

Enzymer og katalysatorer

Reaktionsligningen:



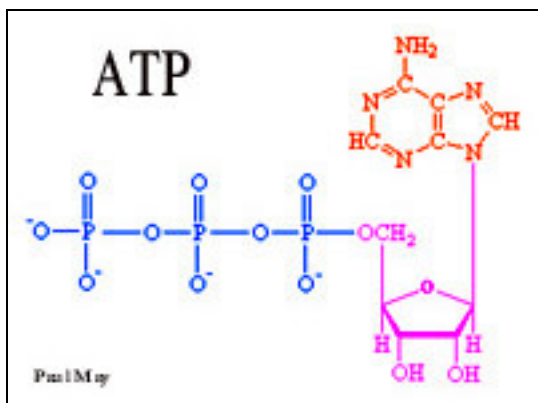
viser den kemiske reaktion, der leverer energi til alle stofskifteprocesser i cellerne i kroppen.

Kemisk er der tale om en forbrændingsproces, hvori atmosfærisk ilt reagerer med glucose og processen udvikler energi.

Foregår forbrændingsprocessen i et reaktionskammer (reagensglas eller lign) - uden for celler, frigøres al den kemiske energi i glucosemolekylet som varme.

I celler derimod foregår reaktionen trinvis, således at cellen dels kan styre forbrændingen og dels sættes i stand til at udnytte energien fra delreaktionerne.

En del af den kemiske energi, der er bundet i glucosemolekylet, frigøres stadig som varmeenergi, medens resten bindes i en for cellen anvendelig energiform - ATP (se også [Fysiologikompendium side 6](#)).



ATP består af en **adeninbase**, en **ribose** og en **fosfatkæde**.

Energioplagringen foregår ved at det yderste fosfatmolekyle kobles på det næstyderste fosfatmolekyle, og energifrigørelsen foregår ved at det yderste fosfat fraspaltes igen; der genvindes ca 70 % af energien.

Cellen anvender katalysatorer for at styre forbrændingen og for at få den til at foregå ved så lav en temperatur som fx 37 °C.

Hele forbrændingsprocessen i en celle kaldes for respiration.

Katalysatorer

En kemisk reaktion er ensbetydende med at molekyler med en passende høj bevægelsesenergi (dvs temperatur) støder sammen.

Hvis sammenstødsenergien er stor nok, sker der en reaktion: bindinger brydes og nye bindinger etableres.

Hvis bevægelsesenergien i molekylerne ikke er høj nok sker der ingenting.

Eksempel:

1. Læg et stykke sukker på bordet og afvent hvad der sker! - formentlig ingenting!
2. Læg sukkerstykket i en digel og varm det op med en bunsenbrænder - hvis temperaturen bliver høj nok bryder sukkerstykket i brand.
3. Læg sukkerstykket i en digel som før, men kom også lidt cigaretaske i den. Varm op med en bunsenbrænder. Sukkerstykket vil bryde i brand ved en meget lavere temperatur end før.

I tredje forsøg er der anvendt en *katalysator*.

Definition: *En katalysator er et stof, som får en kemisk reaktion til at foregå ved en lavere temperatur end den ville foregå af sig selv. Katalysatoren bliver ikke selv forbrugt i reaktionen.*

Enzymer

Et enzym er en *biologisk katalysator*.

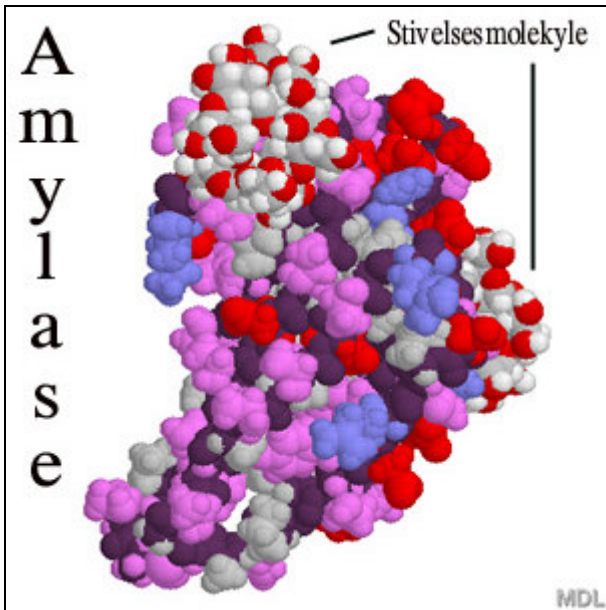
Enzymer er proteiner, sammensat af aminosyrer i et kædemolekyle: aminosyrerækkefølgen udgør det man kalder *proteinets primære struktur*, og rækkefølgen af aminosyrer er bestemt af et gen i cellen (dvs af rækkefølgen af nukleotider i DNA molekylet).

Aminosyre kæden rulles op i spiral (alfa-helix) eller foldes i parallelle bånd (beta -blad). Dette kaldes *proteinets sekundære struktur*. Denne struktur stabiliseres af brintbindinger mellem aminosyrer, af hydrofobe bindinger mellem uladede aminosyrer, af elektriske bindinger mellem ladede aminosyrer, etc.

Endeligt foldes spiral og/eller foldeblad i en *tredimensional struktur (tertiær struktur)*, der stabiliseres af svovlbroer mellem bestemte aminosyrer.

Den tredimensionale struktur betyder, at enzymet har et bestemt område på overfladen, hvor den kemiske reaktion finder sted - reaktionsområdet (se figurer nedenfor).

Da den tredimensionale struktur er forskellig fra enzym til enzym kan enzymet kun indgå i en reaktion med et enkelt stof: enzymet er specifikt.



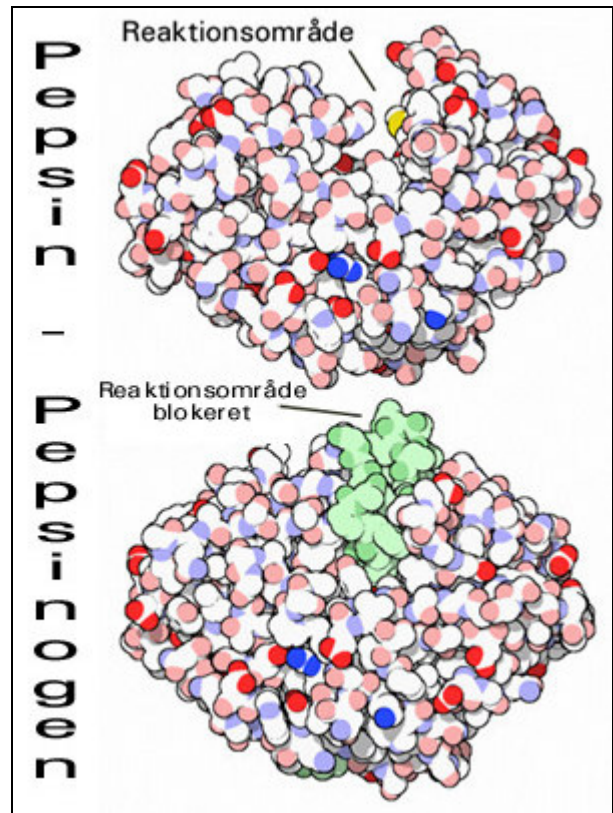
Model af et stivelsespaltende enzym (amylase). Enzymet passer ind i vindingerne på det spiralformede stivelsesmolekyle og spalter stivelsen til maltose (se [forsøgsvejledninger](#)).

Model af proteinspaltende enzym (pepsin). Fordybningen i reaktionsområdet passer til bestemte aminosyrer i proteinmolekyler (tyrosin og phenylalanin). Proteinmolekylet spaltes i to stykker hvert sted en af disse aminosyrer optræder.

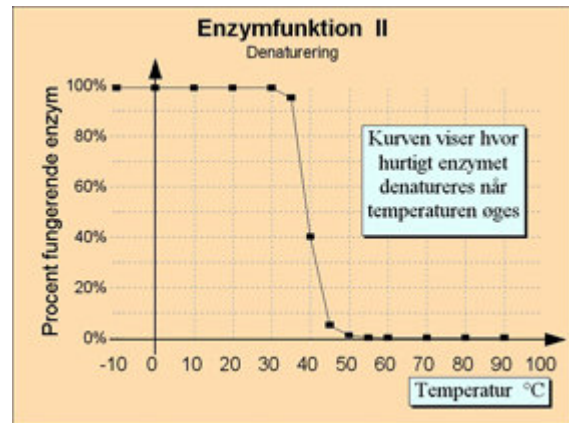
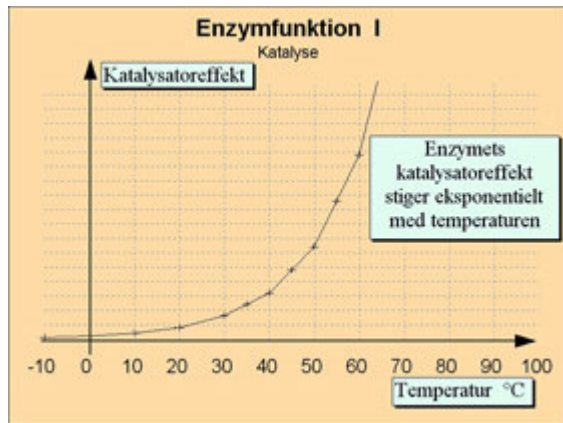
Det proteinspaltende maveenzym pepsin bliver i cellerne fremstillet i en inaktiv form (pepsinogen), således at celleindhold ikke bliver angrebet. Pepsinogen har en lille ekstra kæde af aminosyrer siddende henover reaktionsområdet (vist med grønt i figuren).

Ved kontakt med saltsyren i mavesækken ($\text{pH} < 6$) fraspaltes denne kæde og det aktive pepsin fremkommer.

Enzymerne kan virke som rene proteinenzymer - det gælder for alle fordøjelsesenzymer, men de fleste celleenzymer fungerer ikke uden at der er tilknyttet et mindre organisk molekyle og/eller et mineral: disse ekstramolekyler kaldes coenzymer.



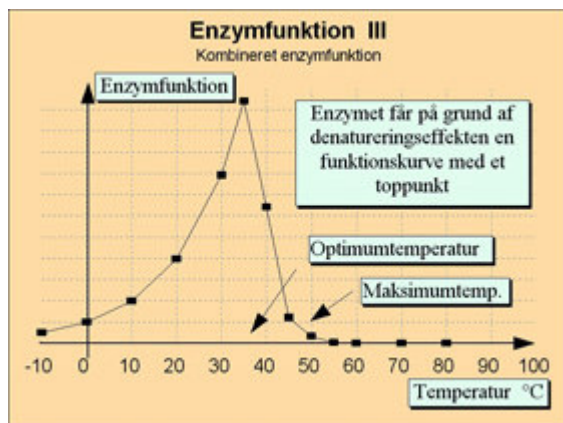
Temperaturafhængighed



Enzymets katalyserende egenskaber vises i diagram I.

Som alle kemiske processer stiger effekten eksponentielt med temperaturen; men da enzymet er et protein, vil en stigning i temperaturen også få molekylerne internt i enzymet til at bevæge sig hurtigere.

Over en vis temperatur er denne egenbevægelse stor nok til at enzymets tredimensionale struktur ødelægges - enzymet denatureres og katalyseeffekten forsvinder (diagram II).



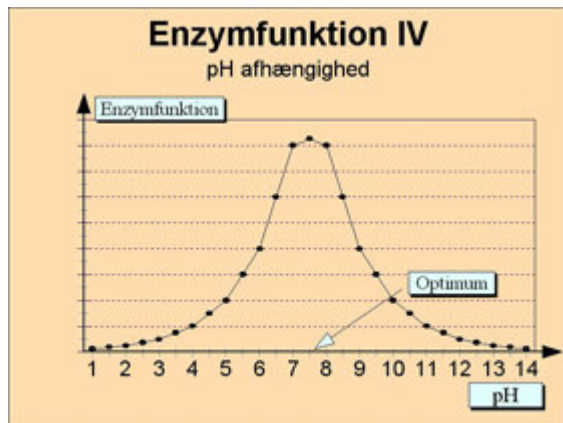
Når denatureringen lægges oven i den katalytiske effekt fås den samlede enzymfunktion. Op til en vis temperatur (optimumtemperaturen) forøges enzymfunktionen som funktion af temperaturen (for de fleste enzymer kan man regne med en fordobling af hastigheden for hver 10 °C temperaturen øges).

Stiger temperaturen yderligere denatureres enzymet hurtigere og hurtigere indtil der ved en temperatur på ca 60 °C stort set ikke er enzymfunktion tilbage (dette er maksimaltemperaturen).

Ved temperaturer herover virker enzymet ikke (diagram III).

Der er tale om en irreversibel denaturering: selv om enzymet afkøles til en lavere temperatur genskabes den ødelagte enzymstruktur ikke og enzymet er permanent virkningsløs.

pH- afhængighed



Ladningsfordelingen i aminosyrernes sidegrupper og i enzymets aktive område forskydes ved ændringer i pH-værdien. Ved en bestemt pH-værdi er ladningsfordelingen optimal og enzymet har sin maksimale virkning. Symmetrisk om dette pH optimum virker enzymet stedse ringere jo længere pH-værdien fjernes fra den optimale værdi. Nogle enzymer har et bredt optimuminterval, medens andre har et snævert pH virkeområde. Desuden er de enkelte enzymeres pH optimum meget forskellige: fx virker mavesækkenzymet pepsin bedst ved pH = 2, medens amylasen i figuren ovenfor har et optimum ved pH = 6,5.

I modsætning til temperaturdenatureringen er pH denatureringen reversibel: enzymet genvinder sin funktion hvis pH-værdien igen ændres til den optimale.

Litteratur:

- James Nishiura: Biology 4 - Lecture outline (proteiner, brintbindinger, m.m.): http://academic.brooklyn.cuny.edu/biology/bio4fv/page/lect_o.htm
- David S. Goodsell: Molecule of the Month at the Protein Data Bank (molekylestruktur, enzymer, tredimensionale modeller): <http://www.scripps.edu/pub/goodsell/illustration/pdb/index.html>

