være! Afbrænding af fossile brændstoffer er i dag en forudsætning for den høje levestandard, og en konsekvens heraf er udledning af drivhusgassen CO₂. En anden problematik er, at kul, gas og olie er begrænsede ressourcer, der ikke alene anvendes som brændstoffer, men også til produktion af alt fra plastik og polyestertrøjer til medicin. I de seneste år er der kommet stort fokus på overgangen til vedvarende energiteknologier som sol og vind, og der forskes intensivt i udviklingen af metoder til omdannelse af CO₂ samt produktion af energibæreren brint (hydrogen) ved spaltning af vand til brint og ilt.

Udfordringen ved CO₂ er molekylets kemiske stabilitet. Ved forbrænding af organisk materiale dannes der CO₂, mens der frigives energi i form af varme. Hvis processen skal forløbe den modsatte vej, altså så der dannes organisk materiale ud fra CO₂, vil det mindst kræve tilførsel af en mængde energi svarende til den, der blev frigivet ved forbrændingen.

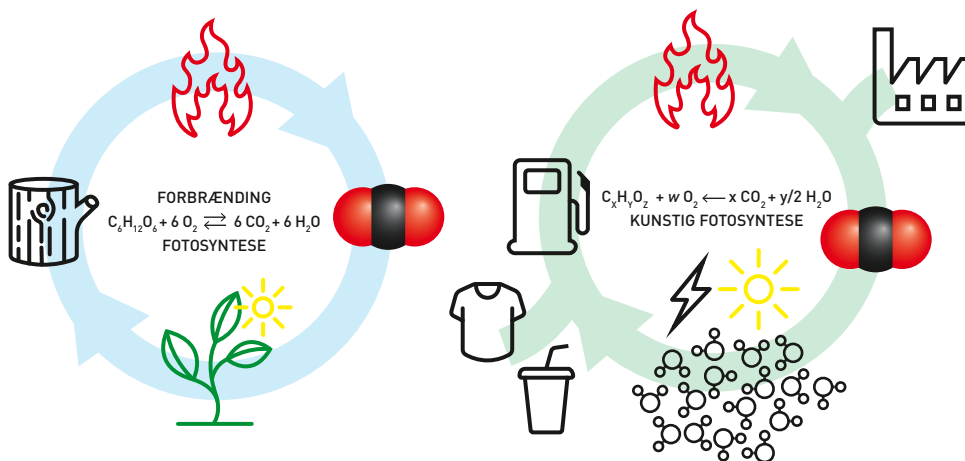
Med andre ord er CO₂-omdannelse en mulig, men energikrævende proces. Faktisk er den naturlige fotosyntese naturens metode til omdannelse af CO₂. Fotosyntesen finder sted i planter, hvor CO₂ og vand omdannes til



Forsimpleret energidiagram over omdannelsen af CO₂ til forskellige produkter på formen C_xH_yO_z såsom CH₄ (metan) eller CH₃OH (metanol). Et stabilt molekyle har lav energi. CO₂-omdannelse finder typisk sted gennem en energikrævende proces, hvor radikalet CO₂[•] dannes. Ved en katalytisk proces sænkes processens energibarriere, hvorved der skal tilføres mindre energi, for at få processen til at forløbe.

biomasse og ilt ved brug af sollys. Energitilførslen sker altså i form af lys, der absorberes i planternes klorofyl, hvorefter der sker en avanceret kemisk proces. Forbrænding og fotosyntese er således hinandens modsatte reaktioner.

Hvor fotosyntesen er naturens raffinerede metode til CO₂-konvertering, er der i forskningen stort fokus på kunstige processer, hvor resultatet ligeledes er omdannelse af CO₂ til organiske stoffer. Produkterne kan være brændstoffer (fx metanol eller metan) eller byggesten til den kemiske industri (fx CO eller metansyre), hvorved de principielt kan erstatte nogle af de stoffer, man konventionelt udvinder fra råolie. Det er katalysatorens kemiske opbygning, der bestemmer, hvilket produkt der primært vil dannes. Processerne betegnes som kunstig fotosyntese, men er ikke et forsøg på at kopiere naturens komplekse kemi. Faktisk bruges betegnelsen også om spaltning af vand til brint og ilt.



Sammenligning mellem den naturlige fotosyntese og kunstig CO₂-omdannelse. Når organisk materiale forbrændes, dannes CO₂, som i planter kan omdannes til biomasse ved hjælp af sollys. Konceptet i CO₂-omdannelse ved brug af syntetiske katalysatorer og lys eller strøm som drivkraft beror på et lignende princip; CO₂ dannet ved forbrænding eller i industrielle processer kan omdannes til brændstof eller byggesten til den kemiske industri.

Hvor fotosyntesen er naturens raffinerede metode til CO₂-konvertering, er der i forskningen stort fokus på kunstige processer, hvor resultatet ligeledes er omdannelse af CO₂ til organiske stoffer.

Mens sollys driver den naturlige proces, kan CO₂ omdannes eller brint produceres i de kunstige processer ved brug af strøm, lys eller overskudsvarme. Det er essentielt for processens bæredygtighed, at der bruges vedvarende energi, da det naturligvis ikke giver mening at brænde kul af på et kraftværk for at bruge strømmen til CO₂-omdannelse. Processer, hvor strøm bruges til fremstilling af kemiske stoffer, kaldes også Power-to-X.

Hjertet i processerne er katalysatoren. I den naturlige fotosyntese er katalysatoren klorofyl, mens de kunstige processer finder sted ved brug af en katalysator i form af et syntetisk materiale, ofte i form af et fint pulver. En katalysator er pr. definition et stof, der sænker energibarrieren for en kemisk proces uden selv at forbruges. Det betyder med andre ord, at der skal tilføres mindre energi, for at processen kan finde sted, end det var tilfældet uden katalysatoren.

I min forskning fokuserer jeg på udviklingen af nye foto- og elektrokatalysatorer, der hhv. bruger lys og strøm som energikilde, og min forskningsgruppe har særligt fokus på udvikling af katalysatorer til CO₂-omdannelse og

brint-udvikling. Vores overordnede mål er at fremstille porøse materialer med store overfladearealer, idet de katalytiske reaktioner finder sted på katalysatorens overflade. Ydermere er det et krav for fotokatalysatorer, at de skal absorbere lys, mens elektrokatalysatorer skal have en rimelig elektrisk ledningsevne. Materiale fremstillingen skal være skalerbar og billig, og katalysatorerne skal være fri for ressourcebelastende grundstoffer, hvis de skal kunne bruges til udviklingen af nye teknologier, der reelt kan bidrage til klimakampen.

Design og syntese af nye materialer er en videnskab og et håndværk i sig selv. Vi har særligt fokus på såkaldte hybridmaterialer, der består af en organisk og en uorganisk bestanddel, fx de såkaldte metal-organiske netværk. Typisk skal der udføres adskillige systematiske eksperimenter, hvor en række syntese-parametre screenes for at opnå materialer med de ønskede karakteristika. Sideløbende med synteserne udføres tests af de katalytiske egenskaber. Vi kombinerer studier af katalysatorernes effektivitet med undersøgelser af materialernes struktur på forskellige længdeskalaer (fra sub-nanometer til millimeter-skala) for at forstå sammenhængen mellem struktur og egenskaber. Således undersøges materialet ved mikroskopiske teknikker for at bestemme form og størrelse af katalysatorpartiklerne, mens røntgen- og neutronbaserede teknikker bruges til strukturelle studier på atomar skala. Vi har på nuværende tidspunkt fokus på at udvikle knowhow, så vi kan undersøge materialerne på atomar skala, mens der sker kemiske reaktioner. Således ligger min forskning på grænsefladen mellem katalyse og strukturkemi, og grundforskningen har stort fokus. I samarbejde med kollegaer og samarbejdspartnere vil det næste naturlige skridt være forsøg med opskalerede processer.

Konceptet bag fotokatalyse (venstre) og elektrokatalyse (højre). En fotokatalysator absorberer lysfotoner med energien $h\nu$, hvorved der dannes elektron-hul (e^- - h^+) par. På overfladen af katalysatoren kan elektronerne bruges til reduktionsreaktioner (fx CO₂ til produkter på formen C_xH_yO_z), mens hullerne kan bruges til oxidationsreaktioner (fx oxidation af vand). I elektrokatalytisk CO₂ reduktion pålægges et potential, og der sker en oxidation af vand ved anoden, og reduktionen sker ved katoden, hvorpå katalysatoren er deponeret.

