

E N Z Y M E

BÆREDYGTIGHED MED ENZYMER

En virksomhedscase udarbejdet af Novonesis og Naturvidenskabernes Hus

I samarbejde med

novonesis

PROBLEMBASERET PROJEKTFORLØB

Eleverne skal undersøge, hvordan enzymer kan bidrage til en mere bæredygtig fødevarereproduktion, og dermed skabe værdi for mennesker og samfundet. Dette gøres ved at undersøge mutationer i enzymet *Xylanase* og undersøge mutationernes betydning for reaktiviteten af enzymet. Forløbet foregår i samarbejde med Novonesis.

Kickoff

Forløbet skydes i gang med et virtuelt kickoff, hvor medarbejdere fra Novonesis præsenterer en virksomhedscase. Herefter arbejder eleverne selvstændigt videre med deres projekter.

Status

Midt i forløbet vil det være muligt at sende en mail med spørgsmål til medarbejdere fra Novonesis, som kan hjælpe eleverne videre med deres projekter.

Pitch

Forløbet slutter med en postersession på LIFE Campus i Lyngby, hvor eleverne præsenterer deres problemstillinger og løsninger for hinanden, lærere og medarbejdere fra Novonesis, der giver eleverne feedback på deres arbejde.



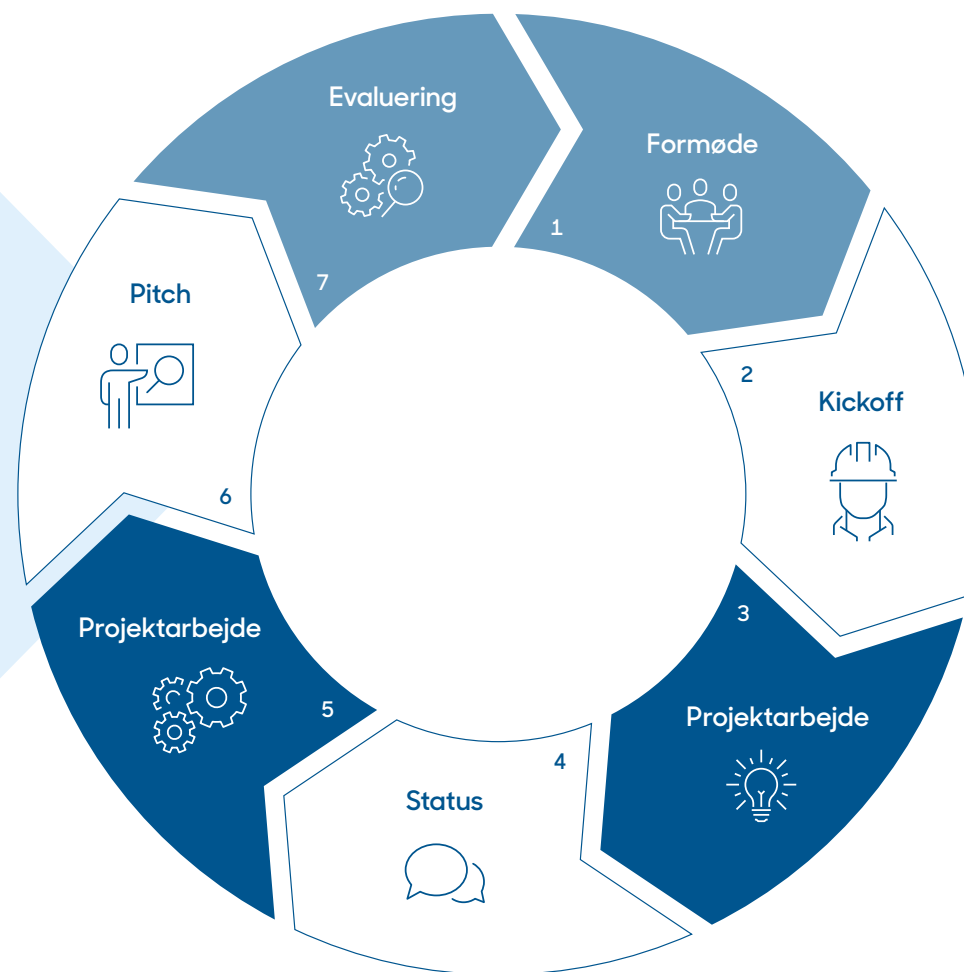
VIRKSOMHEDSCASENS FASER

Denne virksomhedscase er et problembaseret undervisningsforløb med udgangspunkt i en autentisk case fra Novonesis. Hensigten er, at forløbet løfter de faglige forløb i gymnasieskolen og indfrier målet om, at eleverne udvikler kompetencer til at forstå, formulere og behandle samfundsrelevante problemer med henblik på at udvikle bæredygtige løsninger til fremtiden.

Virksomhedssamarbejdet vil forløbe gennem syv faser, som fremgår af modellen. Faserne er fleksible, og modellen kan tilpasses din læreplan og dine ønsker. Samarbejdet vil strække sig over 5-30 undervisningstimer – afhængig af, hvilke faser I har mulighed for at deltage i.

Den specifikke tidsramme aftaler du i samarbejde med Naturvidenskabernes Hus og Novonesis.

[Læs mere om modellens faser.](#)



OM NOVONESIS

Hos Novonesis producerer vi blandt andet enzymer til industriel anvendelse, som kan hjælpe vores kunder med at producere mere med mindre miljøbelastning. Vi er verdens førende inden for biologiske løsninger. Sammen med vores kunder og partnere arbejder vi med at forbedre deres industrielle ydeevne for på den måde at kunne reducere deres CO₂-udledning, som er vigtig i forhold til bæredygtighed og klima.

Bæredygtighed er højt på vores agenda. Faktisk så højt, at vores strategi er inspireret af FN's Verdensmål for bæredygtig udvikling. I de senere år er det blevet tydeligere og tydeligere, at den måde, vi alle bruger vores planets naturlige ressourcer på, skal ændres.

Vores ambition i Novonesis er at støtte op om Verdensmålene og muliggøre ansvarligt forbrug og produktion samt nedbringe anvendelsen af vand og kemikalier. Vi er på en rejse mod CO₂-neutralitet i 2050, forpligtet til høje standarder og ambitiøse handlinger for at nedbringe vores aftryk på klima, vand og cirkulær affaldshåndtering. Se vores [konkrete forpligtelser her](#).

I Novonesis mener vi, at innovation er vejen til kommerciel succes, og at det er vigtigt hele tiden at have de bedste og mest effektive enzymer på markedet. Udvikling af nye forbedrede enzymer er både komplekst og spændende. Vi samarbejder med mange forskellige industrier, f.eks. mad- og drikkevareindustrien, brændstofindustrien, vaskeindustrien samt landbrug- og dyrefoderindustrien.

Enzymer kan anvendes inden for mange forskellige områder, og kan f.eks. gøre vaskemiddel mere virksom ved lavere temperaturer eller

sikre, at brødet i supermarkedet forbliver blødt og spiseligt i længere tid. Der er netop et større behov for en mere bæredygtig fødevarer- og foderproduktion, eftersom vi bliver flere og flere mennesker på jorden, og dermed er der flere munde at mætte.

Ved at tilsætte enzymer til blandt andet dyrefoder kan man hjælpe dyret med at fordøje ellers ufordøjelige komponenter af foderet. For landmanden vil en bedre foderudnyttelse både betyde en kommerciel gevinst samt en øget bæredygtighed af produktionen ved sparede ressourcer, som er til gavn for miljøet på samme måde som elbiler, vindmøller og solceller.

Når enzymerne virker i tarmen, vil deres nedbrydningsprodukter potentielt både have direkte værdi for dyret ved at optage mere næring, men potentielt også påvirke dyrets mikrobiom og derigennem påvirke tarmens funktionalitet. Et eksempel på sådan et enzym er en xylanase.

I udvikling af nye kosttilskud til dyr er det interessant at vide noget om f.eks. enzymets stabilitet under foderbearbejdning, hvordan enzymaktiviteten påvirker betingelser i dyretarmen, eller hvordan enzymerne reagerer på forskellige faktorer. Hvis dyr spiser plantemateriale, der indeholder inhibitorer, så kan et enzyms effektivitet blive sænket. Dette er eksempler på faglige udfordringer, som eleverne kan undersøge i denne virksomheds case i samarbejde med Novonesis.

CASE / BÆREDYGTIGHED MED ENZYMER

Som forskere i Novonesis skal I levere et nyt optimeret enzym til brug i dyrefoder. Enzymet, der skal optimeres, er *GH11 Xylanase*, hvor der allerede er lavet nogle forsøg med effekten af en række mutationer. Baseret på disse resultater, og jeres generelle viden om enzymers opbygning og egenskaber, skal I designe jeres bud på den optimale Xylanase.

Case

- Forklar, hvorfor Novonesis er interesseret i at optimere Xylanase under inddragelse af FN's Verdensmål.
- Hvilken betydning har den tredimensionelle struktur af enzymet GH11 Xylanase? Beskriv den rumlige opbygning og proteinstrukturen ved hjælp af et visualiseringsprogram f.eks. [pdb](#).
- Vurder, hvordan en selvvalgt mutation fra Tabel 1 kan påvirke enzymets egenskaber – f.eks. termostabilitet, katalytisk effekt, aktivitet.
- Design et bud på den optimale Xylanase. Diskuter, hvordan mutationer og/eller introduktion af nye mutationer vil optimere Xylanasens egenskaber.

Tabel 1

Mutation	Effect	Ref.
C4A	19.4% and 85% lower activity at 55C and 75C respectively	Cheng et al. 2014
N37A	3.2% and 43% lower activity at 55C and 75C	Cheng et al. 2015
F52W	Increase stability +5.5C	Bu et al. 2018
W125F	Increase activity +7.5%	Cheng et al. 2015
F163W	Increase activity +9.9%	Cheng et al. 2015
A169P	Increase stability+1.5C	Bu et al. 2018
G201L	Increase stability+8.5C	Bu et al. 2018

Cheng, Y., Chen, C., Huang, C. et al. Structural Analysis of a Glycoside Hydrolase Family 11 Xylanase from *Neocallimastix patriciarum*. *Journal of Biological Chemistry* 289, 11020–11028 (2014). doi: 10.1074/jbc.M114.550905

Cheng, Y., Chen, C., Huang, J. et al. [Improving the catalytic performance of a GH11 xylanase by rational protein engineering](#). *Appl Microbiol Biotechnol* 99, 9503–9510 (2015)

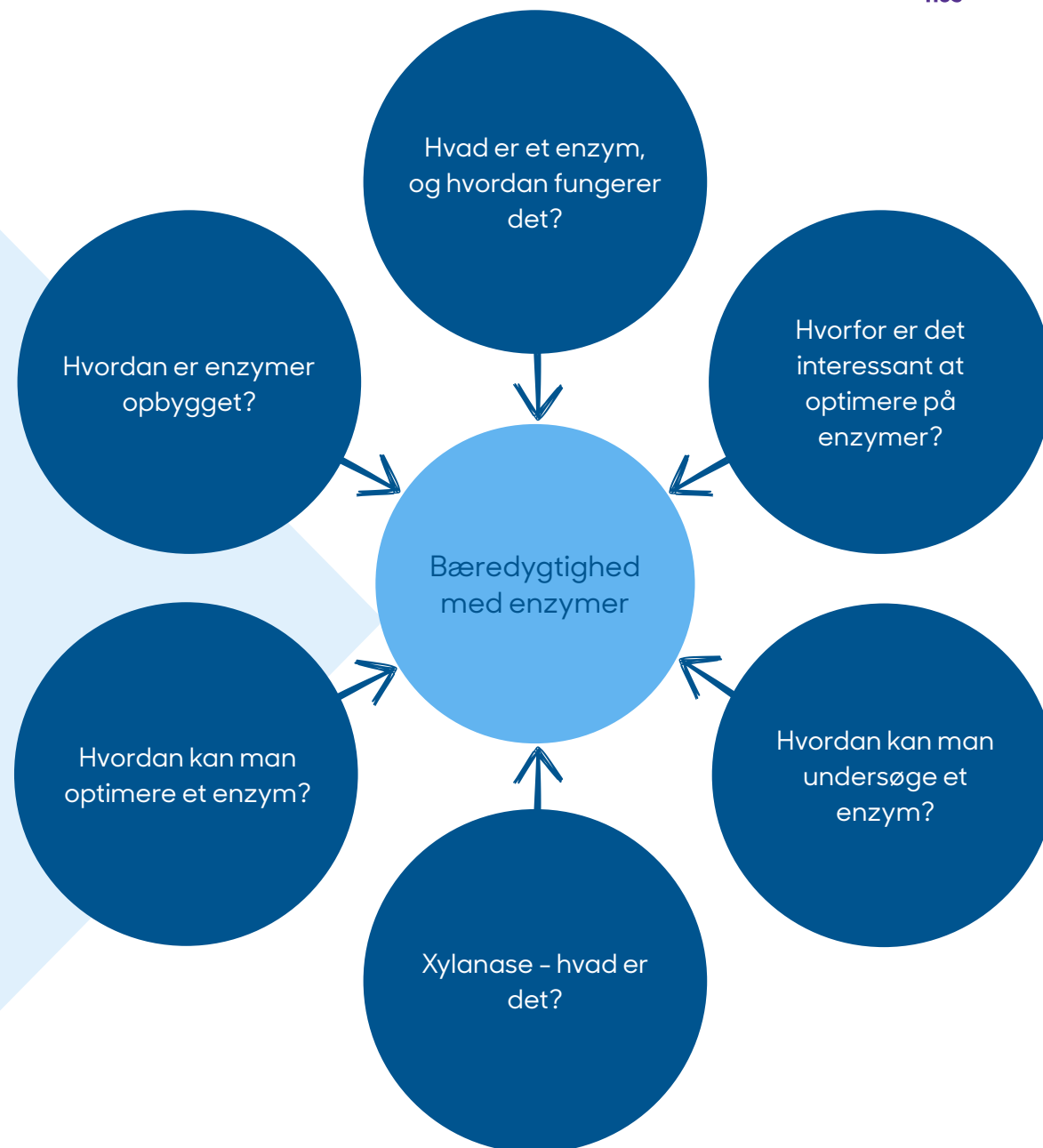
Bu, Y., Cui, Y., Peng, Y. et al. [Engineering improved thermostability of the GH11 xylanase from *Neocallimastix patriciarum* via computational library design](#). *Appl Microbiol Biotechnol* 102, 3675–3685 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8872-1>

PROBLEMSTILLINGER

Arbejdet med denne case om *Bæredygtighed med enzymer* i samarbejde med Novonesis er bygget op omkring "GEOdetektiv"-modellen, hvor der er en række problemstillinger, der alle rækker ind i de overordnede cases.

Problemstillingerne kan udfoldes i større eller mindre grad, således at der f.eks. bruges alt fra en halv lektion til flere lektioner på den enkelte problemstilling.

Problemstillingerne kan behandles i en vilkårlig rækkefølge, og du kan til- eller fravælge problemstillinger, så det passer med det ønskede forløb.



FORSLAG TIL FORLØBSPLAN

Modul	Fagligt indhold
1	<p>Start på case - introduktion til enzymer, deres egenskaber og opbygning</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fokus på katalyserende egenskaber og på enzymklasser • Enzymklasser - opgave
2	<p>Øvelse - Enzymet catalase fra BasiskemiA Xperimentér</p>
3	<p>Aminosyrer - opbygning og kemiske egenskaber</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aminosyrebanko - med 1- og 3-bogstavforkortelse - opgave • Aminosyrers kemiske egenskaber - opgave
4	<p>Øvelse - Aminosyrers isoelektriske punkt</p>
5	<p>Efterbearbejdning af øvelserne</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enzymet catalase • Aminosyrers isoelektriske punkt
6	<p>Enzymers 3-dimensionelle struktur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Introduktion til PyMOL • Undersøgelse af Xylanases struktur
7 - 9	<p>Arbejdet med case og klargøring til præsentation til pitch</p>
10	<p>Pitch og evaluering af forløbet</p>

Skemaet er et forslag til et forløb.

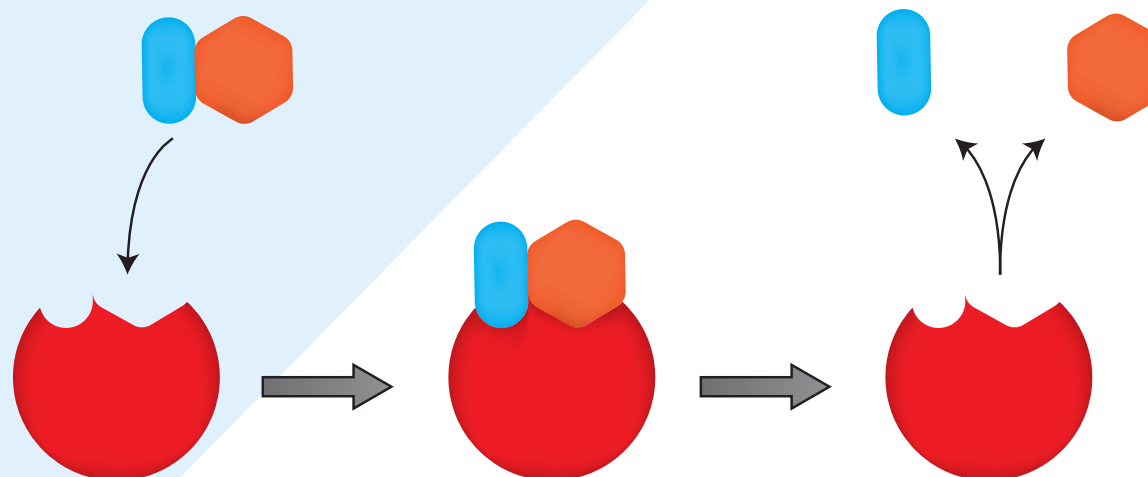
HVAD ER ET ENZYM, OG HVORDAN FUNGERER DET?

Et enzym er et biomolekyle, der katalyserer og dermed øger hastigheden af en kemisk reaktion. For at en kemisk reaktion kan forløbe, skal reaktanterne som minimum have en energi, der svarer til aktiveringsenergien. Aktiveringsenergien er forskellig fra reaktion til reaktion, da nogle reaktanter kræver mere energi for at reagere med hinanden end andre. Enzymer virker ved enten at sænke aktiveringsenergien for en given reaktion eller ved at sørge for, at substraterne vender rigtigt i forhold til hinanden i reaktionsøjeblikket.

Enzymers funktion er yderst specifikke, hvilket betyder, at hvert enzym normalt kun virker på et bestemt substrat eller en gruppe af strukturelt beslægtede substrater. Denne specificitet er afgørende for, at enzymerne kan udføre deres roller i cellerne uden at forstyrre andre vigtige processer.

Enzymer spiller en vigtig rolle i forskellige biologiske processer, såsom fordøjelse, energiproduktion, DNA-replikation og meget mere. De er essentielle for opretholdelse af liv, da de kemiske reaktioner uden katalytisk effekt vil forløbe for langsomt og ineffektivt.

Der er forskellige grupper af enzymer, der er bestemt af den reaktion, der katalyseres. F.eks. katalyserer hydrolaser spaltningen af bindinger, der brydes ved, at der optages vandmolekyler. Et andet eksempel er transferaser, der katalyserer overførslen af en funktionel gruppe fra et molekyle til et andet.



MATERIALEBANK

Lærebogsmateriale

Bioteknologi – en basisbog, P. K. Gasbjerg, G. S. Jensen, A. B. Sørensen, Systime

- s. 69-82 – Proteiner
- s. 83-102 – Enzymer
- s. 103-128 – Enzymkinetik

Bioteknologi 2 – Tema 4: Enzymer og gensplejsning, C. S. Bugge, K. C. Torp, S. V. Wiener, Nucleus

- s. 60-66 – Enzymer
- s. 66-72 – Enzymkinetik

[Enzymernes inddeling](#)

[Kinetik](#)

[Michaelis-Menten-ligningen](#)

[Kemi B, Praksis – Enzymer – Organiske katalysatorer](#)

Biokemibogen, Liv, Funktion, Molekyle, 2. udgave, K. C. Torp, Nucleus

- [Appendiks 5 – Enzymkinetik og enzymgrupper](#)

Aurum 2, K. R. Kristiansen, G. Cederberg, Lindhardt og Ringhof

- 6.16 – Aminosyrer og proteiner

Bioteknologi A bind 3, L. A. Egebo, J. Sundbæk, Nucleus

- s. 79-88 – Enzymers opbygning og virkemåde
- s. 230-239 – Klassificering af enzymer
- s. 261-272 – Enzymers reaktionskinetik
- s. 272-279 – Faktorer der påvirker reaktionshastigheden
- s. 279-285 – Michaelis-Menten kinetik

Basiskemi A, H. Mygind, O. V. Nielsen, V. Axelsen, Haase & søns Forlag

- s. 161-165 – Aminosyrers opbygning og egenskaber
- s. 165-171 – Proteiners struktur
- s. 173-181 – Enzymers struktur og virkemåde
- s. 181-196 – Enzymkinetik

Basiskemi B, O. V. Nielsen, V. Axelsen, Haase & søns forlag

- s. 7-26 – Kemiske reaktioners hastigheder

Videre med kemi, L. A. Egebo, H. Wolff, Nucleus

- s. 285-304 – Aminosyrer og proteiner
- s. 305-325 – Reaktionshastighed
- s. 326-343 – Enzymer og reaktionshastighed

Lærebogsmateriale

Biotech Academy – [Enzymer – Naturens værktøj](#)

AU, Institut for molekylærbiologi og genetik – [Mol-X-Lab – Enzymkinetik](#)

Øvelser

Aurum 2, K. R. Kristiansen, G. Cederberg, Lindhardt og Ringhof

- Aminosyrers isoelektriske punkt

Basiskemi A Xperimentér, H. Mygind, O. V. Nielsen, V. Axelsen, Haase og Søns Forlag A/S

- 26. Aminosyrers isoelektriske punkt
- 27. Enzymet catecholase
- 29. Enzymet alkalisk phosphatase
- 30. Enzymet catalase

Opgaver

Biotech Academy – [Alkohol og enzymkinetik – opgaver om enzymers virkning, Michaelis-Menten-kinetik og enzyminhibering](#)

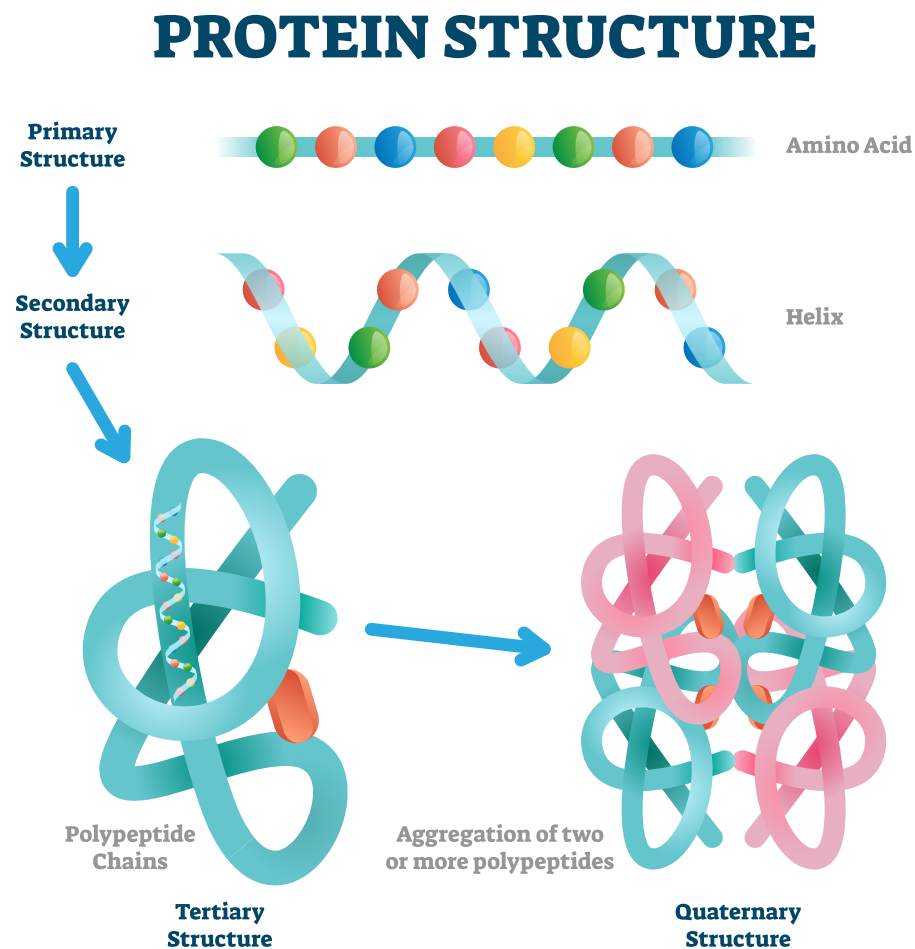
Naturvidenskabernes Hus – [Enzymklasser](#)

HVORDAN ER ENZYMER OPBYGGET?

Enzymer er proteiner, der består af lange kæder af aminosyrer, der foldes ind i en tredimensionel struktur. Strukturen er essentiel for enzymets virkemåde og aktivitet – selv en lille ændring i strukturen, kan have en signifikant betydning for aktiviteten af enzymet. Rækkefølgen af aminosyrer kaldes for enzymets *primære struktur*. Afhængig af, hvilke aminosyrer der sidder sammen og deres kemiske egenskaber, vil aminosyrekæden folde sig sammen eller sno sig i en sekundær struktur. Når kæden drejes i en spiralform, kaldes det for en α -helix. Folder aminosyrekæden sig sammen, kaldes det for β -sheets. Disse strukturer holdes på plads af hydrogenbindinger mellem aminosyrerne. Den *sekundære struktur* kan yderligere foldes ind i den endelige tredimensionelle form af enzymet, hvor f.eks. disulfidbroer, ioniske bindinger, hydrogenbinder og hydrofobe interaktioner holder strukturen på plads. Den endelige form kaldes for den *tertiære struktur*.

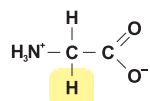
Nogle enzymer består af flere strukturer sat sammen i et overordnet netværk, der tilsammen danner et fungerende enzym. Denne struktur kaldes *kuartære struktur* og er stabiliseret af de samme interaktioner, som der findes i den *tertiære struktur*.

Det er vigtigt at bemærke, at enzymer er ekstremt følsomme over for deres tredimensionelle struktur, og hvis strukturen forstyrres, kan enzymet miste sin funktion. Den korrekte struktur er afgørende for enzymets evne til at binde til sit specifikke substrat og katalysere den kemiske reaktion.

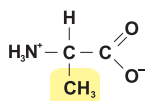


NON-POLAR

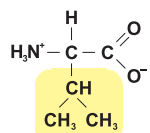
Glycine
Gly / G



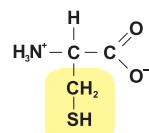
Alanine
Ala / A



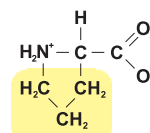
Valine
Val / V



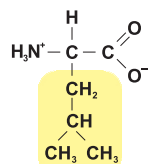
Cysteine
Cys / C



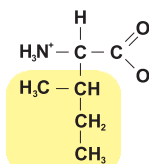
Proline
Pro / P



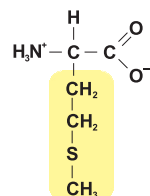
Leucine
Leu / L



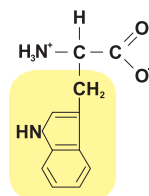
Isoleucine
Ile / I



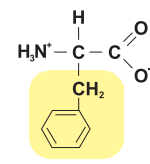
Methionine
Met / M



Tryptophan
Trp / W

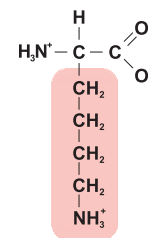


Phenylalanine
Phe / F

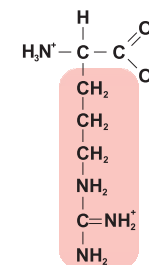


+ CHARGE

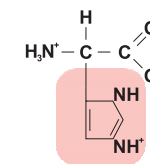
Lysine
Lys / K



Arginine
Arg / R

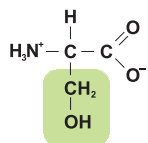


Histidine
His / H

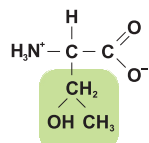


POLAR

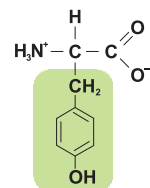
Serine
Ser / S



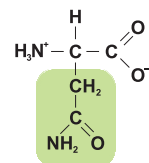
Threonine
Thr / T



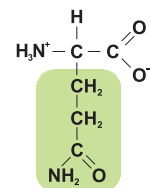
Tyrosine
Tyr / Y



Asparagine
Asn / N

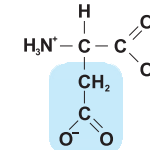


Glutamine
Gln / Q

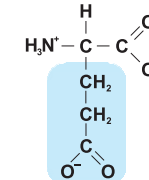


- CHARGE

Aspartic Acid
Asp / D



Glutamic Acid
Glu / E



MATERIALEBANK

Lærebogsmateriale

Bioteknologi – en basisbog, P. K. Gasbjerg, G. S. Jensen, A. B. Sørensen, Systime

- Kap. 5 – Proteiner, aminosyrer, proteinstruktur, isoelektrisk punkt

Bioteknologi 2 – Tema 4: Enzymer og gensplejsning, C. S. Bugge, K. C. Torp, S. V. Wiener, Nucleus

- s. 51-56 – Proteinstruktur og aminosyrer

Biokemibogen, Liv, Funktion, Molekyle, 2. udgave, K. C. Torp, Nucleus

- Kap. 4 – Proteiner

Basiskemi A, H. Mygind, O. V. Nielsen, V. Axelsen, Praxis Forlag

- s. 185-198 – Proteiner og enzymeres struktur

Opgaver

Naturvidenskabernes Hus – [Aminosyre-bank](#)

Naturvidenskabernes Hus – [Aminosyrers kemiske egenskaber](#)

Vejledning

Novonesis, S. F. Truelsen – [Vejledning til Pymol: Visualisering og mutationer](#)

Naturvidenskabernes Hus – [Undersøgelse af Xylanases struktur](#)

Bioteknologi 2 – Tema 4: Enzymer og gensplejsning, C. S. Bugge, K. C. Torp, S. V. Wiener, Nucleus

- [Virtuel undersøgelse af proteiners 3D-struktur](#)

HVORDAN KAN MAN OPTIMERE ET ENZYM?



Enzymer fremstilles gennem bioteknologiske processer, der involverer mikroorganismer eller celler, der genetisk modificeres for at producere enzymer i store mængder. For at gøre enzymerne så effektive som muligt, kan det være nødvendigt at optimere på dem. Dette er ofte en kompleks og iterativ proces, der kræver en kombination af eksperimentelle og computermæssige tilgange, hvor det endelige mål er at opnå enzymer med forbedrede egenskaber, der kan anvendes i forskellige bioteknologiske og industrielle applikationer.

Optimering af enzymer involverer ofte ændringer i deres aminosyresekvens for at forbedre deres funktionelle egenskaber. Aminosyresekvensen af et enzym er afgørende for dets struktur og funktion. Ved at ændre bestemte aminosyrer kan man målrette specifikke egenskaber – f.eks. aktiviteten og bindingsaffiniteten. Selvfølgelig sker processen med at ændre på egenskaberne ved at:

- (i) Gærets/bakteriets gen skal modificeres
- (ii) Enzymet skal udtrykkes
- (iii) Enzymet oprenses og/eller formuleres som endeligt produkt

Hvor den genetiske modifikation kan ske ved gensplejsning, hvor der indsættes gener for det ønskede enzym i f.eks. en gær-celle. Eller ved at inducere mutationer i gær-cellen og herefter udvælge de varianter, der er bedst egnede. For at udtrykke enzymet skal det gen, der koder for enzymet, transkriberes til en mRNA-sekvens. Denne sekvens kan herefter oversættes til en aminosyresekvens, hvorefter proteinkæden kan dannes. Når proteinkæden er foldet, og evt. aktiveret ved hjælp af en cofaktor, kan enzymet udføre sin specifikke katalytiske funktion.

Det er enzymets tredimensionelle struktur, der afgør dens funktion.

MATERIALEBANK

Lærebogsmateriale

Biokemibogen, Liv, Funktion, Molekyle, 2. udgave, K. C. Torp, Nucleus

- Kap. 3 – Nukleinsyrer og genetisk information

Biologi til tiden, L. A. Egebo, P. Paludan-Müller, K. C. Torp, S. Ussing, Nucleus

- Kap. 8 – Mikroorganismer og bioteknologi

Bioteknologi 2 – Tema 4: Enzymer og gensplejsning, C. S. Bugge, K. C. Torp, S. V. Wiener, Nucleus

- s. 74-82 – Gensplejsning og inducerede mutationer

Litteratur

Den store danske – [Fremstilling af enzymer](#)

KemiFOKUS – [Optimering af proteiners funktion](#)

Biotech Academy – [Gelelektroforese](#)

KU – [Vigtigt for udviklingen af alt fra vaskepulver til medicin: Nu har forskere fået hul igennem til at forstå enzymeres arbejdsuge](#)

Sigma Aldrich – [Directed Evolution, Methods for the Directed Evolution of Proteins](#)

Vejledning

Novonosis, S. F. Truelsen – [Vejledning til Pymol: Visualisering og mutationer](#)

Naturvidenskabernes Hus – [Undersøgelse af Xylanases struktur](#)

Øvelser

Biotech Academy – [Det Virtuelle Laboratorium – Enzymer til vaskemiddel](#)

Databaser

[RCSB Protein Data Bank](#)

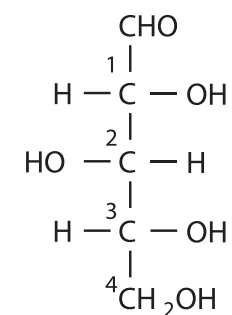
XYLANASE - HVAD ER DET?

Xylanase er et enzym, der kan spalte Xylan. Xylan er primært opbygget af xylose og arabinose, hvor xylosemolekylerne er bundet sammen af β -(1,4)-glykosidbindinger. Til nogle af xylosemolekylerne sidder monosakkaridet arabinose bundet via α -(1,2)- og α -(1,3)-glykosidbindinger. Størrelsen og strukturen af Xylan afhænger af den specifikke plantesort, men generelt består Xylan polymere af 150-200 monosaccharid-enheder.

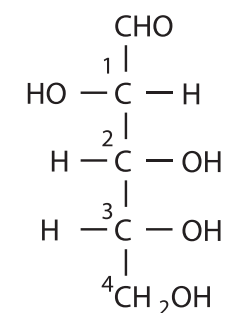
Xylan er et ikke-stivelsesholdigt polysaccharid i blandt andet hvede og findes som en del af planterets cellevægge, og er derfor til stede i det meste plantebaserede foder – f.eks. kornprodukter. Majs, hvede, rug og byg er nogle ofte anvendte foderressourcer.

Tilsættes xylanase til kornbaseret dyrefoder, vil xylan og andre ikke-stivelsesholdige polysaccharider heri, kunne nedbrydes. Viskositeten i dyrenes tyktarm vil dermed mindskes, og næringsstofoptagelsen og foderudnyttelsen vil øges.

D-Xylose



D-Arabinose



MATERIALEBANK

Litteratur

Biotech Academy – [Arabinoxylan og xylanaser](#)

[A detailed overview of xylanases: an emerging biomolecule for current and future prospective](#), N. Bhardwaj, B. Kumar, P. Verma, Bioresources and Bioprocessing 6 (2019)

[A Commercial GH 11 xylanase mediates xylan solubilization and degradation in wheat, rye and barley as demonstrated by microscopy techniques and wet chemistry methods](#), J. L. Ravn, H. J. Martens, D. Pettersson, N. R. Pedersen, Animal Feed Science and Technology 219 (2016) s. 216–225

AU – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug – [Korn og enzymer går hånd i hånd for bedre fordøjelighed](#)

Landbrug og fødevarer – [Enzymer](#)

Opgave

Novonosis – [Case: Enzymer i brød – fra DM i fagene](#)

HVORDAN KAN MAN UNDERSØGE ET ENZYM?

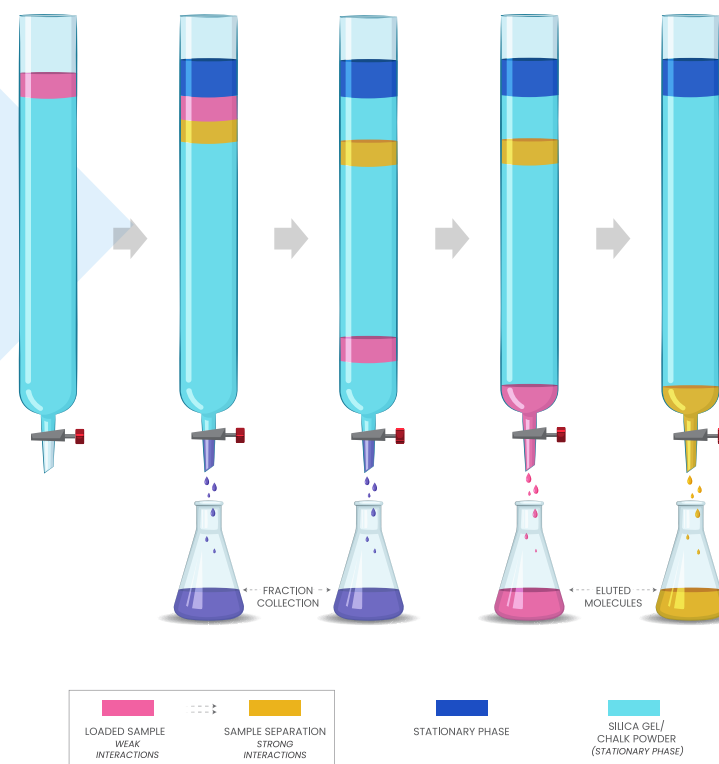
Udviklingen af nye forbedrede enzymer er komplekst. En peptidsekvens bestående af 5 aminosyrer har $20^5 = 3.200.000$ kombinationsmuligheder. Det er derfor i praksis umuligt at undersøge alle sekvensmuligheder for et helt enzym. Det kan derfor være fordelagtigt at designe nye enzymer ud fra strukturelle og mekanistiske overvejelser.

To centrale teknikker til adskillelse og undersøgelse af enzymer er *gelelektroforese* og *kromatografi*.

Ved gelelektroforese placeres en mængde af det stof, der skal adskilles, i en gel, hvorover der sættes en spændingsforskel. Alt afhængig af molekylernes isoelektriske punkt, og deres fysiske størrelse, vil de bevæge sig i større eller mindre grad gennem gelen. Det isoelektriske punkt for en aminosyre er den pH-værdi, hvor aminosyrens nettoladning er nul. Det isoelektriske punkt anvendes ikke kun for aminosyrer, men også for alle andre forbindelser med flere ladede grupper. For en aminosyre uden ladning på sidegruppen kan pH_{iso} beregnes som gennemsnittet af dens pK_s værdier. Forskellen i isoelektrisk punkt kan bruges til at adskille f.eks. aminosyrer eller større molekyler såsom proteiner og enzymer.

Kromatografi er en teknik, hvor f.eks. enzymer opløst i væske løber gennem en søjle med et pakket søjlemateriale. Tyngdekraften virker som drivmiddel. Overordnet kan metoden anvendes til at adskille enzymer på baggrund af forskelle i størrelse, ladning, polaritet og affinitet.

Bestemmelse af aminosyresekvensen – enzymets primære struktur – kan ske ved en *Edman-degradering*. Her bindes phenylisothiocyanat til aminogruppen i molekylets ene ende, hvorefter den yderste aminosyre kan spaltes fra ved syrebehandling. Den fraspaltede aminosyre kan detekteres ved kromatografi. Denne proces kan gentages, indtil hele aminosyresekvensen er kendt.



MATERIALEBANK

Lærebogsmateriale

Bioteknologi – en basisbog, P. K. Gasbjerg, G. S. Jensen, A. B. Sørensen, Systime

- Kap. 8 – Bioteknologiske metoder

Bioteknologi 2 – Tema 4: Enzymer og gensplejsning, C. S. Bugge, K. C. Torp, S. V. Wiener, Nucleus

- s. 56–60 – Undersøgelse af proteiner og enzymer

Bioteknologi A bind 3, F. G. Jørgensen, Nucleus

- [Anvendt bioinformatik – sekvensanalyse](#)

Litteratur

Biotech Academy – [Analysemetoder for enzymer](#)

DTU – [Undersøgelse af analysemetoder for bestemmelse af enzym i dyrefoder](#)

Sciencelabs – [Enzymkinetik](#)

Dansk Kemi – [Bioteknologi og kombinatorisk kemi](#)

Video

Biotech Academy – [Søjlekromatografi – youtube \(4:41 min\)](#)

Biotech Academy – [Gelelektroforese – youtube \(4:38 min\)](#)

Quick Biochemistry Basics – [Edman Sequencing – youtube \(2:00 min\)](#)

Øvelser

Aurum 2, K. R. Kristiansen, G. Cederberg, Lindhardt og Ringhof

- Aminosyrers isoelektriske punkt

Basiskemi A Xperimentér, H. Mygind, O. V. Nielsen, V. Axelsen, Haase og Søns Forlag A/S

- 26. Aminosyrers isoelektriske punkt

Bioteknologi 2 – Tema 4: Enzymer og gensplejsning, C. S. Bugge, K. C. Torp, S. V. Wiener, Nucleus

- [Kromatografi](#)

HVORFOR ER DET INTERESSANT AT OPTIMERE PÅ ENZYMER?



Enzymer spiller en afgørende rolle i biokemiske processer og industrielle applikationer. Ved at optimere enzymer kan man øge deres effektivitet, hvilket kan føre til forbedret produktivitet og reducerede omkostninger. Skræddersyede enzymer kan opfylde de nøjagtige behov i en given proces og kan være med til at fremskynde udviklingen af nye produkter inden for forskellige brancher.

Ved at anvende enzymer er det muligt at nedbringe emissionerne i industrien og i fødevarerproduktionen. Ligeledes kan enzymer også hjælpe med at reducere mængden af drivhusgasser, der allerede er til stede i atmosfæren via carbon capture.

Enzymer kan også bidrage ind i fødevarerforsyning til den stigende globale befolkningsmængde. Dette sker ved at gøre det muligt at fordøje de ellers ufordøjelige dele af planter, og dermed sikre en højere koncentration af fødevarer pr. arealenhed.

MATERIALEBANK

Litteratur

Novonosis – [Sustainability](#)

Altinget – Novonosis: [Tilslut jer verdensmålene eller bliv kørt over](#)

[A Commercial GH 11 xylanase mediates xylan solubilization and degradation in wheat, rye and barley as demonstrated by microscopy techniques and wet chemistry methods](#), J. L. Ravn, H. J. Martens, D. Pettersson, N. R. Pedersen, , Animal Feed Science and Technology 219 (2016) s. 216-225

Landbrug og fødevarer – [Ingredienser og tilsætninger til fødevarer og foder](#)

Forløb

FN's verdensmål – [Mikroorganismer i mælk](#)

OM NATURVIDENSKABERNES HUS

Naturvidenskabernes Hus tænder gnisten hos børn og unge for de naturvidenskabelige og tekniske fag. Det sker i tæt samarbejde med danske virksomheder og undervisere i grundskolen og gymnasiet – og ved at understøtte skolevirksomhedssamarbejde i de danske kommuner. Sammen gør vi en forskel for børn og unge, erhvervsliv og samfund. Læs mere på nvhus.dk