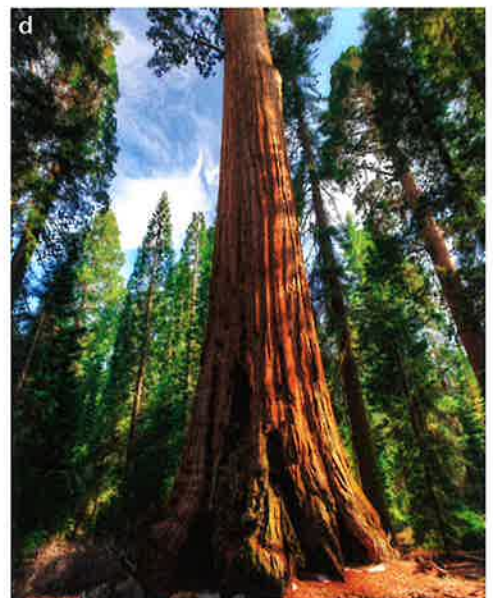


Det cellulære liv

Jorden er levested for et meget stort antal af forskellige former for levende organismer. Figur 1 viser eksempler på denne mangfoldighed. De mindste former for liv er encellede bakterier. *E. coli* bakterien der findes i stort antal i menneskers tarmsystem, er kun 0,002 mm lang og vejer en billiontedel gram. Det største dyr der nogensinde har levet på jorden, er formentlig den 30 meter lange og 200 tons tunge blåhval. Der findes dog endnu større organismer i plante- og svamperiget. Mammuttræer der findes i Californien, kan blive mere end 80 meter høje og have en stammediameter på op til 9 meter. Verdens største nulevende organisme findes formentlig i svamperiget. I den amerikanske stat Oregon vokser et eksemplar af den uanseelige svamp med det danske navn mørk honningsvamp hvis rodliggende mycelium vurderes at dække et areal på mindst 9,6 km².

Figur 1. Levende organismer findes i mange størrelser og former.

- Escherichia coli* (*E. coli*) bakterier på overfladen af et salatblad.
- Blåhval.
- Mørk honningsvamp.
- Mammuttræer.





Figur 2. Muldyr anvendes bl.a. som arbejdsdyr i Andesbjergene.

Livets kendetegn

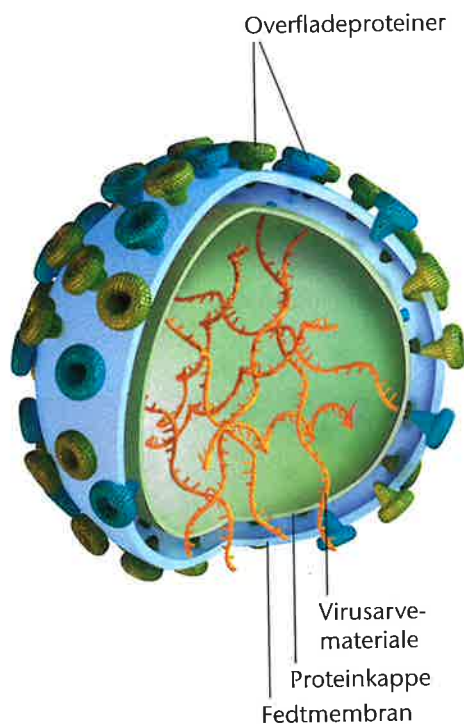
Liv er så forskelligartet at det er svært at formulere en entydig definition på hvad liv er. Man kan dog opstille en række kriterier der kendetegner de fleste levende organismer:

- De består af en eller flere celler, og disse er afgrænset fra omverdenen ved hjælp af cellemembraner.
- De er i stand til at optage næring, de har et stofskifte og kan udskille affaldsstoffer.
- De er i stand til at sanse deres omgivelser og reagere derpå.
- De har et arvemateriale der består af DNA.
- Der kan opstå ændringer i arvematerialet, og disse ændringer kan nedarves og føre til evolution.
- De kan vokse, få afkom og dø.

Det er dog ikke altid at alle ovenstående kriterier er opfyldt. Fx er muldyr ofte sterile og opfylder derfor ikke kriteriet om at de skal kunne få afkom. Alligevel er der ikke tvivl om at muldyr er levende. Muldyr er en såkaldt hybrid der opstår, når en æselhingst parrer sig med en hestehoppe, se figur 2.

Virus – på grænsen af liv

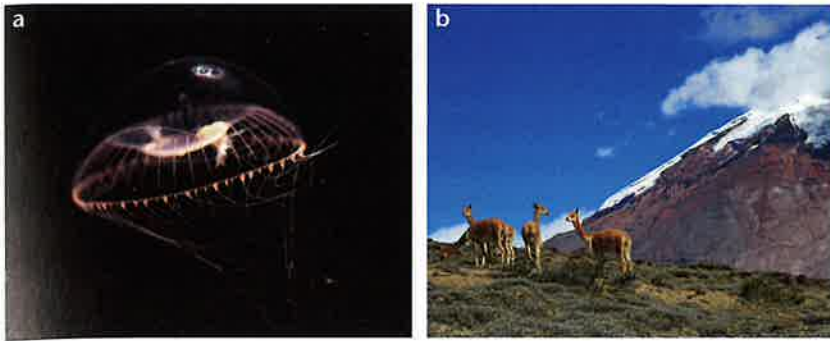
Virus kan på mange måder betragtes som et grænsetilfælde mellem liv og ikke liv. Virus er mikroskopiske, og har eget arvemateriale. Alligevel kan de ikke formere sig uden først at inficere en levende celle og anvende dennes cellulære maskineri til at danne nye viruspartikler. Arvematerialet hos virus kan enten bestå af DNA eller RNA. Virus har ikke noget stofskifte, optager ikke næring og udskiller ikke affaldsstoffer. Da virus ikke består af celler, kaldes de viruspartikler. Nogle virus som fx influenzavirus er omgivet af en fedtmembran der stammer fra værtscellen, hvori viruspartiklen er dannet, se figur 3.



Figur 3. Influenzavirus strukturelle opbygning.

Liv trives næsten overalt på Jorden

For at liv kan trives, kræves det at de rette fysiske og kemiske forhold er til stede. Dette er tilfældet på Jorden der har eksisteret som planet i ca. 4,54 milliarder år, og i mindst 3,5 milliarder af disse har der været liv. Efter livet opstod, er der opstået en enorm mangfoldighed, og livet har spredt sig til det meste af Jorden. Selv på de dybeste steder i havet hvor lyset aldrig kommer ned, og trykket fra den overliggende vandsøjle er enorm, kan der forekomme liv. Der er også liv på de højeste bjerge hvor ilt (dioxygen) er mindre tilgængeligt, og hvor gennemsnitstemperaturen det meste af året er under vands frysepunkt, se figur 4.



Figur 4.

- a. Der findes liv overalt i havet, også hvor der ikke kommer lys. Nogle organismer som fx goplen *Aequorea victoria* er i stand til selv at udsende lys ved en proces der kaldes bioluminescens.
- b. Selv højt oppe i bjergene trives liv som fx vikunjaer i Andesbjergene.

Intet liv uden vand

Drivhuseffekten i Jordens atmosfære og Jordens bane om solen gør at den gennemsnitlige overfladetemperatur på Jorden i 2020 er ca. 15 °C. Mange steder på Jorden er der store temperaturforskelle i løbet af et år. For organismer der lever i områder med store udsving, er det afgørende at de er tilpasset dette. Vand på flydende form er en forudsætning for liv som vi kender det. Det begrænser umiddelbart liv til at kunne eksistere i områder hvor temperaturen ligger mellem 0 °C og 100 °C. Der findes dog organismer som fx fiskearten antarktisk isfisk der er særligt tilpasset livet i havvand, hvor temperaturen pga. af salt i vandet kan komme helt ned på -1,9 °C uden at det fryser til is. Årsagen til at fiskene kan leve ved så lave temperaturer er, at de har udviklet evnen til at danne særlige antifryseproteiner i deres celler. I den anden ende af temperaturintervallet finder man fx bakterier der har tilpasset sig livet i varme kilder, hvor temperaturen i vandet er tæt på 100 °C, se figur 5.



Figur 5. Varmetolerante bakterier trives og danner farverige mønstre ved de varme kilder i Yellowstone Nationalpark.

Solens livgivende stråler kan også være farlige

Solen er en væsentlig forudsætning for meget af livet på jorden. Uden solens lys er der ingen fotosyntese, og uden fotosyntese ville liv på Jorden derfor se helt anderledes ud end det gør i dag. I fotosyntesen omdannes sollysets strålingsenergi til kemisk bunden energi i planterne. Denne energi anvendes til planternes egne livsprocesser, men samtidig er de fleste andre organismer afhængige af fotosyntesen idet de efterfølgende spiser planterne eller nedbryder døde planter.

Sollys indeholder udover det synlige lys som planterne bruger til fotosyntese, også energirigt ultraviolet lys der kan trænge ind i cellerne og forårsage skader på arvematerialet. Hos mennesker kan uv-lys fx forøge risikoen for at udvikle hudkræft, mens det hos planter kan medføre celledød i bladene. Jordens atmosfære indeholder ozon (O_3). Ozon absorberer en stor del af solens uv-stråler og er derved med til at beskytte levende organismer mod de skader, de energirige uv-stråler kan forårsage. Den industrielle anvendelse af CFC-gasser i det tyvende århundrede har medført et fald i atmosfærens ozonkoncentration. Faldet har været så markant at ozonlaget og dets beskyttelse mod uv-stråler i perioder har været næsten helt væk flere steder på Jorden. I 1980'erne blev verdens lande derfor enige om at reducere brugen af CFC-gasser. De naturlige processer der danner ozon i atmosfæren, har efterfølgende medført at ozonkoncentrationen i atmosfæren igen er stigende. Hvad der for få årtier siden så ud til at være et stort problem, er på grund af effektiv lovgivning nu blevet en mindre udfordring.



Figur 6. Illustration af hvordan man i middelalderen troede at gnavere som mus og rotter opstod spontant, hvis de rette forhold var til stede. I dag ved vi at musene selvfølgelig ikke opstår i krukken, men formentlig lokkes til på grund af duften af kornet.

Spontan genese

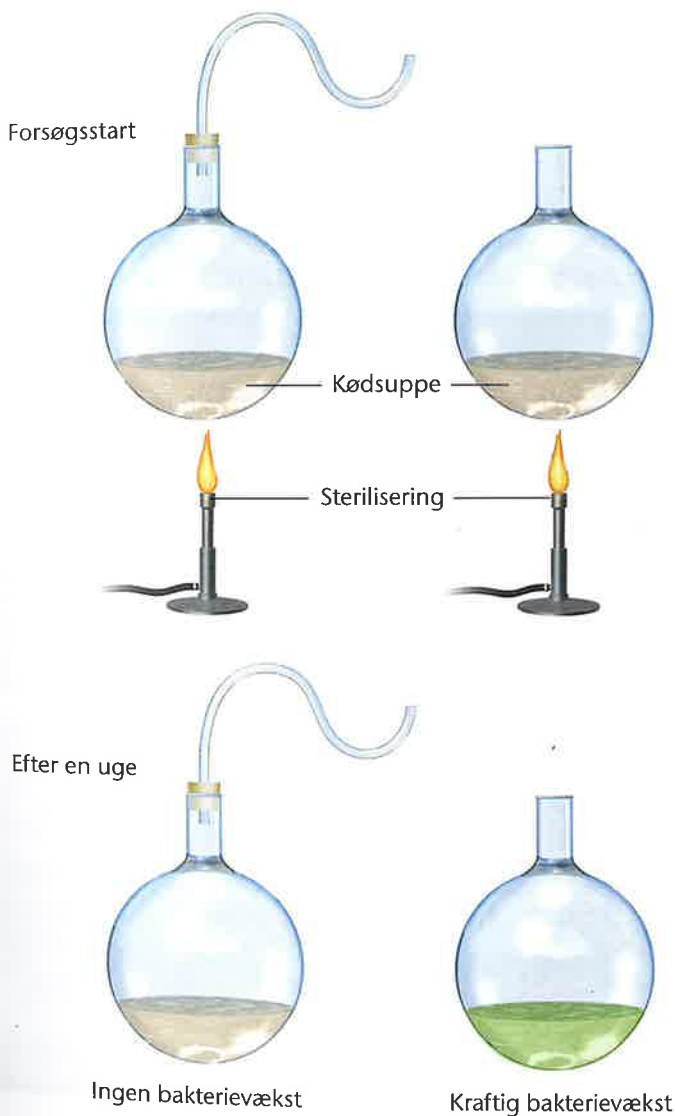
En af de mest grundlæggende egenskaber ved liv er at levende organismer altid opstår som afkom af andre levende organismer. Men den forståelse har man ikke altid haft. I mange århundreder troede man på at liv kunne opstå spontant fra ikke levende materiale, hvis blot de rette forudsætninger var til stede. Dette kaldtes for *spontan genese*. For eksempel mente man i middelalderen at en krukke med korn dækket med beskidt tøj i løbet af få dage ville medføre, at der opstod levende mus i krukken, se figur 6.

Flere forskellige videnskabelige opdagelser var med til at afvise ideen om spontan genese. I 1665 var videnskabsmanden Robert Hooke ved hjælp af et mikroskop i stand til som den første at beskrive celler, se figur 7. Senere i det 17. århundrede beskrev hollænderen Antonie van Leeuwenhoek bl.a. sædceller og de første bakterier. Selvom man altså kendte til mikroorganismer allerede i slutningen af 1600-tallet, skulle man helt frem til midten af 1800-tallet før teorien om spontan

genese blev endeligt afvist. Et af de afgørende eksperimenter blev udført af den franske videnskabsmand Louis Pasteur i 1859. Pasteur arbejdede med den hypotese at liv altid opstod ud fra andet liv. For at teste hypotesen udtænkte og opstillede han et enkelt og elegant forsøg i stil med det vist i figur 8. I to glaskolber opvarmede han en kødsuppe til kogepunktet for at dræbe alt liv der fra starten måtte være i suppen. Derefter trak han halsen ud i et bugtet rør på den ene af kolberne. Det forhindrede at noget fra luften kunne falde direkte ned i kolben. Bortset fra det bugtede rør var de to kolber identiske. Efter en uge sås intet tegn på liv i kolben med det bugtede glasrør, mens der var en kraftig vækst af bakterier i den anden kolbe. Forsøget var simpelt, men betydningen stor, da forsøget bidrog til at ideen om spontan genese endelig blev opgivet af videnskaben.



Figur 7. Illustration af Robert Hookes mikroskop.



Figur 8. Louis Pasteurs forsøgsopstilling.

Celler

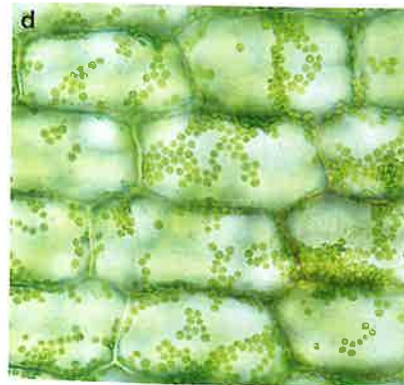
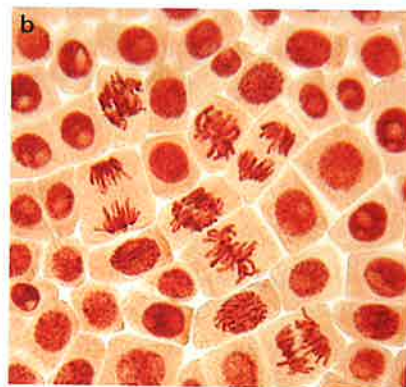
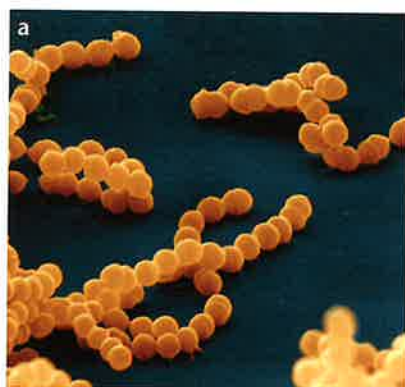
Levende organismer er opbygget af celler. Der findes overordnet set to forskellige typer af celler. Dem uden cellekerne kaldes for *prokaryote celler*. Denne celletype findes hos alle bakterier og de såkaldte arkæer. *Arkæer* eller arkebakterier som de også kaldes, er encellede organismer der på mange måder minder om bakterier. Celler der har en *cellekerne*, kaldes for *eukaryote celler*.

Den eukaryote celletype findes hos alle andre levende organismer herunder flercellede organismer som dyr, planter og svampe, samt en række encellede organismer der med en fællesbetegnelse kaldes *protister*.

Figur 9 viser hvordan forskellige celletyper ser ud i et mikroskop. Fælles for pro- og eukaryote celler er at de er omsluttet af en celle-membran, der regulerer hvilke stoffer der kan passere ind og ud af cellerne. De indeholder desuden en vandig opløsning der kaldes for *cytoplasma*, hvori cellens bestanddele befinder sig. I cytoplasmaet findes fx et stort antal særlige strukturer der kaldes *ribosomer*. Det er her cellens proteiner produceres i en proces der kaldes proteinsyntesen.

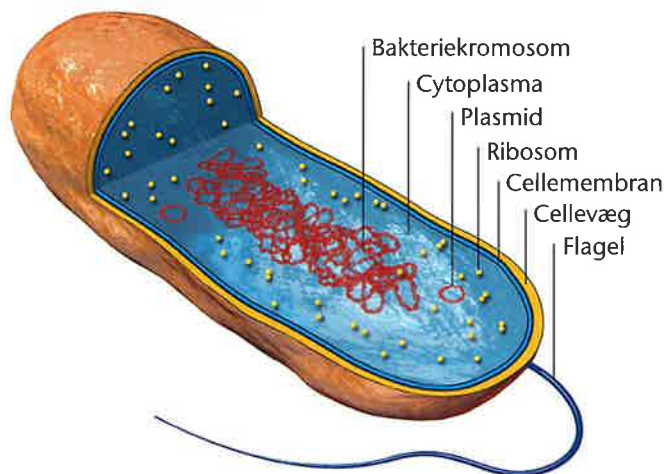
Figur 9. Fotos af forskellige typer celler.

- a. Streptokokkbakterier.
- b. Menneskeceller i gang med at dele sig.
- c. Gærceller.
- d. Planteceller.



Prokaryote celler

Prokaryote celler har en række grundlæggende ting til fælles, se figur 10. Yderst har de en afstivende *cellevæg* der hjælper cellen med at oprettholde sin struktur. Cellevæggen består primært af stoffet *peptidoglycan*. Peptidoglycan er opbygget af en type carbohydrater bundet sammen af særlige proteiner.

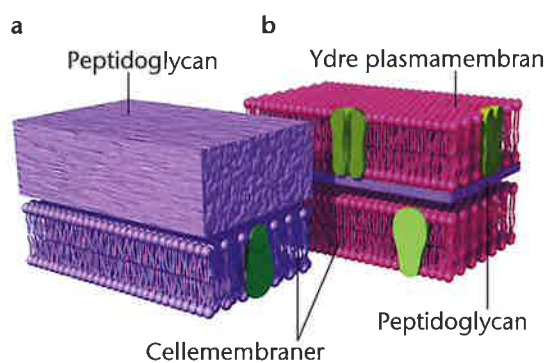


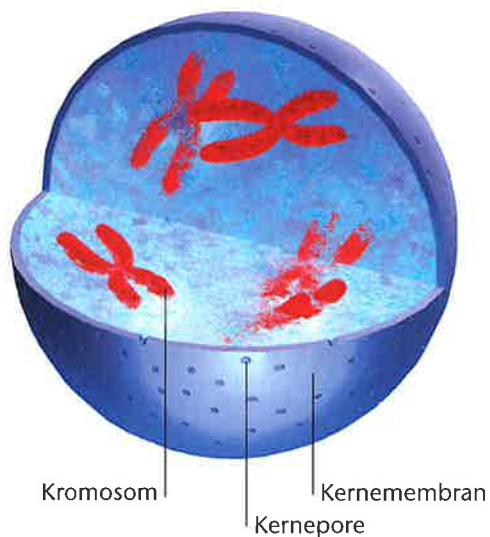
Figur 10. Prokaryot celle. Bemærk at nogle, men ikke alle prokaryote celler har en flagel, de kan anvende til at bevæge sig med.

Der findes to forskellige typer cellevægge hos bakterier. Forskellen gør at man ved hjælp af en teknik der kaldes *gramfarvning*, kan inddele bakterier i henholdsvis *grampositive* og *gramnegative* bakterier, se figur 11. De grampositive bakteriers cellevæg består af et tykt lag peptidoglycan, mens de gramnegative bakterier har et tyndere lag. Til gengæld har de gramnegative bakterier yderst en særlig ydre plasmamembran der i opbygning minder om cellemembranen. Forskellen på cellevæggen har blandt andet indflydelse på hvilke typer antibiotika der er mest effektive mod de forskellige typer af bakterier.

Under cellevæggen findes cellemembranen. I cytoplasmaet findes blandt andet næringsstoffer, et bakteriekromosom og ribosomer. Et bakteriekromosom indeholder cellens arvemateriale og er opbygget af dobbeltstrenget DNA. Bakteriekromosomet er snoet på en måde så det ikke fylder så meget i cellen. Udover bakteriekromosomet indeholder prokaryote celler ofte et eller flere ringformede minikromosomer der kaldes *plasmider*. Nogle plasmider kan give bakterien forbedrede livsbetingelser under særlige miljøforhold. Det kan fx være plasmider der gør bakterien resistent (modstandsdygtig) overfor bestemte typer antibiotika, eller gør bakterien i stand til at producere et særligt giftstof så den bedre kan klare sig i konkurrence mod andre bakterier. Bakterier er i nogle tilfælde i stand til at udveksle plasmider med hinanden, og på den måde kan der fx opstå multiresistente bakterier.

Figur 11. Forskellen på cellevæggen hos
a. Grampositive bakterier.
b. Gramnegative bakterier.



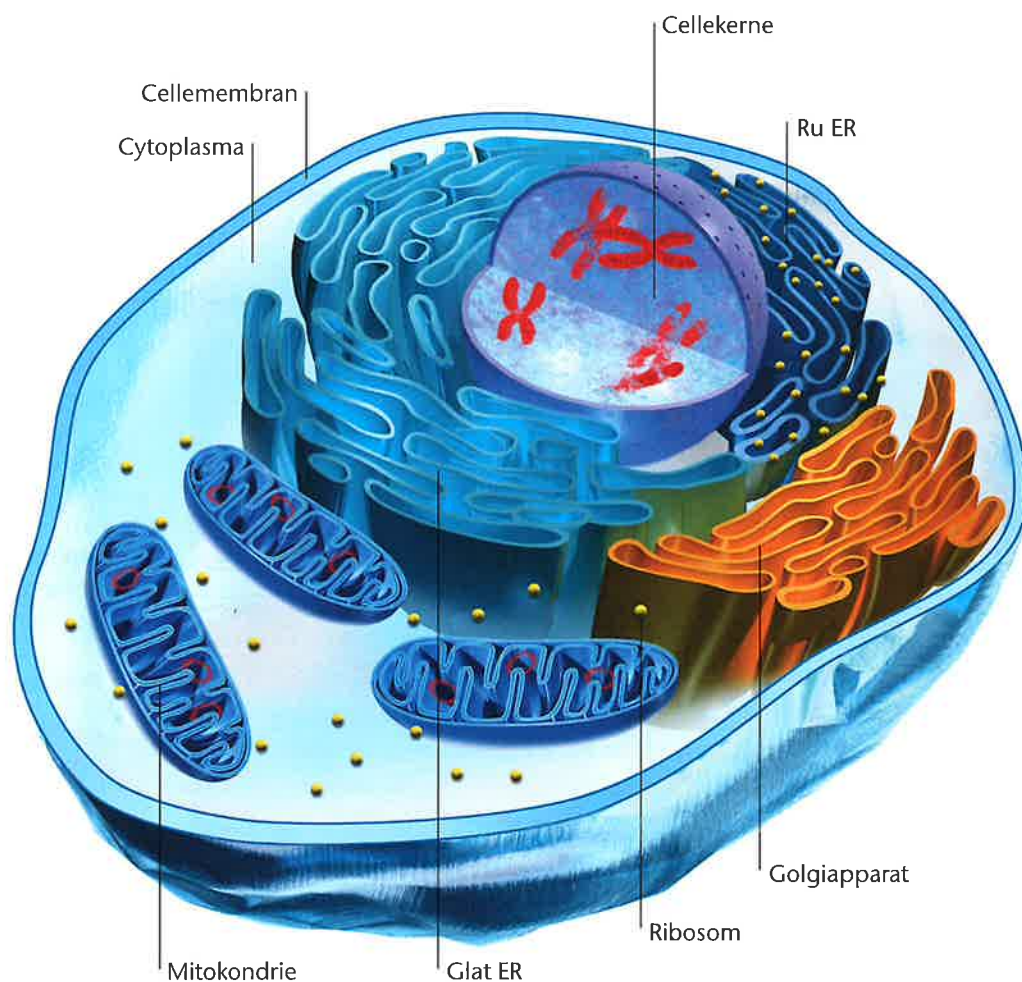


Figur 12. Cellekerne.

Eukaryote celler

Eukaryote celler er større end prokaryote celler. De indeholder en cellekerne og er generelt mere komplekse i deres opbygning. Cellekernen er omsluttet af en kernemembran der indeholder små proteinporer (kerneporer), hvorigennem bestemte stoffer kan passere, se figur 12. Cytoplasmaet i en eukaryot celle er mere komplekst end hos de prokaryote celler og indeholder blandt andet et *cytoskelet*. Det fungerer som cellens indre skelet og er med til at give cellen form. Desuden medvirker det til at regulere transporten af forskellige stoffer rundt i cellen.

Eukaryote celler har mange cellekomponenter til fælles. Nogle af disse er omsluttet af en membran og kaldes for organeller. Cellekomponenterne udfører hver især forskellige funktioner. Figur 13 viser en dyrecelle med udvalgte cellekomponenter hvis opbygning og funktion gennemgås i de følgende afsnit.



Figur 13. Dyrecelle.

Mitokondrier

Et af de organeller der findes i stort antal, er *mitokondrierne*. De er omgivet af to membraner. Det inderste rum kaldes for matrix og indeholder bl.a. flere små identiske cirkulære kromosomer, se figur 14. Mitokondriernes primære funktion er at udvinde kemisk energi fra de energigivende stoffer cellen optager fra omgivelserne ved en proces der kaldes respiration.

Endoplasmatisk retikulum (ER)

Der findes to typer ER som vist i figur 15. Den ene type er beklædt på overfladen med ribosomer og kaldes derfor for *ru ER*. Ribosomerne på det ru ER står bl.a. for produktionen af de proteiner der skal sendes ud gennem cellemembranen og have deres virkning udenfor cellen. Nogle af de proteiner der dannes i det ru ER, sendes efterfølgende til Golgiapparatet hvor de modificeres og indpakkes, så de fx er klar til at blive sendt ud af cellen. Et eksempel på dette er kroppens fordøjelsesenzymmer.

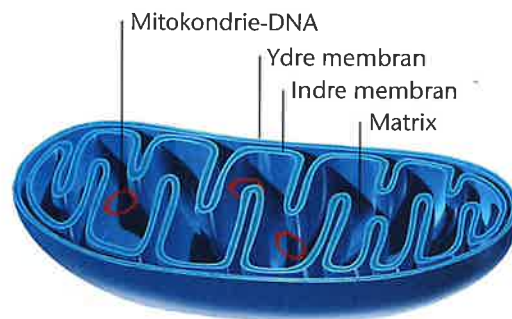
Den anden type ER kaldes for *glat ER* da det ikke har tilknyttet ribosomer på overfladen. Funktionen af det glatte ER er bl.a. at producere de særlige fedtstoffer (phospholipider) der anvendes i opbygningen af cellemembranen og steroidhormoner. Kønshormonerne østrogen og testosteron er eksempler på steroidhormoner.

Golgiapparat

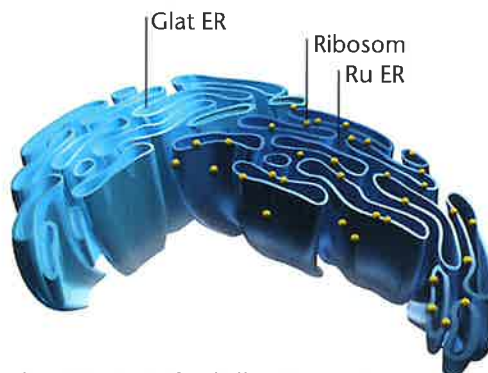
Golgiapparatet er opbygget som et sammenhængende system af membransække som vist i figur 16. I Golgiapparatet modificeres proteinerne ved at der fx påhæftes forskellige carbohydrater. De resulterende molekyler kaldes i så fald for *glycoproteiner*. Afslutningsvis indpakkes glycoproteinerne i en membran så de danner vesikler, som derefter fragtes tilbage til det ru ER, eller sendes direkte til det sted i cellen hvor de skal udføre deres funktion.

Svampe og planter har cellevægge

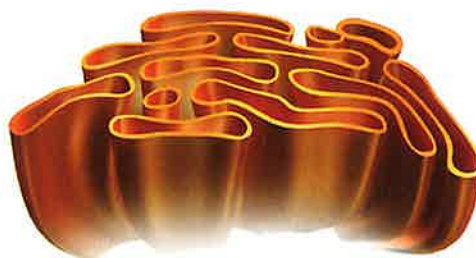
Plante- og svampeceller har en stiv cellevæg på ydersiden af cellemembranen og er derved anderledes end dyreceller. Cellevæggen er med til at give cellerne struktur og beskyttelse. Hos planter består cellevæggen hovedsageligt af carbohydratet cellulose, mens svampes cellevægge primært består af carbohydratet kitin. Bortset fra cellevæggen minder svampeceller på mange måder om dyreceller.



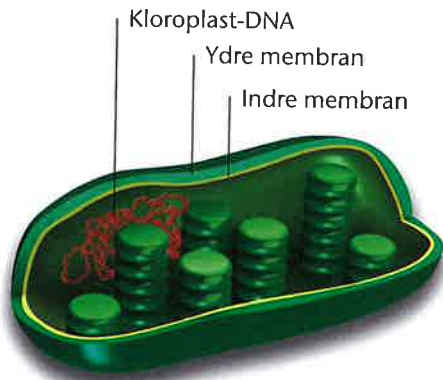
Figur 14. Mitokondrie.



Figur 15. De to forskellige typer af endoplasmatisk retikulum (ER).



Figur 16. Golgiapparat.



Figur 17. Grønkorn (kloroplast).

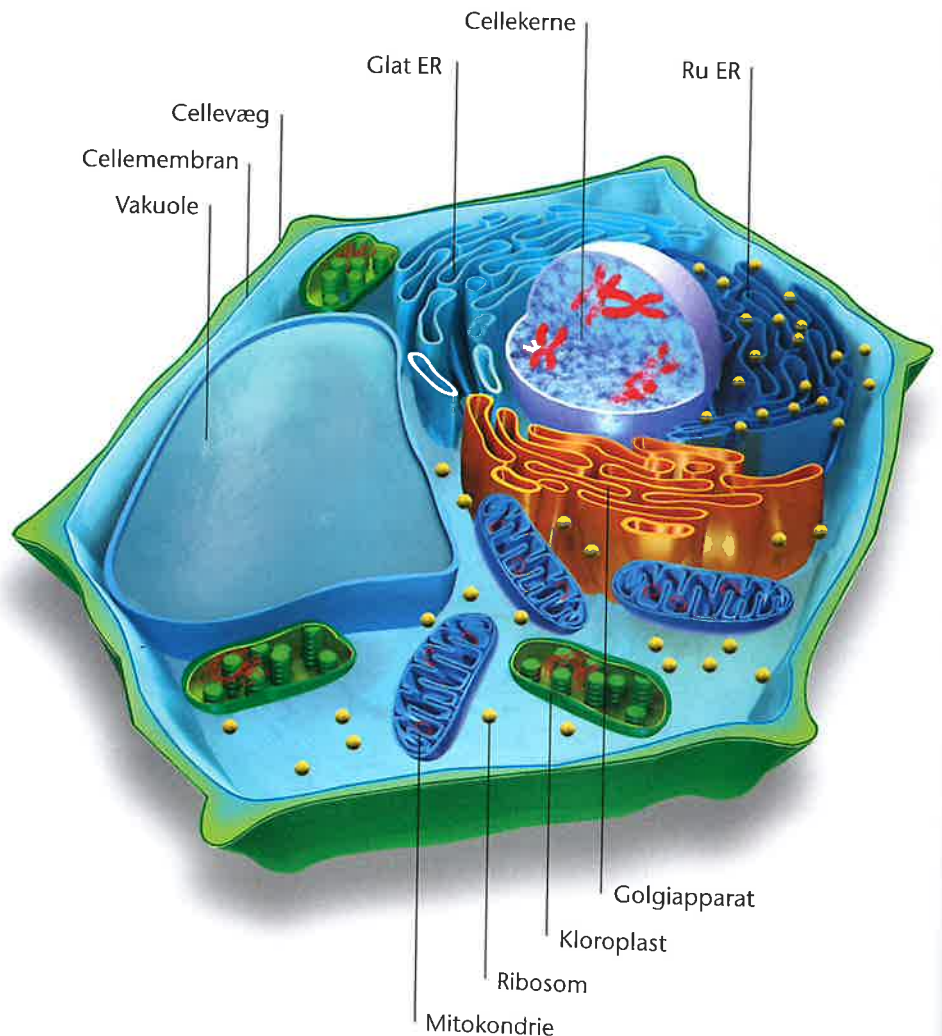
Vakuole

En *vakuole* er et væskefyldt organel der især i planteceller er meget tydelig, da den kan udgøre mere end halvdelen af cellen. I vakuolen kan cellen opbevare vandopløselige stoffer, og vakuolen bidrager fx med at opretholde den rette pH i cellen. I planteceller skaber vakuolen også et tryk på cellevæggen. Denne saftspænding gør at de bløde dele af plantevævet kan opretholde deres stive struktur.

Planteceller har grønne der laver fotosyntese

Planteceller indeholder et særligt organel der kaldes for *grønkorn* eller *kloroplast*, se figur 17. Det er her fotosyntesen foregår. Kloroplaster er som mitokondrier omgivet af to lag membraner og indeholder også et lille cirkulært kromosom. Figur 18 viser opbygningen af en plantecelle.

Figur 18. Plantecelle.



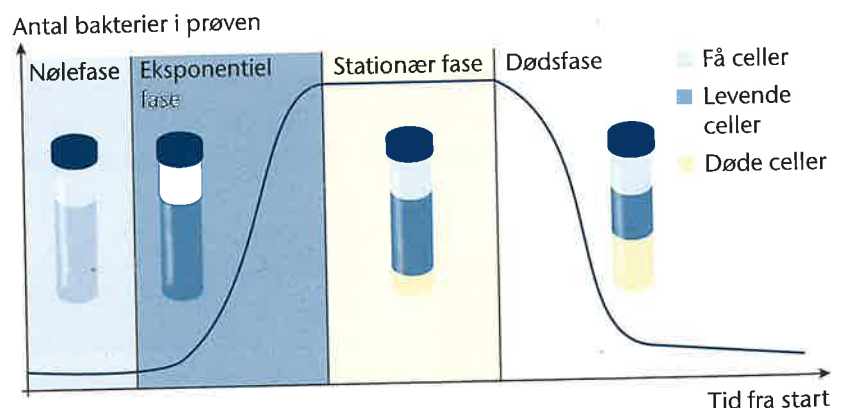
Gærceller foretrækker et surere miljø end bakterier

Mens de fleste bakterier foretrækker en surhedsgrad tæt på 7, lever mange gærsvampe bedre ved en lidt lavere pH, se figur 367 side 257. Det udnyttes man bl.a. ved syltning hvor pH sænkes for at undgå uønsket bakterievækst. Der findes dog også bakterier hvis pH-optimum er markant forskellig fra 7. Det kan fx være bakterier der er tilpasset livet under basiske forhold. De har udviklet fordøjelses-enzymmer der fungerer bedst ved en pH højere end 7. Denne type fordøjelsesenzymmer med et højt pH-optimum anvendes bl.a. industrielt i vaskemidler hvor sæbestofferne normalt gør opløsninger basiske. Enzymerne der anvendes i vaskemidlerne produceres i dag som oftest i store gæringstanke vha. genmodificerede mikroorganismer. Læs mere på side 48 om hvordan man kan skabe en genmodificeret mikroorganisme.

Den mikrobielle vækstkurve

Væksten af bakterier følger typisk det forløb der er vist i figur 50. Dette forløb kaldes for den *mikrobielle vækstkurve* og består af fire faser. Den første fase kaldes for *nølefasen* hvor bakterierne bl.a. danner de nødvendige enzymer og tilpasser deres livsprocesser til det givne miljø. Nølefasen kan vare kortere eller længere tid og er generelt kendetegnet ved at antallet af bakterier er nogenlunde konstant. På et tidspunkt begynder bakterierne at vokse i antal, og populationen befinder sig nu i den eksponentielle fase.

Figur 50. Den mikrobielle vækstkurves fire faser.



I den *eksponentielle fase* deler bakterierne sig hurtigere, og der dannes flere nye bakterier end der dør. Vækstraten i denne periode er normalt nogenlunde konstant. Antallet af bakterier følger derfor i en eksponentiel vækstfunktion indtil væksten bliver begrænset. Væksten begrænses typisk af mangel på resurser eller plads.

Efter en periode med eksponentiel vækst begynder væksten at aftage indtil antallet af bakterier i en periode forbliver konstant. Denne fase kaldes for den *stationære fase*, og den er kendetegnet ved at antallet af nydannede bakterier svarer til antallet af bakterier der dør. I denne fase opbruger bakterierne typisk de sidste næringsstoffer og udskiller forskellige affaldsstoffer. På et tidspunkt er forholdene ikke længere gode nok til at bakterierne kan opretholde deres nødvendige livsprocesser, og populationen bevæger sig derefter over i den sidste fase hvor populationen falder i størrelse. *Dødsfasen* er karakteriseret ved at antallet af bakterier der dør, overstiger antallet af nye. Nogle typer bakterier er dog i stand til at gå i en slags dvaletilstand i stedet for at dø og kan forblive i denne tilstand i meget lang tid indtil miljøforholdene eventuelt igen bliver gunstige.

Afhængigt af dyrkningsforholdene kan man påvirke hvor længe bakterierne vil befinde sig i de forskellige faser. Hvis man ser på kolonier på en agarplade, følger bakterierne i hver koloni den mikrobielle vækstkurve. Ved at tage bakterier fra en koloni og udplade dem på nye agarplader kan man genstarte en ny nølefase efterfulgt af de andre faser. Ved dyrkning af bakterier i særlige gæringstanke er det muligt løbende at regulere på forskellige faktorer, fx ved at tilføje næringsstoffer og fjerne affaldsstoffer fra næringsmediet, se figur 51. Derved kan man opretholde en population af mikroorganismer i en stationær fase i meget lang tid. Dette kan være nyttigt hvis mikroorganismen i denne fase producerer stoffer man ønsker som fx enzymer eller hormonet insulin.



Figur 51. Mikroorganismer kan dyrkes i store gæringstanke.

Ekspontiel vækst

Under de rette omstændigheder kan en bakterie som *E. coli* dele sig ca. hvert tyvende minut. Det betyder at antallet af bakterier i en prøve potentielt kan fordobles hvert tyvende minut. Selvom der i begyndelsen kun er én enkelt bakterie, kan der i løbet af 7-8 timer ende med at være flere millioner. Den type udvikling hvor antallet af individer ændres med en fast faktor i en given tidsperiode, kaldes for en eksponentiel udvikling eller eksponentiel vækst. Generelt kan en eksponentiel udvikling være både aftagende og voksende, men i forhold til bakteriel vækst er det primært relevant at tale om voksende eksponentielle udviklinger. Eksponentiel vækst af bakterier kan kun fortsætte indtil en abiotisk eller biotisk faktor begrænser væksten. En *abiotisk faktor* kan fx være konkurrence om plads, mens *en biotisk faktor* kan være mængden af næringsstoffer. For bakterier vil disse faktorer typisk være begrænsende efter nogle timer eller dage, afhængigt af omstændighederne. Eksponentiel vækst hos bakterier kan beskrives med det matematiske udtryk der er vist i ligning (1):

$$(1) y = b \cdot a^x$$

I dette udtryk er y antallet af bakterier til tidspunktet x . Begyndelsesværdien b er antal bakterier fra start ($x = 0$), og a er en konstant der kaldes for fremskrivningsfaktoren. Fremskrivningsfaktoren viser hvor mange gange y stiger, hvis x stiger med 1. Bemærk at fordi der er tale om et voksende antal bakterier, er $b > 0$ og $a > 1$.

Fremskrivningsfaktoren a kan også skrives som ligning (2):

$$(2) a = 1 + r$$

Vækstraten r angiver hvor stor en procentdel y vokser med, hvis x stiger med 1.

Nogle gange ses ligninger for eksponentiel vækst på formen vist i ligning (3):

$$(3) y = b \cdot e^{(k \cdot x)}$$

Ved at sammenligne ovennævnte to ligninger med hinanden kan man ved hjælp af en potensregnerregel vise at fremskrivningsfaktoren a i ligning (1) er lig med e^k i ligning (3).

Antal bakterier fordobles i hver generation

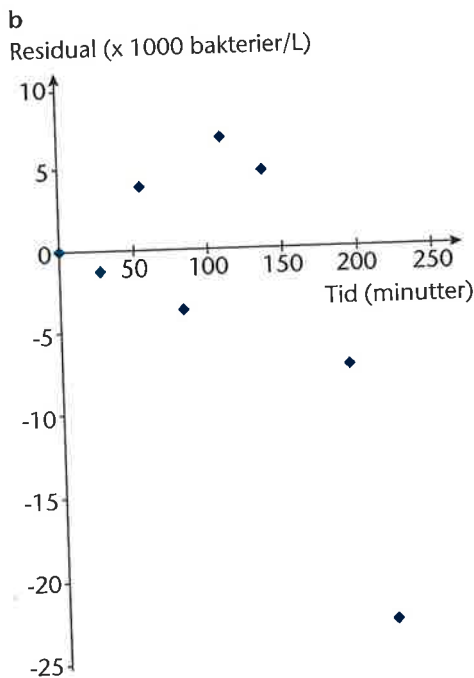
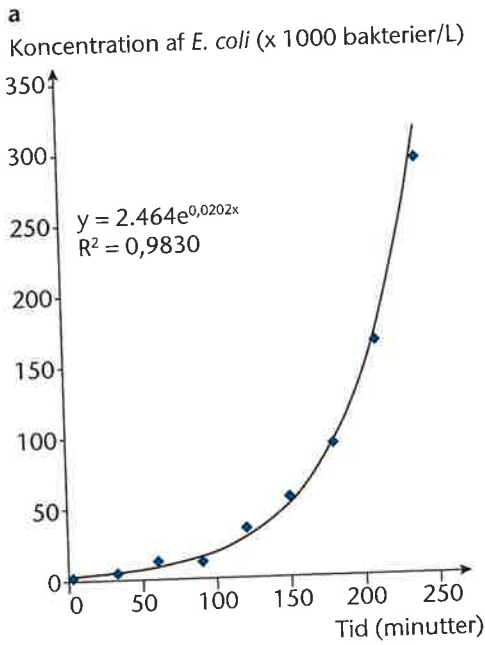
Hvis *generationstiden* for en bakterie kendes, og det antages at alle bakterier deler sig samtidigt, kan udtrykket i ligning (1) omskrives til et udtryk som funktion af antal generationer. Ved ubegrænset vækst deler bakterierne sig med en konstant rate og derfor fordobles antallet af bakterier i hver generation. Derfor må fremskrivningsfaktoren a være 2, når tiden regnes i antal generationer. Hvis antallet af bakterier i første generation kaldes for N_0 og antal generationer siden start for t , kan antallet af bakterier efter et bestemt antal generationer (N_t) ifølge den eksponentielle vækstmodel bestemmes til at være som vist i ligning (4):

$$(4) N_t = N_0 \cdot 2^t$$

I dette tilfælde er det klart at fordoblingstiden er præcis én generation, da det jo var præmissen for udledningen af dette funktionsudtryk. Tabellen i figur 52 viser hvordan antallet af bakterier stiger i løbet af 20 generationer, hvis man starter med én enkelt bakterie i generation 0.

Generation	Antal bakterier
0	1
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	256
9	512
10	1.024
11	2.048
12	4.096
13	8.192
14	16.384
15	32.768
16	65.536
17	131.072
18	262.144
19	524.288
20	1.048.576

Figur 52. Ved ubegrænset vækst fordobles antallet af bakterier ved hver generation.



Figur 53. Data fra et vækstofforsøg med *E. coli*-bakterier.

- Ekspontentiell regressionsmodel.
- Residualplot for den eksponentielle regressionsmodel. Kan der være en biologisk forklaring på at sidste målepunkt ser ud til at ligge væsentligt under den eksponentielle regressionsmodel?

Bakteriers generationstid

Hvis man ønsker at bestemme en bakteries generationstid ud fra forsøgsdata, kan det gøres med eksponentiel regression. Figur 53 viser et eksempel på regression udført på data fra et forsøg med *E. coli*-bakterier.

Det ses at regressionsligningen her er angivet på formen vist i ligning (3). Først beregnes fremskrivningsfaktoren a , ud fra regressionsligningen.

$$a = e^k = e^{0,0202} = 1,020405$$

Derefter beregnes vækstraten r ved hjælp af ligning (2).

$$r = a - 1 = 1,020405 - 1 = 0,020405 \approx 2 \%$$

Det vil sige at antallet af *E. coli*-bakterier i dette forsøg i gennemsnit er steget ca. 2% pr. minut.

En bakteries generationstid er det samme som fordoblingstiden, og det er kendt fra matematikken at man kan finde fordoblingstiden (T_2) for en eksponentiel udvikling vha. følgende udtryk:

$$(5) T_2 = \frac{\text{Log}(2)}{\text{Log}(a)}$$

Generationstiden måles i den enhed der er brugt i de konkrete data, så i dette eksempel måles den i minutter, og generationstiden for *E. coli*-bakterierne i det viste forsøg er således:

$$(6) T_2 = \frac{\text{Log}(2)}{\text{Log}(1,020405)} = 34,3 \text{ minutter}$$

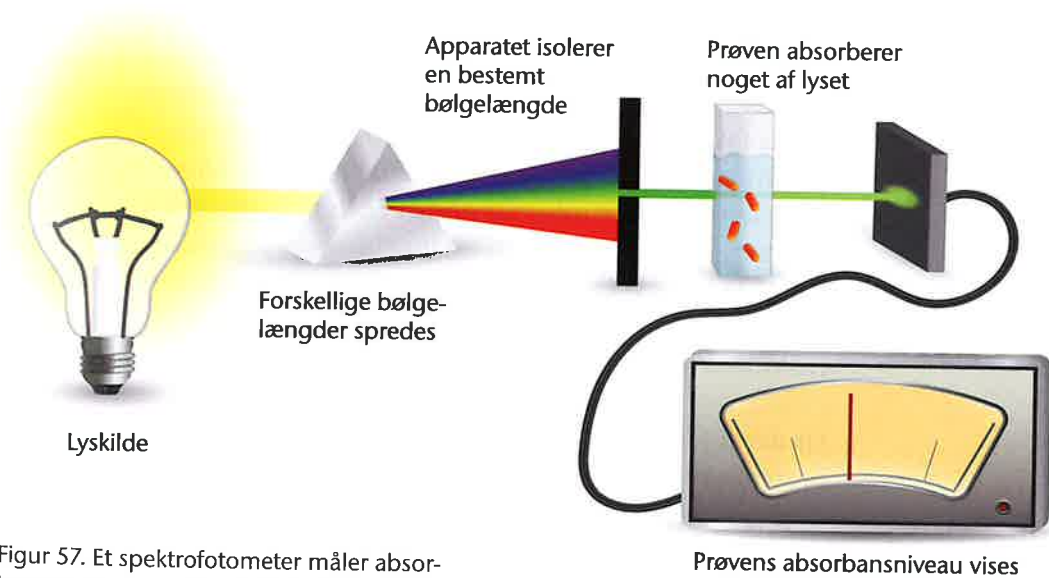
som svarer til 34 minutter og 18 sekunder.

Som nævnt kan eksponentiel vækst ikke fortsætte evigt, og væksten af enhver population vil på et tidspunkt blive begrænset som beskrevet under afsnittet om den mikrobielle vækstkurve på side 40.

Absorptions- og turbiditetsmålinger

Hvis man ønsker at følge væksten i en flydende kultur af mikroorganismer, kan der enten benyttes et *spektrofotometer* eller en *turbiditetsmåler*. Det grundlæggende princip i de to metoder er meget ens, men apparaterne der benyttes, er lidt forskellige og måler lidt forskellige ting.

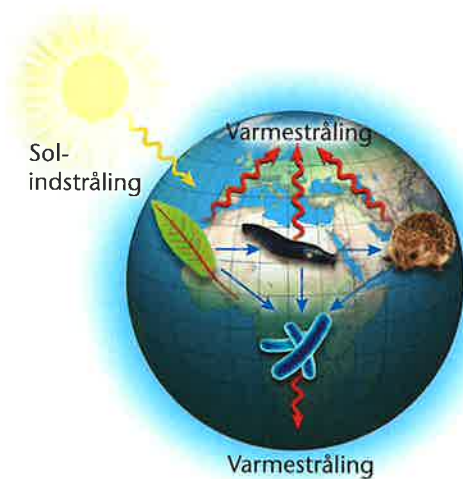
Et spektrofotometer måler absorbansen af lys ved en bestemt bølgelængde (λ). Da der er en sammenhæng mellem antallet af mikroorganismer i prøven og hvor meget lys der bliver absorberet, kan væksten i en flydende kultur måles ved løbende at udtage prøver, se figur 57. For at kalibrere målingerne kan der samtidig fx benyttes pladeudspredning eller tælling i tællekammer på enkelte målinger, og ud fra disse kan der konstrueres en standardkurve.



Figur 57. Et spektrofotometer måler absorbans af lys ved bestemte bølgelængder.

Turbiditetsmålinger måler ikke absorbansen af lys, men derimod spredningen af det lys der sendes ind i prøven. Jo flere mikroorganismer i prøven lyset kan ramme, jo mere spredes lyset, og ved at måle hvor meget lys der rammer en detektor i måleinstrumentet, fås et mål der korrelerer med antallet af mikroorganismer i prøven. Som ved spektrofotometermetoden er det nødvendigt at kalibrere målingerne med fx pladeudspredning eller tællekammermetoden hvis der ønskes en absolut koncentration og ikke blot relative målinger.

I begge metoder kan det være hensigtsmæssigt at benytte en fortyndingsrække for at få præcise målinger, og også her er det ofte en god idé at lave flere parallelle forsøg og så tage et gennemsnit.



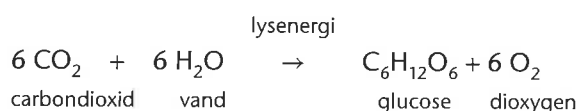
Figur 295. Solen er jordens energikilde. Under de levende organismers energi-udfoldelse omdannes energien til varme.

Energi i økosystemet

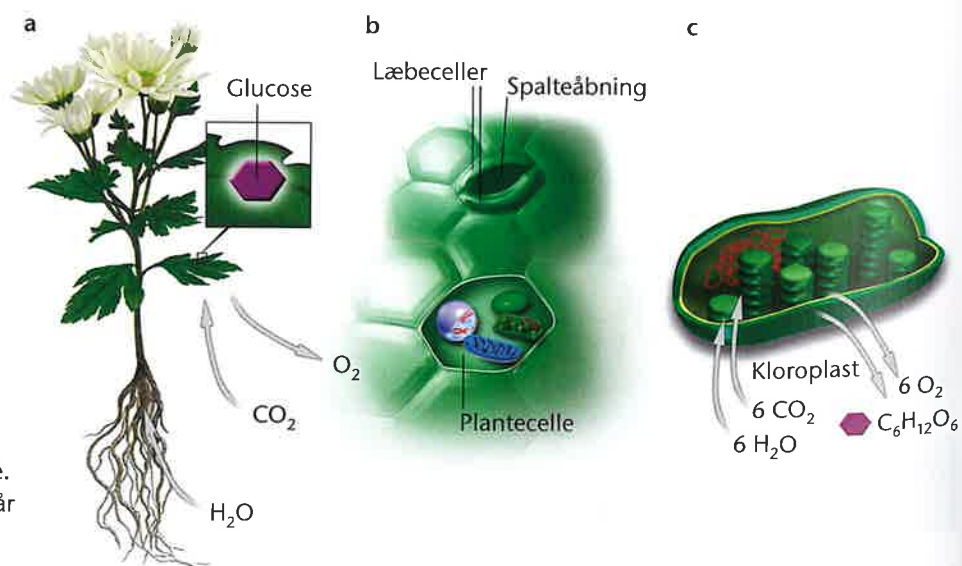
Energien strømmer igennem et økosystem. Den kan overføres fra den ene form til den anden, men den forsvinder ikke. Den kommer ind i økosystemet som solenergi, og den forlader systemet som varme, men undervejs er der sket en masse, se figur 295. Solenergien driver planternes fotosyntese. Ved den proces opbygger planterne organisk – dvs. energirigt – stof, og på den måde bliver de første led i økosystemets fødekæder. Organismer der kan opbygge organisk stof ud fra uorganisk, kaldes for *autotrofe*. Det gælder planterne som bruger lys som energikilde. De organismer der skal have tilført organisk stof som energikilde, kaldes for *heterotrofe*. Det gælder alle dyr, svampe og de fleste bakterier.

Fotosyntese

Fotosyntesen foregår i plantecellernes grønkorn eller *kloroplaster*. Her omdannes carbondioxid (kuldioxid) og vand til glucose vha. lyset som energikilde. Ved processen produceres dioxygen (ilt) som affaldstof. Reaktionskemaet for fotosyntese ser således ud:



Carbondioxid fra luften kommer ind gennem spalteåbninger på bladens underside, vand transporteres op gennem planten fra rødderne, se figur 296. Transporten af de nævnte stoffer foregår ved diffusion og er således passiv. Diffusion af vand kaldes osmose, og transporten af glucose er faciliteret diffusion. Læs om transportprocesser side 21 ff.



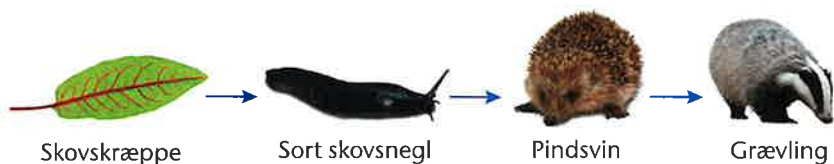
Figur 296. Fotosyntese.

- I de grønne blade produceres glucose via fotosyntesen.
- CO_2 optages gennem bladens spalteåbninger og transporteres sammen med H_2O til bladcellerne.
- Selve fotosynteseprocessen foregår i cellernes kloroplaster.

Glucose kan efterfølgende omdannes til andre carbohydrater, fedtstoffer, proteiner og stoffer som DNA og ATP. De sidste kræver at planten optager både phosphat og nitrogenholdige næringsalte.

Fødekæder og -net

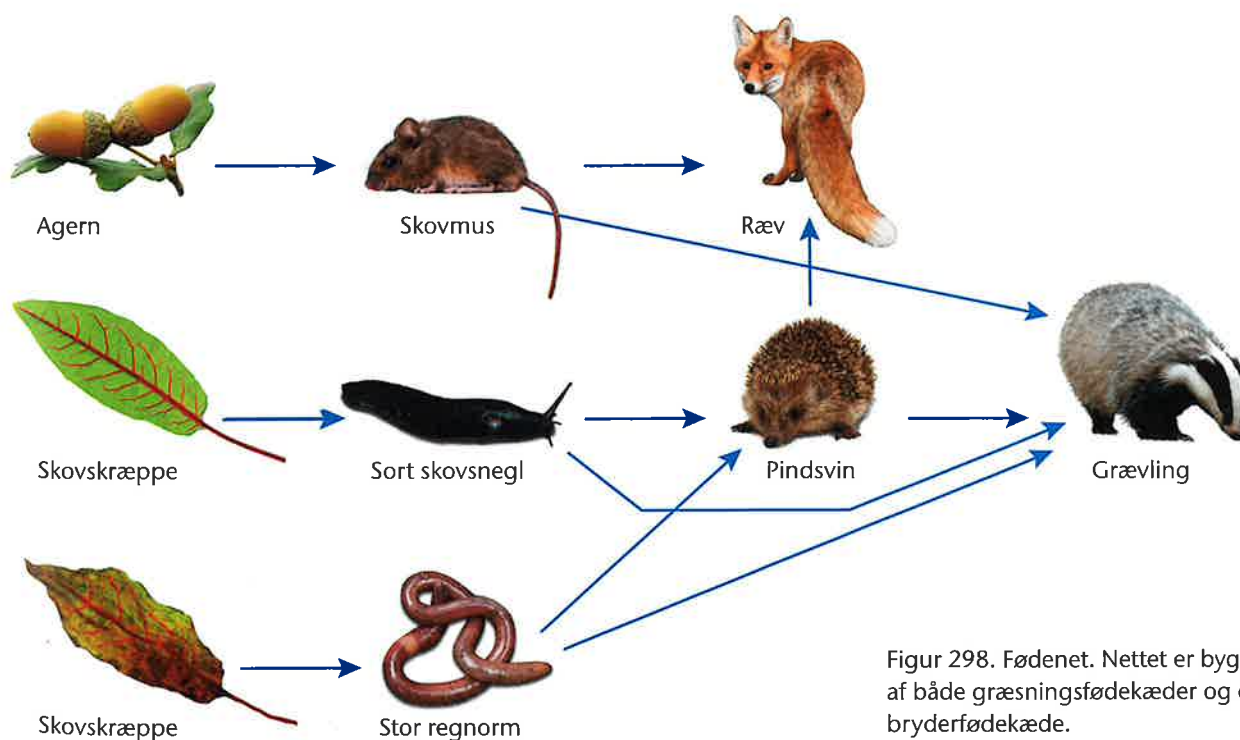
Planterne kan spises af planteæderne, de udgør det andet led i fødekæden, og planteæderne kan så udnyttes af rovdyrene som udgør det tredje led. Desuden kan der forekomme toprovdyr i fjerde og evt. femte led. Denne rækkefølge af organismer kaldes en *fødekæde*, se figur 297.



Figur 297. Fødekæde.

Hvis første led er levende planter, der græsses af planteæderne, så kaldes den også en *græsningsfødekæde*. Hvis første led derimod er dødt organisk stof, fx en visnen plante, så kaldes den en *nedbryderfødekæde*. Fødekæder sættes sammen i *fødenet*, se figur 298.

I hvert led i fødekæden bruges den indtagne energi til to ting, nemlig til at dække organismernes eget energibehov og til vækst. Det er kun den del der bruges til vækst, som kan gå videre til næste led.



Figur 298. Fødenet. Nettet er bygget op af både græsningsfødekæder og en nedbryderfødekæde.

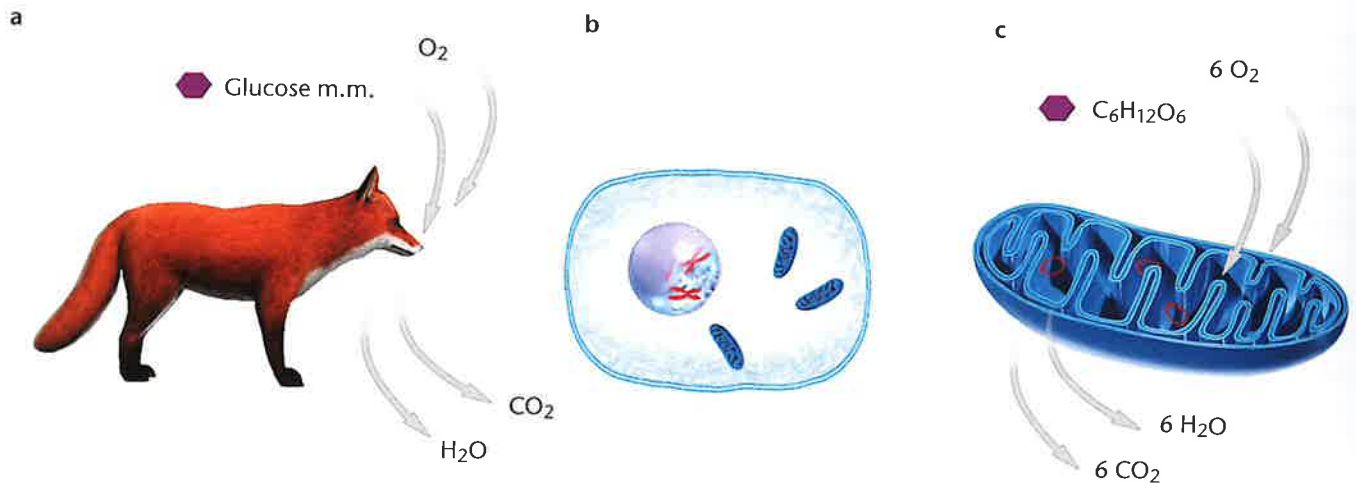


Figur 299. Muskelbevægelser kræver energi.

Respiration

Energibehovets størrelse afhænger af organismernes livsfunktioner, dvs. alt fra opbygning og nedbrydning af stoffer i cellerne til planternes optagelse af næringssalte og muskelbevægelser i dyr og mennesker, se figur 299. Energien til aktiviteterne frigives ved respirationsprocessen. Ved respiration overføres energien fra det organiske stof – her bruges glucose næsten altid som eksempel – til et stof kaldet ATP som derefter leverer energien til cellernes arbejde.

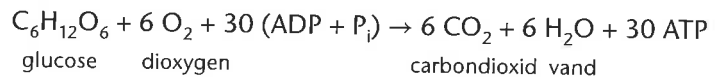
Respirationen foregår i *mitokondrierne* i både plante- og dyreceller, her nedbrydes glucose under forbrug af ilt (dioxygen) til kuldioxid (carbondioxid) og vand, se figur 300.



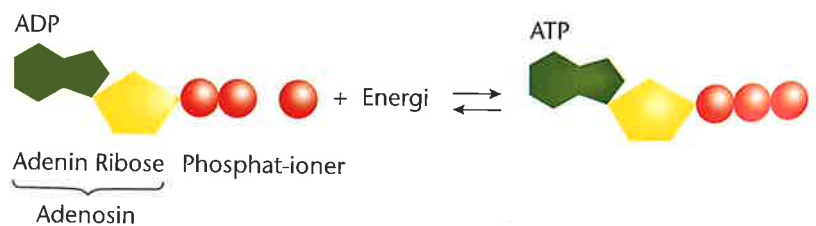
Figur 300. Respiration.

- De levende organismer optager oxygen og organiske stoffer som fx glucose.
- Glucose og oxygen transporteres til cellerne.
- Selve respirationsprocessen foregår i cellernes mitokondrier.

Ved processen overføres en del af energien i glucose til ATP, resten af energien går tabt som varme. Reaktionsskemaet ser således ud:



Alle levende organismer opbygger og nedbryder hele tiden ATP, se figur 301.



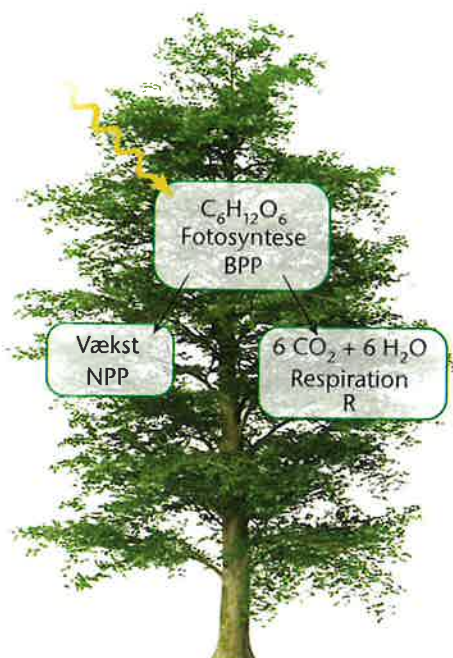
Figur 301. Opbygning og spaltning af ATP.

Planternes fotosyntese kaldes *bruttoprimærproduktion*, BPP, og respirationen kaldes R. Væksten kaldes *nettoprimærproduktion*, NPP, dvs.

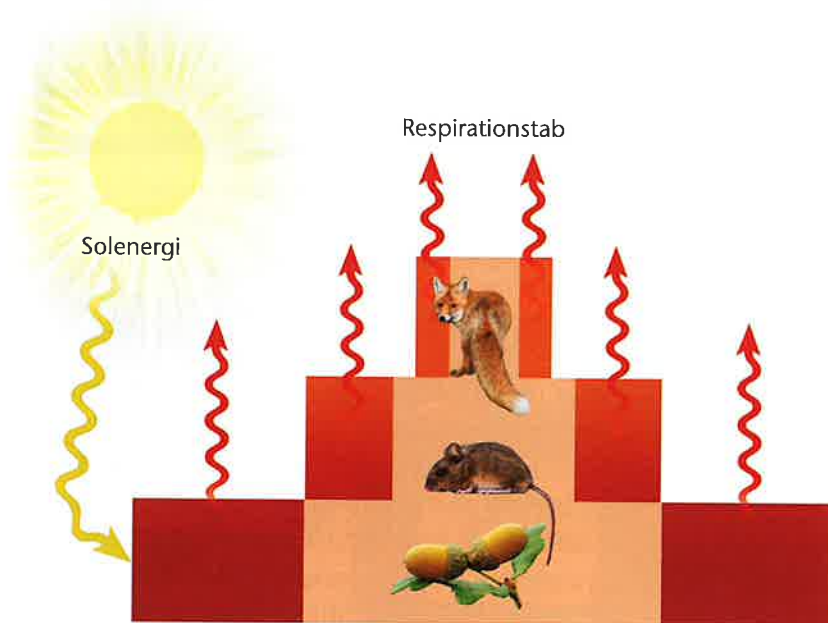
$$NPP = BPP - R$$

Figur 302 viser denne sammenhæng.

Når der udføres energikrævende processer – og det gælder alle levende organismer – overføres energien i sidste ende til varme. Derfor kan den del af den producerede eller indtagne energi der går til respiration, ikke udnyttes af andre, det kaldes *respirationstab*. Da der er sådan et respirationstab i hvert led af fødekæden, bliver der mindre og mindre energi til det efterfølgende led. Eller sagt på anden måde, der bliver mindre og mindre mad tilovers til det næste led i fødekæden. Det kan illustreres som en *fødepyramide*, se figur 303. Pga. respirationstabet er en fødekæde sjældent mere end fire eller fem led.



Figur 302. En del af fotosynteseproduktionen forbruges i respirationsprocessen, resten går til vækst.



Figur 303. Fødepyramiden viser hvor stor en del af den opbyggede energi der går videre til næste led. Resten, og det er langt det meste, bruges af organismerne selv til deres respiration.

Abiotiske og biotiske faktorer

Alle levende organismer stiller krav til deres levested, og både planter og dyr konkurrerer for at få opfyldt disse krav. Planterne konkurrerer om lys, vand og næringssalte. *Næringssalte* er de ioner som planterne optager, fordi de skal bruge grundstofferne i dem, fx N og P, til opbygning af livsnødvendige stoffer. Næringssalte kaldes også for gødningsstoffer. De næringssalte der skal bruges i størst mængde, er nitrat, NO_3^- , og fosfat, PO_4^{3-} . Dyrene konkurrerer om plads og føde.

Planterne optager uorganiske næringssalte gennem rødderne og opfanger lys i bladene. Dyr æder organiske næringsstoffer som carbohydrates, fedt og protein i form af planter eller andre dyr. De levende organismer i økosystemet kaldes for de *biotiske faktorer*, mens fysisk-kemiske faktorer kaldes for *abiotiske*. Eksempler på abiotiske og biotiske faktorer ses i figur 308.

Figur 308. De levende organismer stiller krav til både abiotiske og biotiske forhold.

Abiotiske faktorer	Biotiske faktorer
Oxygenkoncentration	Mængde af tilgængelig føde
Vand	Fødens kvalitet
Næringssalte	Sygdomsvoldende organismer
pH (surhedsgrad)	
Lys	
Temperatur	
Vind	



Figur 309. Liebig's minimumslov. Den begrænsende faktor er afgørende for hvor godt en organisme trives. Her er PO_4^{3-} (fosfat) begrænsende for plantevækst. Når PO_4^{3-} er brugt op, hjælper det ikke at de øvrige forhold er optimale.

De individer som klarer sig bedst i konkurrencen, har størst chance for at overleve og give deres gener videre til afkommet. De bliver udvalgt eller selekteret, det er den måde evolutionen arbejder på.

For at en organisme kan vokse og trives, skal alle de abiotiske faktorer – og for dyr gælder det også føden – være optimale. En plante vokser ikke som den skal hvis den fx mangler lys eller nitrat. Og selvom vi får tilstrækkeligt med energi gennem maden, så bliver vi alligevel syge hvis der er mangel på et vitamin. Den faktor der er relativt mindst af, er den *begrænsende faktor*. Det blev formuleret af tyskeren Liebig i 1855 og kaldes Liebig's minimumslov. Loven illustreres ofte med et trækar hvor træstaverne ikke er lige lange. Karret kan kun fyldes op til den korteste stav, se figur 309.