

Hvorfor tror biologer at man kan lagre energi i kjemiske bindinger ?



Det er dessverre lett å dokumentere at ihvertfall noen biologer lider under denne misforståelsen. Hvorfor de gjør dette, og hvorfor det særlig er biologer som er belastet med dette feilaktige perspektivet, finnes det en forklaring på. Men før vi kommer dit er det nødvendig å reflektere litt over begrepene "energi" og "kjemisk binding".

Til daglig snakker vi om energi som om vi har en klar forestilling om hva det er. Vi sier at "energien" er konstant, og at energi, som Ibsen kanskje ville uttrykt det, *ikke kan skabes, ei heller tabes*. Vi snakker om at "energiinnholdet" i ditt eller datt er slik og slik, og dessuten snakker vi om "varmeenergi", "kinetisk energi", "potensiell energi", "kjemisk energi", "bioenergi" osv. som om dette er energier med forskjellige kvaliteter.

Med utgangspunkt i Einsteins formel: $E = mc^2$ hevdes det at energi er lik masse, uten at det

egentlig skaper særlig klarhet. Vi snakker også om "fornybar" energi når vi egentlig mener den prosessen som kan være en kilde til energi.

Enheten for energi er idag **Joule** definert som: $1 \text{ newton} \times 1 \text{ meter}$. Newton er definert som den kraft som kan gi en masse på 1 kg en akselerasjon på 1 meter pr, sek^2 . (kgm/s^2). Dermed er $1 \text{ J} = \text{kgm}^2/\text{s}^2$

Vi ser at enheten representerer et arbeid definert som "Kraft x vei"

En annen enhet for energi er **kalori** der $1 \text{ Kal} = 4.186 \text{ J}$. Vi har også enhetene "erg" og "elektronvolt"

I det hele tatt snakker vi om energi som om det var et slags stoff, og det trodde man jo også engang. Fortsatt hevder noen at ingen egentlig vet hva *energi* er, mens andre hevder at en grei definisjon er; "*evnen til å utføre arbeid*". Det siste slutter vi oss helhjetet til, ikke minst fordi enheten for energi er den samme som enheten for arbeid, nemlig Joule. (tidligere kalori, se faktaboks)

Det som kanskje er mest typisk for energibegrepet er at det bare dukker opp i forbindelse med en forandring i et system; en prosess. Alle prosesser i naturen drives av de såkalte naturkreftene, og enhver prosess er uløselig knyttet til utveksling av et arbeid (w) og/eller en utveksling av varme (q). En endring av et system fra tilstand A til tilstand B kan skje på mange måter, og arbeidet og varmeutvekslingen som er knyttet til endringen vil variere med måten endringen skjer på. Men **summen av de to** vil alltid være den samme for en gitt tilstandsendring, og det er dette vi kaller *energi*: $E_{BA} = (w + q)_{BA}$. Dersom vi sørger for at systemet bringes tilbake fra tilstand B til tilstand A vil den tilsvarende energiforandring E_{AB} være nøyaktig lik E_{BA} med negativt fortegn: $E_{AB} = -E_{BA}$. Det betyr at den totale energiforandring når systemet bringes fra A til B og tilbake til A er null. Derfor er det umulig å lage et "perpetuum mobile", og derfor sier vi at energien er konstant. Det betyr at "energi"

hverken kan oppstå eller forsvinne uten videre, og dette er én formulering av termodynamikkens første hovedsetning. Fig.1. Dette er også grunnlaget for at det er mulig (og fornuftig) å føre et energiregneskap. I et slikt energiregneskap er det vanlig å angi energien knyttet til en gitt forandring som en forskjell i energi

$$\Delta E = Q + w$$

Termodynamikkens første hovedsetning
Fig. 1.

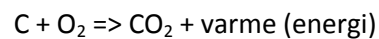
mellom endetilstand (B) og begynnelsestilstand (A): $\Delta E_{BA} = E_B - E_A$. Denne skrivemåten støtter forestillingen om at tilstandene A og B har bestemte energier, men da det må huskes at det her bare dreier seg om relative verdier, ikke absolutte. Ligningen $E = mc^2$ forteller hvor mye arbeid og varme (energi) som er knyttet til en prosess der det skjer en endring i systemets masse, f.eks. en fusjon av to hydrogen kjerner til en heliumkjerne slik det skjer på solen.

Poenget i denne gjennomgangen er å understreke at "energi" bare eksisterer ved en forandring i et system, og at vi ikke kan tillegge noen deler av systemet et absolutt energiinnhold. Det vi kaller en energiendring (ΔE) er uløselig knyttet til en definert tilstandsendring i et gitt system.



Fig.2. Er kull en energikilde ?

Til tross for det vi har nevnt ovenfor, snakker vi til daglig ofte om "energiproduksjon", eller om energiinnholdet f.eks i sukker. I noen lærebøker kan vi lese at kull er vår eldste og viktigste "energikilde". Men for å få noe energi ut av kull så brenner vi den, dvs. vi arrangerer følgende prosess:



Spørsmålet blir da; er energien lagret i C eller i O ?

Svaret er naturligvis; ingen av delene, energien stammer fra en endring av et system bestående av C + O₂ til et system av CO₂

Tilsvarende er det slik at når vi snakker om energiinnholdet i sukker, så mener vi den energien som er knyttet til endringen av et system av suktermolekyler til et system av karbondioksid og vann.

Når vi nå har dette på det rene kan vi se litt på begrepet "kjemisk binding"

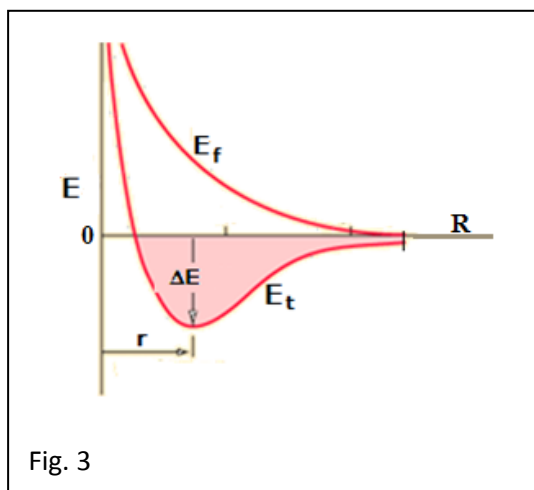


Fig. 3

Når to atomer nærmer seg hverandre vil de bli påvirket av både tiltrekkende og frastøtende krefter. Dersom de frastøtende kreftene dominerer må det gjøres et stadig større arbeid på systemet for å minske avstanden mellom de to atomene. Dette er illustrert av kurven E_f i fig. Dersom imidlertid de tiltrekkende kreftene dominerer vil systemet utføre et arbeid inntil atomene er i en bestemt avstand fra hverandre der frastøtende krefter igjen begynner å dominere. Dette illustreres av kurven E_t i fig. 3. I tråd med vanlig sjargong sier vi at systemet med de to atomene i avstanden r fra hverandre er på et lavere energinivå enn systemet med de to atomene langt fra hverandre.

Differansen (ΔE) representerer den energien som er frigjort under prosessen. De to atomene i avstanden r vil altså representere et stabilt system hvilket vil oppfattes som en binding. Det må med andre ord et arbeid til for å trekke dem fra hverandre. Som vi har sett ovenfor vil det arbeidet (energien) som frigjøres ved etableringen av bindingen mellom atomene, være nøyaktig den samme

som den som skal til for å bringe de to atomene fra hverandre igjen. Det er dette vi kaller bindingsenergien og den vil vanligvis variere mellom 146 kJ/mol ($O=O$) og 945 kJ/mol ($N\equiv N$).

Det burde være rimelig klart etter dette at kjemiske bindinger ikke er et sted der man kan lagre energi.

Likevel står det å lese i en lærebok for norsk skole:ⁱ



”Kjemisk energi er en indre stillingsenergi----”

Og:

”Den blir avgitt når de kjemiske bindingene mellom atomene eller ionene blir brutt”

Begrepet ”kjemisk energi” kan aksepteres i den grad man ønsker å understreke at energien (arbeid + varme) stammer fra en kjemisk prosess, men ”indre stillingsenergi” er verre. Det antyder at bindingene mellom atomene kan betraktes som spente stålfjærer som venter på å slippe løs. Dette inntrykket forsterkes av den andre setningen: energi frigis ved brudd av kjemiske bindinger. Som vi har sett ovenfor er det i virkeligheten tvert imot, det er dannelsen av bindingene som frigir energi.

Desverre er denne boken ingen enslig svale siden vi i en annen bokⁱⁱ for naturfag for videregående skole kan lese:



”I oppbyggingsprosessene trengs det energi for å sette sammen nødvendige bindinger i molekylene slik at de danner et produkt.”

”I nedbrytingsprosesser blir energi frigitt når bindinger i molekylene blir brutt”.

Her er det, om mulig, enda verre siden det i den første setningen direkte påstås i klartekst at det trengs energi til etablere kjemiske bindinger. Den andre setningen er forsåvidt logisk dersom en godtar den første, men, som Peer Gynt sier: *”Hvor utgangspunktet er galest, blir titt resultatet*

originalt”

Det finne flere eksempler på denne type vranglære^{iii, iv}, og sansynligvis finnes det mange lærebøker i skolen med dette gale budskapet, og årsaken ser ut til å være at i skolen er det ofte biologer som har fått ansvaret for kjemiundervisningen. Og så har vi spørsmålet om det spesielt er biologer som lider av slike misforståelser som vist til ovenfor. Ja det kan faktisk være en grunn til det. Selv om vel alle ”naturfagvitere” har et grunnlag i generell kjemi, så kan nettopp biologer senere i studiet ha lært noe som har fått dem til å glemme

barnelærdommen. Her har vi for eksempel et sitat fra en relativt avansert bok i biologi fra 1967^v



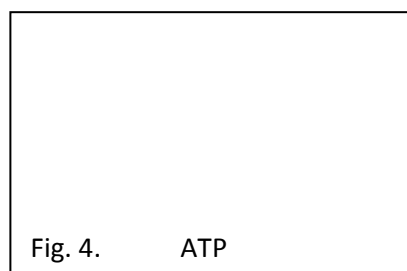
”The animal body derives its energy from the chemical energy stored in the molecules of the diet. When a molecule is synthesized, energy is required for the assembly of its constituent atoms- bond formation.”

Og videre:

The animal taps the stored chemical energy of such molecules.

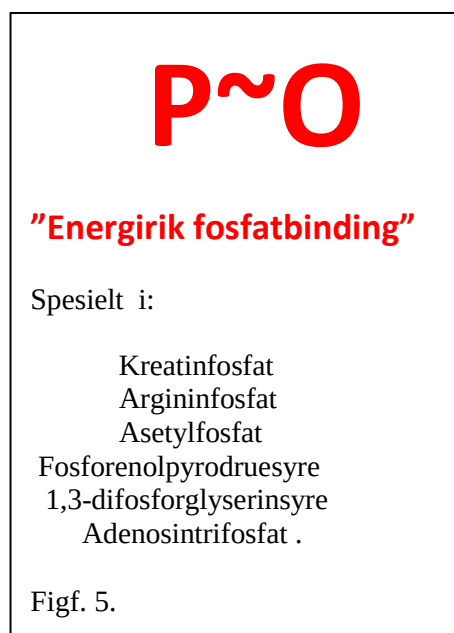
Dette er jo meget likt sitatet fra den norske læreboken, og vi finner igjen ideen om at energi er lagret i et molekyl og at det kreves energi for å danne kjemiske bindinger. Skal vi finne roten til disse forestillingene må vi enda lenger tilbake i tiden.

I 1930 årene ble det slått fast at sentrale energikrevende prosesser i en levende organisme krevde tilstedeværelse av adenosintrifosfat (ATP). Etterhvert ble det også funnet at ATP,



eller andre spesielle fosfater (Fig. 5), alltid var tilstede ved slike prosesser og at ATP var den sentrale ”energivaluta” i alle levende organismer

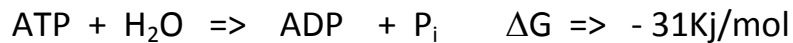
Alt dette er jo vel og bra, men det katastrofale var at Fritz Lipman i 1941 lanserte begrepet ”energirik fosfatbinding”, og denne bindingen ble bæret med et eget symbol som vist på fig.5. Begrepet startet en tildels opphetet diskusjon i faglitteraturen der både termodynamikk og kjemiske bindinger ble diskutert av størelser som Barbara Banks, Linus Pauling og A.F.Huxley. Dessuten ble det satt igang en hektisk forskningsvirksomhet innen strukturkjemien angående disse ”energirike bindinger”. Naturligvis ble det endelige resultat av denne forskningen at disse bindingene var helt normale. Likevel forsvant ikke begrepet ”energirike bindinger” og forestillingen om at energi er lagret i et molekyl eksisterer fortsatt.



Hvorfor det nettopp er fosfater som har havnet i denne rollen som energikilder er kanskje ikke så lett å svare på, men en årsak kan være at ”livets kjemi” stort sett er kjemi i vandig miljø og at energien som frigjøres ved hydrolyse av disse forbindelsene er relativt stor.

Eksempelvis gir hydrolysen av fosforenolpyrdruesyre 61.9 kJ/mol og tilsvarende verdi for kreatinfosfat er 43.1 kJ/mol. Hydrolysen av ATP gir ca 31 kJ/mol som vist nedenfor. I

vandig miljø vil ATP være ionisert og molekylet litt stresset pga tre negative ladninger i nærheten av hverandre. P-O bindingene vil derfor være relativt svake slik at det skal lite energi til for å bryte dem. Dette forholdet er mindre tilstede i ADP på produktsiden. Dessuten er det her dannet en ny P-O binding i den fri fosfatgruppen. Frigjøringen av 31 kJ/mol er altså like mye avhengig av tilstanden hos enhetene på produktsiden som på reagenssiden:



I levende organismer skjer det mange kjemiske prosesser som energetisk sett går ”oppover bakke”. En slik prosess er dannelsen av glukose-6-fosfat:



der enrgiendringen er +14kJ/mol. Her er altså systemet glukose-6.fosfat og vann på et ”høyere energinivå” enn systemet glukose og fosforsyre. Likevel kan vi få dette til ved å koble denne prosessen med en som kan avgir minst 14kJ/mol, men helst mer. Det har vi i hydrolysen av ATP. Spørsmålet er bare om vi kan koble disse to prosessene slik at vi får en samlet prosess som avgir energi. La oss tenke oss at vi har et makromolekyl (enzym) som kan fange opp ATP og isolere det fra det vandige miljø slik at hydrolyseprosessen ikke lenger kan skje. La oss videre tenke oss at dette enzymet også kan fange opp glukose slik at det er i nærheten av ATP. Nå kan hydrolysen av ATP skje dersom det får et vannmolekyl fra glukose, som på sin side kan få den avspaltede fosfatgruppen. Dette er forsøkt illustrert i Fig. 6

(legg merke til at ATP ikke representerer noen ”energikilde” så lenge det ikke kan få tak i et vannmolekyl)

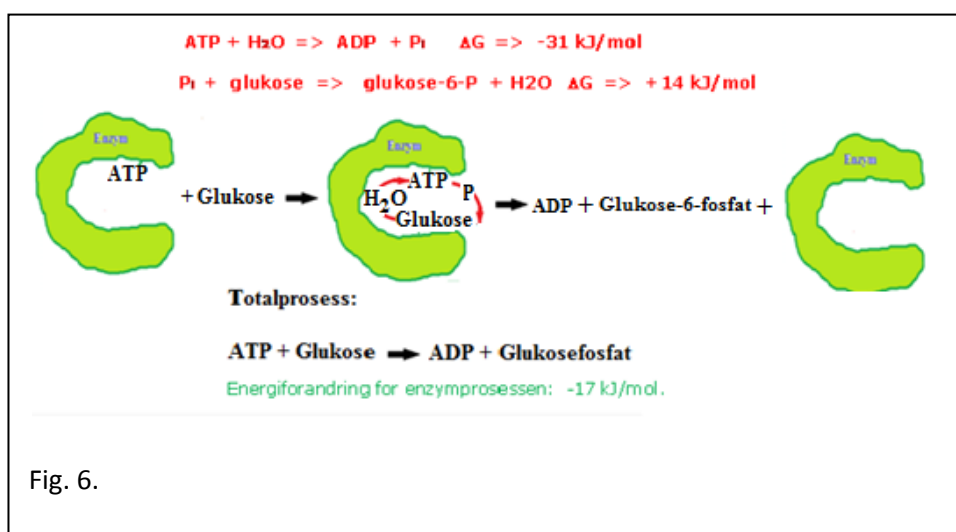


Fig. 6.



Og slik er det naturligvis at naturen gjør dette, om ikke nøyaktig slik som det tenkte eksempelet ovenfor..

Kanskje kan vi bli enige om at når en kjemisk binding dannes, så frigjøres det energi. Derfor må det gjøres et arbeid (energi) for å bryte en kjemisk binding.

Energi er noe som bare eksisterer i forbindelse med en forandring.

Begge disse fakta gjør det meningsløst å snakke om å lagre energi i en kjemisk binding

ⁱ **Kosmos**” Naturfag for studieforberedende utdanningsprogram. Side 94-95.

ⁱⁱ Biologi, Bios2, side 77

ⁱⁱⁱ Aschehoug: Nexus 8NATURFAG 5): s : 159

^{iv} Gyldendal: Bi 2 (grunnbok i biologi) s: 31

^v “Molecular insights into the living process” (Academic Press 1967)