

# Lærervejledning

## Fermenteringsteknologi

### Beskrivelse af undervisningsmateriale

Dette undervisningsmateriale omhandler den industrielle produktion af brugbare produkter ved hjælp af fermentering. Materialet indeholder en teoretisk del i form af teori og opgaver om emnet. Derudover indeholder materialet en mere praktisk eksperimentel del i form af to forsøg, der er tilrettelagt på en måde, der forhåbentligt viser, hvor spændende det er at arbejde med levende og voksende celler.

Til dette undervisningsmateriale kan man derudover inddrage øvelserne 'Enzymer til vaskemiddel' og 'Produktion af insulin' i det virtuelle laboratorium – for eksempel hvis det ikke er muligt at arbejde med forsøgene i laboratoriet.

Læringskomponenter	
<b>Teori</b> – grundteori om emnet	X
<b>Opgaver</b> – teoretiske spørgsmål	X
<b>Forsøg</b> – eksperimenter	X
<b>Det Virtuelle Laboratorium</b>	X

Undervisningsmaterialet indeholder derudover tre cases, der eksemplificerer brugen af fermentering ved den industrielle produktion af henholdsvis farvestoffer (Chr. Hansen), enzymer (Novozymes) og insulin (Novo Nordisk). Disse cases kan bruges i forbindelse med undervisningen i det teoretiske materiale, enten som en perspektivering eller som en inspiration til oplæg om fermenteringsteknologiens rolle i bioteknologi.

### Anvendelse

#### **Teori**

Undervisningsmaterialet indeholder en række teoretiske sektioner, hvor eleverne kan læse og lære om fermentering i en industriel kontekst. Der er i alt fem sektioner, og det tager gennemsnitligt ~15 minutter at læse én sektion. Det anbefales, at man som udgangspunkt arbejder med de første to sektioner (se '**Teori – Introduktion til fermentering**' og '**Teori – Vækst og produktion**'). Her er der en overordnet introduktion til de vigtigste principper indenfor fermentering, herunder koefficienterne for udbytte, produktivitet og produktkoncentration. Disse principper bliver brugt hyppigt i de efterfølgende sektioner. Afhængigt af det givne fokus i undervisningen kan læreren vælge at inddrage en eller flere af de sidste tre sektioner (se '**Teori – Cellefabrikker**', '**Teori – Fermenteringsprocessen – fra upstream til downstream**', og '**Teori – Fermenteringstank og -udstyr**'). Her er det i princippet muligt at 'mixe og matche' sektionerne efter interesse.

#### **Opgaver**

Der er opstillet 15 generelle spørgsmål til teorien i multiple choice-format, som bør kunne besvares af eleverne umiddelbart efter gennemlæsning af teorien. Spørgsmålene er inddelt efter de teoretiske sektioner i teorien, hvormed eleverne nemt og enkelt kan teste deres forståelse af den eller de sektion(er), der bliver arbejdet med i undervisningen. Derudover er der en række arbejdsspørgsmål, hvor det er muligt for eleverne at beskrive, analysere og diskutere principperne indenfor fermentering. Der er også opstillet en fermenteringsøvelse, hvor eleverne kan arbejde med data fra en fermenteringstank. Denne fermenteringsøvelse indeholder beregninger om mikroorganismers vækst og produktivitet, hvormed det her er godt, hvis eleverne har kendskab til programmet Excel.

#### **Forsøg**

Der er udarbejdet to forsøg, der eksemplificerer arbejdet med levende celler under en fermentering. Dette er med udgangspunkt i de to mest anvendte mikroorganismer indenfor mikrobiologien: den prokaryote celle *Escherichia coli* og den eukaryote celle *Saccharomyces cerevisiae*. Det første forsøg er en undersøgelse af mikroorganismers vækstkurver. Her anvendes der to udbredte metoder til bestemmelse af cellekoncentrationen: pladespredning og spektrofotometri (jf. '**Forsøgsvejledning – Vækstkurver**'). Det andet forsøg er en videre undersøgelse af mikroorganismers vækstbetingelser, hvor der foretages en fermentering af cellekulturer ved forskellige temperaturer og pH-værdier. I dette forsøg er der mulighed for at klarlægge, hvad det vil sige at opstille en fermentering. Der skal forberedes vækstmedier, som skal podes med mikroorganismer – og her er den sterile arbejdsgang vigtig (jf. '**Forsøgsvejledning – Vækstbetingelser**'). Til forsøgene er der lavet en række opgaver, hvor eleverne kan opstille og fortolke deres forsøgsresultater.

## Niveau

Bioteknologi A (2.-3.g).

### Dækket kernestof - jf. [Læreplan "Bioteknologi A – stx 2017"](#)

- Makromolekyler: opbygning, egenskaber og biologisk funktion af carbohydrater, lipider, nukleinsyrer og proteiner, herunder enzymer
- Celler: opbygning af pro- og eukaryote celler, eukaryote celletyper
- Mikrobiologi: vækst, vækstmodeller og vækstfaktorer
- Genetik og molekylærbiologi: replikation, proteinsyntese, genregulering, genteknologi
- Eksperimentelle metoder: celledyrkning, spektrofotometri, separation og kromatografi

### Dækket supplerende stof - jf. [Læreplan "Bioteknologi A – stx 2017"](#)

- Bæredygtig produktion af fødevarer, energi og kemiske stoffer
- Bioteknologisk anvendelse af planter, dyr og mikroorganismer

### Overordnet beskrivelse af de enkelte dele:

- **Teori – Introduktion til fermentering**  
Dette afsnit forklarer begrebet 'fermentering' i en industriel sammenhæng. Der er en introduktion til det allervigtigste princip indenfor fermentering: At *levende celler omdanner substrat til produkt*. Vigtigheden af fermentering bliver understreget i forhold til historiske og fremtidige problemstillinger. Der er en gennemgang af de fire kategorier af produkter – med eksempler. Dertil er der en oversigt over grundtrinene i en fermentering.
- **Teori – Vækst og produktion**  
Afsnittet beskriver sammenhængen mellem mikroorganismers vækst og produktion af et ønsket produkt. I forlængelse af det forrige afsnit er der en gennemgang af vækstmediets sammensætning – for det er kun i det rigtige vækstmedium, at det er muligt for levende celler at danne flere celler og omdanne substrat til produkt. I afsnittet er der også en oversigt over vækstmodellen, hvor mikroorganismernes produktion af et ønsket produkt bliver beskrevet ud fra mikroorganismernes vækst. Derudover bliver fermenteringsprocessen anskuet fra en mere matematisk vinkel, idet der opstilles parametre for processen: udbytte, produktivitet og produktkoncentration.
- **Teori – Cellefabrikker**  
Dette afsnit har en bioteknologisk tilgang til fermentering. Afsnittet gennemgår mikroorganismer, som er platform for en given fermenteringsproces – de såkaldte cellefabrikker. Der er eksempler på de mange alsidige produkter, som findes i naturen, og som viser sig brugbare for mennesker. Afsnittet gennemgår, hvordan vi kan bruge mikroorganismer industrielt, og hvordan man ved hjælp af ændringer i mikroorganismernes DNA-materiale kan optimere deres omsætning af substrat til produkt. Der er strategier til optimering af cellefabrikker. Derudover betragter afsnittet optimering af cellefabrikker som en cyklisk proces, der principielt kan forsætte uendeligt.
- **Teori – Fermenteringsprocessen – fra upstream til downstream**  
Afsnittet forklarer de overvejelser, der er forbundet med opsætningen af en fermenteringsproces. Til dels er der udvælgelsen af en produktionsorganisme og dens vækstmedium; og til dels er der oprensningen af det færdige produkt. I industrien omtales disse to delprocesser som upstream- og downstream-processing. Det bliver tydeliggjort, at bioteknologi har en vigtig rolle i alle aspekter af fermenteringsprocessen. Derudover bliver hele fermenteringsprocessen opsummeret i et økonomisk regnestykke, der afgør, om processen er rentabel eller ej.
- **Teori – Fermenteringstank og udstyr**  
Dette afsnit har en mere procesteknologisk tilgang til fermentering. Afsnittet gennemgår fermenteringstanken og dens udstyr, som er med til at vedligeholde de rette vækstbetingelser for produktionsorganismens vækst og produktivitet. Derudover gennemgår afsnittet de tre former for opsætning af fermenteringstanken. Vigtigheden af, at

der bliver foretaget måling og kontrol af fermenteringstanken bliver understreget med eksempler på, hvilke målinger man kan foretage i fermenteringstanken. Derudover lægges der vægt på de forskellige udfordringer der er ved fermentering, når man vil producere et ønsket produkt industrielt i en kæmpe fermenteringstank.