

ningen af en vækstkurve fra et kontrolleret laboratorieforsøg. Det er fordi mikroorganismer i naturen er omgivet af andre levende organismer i vandet. En population af alger eller cyanobakterier som vokser eksponentielt på grund af optimale vækstbetingelser hvad angår lys og næring, bliver samtidig ædt af smådyr og udsat for dødelige angreb af bakterier og virus. Det vil sige at man i naturen sagtens kan have aftagende vækstkurver for en algepopulation, selv om dens individer deler sig så hurtigt de kan.

Populationer af mikroorganismer i naturen indtræder dog også på et tidspunkt i deres livsforløb i en stationær fase hvor de fx danner sporer – ligesom laboratoriepopulationer gør det. Det vil der blive givet nogle eksempler på senere i kapitlet.

Vækst er også størrelsesafhængig

Prokaryoter, altså bakterier og arkæer, er de mikroorganismer der har de hurtigste væksthastigheder. Det er sandsynligvis fordi cellerne er mindre end de eukaryote celler, og fordi deres opbygning også er langt mindre kompleks, se figur 35, side 34. Fx har prokaryoter kun ét DNA-molekyle de skal have kopieret inden de kan dele sig. Eukaryote celler har altid flere DNA-molekyler samt en lang række organeller de skal have kopieret inden deling. Hvor hurtigt de deler sig, afhænger endvidere af om de er en- eller flercellede. De encellede organismer er mindre specialiserede, de kan derfor nemmere dele sig med en større hastighed. Havets planktonalger har en væksthastighed der er meget større end landplanter, når de rette forhold er til stede. De udfører da også 50 % af fotosyntesen på jorden, det vil sige at de producerer halvdelen af jordens fødegrundlag og ilt.

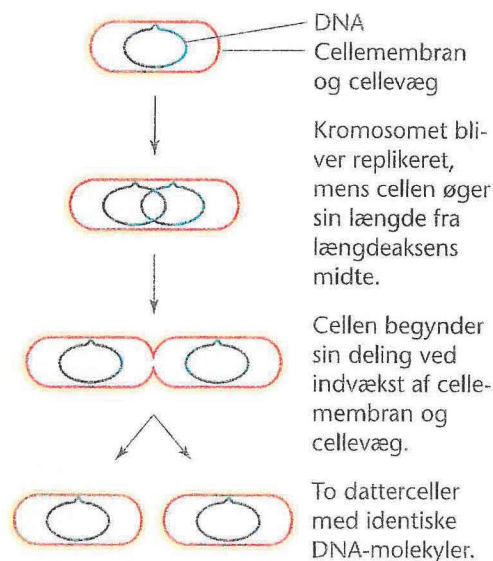
Formering hos prokaryoter

Prokaryoter formerer sig ved at cellerne danner kopier af sig selv der er genetisk identiske med den oprindelige celle. Det kaldes *ukønnet formering*. Det betyder at formering og almindelig vækst er to sider af samme sag hos prokaryoter. Sådan er det ikke nødvendigvis hos eukaryoter som vi vil se senere i kapitlet.

En celle vil som regel ikke dele sig før den har nået en størrelse hvor transport- og kommunikationsvejene mellem cellens bestanddele bliver for lange. Imens cellen vokser, producerer den et passende antal kopier af dens forskellige indholdsstoffer og bestanddele. Bakterie- og arkæokromosomet samt plasmiderne bliver kopieret ved en proces man kalder *replikation*. Replikationen resulterer i to identiske kopier af kromosomet, og de hænger sammen indtil cellen deler sig. I modsætning til dette bliver plasmiderne replikeret 1-100 gange inden cellens deling.

Hvor mange gange plasmiderne bliver replikeret, afhænger af hvilke gener der er til stede på dem.

Figur 36, side 35, viser en bakterie der er ved at dele sig. Man kan se at bakterien – ligesom de fleste andre prokaryoter – deler sig til to nye celler der er hinandens spejlbillede. Når delingen sker på denne måde, er det fordi modercellen har haft sin tilvækst langs en bestemt akse i cellen, se figur 44.



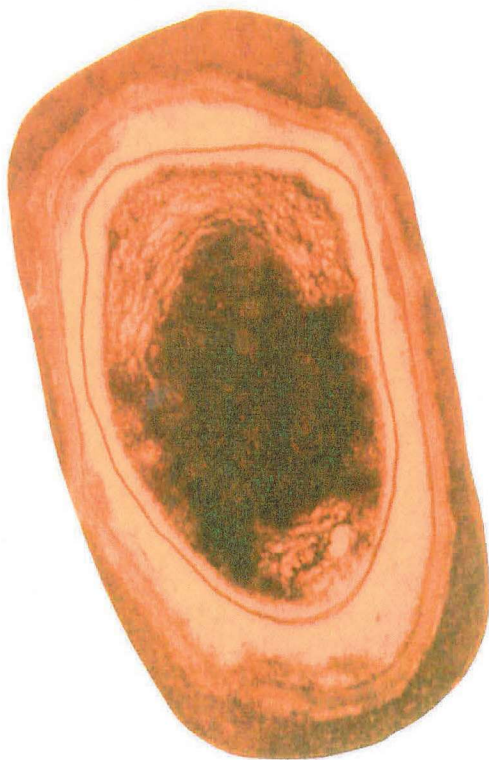
Figur 44. Celledeling hos stavformet prokaryot.

Bakterier kan danne sporer

Nogle få grupper af bakterier danner under dårlige vækstbetingelser sporer. Den enkelte spore bliver dannet inden i en almindelig celle i forbindelse med en celledeling, og man kalder den en *endospore*. Dannelsen sker efter at det fordoblede kromosom har delt sig men inden resten af cellen deler sig. Det ene af de nydannede kromosomer bliver i sådan en situation omgivet af en række lag der bl.a. består af cellevægsmateriale, og denne struktur er så det man kalder endosporen, se figur 45.

De mange lag gør at endosporen kan tåle udtørring og i princippet overleve i mange år. På grund af uafhængigheden af vand vil den kunne sprede sig til andre lokaliteter via luften. Hvis endosporen møder gunstige vækstbetingelser, vil den kunne udvikle sig til en normal celle

Figur 45. Bakterien *Bacillus subtilis* med endospore. Denne bakterie lever naturligt i jord, hvor den nedbryder stivelse og andre komplekse kulhydrater fra planter. Den kan ikke forårsage infektioner hos mennesket og bruges derfor ofte i industrielle produktioner, fx til at producere enzymer. Foto: Dr. Tony Brain/Foci.

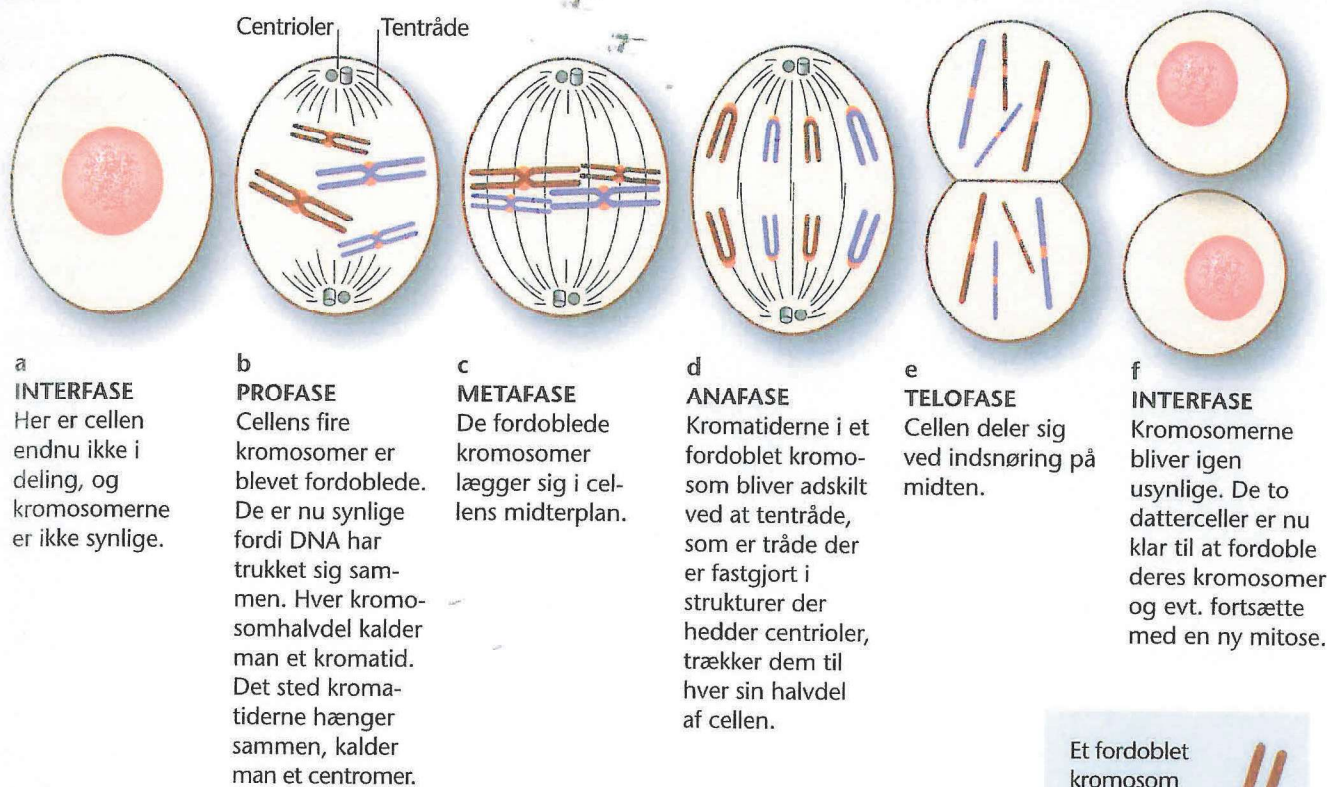


igen, man siger at den spirer. Spore betyder egentlig frø, og endosporens egenskab og funktion minder jo også en del om et plantefrøes egenskab og funktion, nemlig at have potentialet til at starte dannelsen af et nyt individ på en ny lokalitet. Sporen kan sikre at arten spreder sig og dermed øger sine muligheder for at overleve.

Desværre udnytter man visse bakteriers evne til at danne sporer i forbindelse med terrorhandlinger og biologisk krigsførelse. Således var der fx i efteråret 2001 megen omtale af den såkaldte miltbrandbakterie, *Bacillus anthracis*. Dens sporer spreder sig let via luft, og ved infektion af mennesket danner den et giftstof som fører til en blodforgiftning der i ubehandlet form er dødelig. Man kalder infektionen for miltbrand. Efter terrorangrebet d. 11. september 2001 på World Trade Center i New York blev der spredt sporer af bakterien med breve. Nogle postarbejdere i USA døde, inden man blev opmærksom på at også dette var terrorhandlinger.

Udveksling af DNA hos prokaryoter

Af og til udveksler prokaryoter genetisk materiale, det vil sige DNA enten fra deres plasmider eller deres kromosom. Det sker både mellem celler der tilhører samme art, og mellem forskellige arters celler. Herved bliver der inden for en population dannet individer som er genetisk forskellige. Det kan over tid øge den enkelte arts overlevelse, idet arten vil være mindre sårbar over for ændringer i miljøet end hvis alle individer var genetisk ens. Men da det ikke som sådan har noget med formering at gøre, bliver det først omtalt nærmere i kapitlet Mikroorganismer og menneskets sundhed, side 81-82.



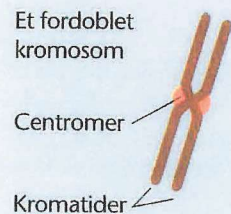
Formering hos eukaryoter

Eukaryoter kan både formere sig kønnet og ukønnet. Den ukønnede formering resulterer – ligesom som hos prokaryoter – i at hver celle bliver delt til to nye celler der er genetisk identiske. Men da eukaryoters kromosomer er anderledes opbygget, foregår celledelingen på en anden måde, og man kalder den en *mitose*, se figur 46.

Som man kan se på figur 46 har den viste eukaryote celle to eksemplarer af hvert kromosom, tegnet i hver sin farve. De to eksemplarer indeholder gener der koder for de samme egenskaber, og de udgør tilsammen et *kromosompar*. Antallet af kromosompar er ens for individer

fra samme art, men det varierer mellem individer fra forskellige arter. Fx har celler af almindelig bagegær 16 par kromosomer, mens menneskets kropsceller indeholder 23 par kromosomer.

Når en celle indeholder kromosomer i par, siger man at cellen er *diploid*, diplo betyder dobbelt, -id betyder udseende eller beskaffenhed. Den prokaryote celle har som nævnt tidligere kun ét eksemplar af dens ene kromosom. Det kalder man at cellen er *haploid*, haplo betyder enkelt. Haploide celler findes også hos eukaryoter. Faktisk veksler de eukaryote arter mellem stadier med diploide og haploide celler, og det vil vi se et par eksempler på i det følgende.



Figur 46. Mitose i en dyrecelle. Man kan se at processen bliver delt op i en række faser. Efter Perry m.fl., 2002.

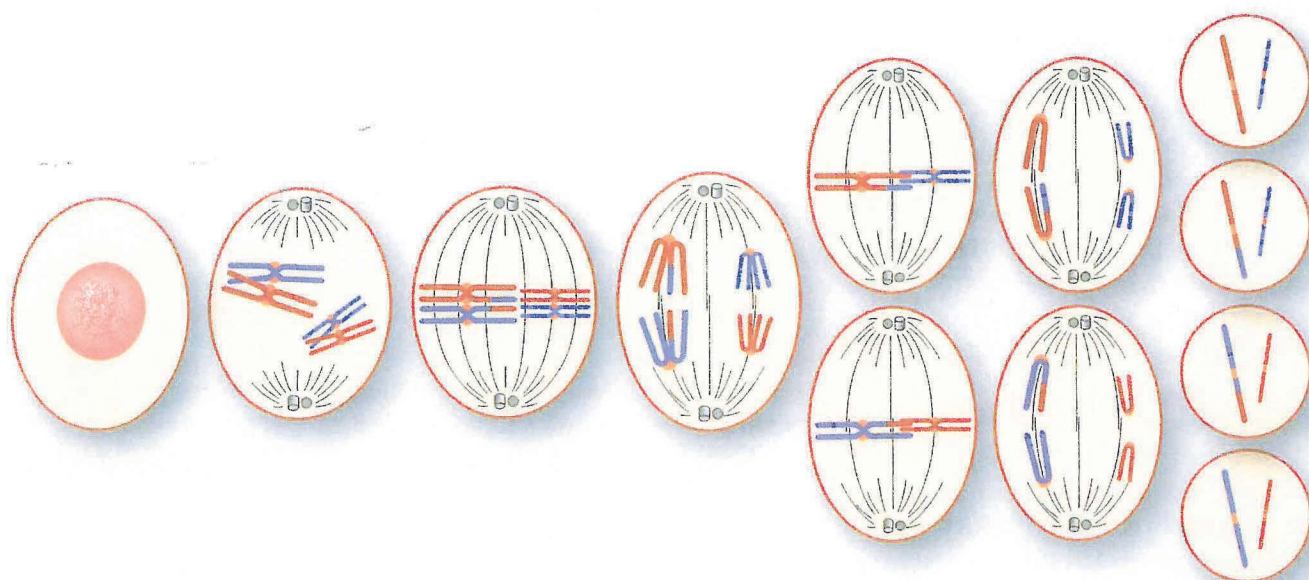
Kønnet formering

Hos mennesket og andre hvirveldyr dominerer det diploide stadie. Fx er alle vores kropsceller diploide. Kun vores kønsceller, det vil sige æg- og sædceller, er haploide. Dem danner vi ud fra diploide celler i henholdsvis æggestokke og testikler. Det sker ved en særlig type celledeling der kaldes en *meiose*. Figur 47 viser princippet i en *meiose* og som man kan se, bliver kromosomtallet halveret ved delingen.

Meiosen resulterer i dannelsen af fire

haploide celler. De er alle genetisk forskellige på grund af nykombination af det genetiske materiale. De nye kombinationer fremkommer ved overkrydsning og tilfældig fordeling af kromosomerne i et par i mellem cellerne. To haploide celler kan igen smelte sammen til en diploid celle som man kalder en *zygote*. Det sker fx når en ægcelle bliver befrugtet af en sædcelle. Det er denne vekslen mellem diploide og haploide celler man kalder kønnet formering.

Figur 47. Meiose i en dyrecelle. Telofase I og profase II er ikke vist. Efter Perry m.fl., 2002.



a
INTERFASE

b
PROFASE I
Cellens fire fordoblede kromosomer lægger sig sammen parvis og udveksler DNA ved overkrydsning.

c
METAFASE I
Kromosomerne lægger sig stadig parvis i cellens midterplan.

d
ANAFASE I
Kromosomerne fra hvert par bliver adskilt.

e
METAFASE II
To celler er dannet. Hver celle indeholder to fordoblede rekombinerede kromosomer fra hver sit par. Disse lægger sig i cellens midterplan.

f
ANAFASE II
De to kromatider i hvert kromosom bliver adskilt.

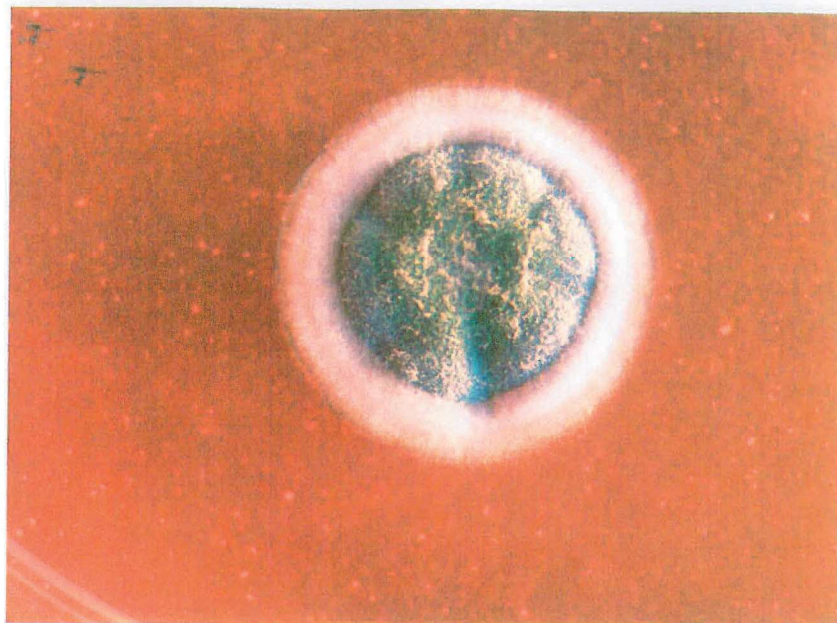
g
TELOFASE II
De to celler har delt sig. Resultatet af meiosen er fire nye haploide celler med det halve kromosomantal af den oprindelige diploide celled.

Eukaryote mikroorganismers livsforløb

Blandt de eukaryote mikroorganismer finder man en helt enorm variation i hvornår meiose og zygotedannelse er indplaceret i en populations livsforløb. Hos nogle arter er den diploide celle det dominerende cellestadie, hos andre er det den haploide celle der er den almindeligste. Uanset om cellen er diploid eller haploid, vil de fleste eukaryote mikroorganismer formere sig ukønnet når de er i den eksponentielle væksthase. Det vil sige at cellerne deler sig ved mitoser. Hvis forhold i miljøet ændres, kan mikroorganismer investere energi i at ændre celletypen, fx til en spore, se figur 48.

Der kan også ske det i et livsforløb at diploide organismer laver meioser og skaber nye haploide celler, og at haploide organismer smelter sammen og danner zygoter. Nogle af disse overgangsceller kan også være forskellige typer af sporer.

Som et eksempel på en mikroorganismes livscyklus kan vi se på grønalg af slægten *Chlamydomonas*. De er almindeligt forekommende i alle danske ferskvandsområder og vist på figur 11, side 19. Disse alger er, i modsætning til fx mennesket, haploide organismer i størstedelen af deres liv. Som haploide celler svømmer de rundt ved hjælp af deres flageller, de laver fotosyntese, og de deler sig ved mitoser. Hvis forholdene bliver dårligere i det omgivende miljø, går algepopulationen ind i den stationære fase. Det kan fx være fordi det bliver efterår, og temperaturen og lysmængden falder. I denne situation smelter de haploide celler sammen to og to og danner zygoter, der er diploide. Zygoterne omdanner sig til diploide sporer. Når forholdene bliver gunstige igen, omdanner sporerne sig ved meiose til flagelbærende



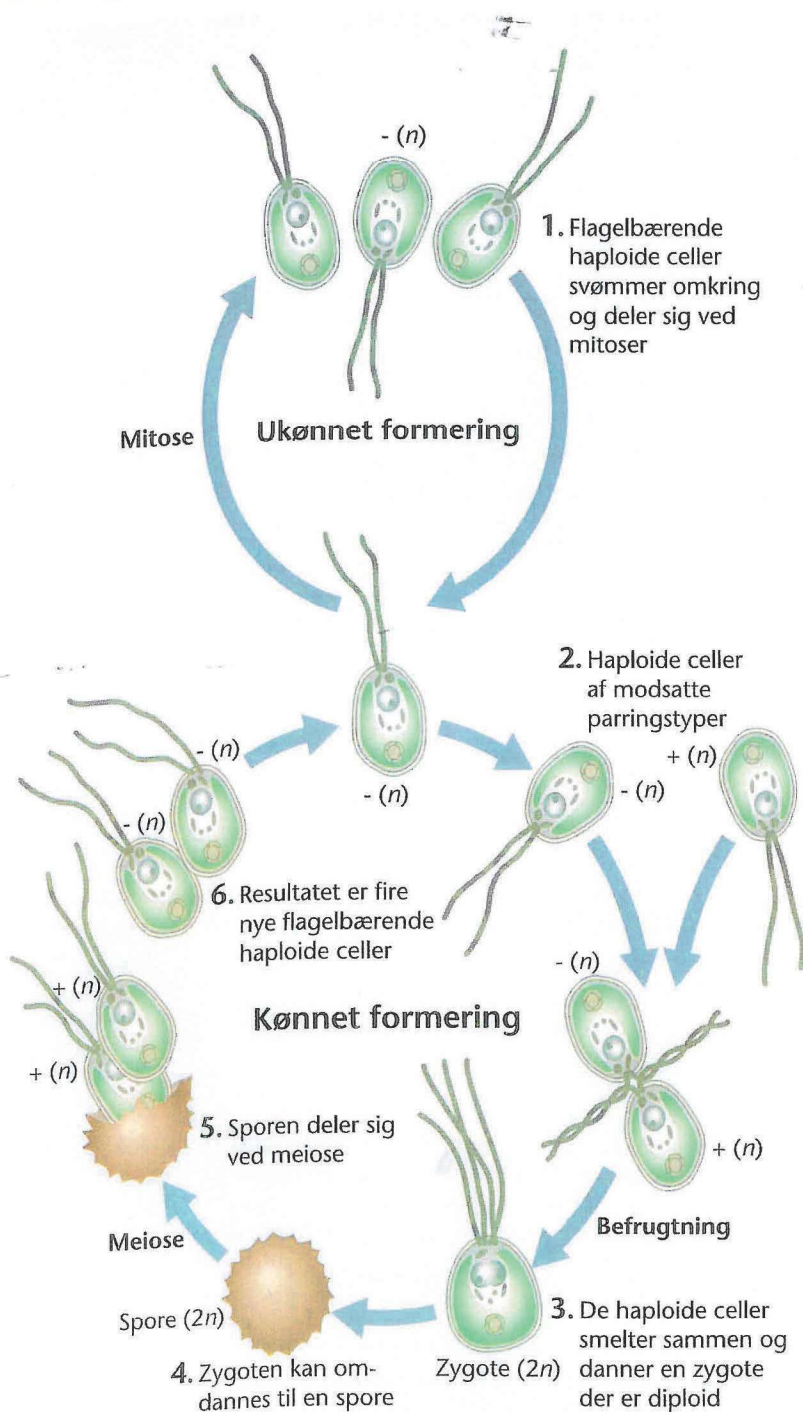
haploide celler, og en ny livscyklus kan begynde, se figur 49 på side 46.

På figur 108, side 101, kan man se hvilken livscyklus gærceller af slægten *Saccharomyces* har.

Cellens overlevelse

Udvikling af den diploide celle har været begyndelsen til at eukaryoter med tiden har udviklet sig til millioner af forskellige arter. Den genetiske nykombination, der finder sted når en diploid celle laver meiose, skaber en større genetisk variation blandt de nye individer end prokaryoter har mulighed for at skabe. Det giver mulighed for udvikling i mange flere forskellige retninger. En diploid celle indeholder også to eksemplarer af hvert gen. Det gør virkningen af uhensigtsmæssige mutationer mindre drastisk. Hos en prokaryot eller en haploid eukaryot mindsker en uhensigtsmæssig mutation normalt individets overlevelsessevne. Hos en diploid

Figur 48. Agarplade med koloni af skimmelsvamp, *Aspergillus sp.* Den blågrønne farve i midten af svampesvampens koloni skyldes masser af farvede sporer der er dannet ved mitoser, det vil sige ved ukønnet formering. Hos skimmelsvampene er det ofte sporerne der giver svampen dens farve. Svampesporer der er dannet ved ukønnet formering, kalder man også konidier. Foto: Per Schrøder.



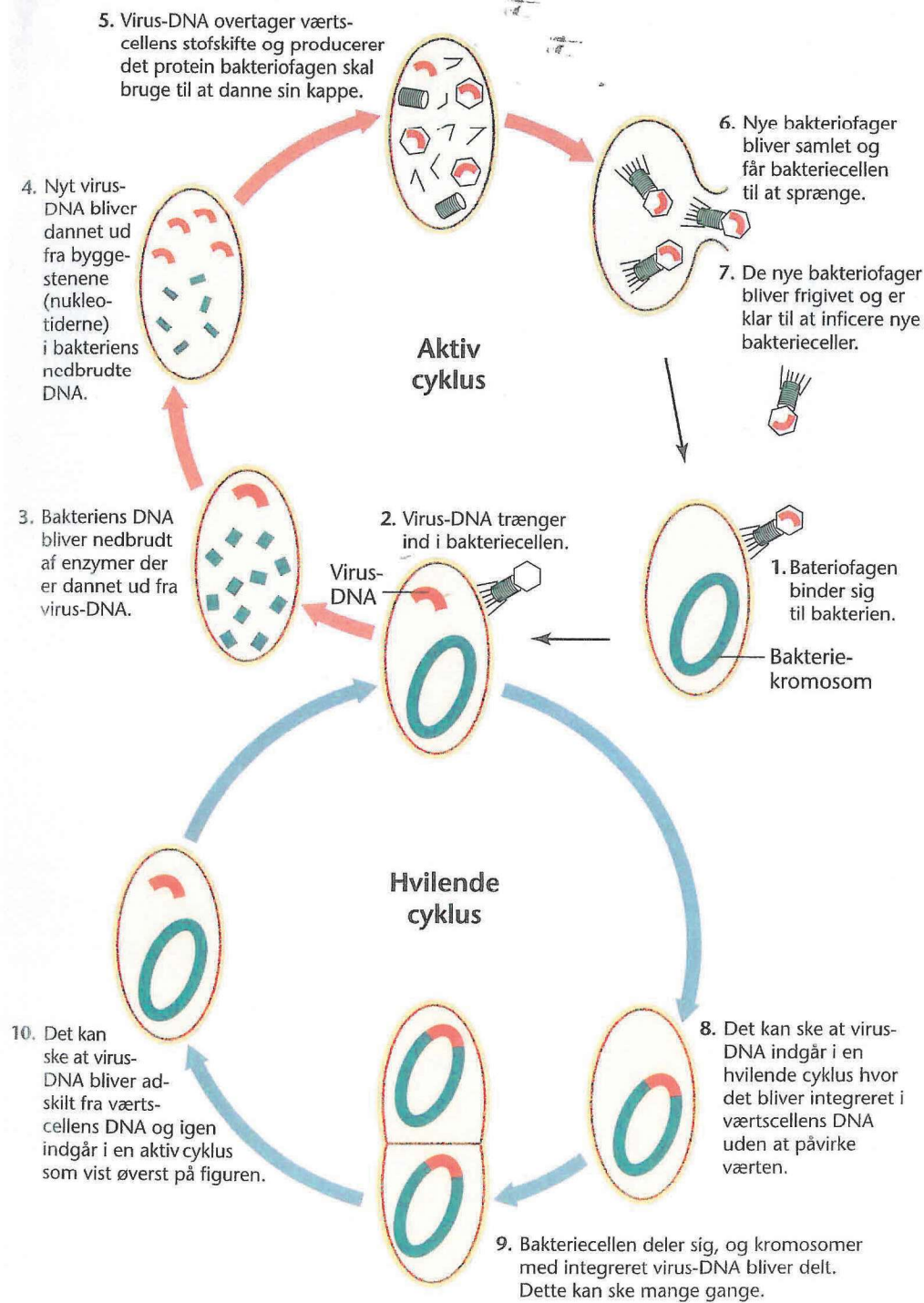
mikroorganisme er det kun det ene eksempel af et gen der er muteret og derfor har mistet sin normale funktion. Det tilsvarende gen på det andet kromosom kan i mange tilfælde helt eller delvist opveje det muterede gens manglende eller ændrede virkning. Det giver altså dette individ en større mulighed for at overleve.

Prokaryoter og haploide eukaryoter har dog en klar fordel ved at være haploide når det gælder hensigtsmæssige mutationer. En hensigtsmæssig mutation, det vil sige én der giver en overlevelsesmæssig fordel, vil blive nedarvet direkte til alle nye celler, fx resistens mod et antibiotikum. Hos de diploide organismer vil en hensigtsmæssig mutation kun nedarves til halvdelen af afkommet.

Ser man på organismers tilpasning til ændringer i miljøet, må man sige at det for de haploide organismer er et enten eller. Enten uddør de, eller også overlever nogle få på grund af hensigtsmæssige mutationer. Egenskaberne hos de overlevende bliver til gengæld nedarvet til alle nye individer. De diploide mikroorganismer er på grund af deres større genetiske variation mere robuste over for ændringer i miljøet. Til gengæld vil der gå længere tid inden de er optimalt tilpasset miljøet, fordi kun halvdelen af afkommet arver de egenskaber som har vist sig at være hensigtsmæssige.

Figur 49. Livscyklus hos grønalge af slægten *Chlamydomonas*. Den dominerende celleform er i dette tilfælde den haploide. Da det ikke giver mening at tale om 'hanner' og 'hunner' blandt disse alger, bruger man i stedet betegnelsen 'modsatte parringstyper' og betegner disse med $+$ eller $-$. n betegner antal eksemplarer af hvert kromosom, således at n betegner en haploid celle, mens $2n$ betegner en diploid celle.

Efter Perry m.fl., 2002.



Figur 50. Formering af en DNA-bakteriofag. Bakteriofagen kan enten straks formere sig i bakterien som vist til venstre på figuren, eller den kan indtage en hvilende form hvor dens DNA bliver integreret i værtscellens DNA.
Efter Perry m.fl., 2002.