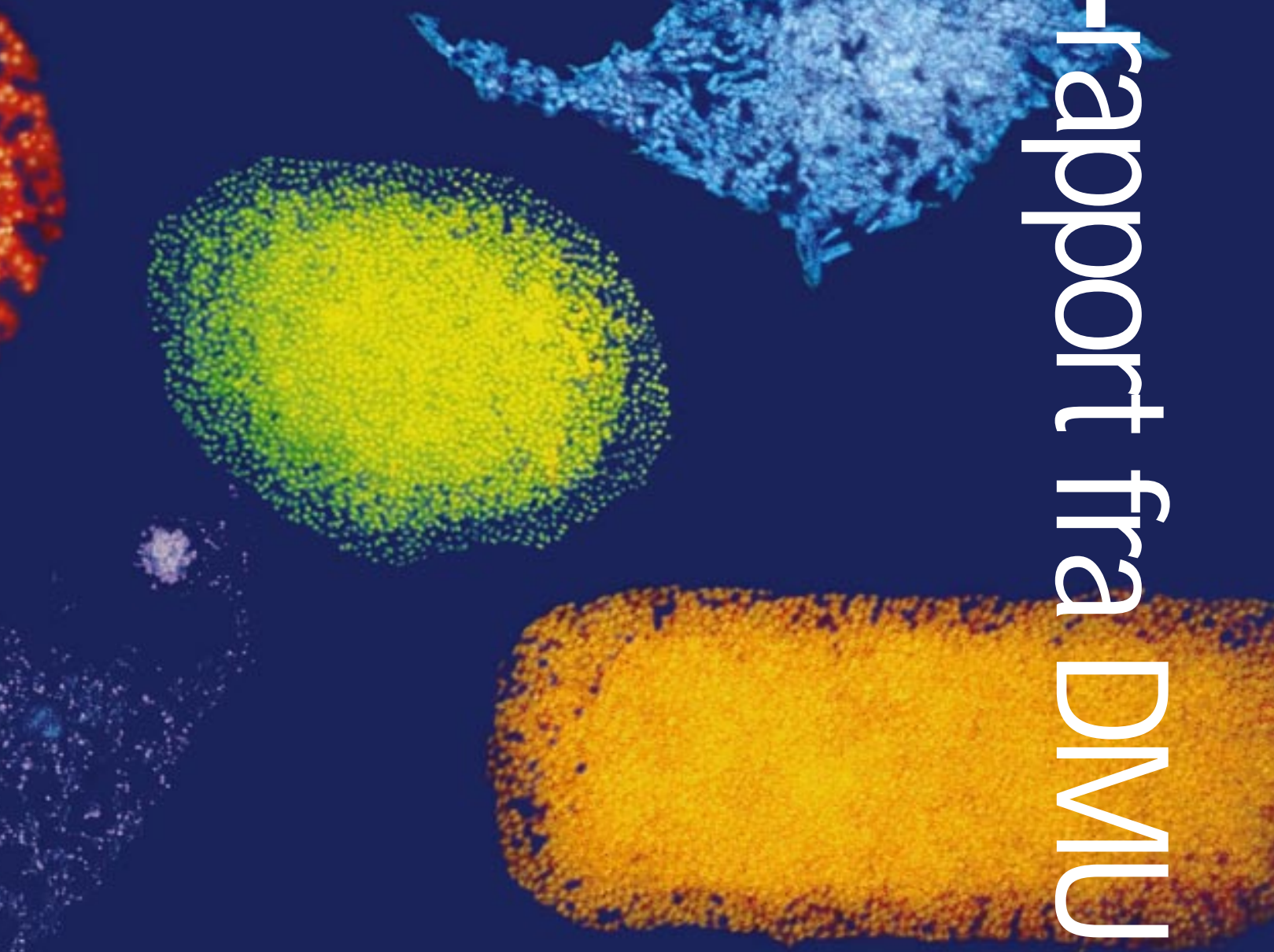


De gode, de onde og de grusomme bakterier

TEMA-rapport fra DMU

De gode, de onde og de grusomme bakterier



De gode, de onde og de grusomme bakterier

Bjarne Munk Hansen

Anne Winding

Jens Efsen Johansen

Afdeling for Mikrobiel Økologi og Bioteknologi

Bodil Jacobsen

Fødevaredirektoratet

Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser
2000

TEMA-rapport fra DMU, 33/2000. De gode, de onde og de grusomme bakterier.

Forfattere: Bjarne Munk Hansen¹⁾, Anne Winding¹⁾, Jens Efsen Johansen¹⁾, Bodil Jacobsen²⁾

¹⁾Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Mikrobiel Økologi og Bioteknologi

²⁾Fødevarerdirektoratet, Institut for Fødevarerikkerhed og Toksikologi.

Udgiver: Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser ©

URL: <http://www.dmu.dk>

Udgivelsestidspunkt: November 2000

Layout, illustrationer og produktion: Britta Munter & Linda Fischlein, Grafisk Værksted, DMU, Roskilde.

Omslagsfoto: Anne Winding.

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.

Tryk: Scanprint, ISO 14001 Miljøcertificeret, EMAS miljøregistreret DK-S-0015.

ISO 9002 kvalitetsgodkendt. Papir: Cyclus Print, 100% genbrugspapir med vegetabiliske trykfarver uden opløsningsmidler. Omslag lakeret med vandbaseret vegetabilisk lak.



Sideantal: 60

Oplag: 2.000

ISSN (trykt): 0909-8704

ISSN (elektronisk): 1399-4999

ISBN: 87-7772-557-3

Pris kr. 60,-. Klassesæt á 10 stk. kr. 450,-. Abonnement (5 numre) kr. 225,- (Alle priser er incl. 25% moms, excl. forsendelse).

Rapporten kan også findes som PDF-fil på DMU's hjemmeside.

Købes i boghandelen eller hos:

Danmarks Miljøundersøgelser

Frederiksborgvej 399

Postboks 358

4000 Roskilde

Tlf: 4630 1200

Fax: 4630 1114

Miljøbutikken

Information & bøger

Læderstræde 1-3

1201 København K

Tel: 3395 4000

Fax: 3392 7690

E-mail: butik@mem.dk

URL: www.mem.dk/butik

Indhold

Forord	5
Indledning	6
Hvordan kan man kende en bakterie?	8
Bakteriesamfund	17
Eksempler på gode, onde og grusomme bakterier	20
<i>Bacillus cereus</i> gruppen	20
<i>Rhizobiaceae</i>	24
<i>Pseudomonas</i>	28
<i>Streptomyces</i>	30
<i>Cytophaga</i> -lignende bakterier	32
<i>Enterobacteriaceae</i>	34
<i>Campylobacter</i>	38
<i>Listeria</i>	40
Mælkesyrebakterier	42
Hvad kan de bruges til?	44
Probiotika	44
Bakterier i jordbrugets tjeneste	46
Bakterier som problemfjernere	52
Sammenfatning	54
Forslag til yderligere læsning	55
Ordliste	56
DMU	59
Tidligere TEMA-rapporter fra DMU	60



Mikroskopibillede af bakterien
Bacillus mycoides.
Forstørret 5750 gange.

Foto: DMU/Bjarne Munk Hansen



Forord

Temarapporten "De gode, de onde og de grusomme bakterier" er skrevet af forskere fra Danmarks Miljøundersøgelser og Fødevarerdirektoratet.

I rapporten er der omtalt en række bakterier, som forfatterne arbejder eller har arbejdet med. Bakterierne udgør således ikke en fuldstændig liste over alle gode, onde eller grusomme bakterier, men skal betragtes som eksempler blandt mange. Omtale af genmodificerede bakterier og bakterier, som anvendes i den bioteknologiske industri, til f.eks. produktion af enzymer til vaskpulver er bevidst udeladt.

Vores håb er, at denne temarapport vil blive læst af gymnasieelever samt folk med interesse for bakterier i miljøet, i landbruget og i vores fødevarer.

I en temarapport af denne art vil der være en række faglige begreber og termer, som læserne måske ikke er helt fortrolige med. Sådanne ord er uddybet i ordlisten, som findes i slutningen af rapporten. Ord, som optræder i ordlisten, er fremhævet med **fede** typer første gang de optræder i teksten.

Ud over forfatterne har en lang række personer gennemlæst og ydet værdifulde bidrag i form af kommentarer og ideer til temarapportens endelige udformning. Vi vil i den forbindelse takke følgende personer for deres indsats:

Sven Nybo Rasmussen, bestyrelsesmedlem i Landsforeningen Økologisk Jordbrug

Pernille Folker-Hansen, Årsløv

Hans Christian Pedersen, Danisco A/S

Dorte Hammelev, Frederiksberg HF kursus

Susanne Elmholt, Danmarks Jordbrugs-Forskning

Jørgen Schlundt, Fødevarerdirektoratet

Beate Strandberg, Niels Kroer, Bo Riemann, Jens Christian Pedersen og Svend Binnerup, Danmarks Miljøundersøgelser.

Indledning

Bakterier findes alle vegne, i jorden, i luften, i vandet, i vores hjem, i vores fødevarer samt inde i og uden på os selv. I ét gram jord kan der findes op til 10 milliarder bakterier. En verden uden bakterier er umulig at forestille sig. Bakterier udfører nemlig mange nødvendige og gavnlige funktioner som f. eks.:

- Omsætter organisk stof ved nedbrydning af døde planterester og døde dyr
 - Omsætter organisk stof i tarmen og producerer vitaminer
 - Nedbryder miljøfremmede stoffer, f.eks. olie og pesticider
 - Bidrager til dannelse og stabilisering af jordens struktur
 - Hæmmer ukontrolleret vækst af skadedyr
 - Indgår i **symbiose** med dyr og planter
- Indgår i forarbejdning af fødevarer, som f.eks. yoghurtproduktet Gaio
 - Indgår i produktionen af industrielle produkter, f.eks. **antibiotika**, hormoner samt **enzym**er til vaskemidler og fødevarer.

Desuden holder de mange forskellige bakterier der er tilstede samtidig hinanden i skak, hvilket reducerer sandsynligheden for, at enkelte bakterier (f.eks. humane sygdomsfremkaldere) kommer til at dominere.

I disse år forskes der meget i mulighederne for at anvende bakterier og svampe som bekæmpelsesmidler og plantevækstfremmere. Det er den overvejende opfattelse, at disse midler er mindre miljøbelastende end kemiske midler. Ligeledes er der gode muligheder for at anvende mikroorganismer ved forureningsbekæmpelse. Desuden ser det



Figur 1. Bakterier optræder ofte i avisoverskrifterne – og som regel med negativ omtale.

ud til, at visse bakteriegrupper er i stand til at forebygge sygdomme hos dyr og mennesker. Endelig anvendes genmodificerede bakterier ofte i den moderne bioteknologiske industri.

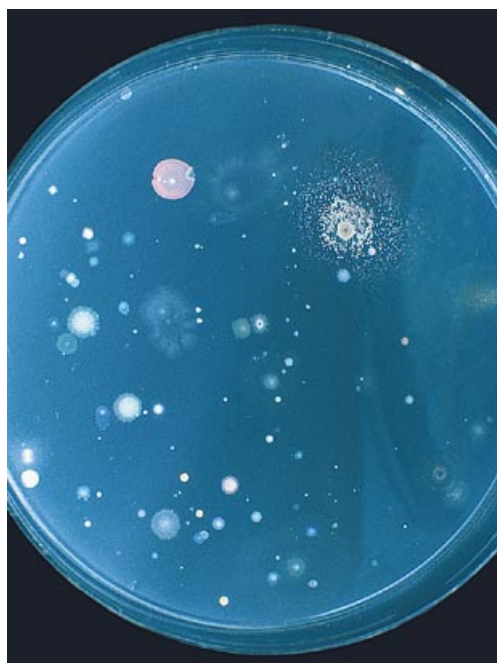
Vi kan og bør dog ikke se bort fra, at nogle bakterier kan fremkalde sygdomme i planter, dyr og mennesker. Nogle af de meget store epidemier, som i historiens forløb har bevirket massedødsfald i Europa, har været forårsaget af bakterier. Den sorte død (pesten) i middelalderen var således forårsaget af *Yersinia pestis* bakterier.

I vore dage beskæftiger medierne sig hyppigt med bakterier i vores omgivelser, ikke mindst i vores fødevarer og især i de tilfælde, hvor bakterier forårsager infektion hos mennesker (figur 1). Dette kan give det unuancerede indtryk, at bakterier altid er et onde. Det forhold, at langt hovedparten af bakterierne er uskadelige, ja endog gavnlige for mennesker, planter, dyr, jord og vand, altså miljøet i bred forstand, fremgår sjældent af den offentlige omtale.

Fra medierne kender vi bakterierne: *Salmonella*, *Campylobacter* og *Escherichia coli*, men det store antal arter, og de mange forskellige meget væsentlige funktioner de varetager er meget mindre kendte. Det er selvfølgelig naturligt, at der fokuseres på de bakterier, som giver store problemer. Imidlertid må de problemløse bakterier ikke glemmes. Måske finder vi her ligefrem løsninger, som kan medvirke til bekæmpelse af problematiske organismer.

Rapporten har titlen "De gode, de onde og de grusomme bakterier", men objektivt set er der ingen bakterier, som udelukkende er gode eller grusomme. Set fra menneskets synspunkt er en sygdomsfremkaldende bakterie ond, men set i miljømæssigt perspektiv udfylder også de grusomme bakterier en rolle. Ligesom alle andre organis-

mer udnytter bakterierne de muligheder, der er tilstede for overlevelse, formering og spredning. Alle organismer (mennesker, planter, dyr, mikroorganismer, virus, etc.) indgår i et samspil, hvor mikroorganismer overvejende har en, for os, usynlig rolle.



Fotos: DMU/Arne Winding

Figur 2.
I laboratoriet dyrkes bakterier enten i flydende substrat i flasker (øverst) eller på faste agar-substrater (nederst).

Hvordan kan man kende en bakterie?

Udseende

Bakterier er små encellede organismer, der normalt ikke er mere end 2 μm lange (1 μm = 1/1000 mm), men der forekommer dog bakterier, som kan blive op til 120 μm lange. Bakteriers form er simpel og kan beskrives som "kugler", "stave", "skruer" og "kommaer". En speciel **slægt** af bakterier, *Streptomyces* (se side 30), har trådformede celler, hvis vækstform meget ligner svampes, men som er meget mindre. Bakterieceller forekommer enkeltvis eller i **kolonier** med mange tusinde celler (figur 2 og 3). Bakterieceller er så små, at de kun kan ses ved hjælp af et mikroskop. Derfor bringes bakterier til at vokse på kunstige agarsubstrater, hvor de kan danne kolonier. En bakteriekoloni kan have mange forskellige farver og former som for eksempel grålige med en "havregrødsagtig" overflade, gul/orange med metallisk skær eller hvide og glinsende.

Figur 3.
Bakteriekolonier findes i mange former og farver.

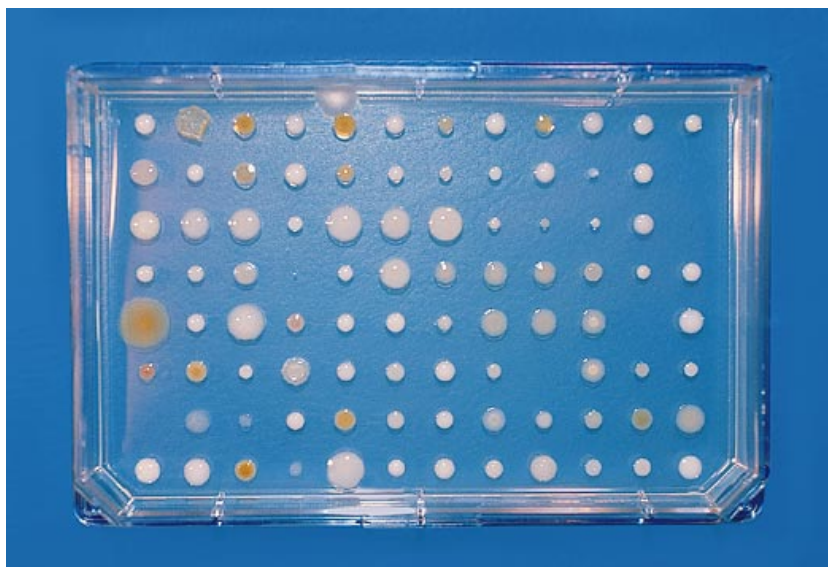
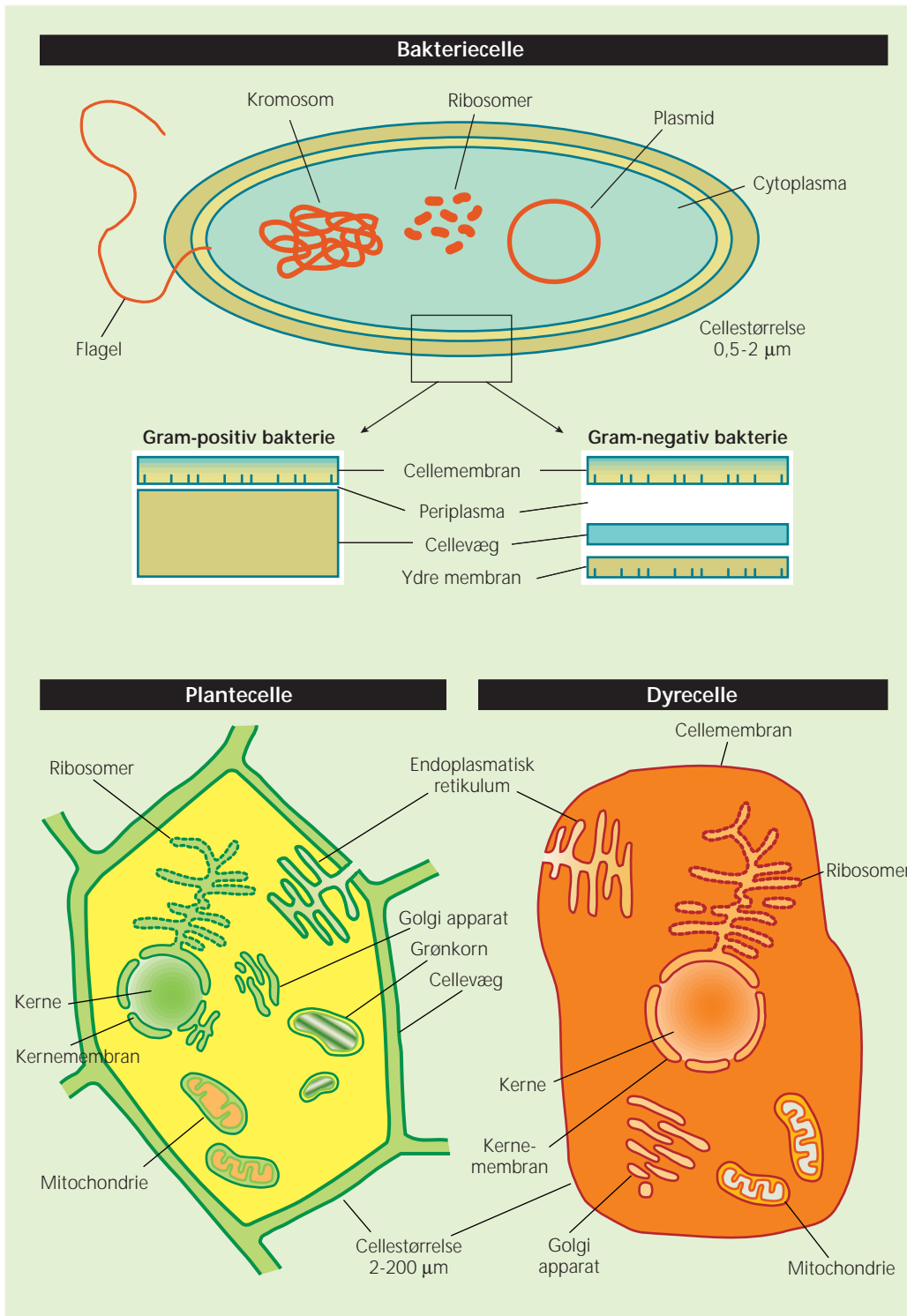


Foto: DMU/Jens Eriksen Johansen

Hvad indeholder de?

En bakteriecelle har en simpel opbygning i forhold til dyre- og planteceller. Bakterieceller har **cellevæg**, **cellemembran**, **cytoplasma**, **ribosomer** og kerneområde med arvematerialet (**DNA**). Cellevæggen ligger som en kappe udenpå cellemembranen, som den støtter og beskytter. Cellemembranen er barrieren, der adskiller de ydre omgivelser fra det indre af en bakteriecelle. Inde i cellen er cellevæsken (cytoplasmaet), hvori alle cellens „indre organer“ ligger. Ribosomer er små partikler bestående af **protein** og **RNA**. Ribosomer er en vigtig del af det „apparat“, som en bakterie bruger ved dannelsen af proteiner og enzymer, og når den deler sig. Da bakterier ikke har nogen kerne, hvori DNA'et ligger, er bakteriers DNA frit inde i cellen, typisk i et bestemt område kaldet kerneområdet. De vigtigste forskelle mellem bakterier og dyre- og planteceller er, at bakterie-DNA ikke er omgivet af en membran (kernemembran) og ikke indeholder **mitochondrier** og grønkorn (organeller).

I bakterieceller kan der også findes små selvstændige cirkulære DNA-stykker, **plasmider**, der ikke er en del af bakteriens kromosomale DNA, men som kan optages fra det omgivende miljø. Typisk er de egenskaber, som plasmid-DNA'et indeholder, ikke nødvendige for at bakterien kan fungere. Derimod besidder de ofte egenskaber, som kan være en fordel i konkurrencen med andre mikroorganismer. Det kan for eksempel dreje sig om modstandsdygtighed (resistens) over for antibiotika eller tungmetaller.

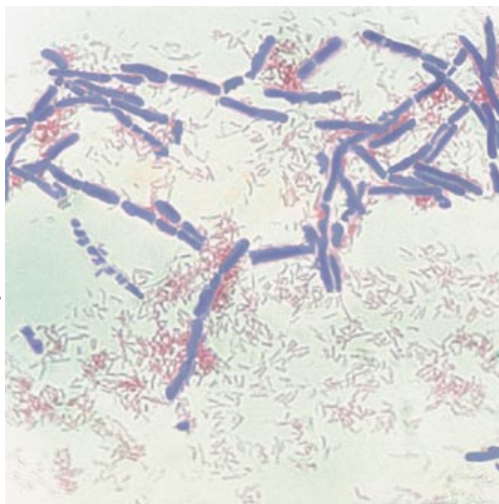


Figur 4. Skematisk tegning af bakteriecelle med angivelse af forskelle mellem Gram-positive og Gram-negative bakterier. Til sammenligning er vist en dyre- og en plantecelle som begge er væsentligt større og som indeholder organeller.

Gram-karakterisering

På baggrund af forskelle i cellevæggens opbygning inddeles bakterier i **Gram-positive** og **Gram-negative** (jvf. figur 4). Gram-positive bakterier har en simpelt opbygget cellevæg, der dog er tyk, mens Gram-negative bakterier har en mere kompliceret cellevæg, som til gengæld er tynd. Den specielle farvemethode, man anvender, er opkaldt efter danskeren Christian Gram, der beskrev metoden i 1884. Ved Gram-farvningsmetoden fæstnes bakteriekulturen først på et objektglas. Herefter behandles bakterierne med krystalviolet og jod, vaskes med alkohol og tilsidst farves med safranin. Ved mikroskopering vil Gram-positive bakterier nu være farvet violette mens Gram-negative bakterier vil være røde (figur 5).

Gramfarvnings-reaktionen er en meget vigtig karakter og ofte det første, der undersøges, når en bakterie skal beskrives. Det har vist sig, at inddelingen af bakterier i Gram-positive og Gram-negative også afspejler sig i arvematerialets sammensætning.



Figur 5.
Ved Gram-farvning bliver Gram-positive bakterier violette, mens Gram-negative bakterier bliver røde. På dette billede ses Gram-positive *Bacillus anthracis* celler sammen med Gram-negative *Escherichia coli* celler.

Foto: KVU Institut for Veterinær Mikrobiologi

Sporedannelse

Visse Gram-positive bakterier danner under ugunstige forhold et hvilestadium (en såkaldt **spore**). Sporerne er meget modstandsdygtige over for kulde, varme, tørke samt ultraviolet lys og kan ses i lysmikroskop, hvor de er kraftigt lysbrydende (figur 13).

Bevægelighed

Mange bakterier har mulighed for aktivt at bevæge sig. Uden på cellens overflade kan der sidde en eller flere **flageller**. Hver flagel består af et proteinrør. Ved at rotere flagellen som en propel, kan bakterien bevæge sig. En bakterieflagel er meget lille og måler kun ca. 15 nm (1 nm = 1/1000 µm) og kan ikke ses i lysmikroskop.

Formering - deling

Ved kønnet forering hos dyr og planter sker der en blanding af forældrenes arvemateriale i afkommet. Kønnet forering finder ikke sted blandt bakterier, som formerer sig ved simpel celledeling. Efter deling af DNA'et sker celledelingen som en indsnævring af cellen, så den bliver til to genetisk ens celler. Selve celledelingen kan hos visse bakterier ske hurtigt, nogle gange på under 20 min. Selvom bakterier ikke har kønnet forering, har de alligevel mulighed for at overføre og optage arvemateriale fra andre bakterier. Dette kan ske ved:

- 1) Overførsel af arvemateriale ved direkte kontakt mellem to celler (**konjugation**)
- 2) Ved optagelse af frit arvemateriale fra miljøet (**transformation**)
- 3) Ved overførsel af arvemateriale via **bakterievirus (transduktion)**

Ernæring

I forbløffende modsætning til bakteriers simple form og ringe størrelse står deres

evne til at ernære sig på utallige måder. Ingen anden gruppe af organismer udviser så stor variation, når det drejer sig om at kunne tilegne sig føde ved at nedbryde komplicerede stoffer. Tidligere blev bakterier næsten udelukkende karakteriseret ved deres ernæringsforhold. Enkelte bakterier specielt fra slægten *Pseudomonas* kan nedbryde over 100 forskellige stoffer, mens andre er meget specialiserede og kun kan nedbryde ganske få stoffer. De allerfleste bakterier er **heterotrofe**. Det vil sige, at de i forbindelse med deres fødeoptagelse skal bruge organisk stof fra organismer, der er levende eller har været levende. Således kan nogle bakterier nedbryde gærceller og andre kan nedbryde de forskellige dele, som en plantecellevæg består af. Derimod kan **autotrofe** bakterier danne organisk stof ud fra uorganiske kulstofforbindelser, som for eksempel kuldioxid og methan (CO_2 og CH_4), med energi fra sollys eller kemiske reaktioner. Et eksempel er **fotoautotrofe** bakterier, der opbygger organisk stof ved hjælp af CO_2 og sollys.

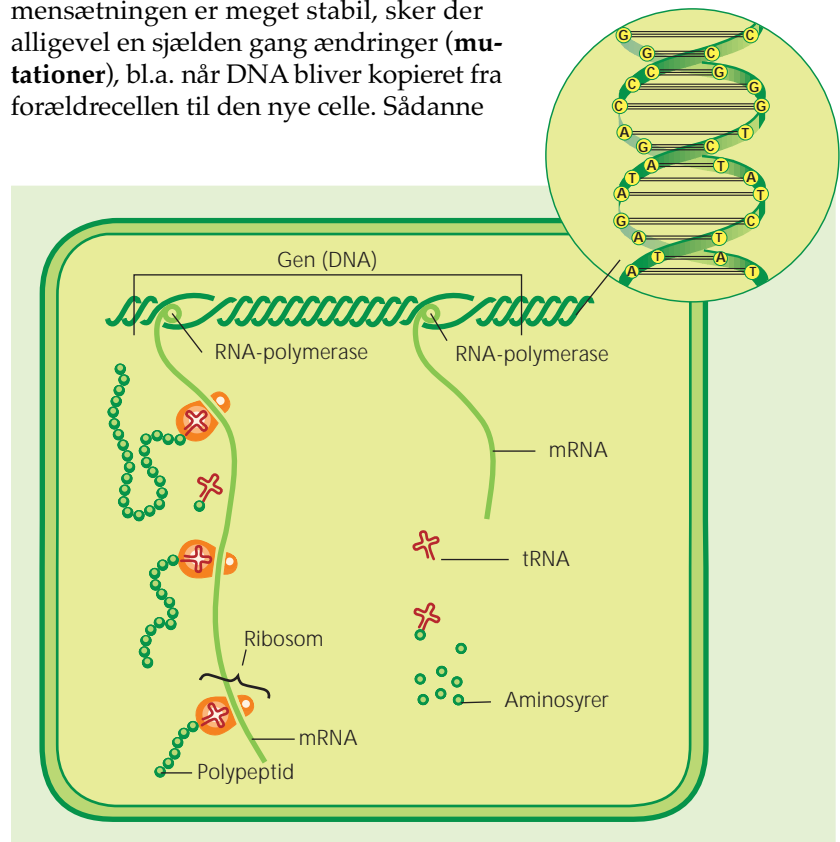
Bakterier kan også inddeles efter deres tolerance over for ilt. Ligesom dyr kræver mange bakterier ilt for at skaffe energi til vækst. Disse kaldes **aerobe** bakterier og kan ånde ved hjælp af ilt (aerob **respiration**). Andre bakterier kan kun vokse, når der ikke er ilt tilstede og bliver kaldt **anaerobe** bakterier. De anaerobe bakterier benytter andre stoffer end ilt, som for eksempel nitrat (NO_3^-) eller sulfat (SO_4^{2-}) for at skaffe energi til vækst. Dette kaldes for anaerob respiration. Visse bakterier har den egenskab, at de kan vokse og ånde ved hjælp af ilt, når det findes i miljøet og erstatte ilt med nitrat, når der ikke er mere ilt tilgængeligt i miljøet (**fakultativt anaerobe** bakterier). Hvilke stoffer en bakterie kan nedbryde, og hvilke ilt- og temperaturforhold bakterien bedst lever ved, udgør bakteriens **fysiologi**.

Artsbegrebet og DNA

Da bakterier er små og ofte uden specielt udseende, kan artsidentifikation baseret på udseende ikke anvendes. Til gengæld har bakterier en meget stor fysiologisk mangfoldighed, hvilket mikrobiologer traditionelt har brugt til inddeling af bakterier i **familier**, slægter og arter. Ud fra dyrkning og fysiologisk karakterisering samt andre specielle egenskaber har det været muligt at beskrive ca. 6.000 bakteriearter.

Imidlertid har man erfaret, at den fysiologiske karakterisering ikke altid er tilstrækkelig til at beskrive en bakterie. Derfor er man begyndt at interessere sig for de informationer, der er i DNA'et (**gensekvens**). Dette skyldes, at DNA videregives fra en generation til den næste. Selvom DNA sammensætningen er meget stabil, sker der alligevel en sjælden gang ændringer (**mutationer**), bl.a. når DNA bliver kopieret fra forældrecellen til den nye celle. Sådanne

Figur 6.
DNA og RNA
Skematisk tegning af DNA, RNA og ribosomer i en bakteriecelle. Det er hovedsageligt gensekvenser fra genet for 16S delen af ribosomet man anvender til karakterisering af bakterier.



Hvordan kan man kende en bakterie?

Tabellen viser eksempel på gruppering af bakterier efter deres familieforhold (slægtskab).

mutationer kan have forskellig indflydelse på en celle og er grundlaget for udviklingen af nye arter. Sker mutationen et vigtigt sted i DNA'et, kan nogle af cellens funktioner blive ødelagt, og den vil dø. Sker mutationen derimod et sted, hvor det ikke har den store betydning, vil mutationen blive bevaret og overført til næste generation. Det er specielt disse mutationer, der er interessante. Ved analyse af, hvor mange gange og hvor i DNA'et mutationer er sket, er det muligt at sige noget om slægtskabsforholdet mellem bakterier. DNA koder for alle cellens funktioner og især den del, som koder for ribosomernes RNA komponenter, har vist sig at være meget anvendelig til karakterisering af bakterier (figur 6). Ribosomer spiller en vigtig rolle ved protein- og enzymdannelse samt ved celledeling. En af ribosomkomponenterne kaldes for 16S rRNA. Selvom 16S rRNA delen er vigtig for cellen, kan der også ske mutationer i denne del, uden at cellen dør. 16S rRNA delen består af ca. 1.500 baser. I dag sker en stor del af forskningen i slægtskab mellem bakterier på grundlag af 16S delen af ribosomet og på grundlag af 16S rDNA, der indeholder de gener, der koder for 16S rRNA. Det skønnes på baggrund af slægtskabsanalyser af ribosomer, at der er over 100.000 bakteriearter. Nogle hævder endog, at der findes over 1 million bakteriearter.

Én bakterieart er en afgrænset gruppe af bakterier, der fysiologisk ligner hinanden mere end andre og ved sammenligning af hele DNA'et har en lighed på over 70%, mens 16S delen af ribosomet hyppigt har en lighed på mindst 97%.

Navngivning og gruppering

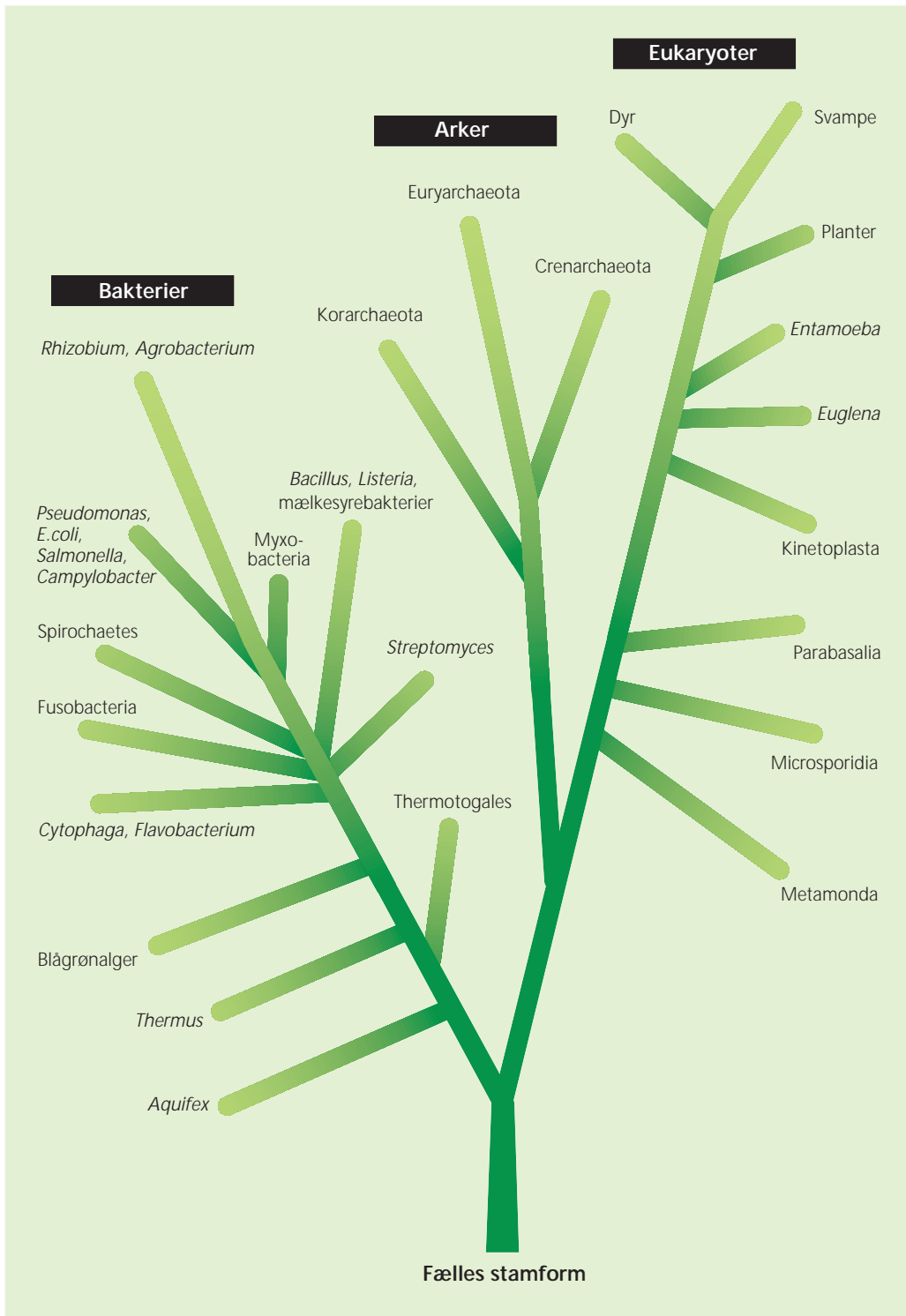
Ved sammenligning af DNA blev det i slutningen af 1970'erne muligt at konstruere et komplet slægtskabstræ for alle levende organismer. Den største ændring fra tidli-

Kategori	Eksempel
Domæne	<i>Bacteria</i>
Division	<i>Proteobacteria</i>
Klasse	<i>Gamma-proteobacteria</i>
Orden	<i>Pseudomonales</i>
Familie	<i>Pseudomonaceae</i>
Slægt	<i>Pseudomonas</i>
Art	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
Underart	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biovar 1
Stamme	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biovar 1 DR54

gere slægtskabstræer var at dyre-, plante-, svampe-, protozo- og bakterierigerne blev lagt sammen til tre, og de bliver nu overordnet benævnt domænerne: **Bacteria** (bakterier), **Archaea** (arker) og **Eucarya** (dyr, planter, svampe og encellede dyr) (figur 7). Organismerne i *Bacteria* og *Archaea* er alle encellede og uden kernemembran omkring deres DNA, mens der i *Eucarya* findes både encellede og flercellede organismer, som alle har en kernemembran omkring deres DNA. Arker er tidligere blevet betragtet som bakterier, men ved DNA analyser har forskere fundet ud af, at de til trods for at være encellede og uden kernemembran, ikke er bakterier. Arker er faktisk ikke nærmere beslægtet med bakterier, end de er med dyr og planter; de er noget helt for sig selv. Tidligere har man også ment, at arker kun lever i ekstreme miljøer som varme kilder og komaver. Også denne opfattelse er blevet revideret, idet man kan finde arker i miljøer som havjord og søvand.

Alle bakterier tilhører samme domæne, *Bacteria*, som adskiller sig fra dyr, planter og arker. Domænet *Bacteria* underinddeles yderligere i division, klasse, **orden**, familie, slægt og art.

En bakterieart kan yderligere opdeles efter specielle karakteristika i mindre grupper, **underarter**. En gruppe kan have nogle



Figur 7. **Fylogenetisk træ** (forsimplet) der viser slægtskab mellem levende organismer, som det opfattes i dag. På træet er vist eksempler på bakterier der bliver omtalt senere.

Eksempel på isolering og karakterisering af *Bacillus cereus*

Et gram jord rystes i 5 min. med 10 ml sterilt vand. Suspensionen med vand og jord fortyndes 100 gange. 1 ml af denne blanding holdes ved 65°C i 30 min. Ved varmebehandlingen dræbes bakterier og svampe, som ikke er varmetolerante og ikke kan lave hvilestadier (sporer). Erfaringen viser, at stort set alle *B. cereus* i jord forefindes som sporer. For hver 10.000 bakterier, som findes i ét gram jord, er der ca. én *B. cereus* (0,01%). Efter varmebehandlingen vil omkring 5% af de overlevende bakterier være *B. cereus*. Efter varmebehandlingen udstryges 0,1 ml af det fortyndede jordekstrakt i en **petriskål** på et specielt agarsubstrat, hvorpå *B. cereus* kan genkendes. Petriskålen står ved 30°C i 1-2 døgn. *B. cereus* er karakteristisk ved at danne helt flade kolonier med en mat "havregrødsagtig" overflade. Efter yderligere 3 døgn har bakterierne dannet hvilestadier (**endosporer**), som er ellipseformede.

Til den videre karakterisering skal der anvendes DNA fra bakterien. Hertil skal der bruges unge bakteriekolonier, som endnu ikke har lavet endosporer. En lille "klat"

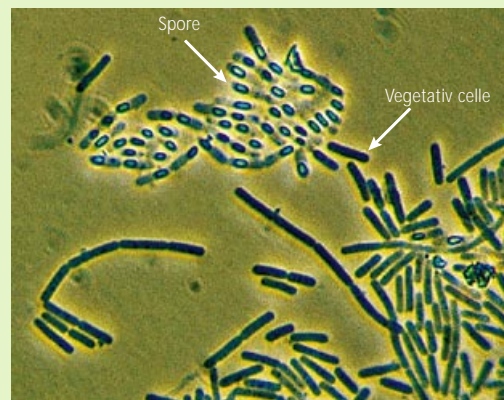


Foto: DMU/Bjarne Munk Hansen

B. cereus endosporer og vegetative celler set gennem mikroskop. Forstørret 3600 gange.

bakteriekultur overføres til 0,2 ml vand og anbringes ved 100°C i 10 min. Herved går der hul på bakterierne, og DNA'et kommer ud. Ved centrifugering fjernes cellerester og bakterieceller, der ikke er gået hul på. Vandet indeholder nu DNA'et fra bakterierne.

Ved en speciel teknik (PCR) er man i stand til at lave mange kopier af visse dele af bakteriers arveanlæg. Disse fragmenter består også

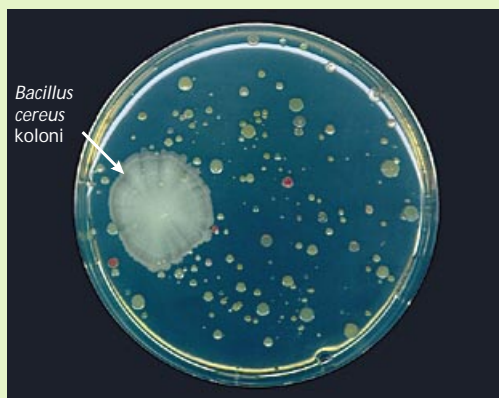


Foto: DMU/Grafisk værksted

Petriskål med jordbakterier og én *B. cereus*



Foto: DMU/Bjarne Munk Hansen

Ved varmebehandling går der hul i bakterierne og DNA'et frigøres.

Eksempel på hvordan jordbakterien *Bacillus cereus* kan isoleres og karakteriseres.

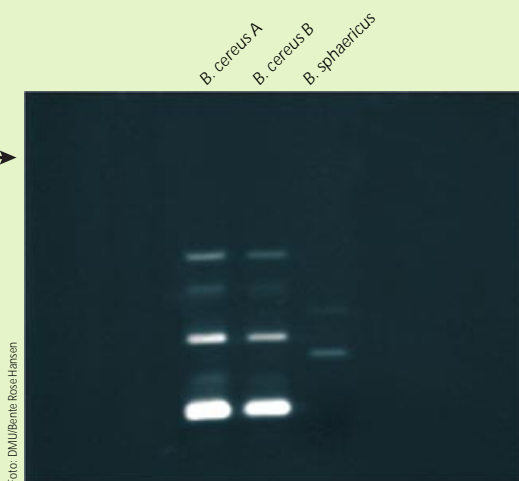
af DNA, blot er de langt mindre end hele bakteriens samlede DNA. Det store antal kopier gør en analyse mulig, og man kan bestemme størrelserne af disse fragmenter ved **elektroforese**.

Ved elektroforese anbringes en opløsning af fragmenterne i den ene ende af en **agaroseplade**. Da DNA fragmenterne er elektrisk ladede, kan man få dem til at bevæge sig med en elektrisk strøm (elektroforese). De små DNA fragmenter bevæger sig hurtigt. Jo større de er, desto langsommere vil de bevæge sig. Ved en farvemethode er det nu muligt at synliggøre og fotografere DNA fragmenterne i agarosepladen (se billederne nederst på siden). Tilstedeværelse og størrelse af DNA fragmenterne kan nu anvendes til at sammenligne og karakterisere bakterier.

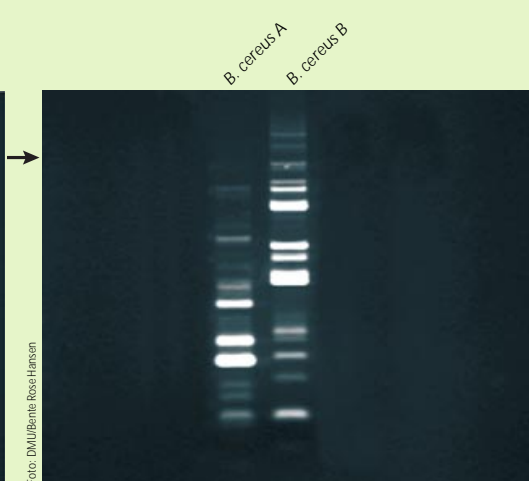
Som tidligere nævnt anvendes 16S rDNA sekvensen til karakterisering af bakterier. Det

har vist sig, at størrelsen af DNA udsnittet mellem generne for 16S og 23S rRNA molekylerne, som indgår i ribosomerne, også er velegnet til at karakterisere bakterier. Alle hidtil undersøgte *B. cereus* bakterier har ved PCR analyse vist sig at have det samme 16S - 23S udsnitmønster, som ikke er fundet hos andre bakteriearter. Til sammenligning er vist 16S-23S udsnitmønsteret for den nærtbeslægtede *Bacillus sphaericus*.

Mennesker kan skelnes fra hinanden ved fingeraftryksmønsteret, og i de senere år er man også begyndt at anvende DNA profiler til dette formål. Tilsvarende kan man også adskille og genkende bakterier på en DNA profil, et såkaldt DNA fingeraftryk, som er karakteristisk for de enkelte bakteriestammer. Analysemethode her er også baseret på PCR teknikken, og billedet nedenfor til højre viser, at de to *B. cereus* stammer, som havde det samme 16S-23S udsnitmønster, nu kan kendes fra hinanden.



PCR analyse af 16S-23S rDNA udsnitmønster for to *B. cereus* og en *B. sphaericus*



DNA fingeraftryksmønster af to *B. cereus*.

få fælles specielle karakterer, eksempelvis reaktion mellem et specifikt **antistof** og unikke dele af bakteriecellevæggen. Denne metode kaldes **serotypning**. Tilsvarende har det vist sig, at **virustyper**, der angriber bakterier, kaldet **bakteriofager**, er meget specifikke i deres angreb. Dette gør det muligt at underopdele i grupper, som kan angribes af bestemte bakteriofager. Denne metode kaldes **fagtypning**. Dette bruges for eksempel ved karakterisering af *Salmonella*, se side 34.

Når en bakterie isoleres, vil den normalt blive karakteriseret med hensyn til art, underart, serotype eller fagtype. Imidlertid dækker hver af disse kategorier over mange bakterier, som har en eller flere karakteristika til fælles. For at kunne skelne den nye bakterie fra andre, som ligner den meget,

får den nye bakterie en **stammebetegnelse** som ofte består af bogstaver og tal, f.eks. *Salmonella typhimurium* DT104.

Ved navngivning af bakterier benyttes et slægtsnavn og et artsnavn. Bakterienavnene er latinske og beskriver ofte en særlig egenskab for bakterien, men navnet kan også henlede til stedet, hvor den blev fundet eller være givet til ære for en person. For bakteriearten *Pseudomonas fluorescens* betyder slægtsnavnet *Pseudomonas* "den falske celle" og artsnavnet *fluorescens* "den **fluorescerende**", hvilket hentyder til, at kolonien bliver selvlysende, når den udsættes for ultraviolet lys (figur 20). For *Cellulomonas flavigena* betyder slægtsnavnet *Cellulomonas* "den, der spiser cellulose" (cellulose indgår i planterens cellevægge) og artsnavnet *flavigena* den "gult-producerende" (hentyder til dannelse af gult pigment). Denne bakterieart kan således omsætte cellulose og danner gule kolonier.

Bakteriers navne skrives altid med *kursiv*. Første gang en bakterie nævnes i en tekst, skrives hele artsnavnet i *kursiv*, f.eks. *Pseudomonas fluorescens*. Senere i teksten når bakterien nævnes igen, skrives den som *P. fluorescens*, hvis der ikke er mulighed for forvekslinger.

For at kunne beskrive en bakterie skal man kunne få bakterien til at gro i laboratoriet (figur 2 og figur 8). Der findes mange bakterier, som det endnu ikke er lykkedes at få til at vokse og dele sig.

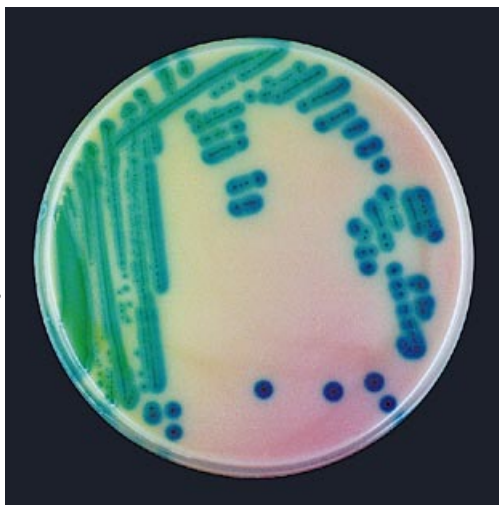


Foto: KVL Institut for Veterinær Mikrobiologi

Figur 8.
Escherichia coli bakteriekolonier på specielt agarsubstrat, der farver kolonier.

Forskellen mellem DNA-sekvenserne i arten *Escherichia coli* og slægten *Salmonella* er 1-2%. Da 1% forskel i 16S-sekvensen normalt svarer til, at det er 60 millioner år siden opdelingen begyndte, skulle opsplittningen mellem disse to således være foregået for ca. 100 millioner år siden. Dette tidspunkt er samtidig med udviklingen af pattedyr, som *E. coli* har tilpasset sig ved at kunne nedbryde mælkesukker (laktose), hvilket *Salmonella* normalt ikke kan. Man antager, at *Salmonella* først er adapteret til krybdyr og dernæst tilpasset livet i tarmen hos pattedyr.

Bakteriesamfund

I alle økosystemer er der mange forskellige arter af bakterier og andre organismer (svampe, planter og dyr) tilstede samtidig. Ofte er der mange flere forskellige slags bakterier tilstede end andre organismer. Der eksisterer derfor den opfattelse, at "alle bakterier er allevegne". Der findes dog eksempler på, at dette ikke altid er tilfældet.

Tilsammen kalder man alle organismer i en bestemt **habitat** for et **samfund**, og de forskellige bakterier kaldes et bakteriesamfund. Det gør man blandt andet for at understrege, at organismerne i samfundet ikke er uafhængige af hinanden, men påvirker hinanden på godt og ondt. Antallet af forskellige bakteriearter udtrykker **samfundsstrukturen**, mens antallet af arter og antallet af individer af hver enkelt art udgør bakteriesamfundets **diversitet**. I et sam-

fund med lav diversitet er der ofte få, men dominerende arter tilstede, men der kan også være mange arter tilstede, hvor så kun få af arterne er meget dominerende.

I menneskeskabte bakteriesamfund, som f.eks. en mælkesyrekultur, er der lav diversitet (figur 9), mens bakteriediversiteten i naturlige miljøer er meget højere (figur 10). Bakterier anvender mange forskellige strategier for at klare sig i den indbyrdes konkurrence, og ofte anvendes flere strategier samtidig (se boks side 18).

I konventionelt landbrug forsøger man typisk at nedbringe diversiteten, mens man i økologisk jordbrug og i naturområder forsøger at tilgodese højere diversitet, idet et samfund med høj diversitet traditionelt betragtes som et meget stabilt samfund. Det gør man ved at optimere levevilkår for



Foto: DMU/Anne Winding

Foto: DMU/Anne Winding

Figur 9 (venstre).
Yoghurt syrnede med mælkesyrebakterier er et eksempel på et bakteriesamfund med lav diversitet.

Figur 10 (højre).
Jorden i en pløjemark indeholder et bakteriesamfund med høj diversitet.

alle typer af organismer: Vira, bakterier, svampe, insekter, mikroskopiske dyr, regnorme, planter osv.

Bakteriesamfunds stabilitet

Stabiliteten af et samfund afhænger af samfundets modstandsdygtighed overfor forstyrrelser og samfundets **plasticitet**, dvs. evnen til og hastigheden hvormed samfundet vender tilbage til udgangspunktet efter en forstyrrelse. Tidligere mente forskerne, at det mest stabile samfund var et samfund med høj diversitet. Men dette har vist sig ikke altid at holde stik. Der findes i dag forskellige teorier om, hvad der skaber det mest stabile samfund. Nogle mener, at der ingen sammenhæng er mellem diversitet og stabilitet, mens andre mener, at stabilitet er knyttet til samfundets forskellige funktioner og dermed indirekte til diversitet. For et bakteriesamfund kan funktionerne f.eks. være evnen til nedbrydning af et utal af forskellige organiske stoffer, dannelse eller iltning af methan, kvælstoffiksering eller fotosyntese. Kortlægning af alle funktioner, der kan varetages af et samfund, er dog meget vanskelig. Typisk vil et samfund have flere arter end funktioner, hvor hver funktion så kan varetages af flere arter (figur 11). For eksempel kan mange forskellige bakteriearter omsætte cellulose (materiale i planters cellevægge). Omvendt kan hver art typisk også varetage flere funktioner.

Diversitet i sig selv er således ikke altid en god parameter til at forudsige et samfunds stabilitet, og mange forskere mener i dag, at et samfunds funktioner er en bedre parameter. Gruppen af bakterier, der udfører en bestemt **funktion**, kaldes en **funktional gruppe** (figur 11). Det totale antal funktioner, der kan varetages af et bakteriesamfund, er dog meget vanskelig at bestemme.

Eksempler på bakteriers strategier i samspil med andre organismer

- Produktion af antibiotika
- Antibiotikaresistens
- Produktion af toksiner
- Tolerance overfor toksiner
- Høj væksthastighed
- Forskellige krav til ilt
- Produktion af nedbrydende enzymer
- Udskillelse af stoffer som bindes i cellemembraner og ødelægger deres funktioner
- Udskillelse af syre
- Konkurrence om fasthæftningssteder
- Forskellige næringskrav
- Evne til at binde fosfat
- Evne til at danne hvilestadier som f.eks. sporer
- Evne til at tilbageholde jern

Hvis alle arter, der varetager en bestemt funktion, dør, vil denne funktion ikke blive udført. Det kan have store konsekvenser og radikalt ændre hele økosystemet. Hvis f.eks. alle bakterier, der kan optage kvælstof fra luften og omdanne det via ammoniak til ammonium, bliver inaktive eller dør, vil en række andre organismer, heriblandt planter, der er afhængige af den dannede ammonium, blive påvirket. Den modsatte situation kan også forekomme, nemlig introduktion af bakterier, der kan omdanne luftens kvælstof til ammonium. Sådanne bakterier kaldes **kvælstoffikserende bakterier**, f.eks. *Rhizobium*, som omtales nærmere på side 24-26.

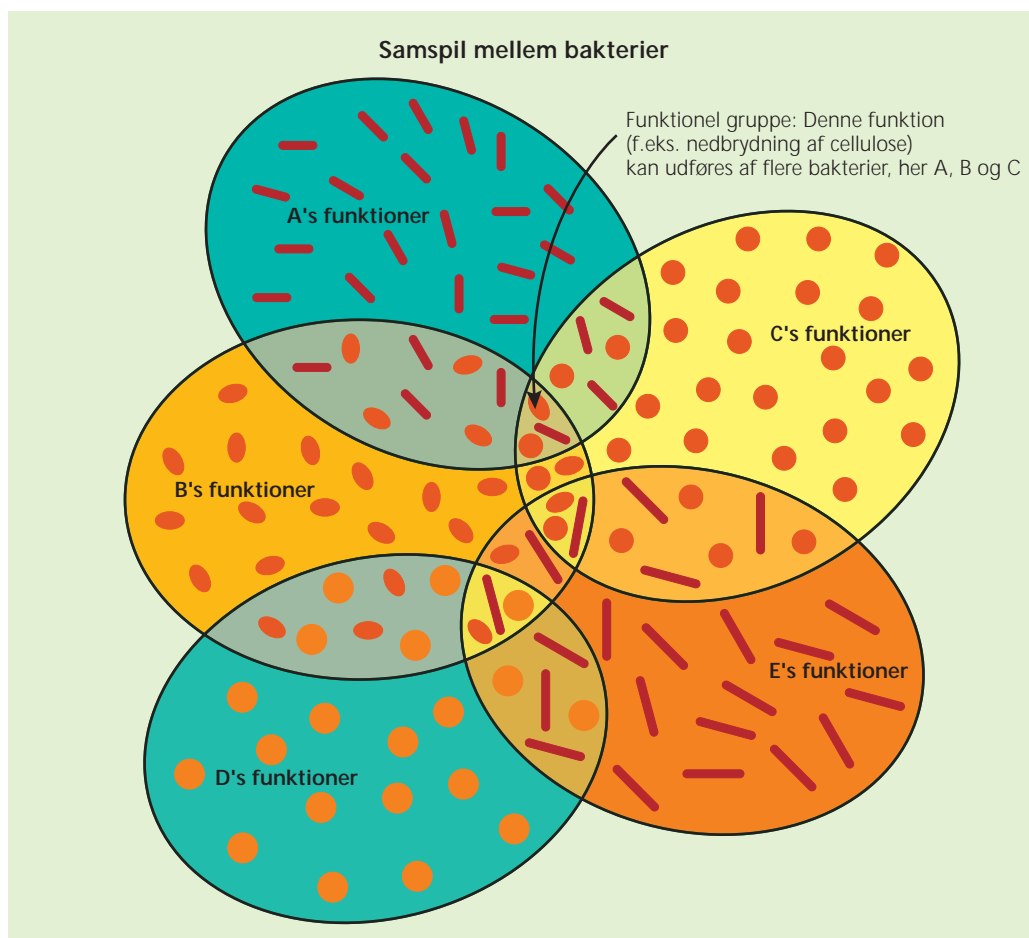
På Island er der områder, hvor der ikke naturligt forekommer *Rhizobium*. *Rhizobium* er blevet introduceret sammen med ærteplanter nogle af disse steder og har haft stor effekt. Den øgede kvælstoffiksering og dermed forøget plantevækst har ført til højere produktion af plantemateriale og dermed hur-

tigere dannelse af muld i den ellers gøllede lavemark. Introduktion af en enkelt organisme har således haft en dramatisk effekt på hele økosystemet.

Et eksempel på, at en forstyrrelse kan påvirke hele bakteriesamfundet er, når vi spiser et bredspektret antibiotikum. Da forstyrres den naturlige høje diversitet i tarmen, idet et bredspektret antibiotikum slår de fleste bakteriearter ihjel. Udover at bakteriernes vigtige funktion i tarmen med at optage næring og danne vitaminer (se boks side 38) ikke længere bliver udført, vil der også være langt færre forskellige bakterier tilstede:

Diversiteten vil være lavere. Indtil tarmfloraens diversitet igen stiger, vil tarmfloraen være ustabil og mere følsom overfor indtrængende bakterier. Diversiteten og stabiliteten genoprettes igennem den føde, vi indtager, idet både mad og drikkevarer indeholder nødvendige gode bakterier.

Som nævnt tilstræber vi ofte samfund med høj stabilitet og høj diversitet. For at opnå denne højere stabilitet og diversitet, og for at økosystemerne skal fungere, når vi mennesker påvirker systemet, er det nødvendigt med en stor indsigt i samspillet mellem de forskellige bakteriearter og deres funktioner samt i deres samspil med højere og lavere organismer.



Figur 11. Hver cirkel repræsenterer en arts funktioner, f.eks. art A's samlede funktioner. Overlap mellem flere arters funktioner illustrerer at nogle funktioner f.eks. nedbrydning af cellulose, kan udføres af flere forskellige arter og dermed danne funktionelle grupper.

Eksempler på gode, onde og grusomme bakterier

I dette kapitel vil vi beskrive en række bakterier, som fra menneskets synspunkt kan betegnes som gode, onde eller grusomme. Det vil blandt andet fremgå, at selv om en bakterie betragtes som ond, findes der ofte en nært beslægtet uskadelig bakterie.

Bacillus cereus gruppen

Slægten *Bacillus* er karakteriseret af stavformede, bevægelige, Gram-positive, fakultativt anaerobe bakterier, som laver endosporer. *B. cereus* gruppens bakterier er karakteriseret ved at kunne nedbryde æggeblomme. Sporerne er ellipsoformede og er placeret midt i cellen.

B. cereus gruppen opdeles i arterne *B. cereus*, *B. thuringiensis*, *B. anthracis*, *B. mycoides* og *B. weihenstephanensis*. Disse arter er samlet i *B. cereus* gruppen, fordi der er så store ligheder mellem arterne, at nogle forskere mener, at de fem arter burde betragtes som én art.

Genetisk kan *B. mycoides* ikke skelnes fra *B. cereus*. Til gengæld vokser den i lange grenede tråde og kan hurtigt dække agar-substratet i en petriskål (se billede side 4 og figur 12). Det nyeste medlem af *B. cereus* gruppen, *B. weihenstephanensis*, kan adskilles fra *B. cereus* både på genetiske og fysiologiske karakterer. Således har *B. weihenstephanensis* en lidt afvigende gensekvens for de RNA molekyler som indgår i ribosomerne, og den kan vokse ved temperaturer mellem 5 og 7°C.

Bakterierne i denne gruppe findes for det meste som sporer (figur 13). Bortset fra *B. anthracis* findes bakterier fra *B. cereus* gruppen stort set overalt. Sporerne vil først blive stimuleret til at spire og dele sig, når der er næringsrige forhold omkring dem.

Bakterierne spiller en væsentlig rolle ved biologisk omsætning af kvælstof og kulstof i miljøet.

Figur 12.
Bacillus cereus (til venstre) og *B. mycoides* (til højre) kan skelnes fra hinanden på deres vækstform på agarsubstrat. *B. cereus* danner kolonier med en grynet overflade, mens *B. mycoides* danner kolonier af lange tynde tråde.



Foto: DMU/Bjorne Munk Hansen

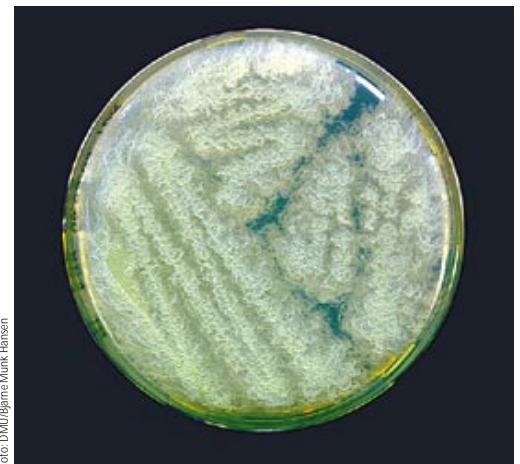


Foto: DMU/Bjorne Munk Hansen

Levnedsmiddelforgiftninger

Der findes normalt mellem 1.000 og 100.000 *B. cereus* sporer i et gram jord. Nogle *B. cereus* stammer er først og fremmest kendt for at forårsage relativt milde tilfælde af diarré, og andre stammer forårsager opkastning hos mennesker. Når vi bliver inficeret sker det næsten altid gennem fødevarer. Typisk varer infektionen 1-2 døgn og ophører normalt uden behandling. Der er dog beskrevet enkelte dødsfald hos mennesker og dyr.

Normalt vil en kortvarig opvarmning af fødevarer dræbe de fleste bakterier og svampe. En sådan varmebehandling er imidlertid gunstig for *B. cereus* sporer, som netop stimuleres til at spire ved varmebehandling. Kogning af ris i typisk 10 min. er for eksempel ikke tilstrækkeligt til at dræbe *B. cereus* sporer. Utilstrækkelig varmebehandling og manglende eller for langsom afkøling kan give *B. cereus* mulighed for at opformere sig i maden. En hyppig kilde til *B. cereus* betinget opkastning er netop gemte kogte ris, som ikke har været tilstrækkeligt hurtigt nedkølede. Herved har *B. cereus* mulighed for at vokse og producere toksinet, som medfører opkastning. Selv en genopvarmning af risene vil ikke kunne ødelægge dette toksin, som er meget varme-resistent. Mange *B. cereus* kan vokse ved temperaturer helt ned til 7°C, hvilket om sommeren kan være den faktiske køleskabstemperatur.

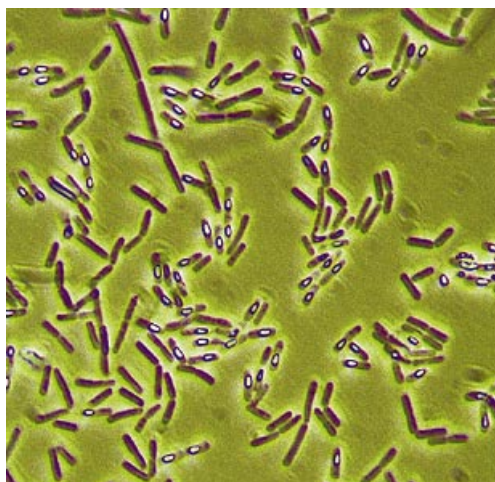


Foto: DMU/Bjarne Munk Hansen

Figur 13. Mikroskopibillede af *Bacillus cereus*. Sporer ses som lysende områder inde i de enkelte celler. Forstørret 2750 gange.

Med det store antal *B. cereus* som findes overalt, kan det undre, at vi ikke alle går rundt med konstant opkastning og diarré. Det er der flere gode grunde til. Dels vil vores krop sædvanligvis prøve at dræbe indtrængende bakterier, og dels skal der mange bakterier til for, at vi bliver syge (10.000 – 100.000.000 bakterier per gram fødevarer). Desuden forhindrer god køkkenhygiejne *B. cereus* infektioner. Endelig er det kun en del af *B. cereus* bakterierne, som laver så store mængder toksin, at det kan forårsage sygdom. Dette illustreres også ved, at man i nogle europæiske lande har givet en midlertidig tilladelse til at tilsætte en bestemt *B. cereus* stamme (probiotika, se side 44) til dyrefoder for at undertrykke skadelige bakterier i dyrenes tarm. Inden der blev givet tilladelse til denne anvendelse, sikrede myndighederne sig dog, at bakteriestammen ikke kunne forårsage sygdom hos mennesker.

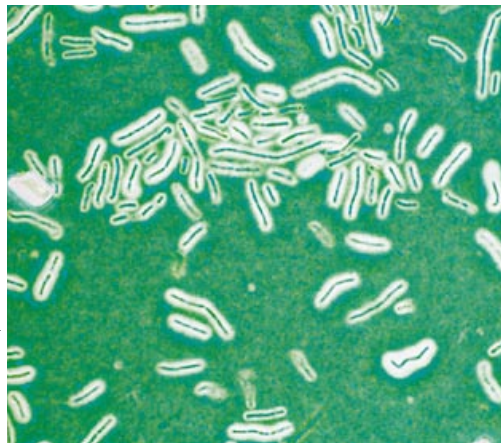
Mange *Bacillus cereus* stammer kan forårsage madforgiftninger. Nogle stammer forårsager diarré og andre stammer opkastning. Tabellen beskriver det generelle billede af de 2 sygdomme. Forskellige *B. cereus* stammers evne til at danne toksiner varierer. Desuden varierer menneskers modtagelighed for madforgiftning. Dette gør at antallet af bakterier, som forårsager sygdom, varierer med en faktor 1000.

	Opkastning	Diarré
Symptomer	Opkastning, kvalme	Mavesmerter og diarré
Inkubationstid	0,5-5 timer	8-16 timer
Sygdommens varighed	6-24 timer	12-48 timer
Infektiv dosis (bakterier/gram fødevarer)	10 ⁵ -10 ⁸	10 ⁴ -10 ⁷
Toksin dannes i	Mad under opbevaring	Tyndtarm
Toksin består af	12 aminosyrer i en ring	Proteiner

Ud over at kunne forårsage infektioner i mavetarmkanalen, kan *B. cereus* også inficere, hvor den kan få adgang til selve kroppen f. eks. via sår eller øjne. I hovedparten af de beskrevne tilfælde sker sådanne infektioner hos mennesker, som i forvejen er svækkede.

Brandbyld og miltbrand

Bakterien *B. anthracis* er årsag til bylder og blodforgiftninger hos mennesker og især planteædende dyr. Infektionerne har hyppigt dødelig udgang. Genetisk er *B. anthracis* næsten ikke til at skelne fra de andre bakterier i *B. cereus* gruppen. Kendskabet til *B. anthracis* er begrænset, da det kun er tilladt at arbejde med bakterien i meget få laboratorier på grund af risikoen for infektioner. I modsætning til de fleste *B. cereus* har *B. anthracis* ikke et enzym, som kan nedbryde de røde blodlegemer. Bakterierne kan ikke bevæge sig, og vegetative celler danner en proteinholdig kappe (figur 14). Selve kappen er ikke giftig, men har betydning for infektionsforløbet. Generne, som koder for proteinkappen og tre giftige produkter, findes på to plasmider. Disse plasmider er indtil videre den eneste genetiske måde, hvorpå man kan skelne *B. anthracis* fra de andre bakterier i *B. cereus* gruppen.



Figur 14.
Mikroskopibillede af *Bacillus anthracis*, med den proteinholdige kappe som dannes af vegetative celler.

Foto: Pasteur Institutet, Paris

B. anthracis kan inficere via mave-tarmkanal, lunger eller gennem sår på huden. Den hyppigste smitekilde for mennesker er via kød, uld og skind fra smittede dyr, eller direkte fra jord eller støv. *B. anthracis* hudinfektioner kan som regel helbredes med antibiotika, hvorimod der er mindre chance for helbredelse af infektioner i mave-tarmkanal og lungerne. Heldigvis er bakterien meget sjælden og er så vidt vides ikke fundet hos dyr i Danmark i mange år.

De giftige egenskaber og *B. anthracis* sporens fantastiske evne til at overleve under ekstreme forhold har gjort *B. anthracis* til en af de organismer, som indgår i biologiske våben. Det er yderst simpelt og billigt at producere store mængder *B. anthracis* sporer, hvorfor biologiske våben kan være attraktive for fattige lande og terroristorganisationer (figur 15). Yderligere menes det, at der i dag findes genetisk modificerede *B. anthracis* som er resistente over for antibiotika, som normalt anvendes til bekæmpelse af *B. anthracis* infektioner. Ved FN's inspektion i Irak efter Golfkrigen ledte man blandt andet efter beviser på, at Irak var i besiddelse af biologiske våben baseret på *B. anthracis*.

Insektbekæmpelse

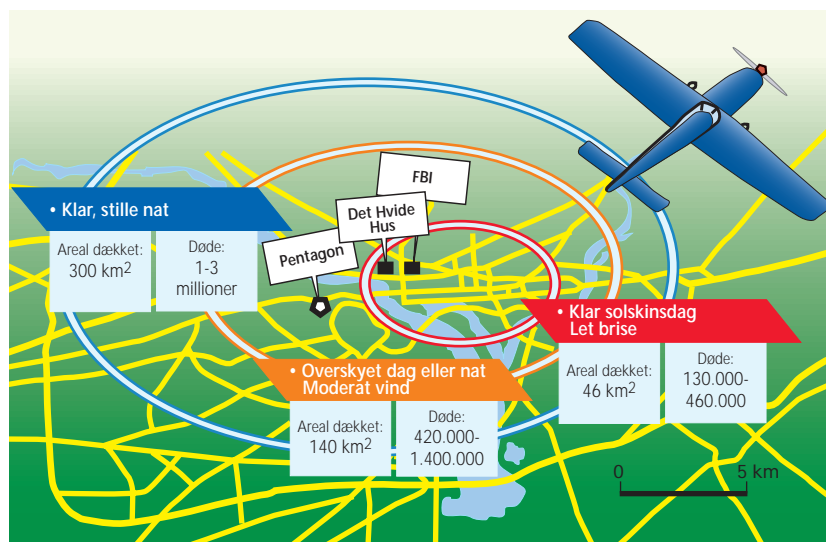
B. thuringiensis kan skelnes fra *B. cereus* ved, at *B. thuringiensis* kulturer, som har dannet sporer, også har dannet proteinkrystaller. Spore og krystal kan ses i mikroskop (figur 16). Evnen til at danne denne krystal findes på et plasmid. Afhængig af sted og årstid finder man ved mikroskopering krystaller i 0,06 - 31 % af de jordbakterier, som først var bestemt til at være *B. cereus*. Krystallen indeholder proteiner, som har vist sig at være giftige for visse insekters larver. Dette er grundlaget for, at *B. thuringiensis* i dag anvendes som alternativ til kemiske midler for at bekæmpe uønskede insekter.

Nogle *B. thuringiensis* underarter anvendes til bekæmpelse af sommerfuglelarver i skovbrug og ved grøntsagsdyrkning (for eksempel kålorm) og andre bruges til bekæmpelse af biller (for eksempel coloradobiller i kartoffelkulturer). En tredje gruppe *B. thuringiensis* underarter anvendes til bekæmpelse af myggelarver, fordi myg i visse områder kan overføre malaria til mennesker. (Se desuden boksen om bekæmpelse af sørgemyg (side 51) samt Temarapport fra DMU nr. 14/1997).

Forskerne har i de senere år stillet spørgsmål ved slægtskabet til *B. cereus*. Den eneste karakter, som adskiller de to bakterier, er den plasmidbundne evne til at lave proteinkrystaller. Hvis en *B. thuringiensis* mister plasmidet og hermed evnen til at danne proteinkrystal, vil bakterien pr definition nu være en *B. cereus*. Nyere genetiske undersøgelser viser også, at *B. thuringiensis* ikke kan skelnes fra *B. cereus* (når der ses bort fra arvematerialet i plasmidet). Det har nu også vist sig, at der findes enkelte tilfælde, hvor *B. thuringiensis* har været involveret i infektioner af mennesker. Nye undersøgelser tyder på, at en enkelt stamme kan forårsage dødsfald hos mus. Denne stamme bruges dog ikke til insektbekæmpelse. Ligesom med *B. cereus* har man også fundet stor variation i giftigheden mellem forskellige *B. thuringiensis* stammer.

Det er derfor vigtigt at undersøge, hvorvidt de anvendte *B. thuringiensis* stammer har mulighed for at forårsage uønskede effekter hos dyr og mennesker. Ligeledes bør nye stammer underkastes grundige undersøgelser, inden de bliver taget i anvendelse.

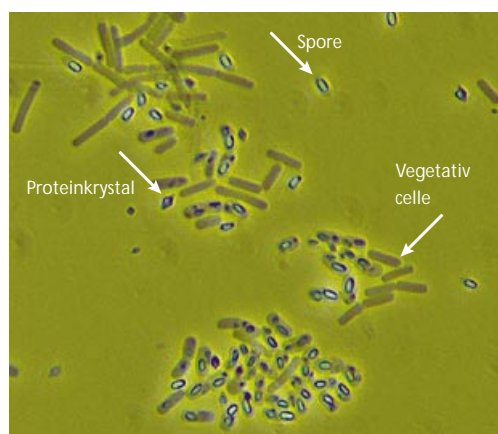
Myndighedernes risikovurdering af *B. thuringiensis* før markedsføring skal netop sikre, at der ikke anvendes stammer, der kan påføre mennesker og miljø uacceptable bivirkninger.



Figur 15.

På figuren er vist de tænkte konsekvenser af et missilangreb på Washington DC, USA med spredning af f.eks. *Bacillus anthracis* sporer. Som det ses vil det kunne medføre massedødsfald.

På trods af, at insektbekæmpelsesmidler med *B. thuringiensis* har været anvendt i mere end 40 år, er der ikke observeret væsentlige utilsigtede effekter på miljø og sundhed. Det skønnes, at der bruges 13.000 tons pr år på verdensplan, hvilket skønnes at udgøre 1.000.000.000.000.000 – 10.000.000.000.000.000.000 (10^{18} - 10^{19}) *B. thuringiensis* sporer. *B. thuringiensis* må derfor betegnes som en god bakterie, fordi den kan bruges til bekæmpelse af uønskede insekter.



Figur 16.

Mikroskopibillede af *Bacillus thuringiensis*. På billedet ses tydeligt sporer og proteinkrystaller inde i eller uden for celler. Desuden ses de mørke vegetative celler uden sporer og proteinkrystaller. Forstørret 3000 gange.

Foto: DMU/Bjarne Munk-Hansen

Rhizobiaceae

Rhizobiaceae er stavformede, bevægelige Gram-negative bakterier, som ikke danner sporer. Især to slægter fra *Rhizobiaceae* familien, *Rhizobium* og *Agrobacterium*, er velkendte, især i forbindelse med planter. Bakterierne fra *Rhizobiaceae* familien kan også findes fritlevende uden direkte tilknytning til planter. Egenskaberne, som karakteriserer *Agrobacterium* og *Rhizobium* (i relation til planter), findes på plasmider i bakterierne. Desuden anvendes gensplejsede agrobakterier til gensplejsning af planter (se Temarapport fra DMU nr. 23/1998).

Naturlig kvælstofgødning

På trods af, at frit kvælstof (nitrogen med den kemiske betegnelse N_2) udgør ca. 80% af atmosfæren, er kvælstofforbindelser en begrænsende vækstfaktor for planter og dyr. Det er blandt andet derfor landmanden spreder gylle og anden gødning på marken. Kvælstof er en vigtig bestanddel af aminosyrer, som udgør byggestenene til proteiner. *Rhizobium* bakterier kan i tæt

samspil (symbiose) med planter fra ærteblomstfamilien lave ammonium ud fra luftens kvælstof (kvælstoffiksering) (figur 17 og 18).

Selve kvælstoffikseringen foregår i såkaldte **rodknolde**, som er udvækster på planterødderne med *Rhizobium* bakterier indeni. Rodknoldene dannes som følge af et kompliceret samspil mellem bakterier og planterod (se side 25). For at fremme en naturlig kvælstoftilførsel til jorden spreder landmanden ofte *Rhizobium* bakterier samtidig med, at der sås frø fra ærteblomstfamilien.

Inde i rodknoldene laver bakterierne et enzym, **nitrogenase**, som under stort energiforbrug omdanner atmosfærens kvælstof til ammoniak, som derefter omdannes til ammonium ioner og indbygges i aminosyrer (se side 26). Brændstoffet til det store energiforbrug er kulhydrater fra plantens fotosyntese. Det store energiforbrug kræver tilførsel af store mængder ilt. Imidlertid bliver nitrogenase enzymet ødelagt af ilt. Dette problem løses ved, at der i rodknoldens planteceller bliver dannet **leghæmoglobin**. Leghæmoglobin ligner vores

Figur 17 (til venstre). Rodknolde med *Rhizobium* bakterier på roden af hvidkløver. Planten leverer ved hjælp af fotosyntesens energi til bakterierne, som så til gengæld leverer organisk bundet kvælstof (aminosyrer) til planten.

Figur 18 (til højre). På denne mark sørger *Rhizobium* bakterier og hvidkløver for at forsyne planten med kvælstofholdig gødning.



Foto: Gunner Gramaa, Tromsø



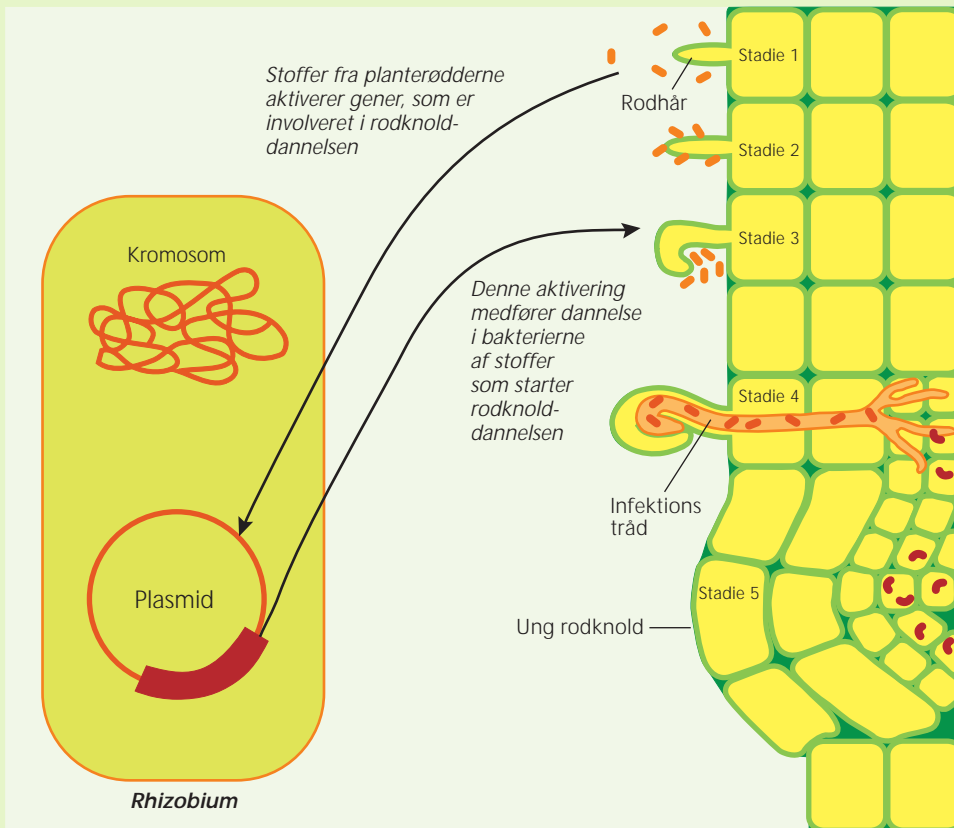
Foto: Gunner Gramaa, Tromsø

Dannelse af en rodknold

Rhizobium bakterier, som befinder sig i nærheden af et rodhår fra en **bælgplante** (ærbloomst), stimuleres af stoffer fra plantens rod. Denne stimulering medfører, at der dannes stoffer i bakterierne, som får plantecellerne til at starte på at lave en rodknold.

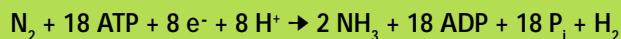
Det er ikke tilfældige *Rhizobium* bakterier, som laver rodknolde på en given bælgplante. Derimod findes der et højt udviklet bakterie-plant genkendelsessystem, som medfører, at én *Rhizobium* art kun kan indgå symbiose med én eller nogle få bælgplanter.

Bakterierne binder sig til rodhåret, som grener sig og folder sig omkring *Rhizobium* bakterierne, som herefter trænger ind i rodhåret. Her påbegyndes dannelsen af den såkaldte infektionstråd, der fungerer som et rør, der fører bakterierne ind i plantecellerne. Samtidig sker der deling af plantecellerne inde i selve roden. Infektionstråden fører bakterierne ind i de delende rodceller. Her deler bakterierne sig og danner de såkaldte bakterioider, som har irregulær form og hvori kvælstoffikseringen foregår. De delende rodceller med *Rhizobium* bakterioider danner en udvækst på roden, en såkaldt rodknold.



Den kemiske reaktion ved kvælstoffiksering

Der kendes mere end 20 gener som har betydning for kvælstoffiksering. Selve nitrogenasen er opbygget af to forskellige enzymer, som arbejder sammen. Da luftarten kvælstof (N_2) er en meget stabil forbindelse, reagerer den vanskeligt med andre kemiske forbindelser. Derfor kræves der store mængder energi (ATP) for at omdanne N_2 til NH_3 (ammoniak). Ved processen tabes der desuden energi i form af frit brint (H_2), som afgives til atmosfæren. Den kemiske proces kan beskrives ved:



Da fri ammoniak er giftig, bliver den dannede ammoniak hurtigt indbygget i andre molekyler. For eksempel kan ammoniak optages af aminosyren glutamat, som herved bliver omdannet til aminosyren glutamin.

hæmoglobin, det molekyle i vores blodceller som binder og transporterer ilt til steder med energiforbrug. Leghæmoglobinet sørger for, at koncentrationen af fri ilt i rodknolden er meget lav. Samtidig er der adgang til store mængder bundet ilt, som frigives og bruges til at skaffe tilstrækkelig energi til kvælstoffikseringen. Hvis en rodknold skæres over, vil leghæmoglobinet røde farve tydeligt kunne ses.

Ud over *Rhizobium* findes der kun få andre bakterier, som fritlevende eller i symbiose med planter foretager kvælstoffiksering. Det skønnes, at Jordens forbrug af fikseret kvælstof ligger på ca. 255 millioner tons pr. år. Heraf bliver 175 millioner tons fremstillet af bakterier, mens resten primært fremstilles ved industriel produktion (kunstgødning).

Husly - mad - sex

I modsætning til *Rhizobium* må *Agrobacterium* betragtes som en skadelig bakterie, som kan forårsage kræft hos **tokimbladede** planter. Sådanne kræftsvulster kendes blandt andet fra frugttræer. Tidligere, da ukrudt blev fjernet med hakkejern, så man ofte kræftsvulster på roer, som var blevet skadet med

hakkejernet (figur 19). For at *Agrobacterium* kan forårsage plantekræft, skal planten nemlig først være såret. For visse afgrøder, der beskæres, som f. eks. vindruer, er *Agrobacterium*-infektioner et stort problem. Plantekræft er normalt ikke dødeligt for planter, men vækst og udbytte kan blive reduceret.

En plantekræftsvulst opstår, når *Agrobacterium* har overført nogle gener til planteceller (se boks på side 27). Disse gener koder for to typer af produkter, som laves konstant: Plantevækststoffer, som får planteceller til at vokse og dele sig og et aminosyrelignende stof, som kaldes opin. Resultatet er en konstant voksende svulst af planteceller, som alle laver opin. Svulsten giver husly for *Agrobacterium*, og opiner kan anvendes af *Agrobacterium* som mad (men stort set ikke af andre mikroorganismer).

Når planter såres, danner de en lang række bakterie- og svampedræbende stoffer og enzymer (sårstoffer). Disse burde egentlig også dræbe en *Agrobacterium*, men i stedet tiltrækkes *Agrobacterium* af disse stoffer. Nogle af plantestofferne stimulerer ligefrem overførsel af DNA'et fra *Agrobacterium* til plantecellerne i såret. Endelig har det vist

sig, at opiner er i stand til at stimulere udvekslingen af gener mellem agrobakterier.

Agrobacterium må således betragtes som en snyltende organisme, mens *Rhizobium* indgår i et samarbejde med planterne.

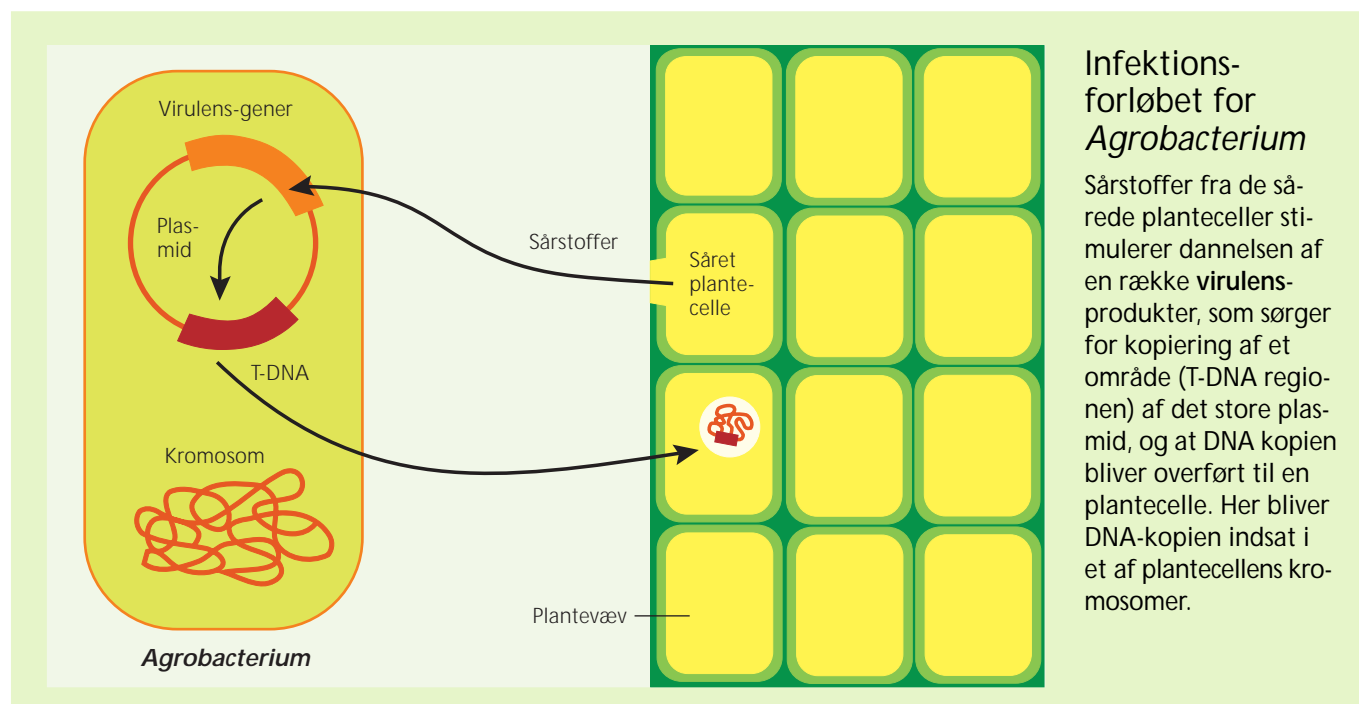
Den snyltende livsform hos *Agrobacterium* anvendes idag til gensplejsning af to-kimbladede planter. De gener, som overføres til en plantecelle, befinder sig altid mellem to relativt korte DNA områder kaldet grænse-sekvenserne. Uanset hvilket DNA, der findes mellem grænse-sekvenserne, vil det blive overført og indsat i plantecellens kromosom. Der anvendes i dag *Agrobacterium* stammer, hvor generne mellem grænse-sekvenserne for plantevækststoffer og opin udskiftes med gener, som eksempelvis koder for resistens overfor virus eller ukrudtsmidlet RoundUp (se Temarapport fra DMU nr. 23/1998). Dette er et eksempel på konstruktiv anvendelse af en "dårlig" egenskab hos bakterier".

Som et eksempel på, at der ikke er langt imellem at være en ond og en god bakterie, skal nævnes, at *Agrobacterium* stammer også anvendes til bekæmpelse af *Agrobacterium* infektioner (se boks side 49).



Foto: DMU/Bjørne Munk Hansen

Figur 19. Kræftsvulst på sukkerroe plante.



Pseudomonas

Pseudomonas bakterier er en bakterieslægt bestående af mange arter med vidt forskellige fysiologiske egenskaber. De er alle Gram-negative, stavformede og bevægelige ved hjælp af en eller flere flageller. *Pseudomonas* er almindelige og vigtige i mange vidt forskellige miljøer: Jord, planters rodzone samt i ferske og marine områder. Via deres mange forskellige fysiologiske egenskaber udfører de forskellige funktioner i miljøet, og *Pseudomonas* bakterier kan have både gode, onde og grusomme egenskaber. Mange *Pseudomonas* indeholder plasmider med arvemateriale, der kan kode for funktioner, som er vigtige i samspillet med andre organismer.

Medlemmer af slægten *Pseudomonas* er typisk nøjsomme bakterier, som kan leve under meget næringsfattige forhold. De kan nedbryde mange forskellige stoffer, både simple og meget komplekse organiske forbindelser. På vore breddegrader kan *Pseudomonas* leve ved omgivelsernes temperatur, idet de trives fint ved 10-20°C. De er således aktive ved de temperaturforhold, som findes i jorden, og de kan derfor nedbryde mange af de organiske forbindelser,



Figur 20.
Mange *Pseudomonas* danner et fluorescerende stof, som kan binde jern. Derved får fluorescerende *Pseudomonas* en konkurrencefordel.

Foto: DMU/Anne Winding

som ellers ville hobe sig op i naturen. Derfor spiller *Pseudomonas* en vigtig rolle ved omsætningen af organisk stof i den danske natur.

Mange *Pseudomonas* er i stand til at leve under delvist iltfrie forhold ved at denitrificere, altså omdanne nitrat til nitrit. Ved denne proces bruger bakterien nitrat i stedet for ilt i processen med at ilte organisk stof til energi, kuldioxid og vand. Ved iltning med nitrat i stedet for ilt får bakterierne dog mindre energi ud af det. Alligevel opnår de en konkurrencefordel omkring rødder og i jord, hvor iltmængden er begrænset. De er da også meget almindelige på planteoverflader, specielt i planters rodzone, hvor de både kan forebygge, bekæmpe og forårsage sygdomme. Eksempler på gode *Pseudomonas* er de, som forhindrer eller bekæmper svampesygdomme i rodzonen hos planter. Disse *Pseudomonas* må betragtes som gode bakterier, og de anvender mange forskellige strategier i konkurrencen med andre organismer. Dette er nærmere beskrevet på siderne 46-53.

Indenfor samme art af *Pseudomonas* kan der både optræde stammer som bekæmper og som forårsager plantesygdomme. Det er ofte kun ganske få gener, der adskiller de gode fra de onde bakterier. Dette gælder arterne *P. fluorescens* og *P. putida*, mens arten *P. solanacearum* primært består af sygdomsfremkaldende stammer.

Fluorescerende Pseudomonas

Nogle *Pseudomonas* danner et fluorescerende stof når jern er en begrænsende faktor. Disse bakterier kaldes samlet for de fluorescerende *Pseudomonas*, og vigtige arter indenfor denne gruppe er *P. aeruginosa*, *P. fluorescens*, *P. putida* og *P. syringae* (figur 20). Det fluorescerende stof binder effektivt tilgængeligt jern i jorden. Derved op-

står der jernmangel for andre mikroorganismer i jorden, og deres vækst hæmmes. *Pseudomonas* bakterier producerer også en række andre stoffer, blandt andet forskellige antibiotika, som kan hæmme andre bakterier, svampe og planter. Visse stoffer kan endda fremkalde plantesygdomme. Andre stoffer kan fremme plantevækst. På grund af disse egenskaber er forskere meget interesseret i denne gruppe af bakterier, når de søger efter bakterier, der kan anvendes til at fremme plantevækst.

Nedbrydning af miljøfremmede stoffer

Flere *Pseudomonas* arter er i stand til at nedbryde **miljøfremmede stoffer** som f.eks. olie- og tjærestoffer samt pesticidrester. Det skyldes blandt andet, at *Pseudomonas* kan nedbryde forskellige planteforsvarsstoffer, som i deres kemiske opbygning ligner oliestoffer. Disse egenskaber har medført stor interesse for at anvende *Pseudomonas* til biologisk rensning af forurenede jord (figur 21).

Ved biologisk jordrensning tilsætter man bakterierne til jorden, samtidig med at man sørger for gode vækstbetingelser for bakterierne. Dette vil sige masser af ilt, næringssalte og eventuelt nogle letomsættelige organiske stoffer. Der er tidligere udkommet en temarapport om dette emne: "Forureningsbekæmpelse med mikroorganismer" Temarapport fra DMU nr. 5/1996.

Pseudomonas og cystisk fibrose

En "ond" *Pseudomonas* er *P. aeruginosa*, som især er udbredt i jord og som forårsager sygdom hos især svækkede personer. *P. aeruginosa* skelnes fra de øvrige *Pseudomonas* ved at danne farvestoffet pyocyanin og ved at kunne vokse ved temperaturer helt op til 41°C.

P. aeruginosa er årsag til infektioner i brandsår og urinveje, for eksempel i forbindelse med kateteroplægning, og den kan forårsage lungebetændelse hos folk med den arvelige sygdom cystisk fibrose. Cystisk fibrose skyldes en fejl på det 7. kromosom, som forekommer hos 1 ud af 4.200 nyfødte i Danmark og er ofte en sygdom med dødelig udgang. Kromosomfejlen medfører, at dannelsen af et protein er skadet. Det normale protein regulerer salt- og vandtransporten ind og ud af kroppens celler. Derved forringes cellernes regulering af salt- og vandtransport hos cystisk fibrose patienter. Som resultat dannes en tyk slim, som blokerer bronkierne i lungerne og tilstopper forbindelsen mellem bugspytkirtlen og tarmen.

Lungeinfektioner er den mest hyppige årsag til problemer hos patienter med cystisk fibrose. Den forøgede slimængde i lungerne er ideel som vækstmedium for *P. aeruginosa*, som ofte koloniserer lungerne hos børn med cystisk fibrose. Dette medfører gentagne lungebetændelser, som bekæmpes med antibiotika, men lungebetændelserne vil på sigt beskadige lungerne. På grund af den meget store medicinske betydning er *P. aeruginosa* en af de mest studerede *Pseudomonas* bakterier.

Figur 21.

I forbindelse med forureningsbekæmpelse med mikroorganismer er det vigtigt at sørge for gode vækstbetingelser for bakterierne. Her beluftes forurenede jord før tilsætning af næringssalte og bakterier.



Foto: DMU/UCI Karlsen

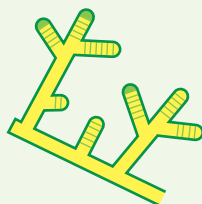
Streptomyces

Streptomyces er en slægt af bakterier. De har alle en forgrenet vækstform, idet de danner **mycelier**, der består af lange kæder af celler. I begyndelsen af væksten på agarplader ligger myceliet på pladen, mens myceliet senere vokser opad og væk fra pladens overflade. Vækstformen ligner svampes, men størrelsen af de enkelte celler og dermed af de enkelte cellekæder i myceliet er langt mindre. *Streptomyces* kan netop kendes fra andre bakterier på deres svampelignende vækst på agarplader samt en speciel opbygning af cellevæggen.

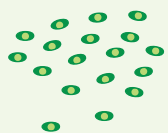
Myceliet er kun opdelt i meget få celler, men ved dannelse af sporer opdeles spidserne af myceliet i lange cellekæder, som senere adskilles, hvorved sporerne frigives.



Vækst af mycelium



Dannelse af cellevæg i myceliet medfører dannelse af sporer



Frigivne sporer

Streptomyces bakterier er meget almindelige i jord, som er deres naturlige levested. De producerer nogle duftstoffer, "geosminer", som giver den karakteristiske jordlugt.

Streptomyces lever af at nedbryde mange forskellige og ofte komplekse organiske forbindelser, heriblandt kulhydrater som cellulose, pektin og kitin, proteiner som keratin og elastin, som findes i muskelvæv og hud, samt aromatiske stoffer. De er derfor gode bakterier med stor betydning for nedbrydning af dødt organisk materiale, som ellers kan være vanskeligt at nedbryde. Det drejer sig for eksempel om døde blade, rødder og træ i skovbunden og om nedmuldet halm i markjorde. Ved nedbrydning af døde rødder er *Pseudomonas* typisk dominerende i begyndelsen af nedbrydningen, fordi der på det tidspunkt frigives mange letnedbrydelige organiske stoffer. Senere i nedbrydningsforløbet dominerer *Streptomyces* og svampe, som kan omsætte de mere svært nedbrydelige organiske stoffer. Således er *Pseudomonas* og *Streptomyces* to meget nyttige bakterieslægter ved nedbrydning af dødt organisk stof i naturen.



Foto: BiografEivig Hansen

Figur 22 (til højre). Skurv hos kartofler skyldes angreb af *Streptomyces scabies*.

Antibiotika

Ordet antibiotikum stammer fra græsk og betyder "mod livet".

Det første antibiotikum (actinomycin) blev isoleret fra en *Streptomyces* bakterie i 1940, og i dag er der fundet over 4.000 antibiotika hos bakterier indenfor *Actinomycetes*. Selv om den enkelte bakterie kun producerer et enkelt eller to antibiotika, kendes i dag over 500 forskellige antibiotika alene fra *Streptomyces* bakterier, blandt andet streptomycin, kloramfenikol, tetracyclin og erythromycin. Isolering af antibiotika fra *Streptomyces* og den medicinske anvendelse til bekæmpelse af infektionssygdomme har forøget menneskers muligheder for overlevelse markant. Hvor man før døde af infektionssygdomme, bliver vi nu behandlet med antibiotika og er som regel hurtigt raske igen. For eksempel var det først med fremkomsten af antibiotikumet streptomycin, at man fik et middel til helbredelse af tuberkulose. Tuberkulose skyldes infektion med bakterien *Mycobacterium tuberculosis*. I 1800-tallet var tuberkulose årsag til 20% af alle dødsfald i Europa. I 1998 blev der registreret ca. 540 tilfælde i Danmark, men på verdensplan skønnes 30-50 millioner mennesker at lide af sygdommen. Ved rettidig behandling bliver man fuldstændig helbredt.

Streptomyces bakteriers evne til at danne antibiotika gør, at slægten må siges at indeholde mange gode bakterier. Netop på grund af produktionen af antibiotika er og har der været store kommercielle interesser knyttet til denne gruppe af bakterier i jagten på nye antibiotika.

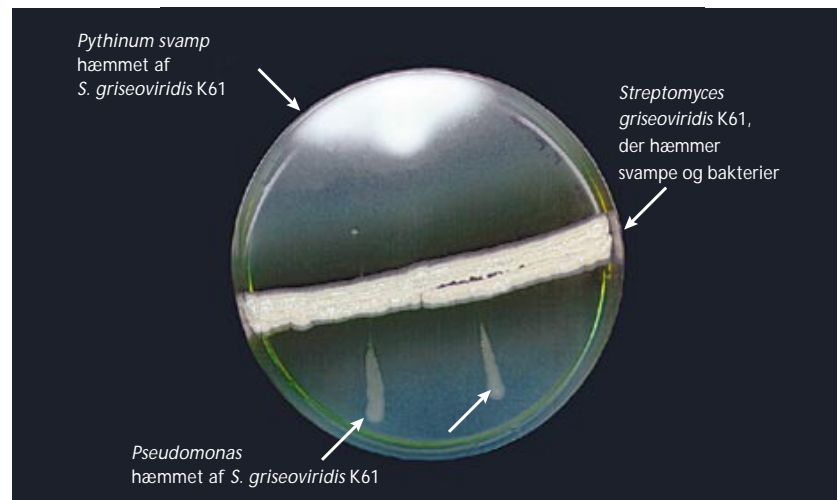
Streptomyces har nogle gener, som gør dem modstandsdygtige overfor de antibiotika, som de selv producerer. Derfor påvirkes de ikke selv af de specifikke antibiotika, som de producerer. *Streptomyces* kan dog sagtens være følsomme overfor andre typer af antibiotika.

Streptomyces bakteriers mycelievækst giver dem en fordel frem for andre bakterier i jorden. Med mycelierne kan de nemlig vokse hen over mindre favorable områder i jorden, f.eks. kan de krydse meget tørre områder ved at transportere vand og næringsstoffer igennem myceliet. *Streptomyces* er desuden i stand til at danne sporer, hvilket yderligere forbedrer deres overlevelse i jord.

Streptomyces forekommer i stort antal i gødning og kompost og er vigtige for kompostering. I begyndelsen af nedbrydningsforløbet, hvor temperaturen ikke er meget højere end omgivelsernes, forekommer mange forskellige *Streptomyces*. Senere når der bliver varmere i kompostbunken, giver den højere temperatur mulighed for vækst af varmeelskende *Streptomyces*, især når der er forholdsvis tørt. På grund af deres gode evne til at producere antibiotika (se boks på denne side) kan *Streptomyces* også anvendes til bekæmpelse af plantesygdomme

(Se side 51). *Streptomyces* producerer således stoffer med virkning mod svampe, vira, insekter, bakterier og planter (se figur 23). Disse egenskaber er gode og vil også potentielt kunne udnyttes i landbruget til bekæmpelse af ukrudt.

Figur 23. Produktionen af antibiotika hos *Streptomyces griseoviridis* K61 kan testes ved at dyrke den på et agarsubstrat sammen med de organismer, den kan hæmme, her en *Pythium* svamp og en *Pseudomonas* bakterie.



Ikke alle *Streptomyces* kan betegnes gode bakterier. Der findes også onde *Streptomyces*, som kan ødelægge høstede afgrøder ved at vokse på dem. De kan f.eks. omsætte bomuld og andre plantefibre og uld. Desuden kan de nedbryde kulstofforbindelser i flybrændstof, gummi og plastik. Det er en god egenskab ved forurening af miljøet, men en dårlig egenskab når disse produkter er en ønsket del af vores hverdag.

Sporer fra *Streptomyces* kan give luftsvejsallergi. Landmænd er specielt udsatte for at udvikle allergi, når de håndterer hø og halm i lukkede lokaler. Faktisk har denne allergi tilnavnet "Farmer's Lung" på grund af de mange landmænd, der har udviklet den.

Skurv hos kartofler og roer skyldes angreb af bakterien *S. scabies* og andre *Streptomyces* arter. Bakterierne findes ofte i jorden, men kan også spredes med læggekartoflerne. De kommer ind i kartofler og roer igennem særlige områder, hvor ilt og næringsstoffer transporteres. Høstudbyttet bliver ikke lavere ved skurvangreb, men kvaliteten forringes væsentligt (figur 22).

Cytophaga-lignende bakterier

Cytophaga-lignende bakterier (CLB) er Gram-negative, aerobe og stavformede bakterier, der vokser bedst ved temperaturer på 15-25°C. CLB har nogle unikke karakterer som med øvelse gør dem lette at kende blandt de mange jordbakterier. Kolonifarven er lysegul, orange eller rød. Nogle lysegule kolonier kan have et metallisk skær. Ved at tilsætte en dråbe af en basisk opløsning (for eksempel 10% kaliumhydroxid) til en koloni vil den øjeblikkelig skifte fra gul til mørk rød. CLB har ingen flageller, men kan alligevel bevæge sig ved at cellen drejer sig rundt som en skrue. Dette kaldes glidning.

Cytophaga-lignende bakterier (CLB) er en gruppe af flere forskellige slægter, som tilhører ordenen *Cytophagales*. Tidligere har det været opfattet som en meget blandet gruppe, og det er først inden for de seneste år, at mikrobiologer har fået et overblik over slægtskabsforholdet. Populært sagt er der ved at blive ryddet op, men der mangler stadigvæk nogen oprydning, og derfor bliver denne blandede gruppe af bakterier kaldt for en gruppe.

CLB findes vidt udbredt i naturen både i hav- og ferskvand og i jorden. De kan for eksempel findes i det øverste pløjelag på marken og i skoven, specielt hvor der er døde planterester. CLB kan også findes i rensningsanlæg. Mange CLB er specialiserede i nedbrydning af de svært omsættelige stoffer, som døde planterester indeholder. Dette drejer sig specielt om cellulose og hemicellulose, som kan udgøre op til 70% af planteresterne. I planters rodzone kan man også finde CLB. Her vil de typisk leve af de cellerester, som bliver udskilt fra roden.

Som beskrevet side 30-31 findes der også *Streptomyces* bakterier, der er specialiserede i nedbrydningen af svært omsættelige plantedele. Det betyder, at CLB lever samme steder som *Streptomyces* bakterierne. Faktisk har CLB og *Streptomyces* mange funktionelle ligheder. CLB kan spredes ved sin glidende bevægelse, mens *Streptomyces* kan sprede sig ved myceliedannelse. CLB danner ligesom *Streptomyces* forskellige antibiotika-lignende stoffer. Om CLB eller *Streptomyces* er vigtigst i omsætningen af planterester er vanskeligt at afgøre, for der er sandsynligvis tale om et samspil mellem de to bakteriegrupper og andre organismer - eksempelvis svampe.

Visse arter inden for CLB-gruppen er uønskede set fra menneskets synspunkt. Dette gælder specielt *Flavobacterium psychrophilum* (tidligere *Cytophaga psychrophila*). *F. psychrophilum* er sygdomsfremkaldende hos regnbueørred og specielt dens yngel i danske dambrug. Er et dambrug først blevet angrebet, kan mellem 50 og 90% af ynglen dø inden for få uger. Sygdommen bliver kaldt for yngel dødelighed syndromet (YDS) (se figur 24).

De fisk, der lider af YDS, er typisk mørke i huden, sløve og hænger i vandoverfladen. Man kan isolere *F. psychrophilum* fra blodet, milten og nyren. *F. psychrophilum* kan

også forårsage sygdom hos større ørredfisk, som får store sår på siden, så den underliggende muskulatur bliver synlig. Sygdommen bliver specielt observeret i vinter og forårsmånederne, hvor vandtemperaturen er nede på 5-15°C. Dette skyldes, at bakterien netop vokser bedst i dette temperaturområde, deraf dens navn "*psychrophilum*", der betyder "den kuldeelskende".

Yngeldødeligheds syndrom (YDS) hos ørredyngel i dambrug

I Danmark er *Flavobacterium psychrophilum* blevet nærmere undersøgt ved laboratorieforsøg. Her har det vist sig, at det blandt andet er den enkelte stammes fysiologi, der er afgørende for om en speciel bakteriestamme er sygdomsfremkaldende eller ej.

F. psychrophilum kan nedbryde forskellige proteiner. Evnen til at nedbryde proteinet elastin er muligvis med til at afgøre om det enkelte isolat er sygdomsfremkaldende. Elastin findes i fiskens hud, og når en bakterie kan nedbryde det, er bakterien muligvis bedre til at invadere ørreden og derved fremkalde sygdom.



Foto: DFI/Line Madsen

Figur 24.
Regnbueørreder med sår på siden og ved øjnene (se pile).
Årsag: *Flavobacterium psychrophilum*.

Enterobacteriaceae

Familien *Enterobacteriaceae* omfatter blandt andet arten *Escherichia coli* og slægten *Salmonella*.

Disse bakterier er karakteriseret ved at de bor i tarmen. "Enteron" er det latinske ord for tarm. Familiens medlemmer ligner hinanden meget og har simple næringskrav. De kan adskilles på basis af forskelle i DNA og fysiologiske karakterer.

Salmonella

Slægten *Salmonella* er fakultative anaerobe, Gram-negative, **oxidase**-negative stavformede bakterier, som tilhører familien *Enterobacteriaceae*. *Salmonella* vokser optimalt ved 37°C, men kan nemt tilpasse sig mere ekstreme forhold. Således kan *Salmonella* vokse ved køleskabstemperatur på 5°C og op efter. *Salmonella* påvises ved vækst på et specielt substrat (figur 25). Denne påvisning efterfølges af en serotypning, hvor man undersøger bakteriestammens evne til at reagere med forskellige *Salmonella* specifikke antistoffer. Herudover har man også mulighed for at karakterisere *Salmonella* på evnen til at indeholde bakteriofager, den såkaldte fagtypning.

Salmonella findes i tarmkanalen hos dyr. Herfra udskilles den med gødningen og spredes til andre dyr, jord, vand og afgrøder. *Salmonella* findes således udbredt i naturen. Dyr kan være smittet med *Salmonella* fra omgivelserne, fra andre dyr eller ved at spise foder, der indeholder *Salmonella* (figur 27) uden at være syge, de såkaldte raske smittebærere. Selv ganske få smittebærere blandt eksempelvis fjerkræ og svin kan bevirke, at mange dyr kan få overført *Salmonella* under slagtingen.

Der findes ca. 2.000 forskellige *Salmonella* underarter, der alle kan give sygdom. Mennesker smittes overvejende ved at spise fødevarer, der indeholder *Salmonella*. I Danmark skyldes hovedparten af infektionerne *S. typhimurium* og *S. enteritidis*, hvor *S. enteritidis* især fås ved indtagelse af rå eller utilstrækkeligt varmebehandlede æg (figur 26).



Foto: KUV Institut for Veterinær Mikrobiologi

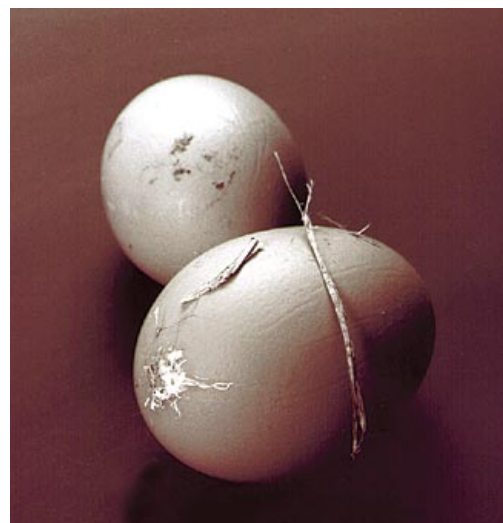


Foto: VFD Peter Olsen

Figur 25 (øverst). *Salmonella* bakteriekolonier på et agarsubstrat, der farver kolonierne røde.

Figur 26 (nederst). Æg kan være kilde til *Salmonella* smitte.

Salmonella hæfter sig til celler i tarmoverfladen, de såkaldte **tarmepithelceller**, i konkurrence med den tilstedeværende tarmflora. Efter tilhæftningen er de i stand til at trænge ind i epithelcellen. Udover at kolonisere tarmen danner bakterierne **enterotoksiner**.

Disse giftstoffer resulterer i en øget væskeafgivelse til tarmen og øget slimafsondring. Resultatet er tarmbetændelse, karakteriseret ved diarré, feber, hovedpine og eventuelt kvalme og opkastninger. Sygdommen kan vare fra få dage op til flere uger og kan udvikles yderligere, ved at *Salmonella* spredes i kroppen med blodforgiftning til følge.

I alvorlige tilfælde kan det medføre dødsfald. Der kan også i få tilfælde forekomme ledkomplikationer i mange måneder efter udbruddet.

Hvor mange *Salmonella* bakterier, der skal til for at forårsage sygdom, afhænger af



Foto: DJFF, Kæller Nielsen

Figur 27. Blot enkelte dyr i en besætning kan være kilde til *Salmonella* smitte.

fødevarer og det pågældende menneskes almentilstand. Er fødevarer fedtholdige, skal der kun ganske få *Salmonella* til at forårsage sygdom, idet fedtet beskytter bakterierne mod mavesyre nedbrydende virkning.

Salmonella typhimurium DT104

S. typhimurium DT104 er en "grusom" bakterie, som er absolut uønsket i Danmark. Det skyldes, at den typisk er modstandsdygtig overfor fem antibiotika (ampicillin, kloramfenikol, streptomycin, sulfonamid og tetracyclin) og samtidig har den tendens til at blive modstandsdygtig overfor endnu flere antibiotika.

Sygdom hos mennesker forårsaget af netop denne modstandsdygtige *Salmonella* kan derfor være vanskelig at behandle. Dertil kommer, at den spredes hurtigt og effektivt mellem dyr og mennesker. I Danmark så man det første mindre udbrud blandt mennesker i 1996. Inden for landbruget blev der kort efter konstateret et udbrud af *S. typhimurium* DT104 i en svinebesætning. Siden da er et stort og effektivt overvågnings- og udredningsarbejde igangsat i et samarbejde mellem branchen og de danske myndigheder med det formål at bekæmpe *S. typhimurium* DT104. Denne plan ser indtil videre ud til at lykkes og nye besætninger, der konstateres positive, aflives stadig.

Ved anvendelse af moderne molekylærbiologiske metoder har man vist, at de fundne danske stammer af *S. typhimurium* DT104 er nært beslægtede. Samtidig er stammerne fra Danmark også beslægtede med *S. typhimurium* DT104 fra udlandet. Ekspertener mener, at der er tale om en enkelt stamme af bakterien, der er spredt over store dele af verden, primært gennem handel med dyr.

Escherichia coli

Escherichia coli er en Gram-negativ, fakultativt anaerob, oxidase-negativ stavformet bakterie, der kan nedbryde laktose (mælkesukker) og ligesom *Salmonella* tilhører familien *Enterobacteriaceae*.

Der findes mange forskellige *E. coli* (kolibakterier). De findes naturligt i tarmen hos dyr og mennesker. De fleste er nyttige i tarmmiljøet og er helt uskadelige. *E. coli* bruger ilt i tarmen og er dermed med til at sikre iltfattige forhold for andre tarmbakterier, der ikke tåler ilt. *E. coli* kan desuden producere K-vitamin (se boks side 38).

Enkelte *E. coli* kan give sygdom i form af urinsvejsinfektioner eller tarmbetændelse. Særlig opmærksom er man på forekomsten i vore fødevarer af visse *E. coli*, som

laver de såkaldte **verotoksiner**. Det er blandt disse giftproducerende *E. coli*, at man finder *E. coli* O157, som kan forårsage alvorlig sygdom hos mennesket (se boks side 36).

Langs vore kyster undersøges vandkvaliteten hvert år for tilstedeværelsen af kolibakterier. Dette sker i henhold til EU direktiv 76/160, som angiver retningslinier for prøveudtagning og mikrobiologisk analyse. Hvert forår udgiver Miljøstyrelsen et badevandkort, hvor man, ud fra badevandets mikrobiologiske kvalitet, kan se hvor det er godt at bade, hvor badevandet er tvivlsomt, og hvor der er badeforbud (se boks side 37).

Burgerbakterien

E. coli O157 kaldes også for "burgerbakterien". Det skyldes, at den blev verdenskendt efter et alvorligt udbrud af sygdom blandt personer i USA, der havde spist burgere. Burgerne var fremstillet af oksekød, som indeholdt *E. coli* O157.

Selv ganske få *E. coli* O157 i en burger er nok til at fremkalde sygdom. *E. coli* O157 findes også i andre fødevarer. I Sverige har *E. coli* O157 i upasteuriseret mælk forårsaget sygdom. I modsætning til andre enterobakterier er *E. coli* O157 særlig modstandsdygtig overfor syre. Det medfører blandt andet, at den kan findes i fødevarer, hvor man normalt ikke ville forvente at finde enterobakterier. Det hidtil største udbrud er registret i Japan i 1996, hvor mere end 9.000 mennesker blev syge af at spise radisespirer, der var forurenede med *E. coli* O157. I Danmark har man kun påvist ganske få tilfælde af sygdom, selvom undersøgelser har vist, at den findes i vore fødevarer.

E. coli O157 forårsager sygdom få dage efter smitte. Symptomerne er typisk diarré, som kan være blodig, mavekramper samt opkastninger. Sygdommen går for det meste over i løbet af 5-10 dage. Imidlertid kan sygdomsbilledet variere, og i visse tilfælde kan infektionen udvikle sig til en alvorlig og livstruende sygdom. Dette ses især hos ældre mennesker og mindre børn. Sygdommen kan medføre skade på nyrer eller centralnervesystemet og i meget uheldige tilfælde føre til døden. Dødeligheden ved infektion med *E. coli* O157 er langt højere end med *Salmonella* og *Campylobacter*.



Figur 28. Badevandet ved vore kyster undersøges for indhold af kolibakterier som en indikator for fækal forurening.

Foto: CDanmark

Forureningsindikator

Netop fordi *E. coli* er hjemmehørende i tarmen hos pattedyr er den en ideel indikator for forureninger, der stammer fra afføring. *E. coli* bakterier i sig selv behøver ikke at medføre sygdom, men når de er der, kan der være andre sygdomsfremkaldende tarmbakterier i vandet. I salt badevand undersøges der for tilstedeværelsen af *E. coli*, og der må helst ikke være mere end 1.000 bakterier per 100 ml vand (figur 28). I ferskvand undersøges der for gruppen af **koliforme** bakterier, dvs. *E. coli* samt bakterier, der ligner *E. coli*. Eksempler herpå er *Citrobacter* og *Klebsiella*.

"Gensplejningsbakterien"

E. coli er en af verdens bedst kendte bakterier. Dens kromosom er kortlagt og kendskabet hertil har haft stor betydning for vores forståelse af geners regulering, og hvorledes genetisk kodede egenskaber kommer til udtryk. En særlig stamme, K12, har i mange år været et nyttigt værktøj for analyse af gener og udvikling af gensplejningsteknikken. *E. coli* K12 er svækket og overlever vanskeligt udenfor laboratoriernes beskyttende miljø. Efterhånden bruges betegnelsen K12 om en række svækkede stammer. Eksempelvis kan en K12 stamme have særlige næringskrav. En enkelt K12 stamme er kendt for at være følsom overfor galdesalte. Sidstnævnte egenskab gør, at den pågældende stamme vanskeligt overlever i tarmen.

K-vitamin

Tarmbakterier og heriblandt *E. coli* danner K-vitamin i vores tarm. K-vitamin er vigtig for blodets evne til at størkne. Når blodet størkner skyldes det dannelsen af lange fibre af stoffet fibrin. Fibrin dannes ud fra fibrinogen ved hjælp af enzymet thrombin. Selve dannelsen af enzymet thrombin er afhængig af tilstedeværelse af K-vitamin.

Hvis blodet størkner langsomt eller slet ikke, vil selv en mindre rift eller et lille sår medføre betydeligt blodtab. Dette forhold anvendes i visse rotte- og musegifte, som hæmmer virkningen af K-vitamin, med det resultat, at dyrene reelt dør af blodtab. Hvis andre dyr eller mennesker kommer til at spise rottegift skal de behandles med ekstra tilskud af K-vitaminer.

Heldigvis er K-vitamin mangel sjælden hos mennesker, men det kan være et problem, hvis tarmfloraen ikke er ordentligt etableret. Sundhedsstyrelsen anbefaler, at spædbørn får K-vitamin ugentligt, indtil de er tre måneder gamle. På det tidspunkt antages *E. coli* bakterier at have etableret sig i tarmen.

Der findes tre typer K-vitamin, K₁, K₂ og K₃. K₁ findes i grønne plantedele, K₂ dannes af *E. coli* bakterier og K₃ fremstilles syntetisk. K₂ er det aktive vitamin, og K₁ og K₃ omdannes i leveren til det aktive vitamin. Dyrelever er derfor en vigtig kilde til naturlige K-vitaminer.

Campylobacter

Campylobacter er en slægt under familien *Campylobacteriaceae* med 15 arter. Især to arter, *C. jejuni* og *C. coli*, kan fremkalde sygdom hos mennesker. De øvrige 13 arter er i varierende grad sygdomsfremkaldende overfor dyr og mennesker. Indtil nu er der ikke beskrevet "gode" *Campylobacter* bakterier. Bakterierne er Gram-negative, buede, S-formede eller spiralformede. De danner ikke sporer, men kan danne runde hvide former ved henstand i kultur, eller hvis de udsættes for ilt gennem længere tid. *Campylobacter* bakterier er bevægelige, idet de har flageller i den ene eller i begge ender. *C. jejuni* vokser ikke ved temperaturer under 30°C og er følsom overfor høje iltkoncentrationer, udtørring og lave pH-værdier. De har således formodentlig svært ved at overleve uden for tarmen hos dyr og fugle gennem længere tid.

Campylobacter findes udbredt i miljøet, men antages primært at være hjemmehørende i tarmen. De er almindelige i tarmen hos mange dyr og fugle, hvor der ofte er lave iltkoncentrationer og temperaturer på 37-42°C. *Campylobacter* findes ofte i afføring fra fjerkræ, svin og kvæg. Under slagtning kan *Campylobacter* bakterien spredes fra tar-

men til andre steder på slagtekroppen. *Campylobacter* findes også i afføring fra kæledyr.

Hidtil har *Campylobacter* været den bakterie næst efter *Salmonella*, der oftest giver anledning til mave-tarminfektioner efter indtagelse af fødevarer. Men i 1999 ser det ud til, at *Campylobacter* "overhaler" *Salmo-*



Figur 29.
Drikkevand fra vandværker
kan være forurenet med
Campylobacter.

Foto: GELIS/Peter Weina-Moors

Drikkevandsforurening

I begyndelsen af 1996 blev adskillige beboere i den lille nordjyske by Klarup syge med diarré, mavesmerter og opkastninger. Det drejede sig om en drikkevandsforurening med bakterierne *C. jejuni* og *E. coli*.

Vandværket i Klarup forsyner knap 4.000 mennesker fordelt på 1436 husstande. Der er to adskilte pumpestationer, hvoraf den ene blev forurenet med kloakvand fra et utæt kloakrør. Gennem flere uger fik beboere i den ene del af byen forurenede drikkevand. Desværre nåede man ikke at opdage epidemien, før den anden del af byen blev forsynet med det forurenede drikkevand, dog kun i et enkelt døgn. Alligevel blev mange syge, om end i mindre grad.

I opklaringsarbejdet har man sammenlignet fund af *C. jejuni* fra patienter med fund af *C. jejuni* fra det forurenede drikkevand. I alt blev 29 prøver fra patienter og to drikkevandsprøver undersøgt for den genetiske sammensætning af de fundne *C. jejuni* og ved serotypebestemmelse. Alle 29 prøver indeholdt *C. jejuni*, som var identiske med *C. jejuni* fra det forurenede drikkevand.

nella og således vil være den bakterie, som forårsager flest mave-tarm infektioner. Sygdommen kaldes for campylobacteriose. Fødevarer, som ikke er blevet tilstrækkelig varmebehandlede, eller som er blevet forurenede med *Campylobacter* ved tilberedning, kan være årsag til campylobacteriose (figur 30).

Der findes to arter af *Campylobacter*, der kan medføre sygdom. *C. jejuni* findes hos mange dyr og især kyllinger er smitekilde. *C. jejuni* tegner sig for op til 96% af sygdomstilfældene. *C. coli* forekommer overvejende i svinekød. Der skal kun ganske få hundrede *Campylobacter* bakterier til at forårsage sygdom. Mennesker bliver syge to til ti dage, efter de er smittet. Sygdommen varer normalt en uge og er kendetegnet ved diarré, kvalme, mavesmerter og sommetider feber. Kun få dødsfald sættes i forbindelse med *Campylobacter* infektion. I ganske få tilfælde kan der senere forekomme komplikationer i blandt andet nervesystemet.

Campylobacter kan ofte isoleres fra ferskvand, deriblandt drikkevand (figur 29). I vand kan den befinde sig i et stadium, hvor den er



Figur 30.
Kyllingekød kan være kilde til smitte med *Campylobacter*.

Foto: VFD

levende, men ikke kan bringes til at vokse på kunstige agarsubstrater. Udsættes den for gunstige ydre omstændigheder, kan den atter vokse op, for eksempel i tarmen hos dyr og mennesker. Hvor udbredt dette hvilestadium er under naturlige forhold, vides ikke. Der vides heller ikke tilstrækkeligt om *Campylobacter* og de forskellige fysiologiske stadiers betydning for sygdom hos mennesker.

Sygdommens forløb kan variere fra menneske til menneske. Nogle kan blive overordentlig syge med blodig diarré, mens andre knapt har symptomer på sygdom. I epidemi perioden januar – februar 1996 blev der i Nordjyllands amt fundet 102 patienter, der var positive for *C. jejuni* (se boks side 39). I resten af landet blev der i samme periode fundet 8 tilfælde af *C. jejuni* positive patienter. Disse 8 havde alle været på besøg i Klarup. Fra telefoninterview ved man imidlertid, at en del Klarup borgere var syge uden at kontakte læge. Som ved andre epidemier ser man blot toppen af isbjerget.

Listeria

Slægten *Listeria* består af seks forskellige arter, som identificeres ved fysiologiske karakterer. De er alle Gram-positive stave, og ingen af dem danner sporer.

Indenfor denne slægt er det især *L. monocytogenes*, der er interessant på grund af dens sygdomsfremkaldende egenskaber. *L. ivanovii* kan også forårsage sygdom, men er kun observeret hos dyr.

L. monocytogenes forårsager sygdommen listeriose hos dyr og mennesker. Sygdommen kan medføre blodforgiftning og/eller meningitis fra få dage op til en måned efter, at man er blevet smittet. Gravide kvinder udgør en særlig risikogruppe, idet *L. monocytogenes* kan fremkalde abort eller

medføre sygdom hos fostre og nyfødte. Som regel er det personer, der i forvejen har et svækket helbred, der udvikler listeriose. Op til halvdelen af disse svækkede personer dør af sygdommen, mens kun få procent af i øvrigt raske personer vil dø af listeriose. I Danmark er der aldrig påvist en direkte sammenhæng mellem en bestemt fødevarer og udbrud af listeriose, men det antages, at langt den overvejende del af de 30-40 årlige tilfælde af listeriose skyldes fødevarerbåren infektion. Større udbrud kendes fra udlandet, hvor forurenede ost, mælk, smør, grøntsager og fisk har været årsagen.

Der er dog også fundet *L. monocytogenes* stammer, som ikke kan betegnes værende onde, hvilket også er tilfældet for flere andre *Listeria* arter. Der er ikke fundet tilfælde hvor de tre arter *Listeria innocua*, *L. grayi* og *L. welshimeri* har været involveret i sygdomstilfælde hos dyr og mennesker. Disse tre arter er ikke i stand til at nedbryde røde blodlegemer, hvilket adskiller dem fra de andre tre arter *L. monocytogenes*, *L. ivanovii* og *L. seeligeri*. Mangel på denne egenskab kan være medvirkende til, at de ikke er sygdomsfremkaldende. Selv om *L. seeligeri* kan nedbryde røde blodlegemer kendes der dog ikke tilfælde, hvor *L. seeligeri* har været årsag til sygdom.

Listeria bakterier har stor udbredelse i naturen. De findes ofte i jord, på planter, i spildevand og i tarmen hos mennesker og dyr. Husdyr kan blive alvorligt syge (såkaldt trommesyge) efter at have spist ensilage, (gæret græs), som indeholder *L. monocytogenes*.

Da *Listeria* er udbredt både i naturen og i produktionsmiljøer vil rå fødevarer nemt komme til at indeholde *Listeria*. Varmebehandlede fødevarer kan imidlertid også indeholde *Listeria*, hvis fødevarerne efter afsluttet varmebehandling er blevet forurenede.

Listeria kan forekomme i rå mælk, kyllinger, hakket kød, kødpålæg og i grøntsager. Et særligt forhold gør sig gældende for fødevarer pakket i vakuum eller i en modificeret atmosfære. Ved anvendelse af disse specielle pakketeknikker opnår man generelt en lang holdbarhed af fødevarer på køl. Imidlertid kan *L. monocytogenes* vokse ved temperaturer helt ned til 1°C og ved saltkoncentrationer på op til 10%. Den lange holdbarhedsperiode og lave temperatur øger risikoen for at *L. monocytogenes* kan vokse op uden konkurrence fra andre bakterier. Ofte vil der ikke være tegn på fordærv af varen, selvom der er *L. monocytogenes* tilstede i stort antal. Især i vakuumpakkede røgvarer kan forekomsten af *L. monocytogenes* være høj (figur 31).

Samtidig sker det ofte i vakuum-pakkede varer, at der vokser mælkesyrebakterier op. *L. monocytogenes* kan hæmmes af mælkesyre og andre biologisk aktive stoffer dannet af mælkesyrebakterierne. Dette forhold forsker man i med henblik på at kunne udnytte mælkesyrebakterier som biologisk konserveringsmiddel ved at tilsætte mælkesyrekulturer til kød og fiskeprodukter, og derved bekæmpe vækst af *L. monocytogenes*.

Figur 31. Ost, røget fisk og vakuumpakkede fødevarer kan være kilde til smitte med *Listeria*.



Mælkesyrebakterier

Mælkesyrebakterier omfatter primært arter indenfor slægterne *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc* og *Lactobacillus*.

Mælkesyrebakterierne er alle Gram-positive kugler, eller stave, som ikke danner sporer. Typisk mangler de **katalase** aktivitet. Der skelnes mellem to grupper af mælkesyrebakterier, henholdsvis de homofermentative og de heterofermentative mælkesyrebakterier.

Homofermentative bakterier omdanner glukose (sukker) primært til mælkesyre, hvorimod heterofermentative kan omdanne glukose til mælkesyre, kuldioxid, ethanol og/eller eddikesyre.

I modsætning til f.eks. *Campylobacter* findes der meget få mælkesyrebakterier, som er direkte sygdomsfremkaldende.

Figur 32.
Eksempel på fødevarer (især mejeriprodukter) som indeholder mælkesyrebakterier.

Mælkesyrebakterierne er i stand til at hæmme andre mikroorganismer på en række forskellige måder. Indledningsvist kan de



Foto: DMU

konkurrere om substrat, sænke pH og leve under iltfattige forhold. De er desuden i stand til at danne en række kemiske forbindelser, som kan begrænse væksten af andre mikroorganismer. Blandt disse kemiske forbindelser finder man brintoverilte, kuldioxid, reuterin og stoffer som acetaldehyd og diacetyl. Reuterin er et særlig aldehyd, som dannes af *Lactobacillus reuteri*. Mælkesyrebakterierne kan også danne enzymer, der kan ødelægge andre mikroorganismers cellevægge eller forstyrre deres stofskifte.

Nogle mælkesyrebakterier kan desuden danne en bestemt gruppe af stoffer, såkaldte **bakteriociner**, som virker væksthæmmende på nært beslægtede bakterier. I det hele taget har mælkesyrebakterierne mange evner til at bekæmpe andre mikroorganismer, herunder visse sygdomsfremkaldende bakterier.

Mælkesyrebakterier indgår i en række mejeriprodukter. For eksempel er acetaldehyd medvirkende til den typiske smag i yoghurt. Ligeledes har diacetyl en speciel aroma og karakteristisk lugt, som kendes fra smør, ost og kærnemælk. "Gaio" indeholder *Enterococcus faecium*, som er en kendt god tarmbakterie. *Lactococcus lactis* bruges i fremstillingen af ost og kærnemælk. *Lactobacillus acidophilus* kan indgå i yoghurt og A38. Herudover findes der produkter som f.eks. Pro-Viva, en frugtdrik, der indeholder *Lactobacillus plantarum* (se figur 32).

Ud over, at mælkesyrebakterier kan give fødevarer smag, lugt og konsistens kan de også anvendes til biokonservering. Formålet er her at hæmme uønskede mikroorganismers vækst og at sikre holdbarhed af fødevareren.

Biokonservering anvendes til kød- og fiskeprodukter, brød, frugt og grøntsager. Bakterien *Lactobacillus alimentarius* kan

vokse ved køleskabstemperatur og kan anvendes til at hæmme væksten af både sygdomsfremkaldende bakterier og bakterier som *Brochothrix thermospacta*, som forårsager fordærv. *Lactococcus lactis* underart *lactis* kan anvendes til konservering af kartofler. Lige efter skrælning af kartoflerne tilsættes bakteriekulturen, og *L. lactis* undertrykker herefter fordærvelsesfloraen. Andre eksempler på biokonservering af grøntsager med mælkesyrebakterier er saltsyrnede agurker og saurkraut (surkål).

For at kunne foretage en sundhedsmæssig vurdering er det vigtigt, at der foreligger oplysninger om eksempelvis mikroorganismers virkemåde. Det er vigtigt at sikre, at mikroorganismen ikke forårsager sygdom,

forgiftning eller på anden måde har en skadelig virkning på menneskers sundhed. Indenfor slægten *Streptococcus* kendes bakterier, som forårsager sygdom, blandt andet halsbetændelse. I Danmark skal mikroorganismer, der anvendes i levnedsmidler, godkendes af myndighederne. Ved en sådan godkendelse sidestilles anvendelse af mikroorganismer til biokonservering med anvendelse af tilsætningsstoffer.

Visse mikroorganismers gavnlige effekt på tarmfloraen anvendes i naturlægemidler, for eksempel *Lactobacillus acidophilus* og bifidobakterier. Et godkendt lægemiddel til forebyggelse af rejsediarré er Paraghurt, som indeholder *E. faecium* (se figur 33 og boks side 45).

Nisin

Nisin er et kendt bakteriocin bestående af 34 aminosyrer. Det dannes af mælkesyrebakterien *Lactococcus lactis*, som forekommer naturligt i rå mælk og visse oste. Nisin hæmmer især væksten af andre *Lactococcus* arter. Herudover kan det hæmme væksten af sygdomsfremkaldende bakterier som *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* og *Bacillus cereus*. Samtidig har nisin også vist sig at kunne hæmme spiring af sporer fra *Bacillus* og *Clostridium*.

Nisin er indtil videre det eneste bakteriocin, der forhandles som et rent stof. Det betragtes som et tilsætningsstof og er derfor underlagt regler, der angiver i hvilken mængde og i hvilke fødevarer, det må anvendes.

Hvad kan de bruges til?

Den naturlige høje diversitet af mikroorganismer bør vi drage nytte af i stedet for at bekæmpe.

I bæredygtigt og økologisk landbrug forsøger man netop at optimere levevilkår for så forskellige organismer som planter, svampe, mikro- og makroskopiske dyr, bakterier og virus. Derudover tilsætter man bevidst bakterier med bestemte funktioner. Denne bevidste anvendelse af bakterier i planteproduktion, dyreproduktion og sundhedsvæsen er under udvikling i disse år.

Probiotika

Ordet **“probiotika”** er græsk og betyder “for livet”. Mikrobielle probiotika er naturligt forekommende gode bakterier, som kan findes i mave-tarmkanalen hos mennesker og dyr, og som påvirker værtsdyret/mennesket ved at forbedre tarmfloras balance.

Det skønnes, at der i menneskets tarm normalt findes ca. 1,5 kg bakterier, fordelt på over 400 forskellige arter. Disse bakterier indgår i et kompliceret samspil, dels bakterierne imellem, dels mellem bakterie og mennesket.

Alle fødes uden bakterier, men allerede under fødslen kommer bakterier til og begynder at bebo tarmen. Efterhånden kommer der flere bakterier til fra omgivelserne, hvilket resulterer i en velfungerende og optimalt sammensat tarmflora. Disse bakterier har vigtige opgaver i tarmen. Udover at medvirke til omsætningen af næringsstoffer i tarmen er de med til at beskytte mod infektion fra udefra kommende bakterier.

Tarmens mikrobielle balance kan imidlertid blive forstyrret, for eksempel i forbindelse med indtagelse af antibiotika eller ved sygdom. Dette kan resultere i, at sygdomsfremkaldende bakterier og svampe kan få en dominerende rolle. Mange mikrobielle probiotika er i stand til at danne mælkesyre hvorved sygdomsfremkaldende mikroorganismer kan forhindres i at etablere sig.

For eksempel ved vi, at tilstedeværelse af *Salmonella* er et stort problem ved produktion af kyllinger. Ved moderne produktionsmetoder udklækkes kyllingerne uden nogensinde at være i kontakt med forældrene. Netop helt unge kyllinger er meget udsatte for *Salmonella* infektion, men hvis nyfødte kyllinger podes med tarmbakterier fra voksne høns, bliver de mere resistente mod *Salmonella* infektion. Tilsvarende resultater kan opnås ved at pode kyllingerne med en blanding af kendte bakterier med probiotiske egenskaber.

Figur 33.
Eksempler på produkter med mælkesyrebakterier, som forhandles til forebyggelse og behandling af milde former for diarré.



Foto: DMU

En af kilderne til probiotiske bakterier er syrnede mælkeprodukter (se side 42 om mælkesyrebakterier).

Via internettet bliver mange forskellige produkter med probiotiske bakterier markedsført. Produkterne angives at kunne reducere blodets indhold af kolesterol, hæmme skadelige bakterier, hæmme dannelsen af kræftfremkaldende stoffer i tarmen, nedbryde skadelige stoffer, forbedre immunsystemet, modvirke laktose intolerance, producere vitaminer, øge alment velvære, bekæmpe diarré o.s.v.

I Danmark må probiotika ikke markedsføres uden, at der foreligger omhyggelige sundhedsmæssige undersøgelser, og det skal være dokumenteret, at produktet har den angivne effekt. Indtil videre foreligger der kun begrænset dokumentation for de gavnlige effekter af probiotiske bakterier, og færre undersøgelser, der belyser, hvorvidt bakterierne er uskadelige.

Vi vurderer, at dokumentation for probiotikas gavnlige virkning vil komme i årene fremover, og der vil blive godkendt og anvendt flere og flere probiotiske produkter til brug for både mennesker og dyr. Dette vil være en god anvendelse af bakterier, hvor man netop benytter sig af interaktioner mellem levende organismer (bakterier, svampe, dyr og mennesker) til gavn for os.

Eksempler på bakterier, der forhandles via Internettet som probiotika til mennesker og dyr

- *Bacillus cereus*
- *Bacillus licheniformis*
- *Bacillus subtilis*
- *Bifidobacterium bifidum*
- *Bifidobacterium infantis*
- *Enterococcus faecium*
- *Lactobacillus acidophilus*
- *Lactobacillus bifidus*
- *Lactobacillus brevis*
- *Lactobacillus bulgaricus*
- *Lactobacillus casei*
- *Lactobacillus lactis*
- *Lactobacillus plantarum*
- *Lactobacillus reuteri*
- *Lactobacillus rhamnosus*
- *Lactobacillus salivarius*
- *Pediococcus cerevisiae*
- *Propionibacterium freudenteichii*
- *Streptococcus thermophilus*
- *Weissella hellenica*

Probiotika

I Danmark er det kun produktet "Paraghurt", som kan betegnes probiotika. Paraghurt er et frysetørret præparat med bakterien *Enterococcus faecium* og medtages ofte på rejser til udlandet, hvis der skulle opstå behov for at stabilisere tarmens bakteriesammensætning (figur 33).

Bakterien *E. faecium* indgår også i produktet Gaio.

Bakterier i jordbrugets tjeneste

Som tidligere beskrevet er der bakterier overalt, og specielt i jord er der mange. Selv om mikroorganismer ikke umiddelbart kan ses, har de stor betydning for jordbruget (figur 34). Bakterier har altid haft betydning for planteproduktionen, men den bevidste udnyttelse af bakterier til at opnå et højere udbytte har været anvendt i langt kortere tid. Samtidig med at vores viden om mikroorganismene øges, får vi bedre muligheder for bevidst at anvende bakterier som alternativ til kemiske midler i planteproduktionen. Her arbejdes der i dag intensivt med at finde den mest bæredygtige og mindst miljøbelastende metode til at dyrke vore afgrøder.

Mikroorganismer, som bevidst anvendes i planteproduktionen, kan inddrages i to grupper:

- 1) Mikroorganismer, der anvendes til at fremme plantevæksten uden direkte at bekæmpe plantesygdomme.
- 2) Mikroorganismer, der anvendes til bekæmpelse af plantesygdomme og insektangreb.



Figur 34.
Selv om det ikke kan ses, indeholder hvert eneste gram jord op mod 1.000.000.000 bakterier, som kan have betydning for planteproduktionen.

Foto: CDanmark

De første kaldes plantevækstfremmende organismer, mens de andre kaldes mikrobiologiske bekæmpelsesmidler eller biokontrol organismer. Både mikrobiologiske bekæmpelsesmidler og plantevækstfremmende organismer kan være såvel svampe som bakterier, men i det efterfølgende fokuserer vi på bakterier.

Plantevækstfremmende bakterier

Plantevækstfremmende bakterier er organismer, der som ordet siger fremmer plantevæksten. Der findes eksempler på, at det kan gøres ved produktion af plantevækststoffer, ved at øge tilgængeligheden af fosfat i jorden, ved at fikser kvælstof, ved at ilte svovl samt ved at øge vand- og mineraloptagelse. Plantevækstfremmende bakterier øger altså plantevæksten på andre måder end ved direkte at hæmme sygdomsfremkaldende organismer og organismer, der æder plantedele.

Plantevækstfremmende bakterier skal leve op til Miljøbeskyttelsesloven, hvilket blandt andet vil sige, at de skal være tilstrækkeligt effektive, ikke have uacceptable virkninger på planter og miljøet, ikke have skadelige virkninger på dyr, ikke påvirke menneskers sundhed og ikke påvirke grundvandet. I Danmark har *Rhizobium* bakterier, der forårsager dannelse af rodknolde hos bælgplanter, været anvendt i mange år (se side 24-26).

Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler

Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler rammer normalt deres målorganisme meget præcist. Derfor vil anvendelse af mikrobiologiske bekæmpelsesmidler ofte kun påvirke målorganismen, mens øvrige organismer ikke påvirkes direkte. Dette er en stor fordel i forhold til især ældre kemiske pesticider, mens nyere kemiske pesticider også kan være meget præcise. Anven-

“Effektive Mikroorganismer”

Produktet “Effektive Mikroorganismer” (EM) er udviklet af professor Tenuo Higa i Japan og består af godt 80 forskellige arter af mikroorganismer (bakterier og svampe). De dominerende mikroorganismer i EM er fotoautotrofe bakterier, mælkesyrebakterier (se side 42), gærsvampe, *Actinomyces* og forgærende svampe (især *Aspergillus* og *Penicillium*).

Ifølge Effective Microorganisms Research Organization (EMRO) understøtter sammensætningen af EM de naturlige nedbrydnings- og opbygningsprocesser og skaber dermed bedre balance i miljøet. De fotoautotrofe bakterier angives at være de vigtigste i EM ved at danne en række stoffer, som antioksidanter, aminosyrer, sukkerstoffer og andre, som optages af planter og er nyttige for dem. Mælkesyrebakterierne angives at undertrykke skadelige bakterier og fremme nedbrydning af lignin og cellulose. Specifikt angives mælkesyrebakterier at hæmme *Fusarium* svampen, som forårsager plantesygdomme. Gærsvampene angives at udnytte de stoffer, som produceres af de fotoautotrofe bakterier til dannelse af antimikrobielle stoffer og stoffer gavnlige for plantevæksten. *Actinomyces*, hvoraf *Streptomyces* (se side 30) er en undergruppe, udnytter også de stoffer, som de fotoautotrofe bakterier danner, til dannelse af antimikrobielle stoffer. De forgærende svampe angives at nedbryde organisk stof og gennem produktion af alkoholer og antimikrobielle stoffer at hæmme insekter og ubehagelige lugte.

Ved at anvende EM anføres det, at det ikke er nødvendigt at anvende kemiske pesticider og gødning i jordbruget, samtidig med at udbyttet bliver 1,5 -3 gange højere.

På Internettet anføres EM at være anvendeligt til:

- Øget produktion i jordbruget
- Formindsket arbejdskraft i planteproduktionen samtidig med øget produktion
- Pleje af potteplanter
- Ukrudtsbekæmpelse
- Vækststimulering
- Pleje af græsplæner
- Reduktion af lugtgener fra husdyr
- Reduktion af stress, infektioner og sygdomme hos husdyr
- Forbedring af kød kvalitet

- Behandling og fermentering af organisk affald til organisk gødning
- Rensning af spildevand med recirkulation
- Podning af septiktanke, afløb og toiletskyl
- Behandling og rensning af søer
- Forbedring af sundhed hos mennesker
- Forbedring af indeklima
- Reduktion af giftige røgudslip fra industrien
- Forbedret cementfremstilling
- Rustbeskyttelse

Præcist hvilke arter, der indgår i EM, og om produktet er stabilt, dvs. altid indeholder de samme mikroorganismer i de samme forhold, oplyses ikke. Det betyder, at det ikke er muligt videnskabeligt at redegøre for deres præcise virkningsmekanisme samt at undersøge skæbnen af de udsatte mikroorganismer i miljøet. Videnskabeligt anerkendte rapporter om effekter af EM er da også meget få. En vurdering af EMs virkning vil udelukkende bero på de målte effekter (f.eks. høstudbytte), mens en forståelse af virkningsmekanismerne ikke er mulig. Det betyder også, at en vurdering af eventuelle negative eller uønskede landbrugs- og miljømæssige effekter af EM ikke er mulig.

Blandt de anbefalede anvendelsesmetoder af EM indgår opformering af EM i egne beholdere tilført sukkerrørsmelasse. Hvilke forskydninger, der finder sted i det mikrobielle samfund under denne opformering under mere eller mindre sterile forhold, kan man kun gisne om. At mikroorganismer er afhængige af andre mikroorganismer i samfundet er dog velkendt (se side 17-19), og det betyder, at EM potentielt godt kan have en sygdomsbekæmpende og plantevækstfremmende effekt.

EM er udviklet og produceres i Japan og må formodes at bestå af mikroorganismer fra Asien. Hvilken effekt udsætning af mikroorganismer fra en anden verdensdel vil have i danske økosystemer er vanskeligt at vurdere. Firmaet bag EM angives at være et non-profit foretagende, og EM forhandles da også relativt billigt sammenlignet med udgifter til gødning og sprøjtemidler.

Yderligere oplysninger på internettet: www.emro.dk og www.agriton.nl.
En kritisk gennemgang af EM kan ses i tidsskriftet *Jord og Viden* 1998 nr. 20.

delse af mikrobiologiske bekæmpelsesmidler forudsætter et grundigt kendskab til økologien og samspillet mellem det mikrobiologiske bekæmpelsesmiddel, planten og den sygdomsfremkaldende organisme eller skadedyret. Resten af miljøet vil dog aldrig være fuldstændig upåvirket, idet fjernelse eller reduktion i antallet af en organisme i miljøet vil efterlade et tomrum, som vil blive udfyldt af andre organismer, som derved vil have fremgang (se side 17-19).

Sådan virker mikrobiologiske bekæmpelsesmidler:

- Konkurrence mellem den sygdomsfremkaldende organisme om en begrænsende ressource f. eks. jern (se figur 20) eller om en fysisk plads i en mikrohabitat (se side 18).
- Produktion af antibiotika eller andre giftstoffer med enten generel eller specifik virkning over for den sygdomsfremkaldende organisme.
- Prædation eller parasitisme, hvor det mikrobiologiske bekæmpelsesmiddel æder eller parasiterer den sygdomsfremkaldende organisme eller skadedyret.
- Erhvervet modstandsdygtighed, hvor det mikrobiologiske bekæmpelsesmiddel får planten til at udvikle modstandsdygtighed mod den sygdomsfremkaldende organisme.

Konkurrencen med den sygdomsfremkaldende organisme kan føres med mange forskellige strategier (se side 18), men ofte handler det om at komme først. Derfor til sættes det mikrobiologiske bekæmpelsesmiddel ofte på frøene før såning. Derefter gælder det for bekæmpelsesmidlet om at vokse hurtigere, samt være i stand til at udnytte de ressourcer, der er tilgængelige i habitatet og således etablere sig bedre end den sygdomsfremkaldende organis-

me. Sidst men ikke mindst bør bekæmpelsesmidlet enten producere et eller flere stoffer, som hæmmer den sygdomsfremkaldende organisme.

Mange bakterier, men især *Pseudomonas* og *Streptomyces*, kan producere en række forskellige antibiotika.

De sidste 50-60 år har antibiotika opnået en kolossal betydning for opretholdelse af sundhed og velvære hos mennesker og husdyr (se blandt andet boks side 31). Antibiotika kan være rettet mod bakterier. Det er i den form vi oftest tænker på antibiotika, nemlig til bekæmpelse af bakterieinfektioner, som for eksempel halsbetændelse.

Men antibiotika kan også være rettet mod svampe, parasitter, insekter eller planter, eller de kan hæmme dannelse af plante-kræft (se boks side 49). Ved anvendelse af mikrobiologiske bekæmpelsesmidler bruges antibiotika således til at fremme sundheden af planter. Da et bestemt antibiotikum vil være rettet mod en afgrænset gruppe af organismer, er det ikke det samme antibiotikum, der anvendes til behandling af halsbetændelse hos mennesker som mod en svampesygdom hos en plante.

Da både *Pseudomonas* og *Streptomyces* er almindelige bakterier i jord og rodzone er deres produktion af antibiotika en egenskab, man forsøger at udnytte i bæredygtigt landbrug til beskyttelse af planter mod sygdomme. Eksempler på bakteriel produktion af antibiotika, der virker mod plantesygdomme ses i tabellen på side 50.

Bakterier kan producere stoffer, som nedbryder eller ødelægger svampenes cellevægge. Et eksempel på dette er bakteriers produktion af enzymet **kitinase**. Kitinase nedbryder stoffet kitin, som er et kulhydrat og en vigtig byggesten i svampes cellevægge. Et andet eksempel er produktion af

Bekæmpelse af *Agrobacterium*

På side 26 blev det omtalt, at *Agrobacterium* bakterier kan være skadelige, fordi de er årsag til kræft hos planter. Imidlertid har det vist sig, at ikke alle kan forårsage plantekræft. Der kendes to underarter af *Agrobacterium*, som kan forhindre plantekræft, og som anvendes i planteproduktionen. Begge tilhører arten *Agrobacterium radiobacter*.

For at kunne forårsage plantekræft er det nødvendigt, at *Agrobacterium* binder sig på helt specielle steder på plantecellens væg, for at der kan ske overførsel af DNA til plantecellen. *Agrobacterium* stammer, som mangler plasmidet med kræftgenerne (og derfor ikke kan forårsage plantekræft), sprøjtes på planterne og binder sig på de specielle steder på plantecellens væg. Herved forhindres det, at de sygdomsfremkaldende *Agrobacterium* bakterier binder sig og forårsager kræft.

Bakteriestammen *A. radiobacter* K84, som anvendes til bekæmpelse af plantekræft, laver et bakteriocin (agrocin 84), som hæmmer visse andre *Agrobacterium* arter. Bakterier, som laver agrocin 84 har et plasmid med gener for både produktion af - og resistens mod agrocin 84. Uheldigvis kan dette plasmid ligesom de fleste andre plasmider overflyttes til andre bakterier. Dette betyder, at kræftfremkaldende *Agrobacterium* bakterier kan modtage agrocin 84 plasmidet og dermed blive resistente over for agrocin 84. For at kunne forhindre dette er der blevet fremstillet en genetisk modificeret *A. radiobacter* med agrocin 84 produktions- og **resistensgener**, som ikke kan overføres til andre *Agrobacterium* bakterier. Denne bakterie anvendes i Australien, men ikke i Europa.

Det har vist sig, at *A. radiobacter* K84 ud over at danne bakteriocin også er god til at kolonisere rødder og sårflader på planter. Det betyder, at bakterien er "dobbeltvirkende", idet den ved at binde sig til plantevævet blokerer for adgang af kræftfremkaldende *Agrobacterium*.

sæbestoffer, som sandsynligvis gør svampenes cellevægge utætte. *Pseudomonas fluorescens* DR54 er en bakteriestamme, der undersøges grundigt i et forskningssamarbejde mellem Landbohøjskolen og DMU inden for Det Strategiske Miljøforskningsprogram. Denne bakteriestamme producerer sæbestoffet viscosinamid, som forskerne har set hæmmer svampes og amøbers vækst.

Som beskrevet side 20 er *B. cereus* gruppen meget almindelig i jord. Også inden for denne gruppe findes bakterier, som potentielt kan anvendes som mikrobiologiske bekæmpelsesmidler. En bakteriestamme,

B. cereus UW85, undersøges i disse år grundigt af en amerikansk forskergruppe for dens evne til at hæmme svampe, der forårsager plantesygdomme. Bekæmpelsen er primært rettet mod svampesygdommen rodhalsbrand, der blandt andet forårsages af svampene *Fusarium* og *Pythium*. *B. cereus* UW85 producerer 2 forskellige antibiotika: Zwittermicin A og kanosamin. De hæmmer begge væksten af den nyspirede svampesporer. Det er meget almindeligt, at et mikrobiologisk bekæmpelsesmiddel har mere end én strategi til at hæmme sygdomsfremkaldende organismer på. Det gælder også *B. cereus* UW85, som ved at kombinere 2 antibiotika hæmmer de sygdomsfremkal-

Hvad kan de bruges til?

Eksempler på potentielle mikrobiologiske bekæmpelsesmidler, som virker ved at producere antibiotika.

Bakterie	Antibiotika produceret	Sygdom eller svamp som kan bekæmpes
<i>Pseudomonas</i>	Pyrrrolnitrin	Rodbrand, bladplet, <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Pythium</i> , <i>Aphanomyces</i>
<i>Pseudomonas</i>	Cyanid (HCN)	Generelt hæmmende overfor andre levende organismer
<i>Pseudomonas</i>	Pyoluteorin	<i>Pythium ultimum</i>
<i>P. fluorescens</i> biovar II/IV CHA0	2,4-diacetylphloroglucinol	bladplet, rodtiltsvamp, <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Pythium ultimum</i>
<i>P. fluorescens</i> biovar I DR54	Viscosinamid	Rodbrand, <i>Pythium ultimum</i> , <i>Rhizoctonia solani</i>
<i>Pseudomonas</i> , <i>Streptomyces griseoviridis</i> K61	Kitinase	Rodbrand, <i>Fusarium</i> , <i>Phomopsis</i> , <i>Pythium</i> , <i>Alternaria</i> , <i>Rhizoctonia</i>
<i>Bacillus cereus</i> UW85	Zwittermicin A	Rodhalsbrand, <i>Pythium</i> , <i>Fusarium</i>
<i>Bacillus cereus</i> UW85	Kanosamin	Rodhalsbrand, <i>Pythium</i> , <i>Fusarium</i>

dende svampe bedre, end når kun et af antibiotikaerne produceres. *B. cereus* UW85 er endnu ikke tilstrækkeligt undersøgt til at blive markedsført.

Et eksempel på erhvervet modstandsdygtighed er *Pseudomonas* bakterier, der får planterne til at producere flere svampehæmmende phenoler i rodzonen. Herved hæmmer planten selv de sygdomsfremkaldende svampe og plantens vækst øges. Denne stimulering af phenolproduktion kan f.eks. ske, når bakterien producerer plantevækststoffer.

Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler er omfattet af lov om kemiske stoffer og produkter (Lov nr. 1067 af 23. december 1992 om ændring af lov om kemiske stoffer og produkter). De nærmere regler er fastsat i Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 241 af 27. april 1998 om bekæmpelsesmidler. Der er tidligere udkommet en temarapport om dette emne: "Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler i planteproduktionen - muligheder og risici" Temarapport fra DMU nr. 14/1997. Heri beskrives mere detaljeret muligheder og risici ved anvendelse af mikrobiologiske bekæmpelsesmidler i planteproduktionen.

Figur 35.
Bacillus thuringiensis produkt, som blandt andet kan anvendes til bekæmpelse af kålsommerfuglenes larver (figur 36).



Foto: DMU

Bekæmpelse af svampe



Foto: DMU

Mycostop er det kommercielle navn for et mikrobiologisk bekæmpelsesmiddel, som markedsføres i Danmark. Den aktive komponent i Mycostop er *Streptomyces griseoviridis* K61, og denne bakterie kan enten tilsættes frøene før såning, tilsættes rødder eller løg før plantning, vandes ned til rødderne eller tilsættes vækstsubstrater. Mycostop kan anvendes både i drivhus og på friland.

Mycostop bekæmper en række forskellige sygdomsfremkaldende svampe af slægterne *Fusarium*, *Phomopsis*, *Pythium*, *Alternaria* og *Rhizoctonia* (se figur 23). *S. griseoviridis* K61 er et finsk produkt og er isoleret fra tørv. Virkningsmekanismen af *S. griseoviridis* K61 er en blanding af 3 strategier:

- 1) Ved at tilsætte bakterien til frøet, løget eller roden før såning eller udplantning kan bakterien kolonisere og vokse i rodzonen, før de sygdomsfremkaldende organismer. K61 har derved fået en konkurrencemæssig fordel.
- 2) *S. griseoviridis* K61 danner et antibiotikum, som hæmmer svampe.
- 3) *S. griseoviridis* K61 danner enzymet kitinase, som nedbryder kitin i svampes cellevægge.

Man ved ikke om en af disse virkningsmekanismer er vigtigere end de andre. Andre stammer af *S. griseoviridis* kan danne stoffer, som hæmmer Gram-positive bakterier, samt andre antibiotika, der hæmmer svampe.

Bekæmpelse af sørgemyg

Bacillus thuringiensis anvendes i Danmark til bekæmpelse af sørgemyg i drivhuse. Sørgemyggenes larver holder af miljøer med høj fugtighed. Sådanne forhold findes i jorden, hvor der opformerer planter ved hjælp af stiklinger. Larverne, som befinder sig nede i jorden gnaver af stiklingernes sårflader og spiser de små nye rødder. Dette medfører, at roddannelsen og planteudviklingen hæmmes. Desuden har det vist sig, at larverne kan medvirke til at sprede svampesygdomme.

Sørgemyggene kan bekæmpes med kemiske midler, men herved risikerer man også at skade nyttige insekter. Desuden er den kemiske bekæmpelse ikke altid tilstrækkelig. Det har vist sig, at ved at anvende en forebyggende behandling med *B. thuringiensis* sammen med nytedyr, som spiser myggelarverne, kan der opnås en tilfredsstillende bekæmpelse af larverne. To gange om måneden blandes bakterierne i det vand som bruges til vanding af planterne. Bakterierne og de giftige proteinkrystaller trænger sammen med vandet ned i jorden, hvor de spises af larverne. Larverne lammes og ophører med at spise, og til sidst dør de.



Foto: DMU/Bjarne Munk-Hansen

Figur 36. Kålsommerfugle larver på hvidkålsblade. Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler baseret på *Bacillus thuringiensis* (figur 35) kan anvendes til bekæmpelse af disse skadedyr.

Bakterier som problemfjernere

Bakteriers evne til nedbrydning af mange forskellige organiske stoffer er nævnt tidligere i rapporten. Denne evne gør bakterier meget vigtige for nedbrydning af mange af de stoffer og det affald, som vi producerer i vores industrisamfund. Hvis disse stoffer ikke behandles forsvarligt kan de udgøre problemer i miljøet. Bakteriers evne til at bearbejde og nedbryde problematiske stoffer er således med til at løse mange problemer for os.

Rensning af forurenede jord

Bakterier kan medvirke til nedbrydning af mange miljøforurenende organiske stoffer ved at omdanne dem til ufarlige stoffer som kuldioxid og vand. Tidligere tiders lemfældige omgang med miljøfremmede stoffer har ført til forurening af meget jord i Danmark. Mange grunde midt i danske byer er forurenede med tjære og andre olieprodukter på grund af tidligere tiders gasproduktion ud fra kul. Ved mange tankstationer findes benzin- og/eller dieselforurenede jord. I forbindelse med maling- og lakindustrien er også eksempler på forurening af jord.

For at bakterier kan nedbryde disse forureninger skal de rette forhold dog være til stede. Det indebærer blandt andet at der skal være ilt, vand og næringssalte tilgængeligt. Nedbrydningen kan enten varetages af bakterier, der naturligt forekommer i jorden, eller bakterier, der opformeres i laboratoriet og derefter tilsættes jorden. Evnen til at nedbryde forurenende stoffer er spredt blandt mange forskellige bakteriearter, men som tidligere nævnt (se side 28-32) har mange *Pseudomonas* og *Streptomyces* denne evne. Udover bakterier medvirker mange mikroskopiske svampe også ved nedbrydningen.

Den forurenede jord kan enten renses direkte på stedet, graves op og renses oven på jorden, eller transporteres til større rensningsfaciliteter. I Danmark findes flere firmaer, der kommercielt renses forurenede jord for især oliestoffer ved hjælp af bakterier. Danmarks Miljøundersøgelser forsker i miljøforhold og optimering omkring mikrobiel nedbrydning af miljøfremmede stoffer, og der er tidligere udkommet en temarapport om dette emne: "Forureningsbekæmpelse med mikroorganismer" Temarapport fra DMU nr. 5/1996.

Figur 37.

Ved biologisk rensning af spildevand spiller bakterier en helt central rolle for fjernelse af organisk stof og kvælstof. Her ses et spildevandsbassin, hvori de mikrobiologiske processer foregår.



Foto: BioFoto/Klaus D. Bentzen

Spildevandsrensning

Ved biologisk rensning af spildevand sørger bakterier for at fjerne organisk stof og kvælstof, hvilket er meget vigtige processer. I langt de fleste kommunale rensningsanlæg indgår biologisk rensning (figur 37). Først bliver det organiske stof optaget af bakterier, som dels indbygger det i deres biomasse og dels nedbryder det. Derved omdannes organisk stof til kuldioxid (CO_2), og der frigives ammonium (NH_3). Dette ammonium optages derefter af nitrificerende bakterier, som får energi ud af at omdanne ammonium til nitrat, hvorfra det videre omdannes til frit kvælstof (N_2). Dette frie kvælstof frigives til atmosfæren, hvor det i forvejen udgør ca. 80%. Den opbyggede bakteriebiomasse bliver fjernet som slam og kan anvendes som gødning på marker.

I mange rensningsanlæg fjernes fosfor kemisk efter den biologiske rensning før vandet udledes. Ved rensningen bliver spildevandet derved mindre belastende for miljøet. Uden bakteriers aktivitet i spildevandsrensning ville miljøbelastningen af spildevand være uacceptabel høj, og vi måtte anvende mange økonomiske ressourcer på anden bortskaffelse af spildevandet. Bakteriers rolle er altså her af meget stor positiv værdi for os.

Kompostering

Planterester og grønt affald fra husholdningen kan komposteres og derved omdannes til værdifuld kompost, som virker jordforbedrende og tilfører jorden vigtige næringsstoffer og mineraler (figur 38). Denne proces udføres af bakterier, svampe, mikroskopiske dyr og regnorme i tæt samarbejde. Forudsætningerne er den rette kombination af vand, ilt og temperatur. *Pseudomonas*, *B. cereus* gruppen, *Streptomyces* og *Cytophaga*-lignende bakterier indgår som meget vigtige,

gode og nyttige bakterier i kompostering. Ved kompostering omdannes affaldet til kompost ved produktion af kuldioxid (CO_2) og varme, noget vand fordamper og voluminet af affaldet reduceres.

Komposteringen kan foregå enten ved overfladekompostering, koldkompostering, ormekompostering eller varmkompostering. Overfladekomposteringen ligner mest det relativt langsomme naturlige forløb af nedbrydning af organisk stof spredt på jordoverfladen, mens varmkompostering er den hurtigste. Den højere temperatur gør, at flere sygdomsfremkaldende organismer og ukrudtsfrø dør. Dog må temperaturen heller ikke blive for høj, da de nyttige organismer derved også dør.

Der findes flere eksempler på bakterier som problemfjernere (f.eks. biogasproduktion ud fra affald med højt organisk indhold samt omdannelse af organisk bundne tungmetaller). I fremtiden vil bakterier sikkert blive anvendt i flere og flere miljømæssige sammenhænge.



Foto: BioFoto/Neils Peter Holst Hansen

Figur 38. Grønt affald indsamles for at blive komposteret i store kommunale komposteringsanlæg.

Sammenfatning

Bakterier findes overalt, og de har stor indflydelse på vores liv. Ofte hører vi om fødevarers indhold af bakterier, som forårsager sygdom hos mennesker. I den forbindelse gør vi os store anstrengelser for at holde vores fødevarer fri for bakterier.

Imidlertid kan vi ikke undvære bakterier. De spiller en usynlig men absolut nødvendig rolle for alle levende systemer. Vi har en tendens til at betragte os som totalt uafhængige individer, men alt levende indgår i et komplekst samspil med andre organismer, herunder med bakterier.

Det skønnes, at der findes mellem 100.000 og 1.000.000 bakteriearter, og inden for hver art findes mange stammer. Langt hovedparten af disse bakterier er ukendte for os mennesker, blandt andet fordi det endnu ikke er lykkedes at dyrke dem. Bakteriernes funktioner er mangfoldige, men en af de vigtigste funktioner er nedbrydning af organisk stof. Organisk stof optræder som en slags affald ved alle højere organismers livsfunktioner. Hvis det-te stof ikke blev nedbrudt og genanvendt ville liv ikke være muligt i den form, vi kender det.

Bakterier har også stor positiv betydning for vores sundhedstilstand. I vores tarm-system spiller de for eksempel en vigtig rolle for udnyttelsen af fødevarer og produktion af nødvendige stoffer som vitaminer. Desuden resulterer det komplekse samspil af mange forskellige bakterier i, at de holder hinanden i skak. Det gør det sværere for enkelte bakterier at få en dominerende rolle, herunder sygdomsfremkaldende bakterier.

Disse forhold gælder ikke kun for mennesker. Både dyr og planter er stærkt afhængige af bakterier i omgivelserne. Bakterier spiller blandt andet en rolle for planter sundhedstilstand ved at bekæmpe sygdomsfremkaldende organismer og skadedyr samt ved at tilvejebringe gødningsstoffer til planterne.

I mange år har det været søgt at løse problemer i sundhedssektoren og landbruget ved at benytte kemiske stoffer til at styre udviklingen. Imidlertid har dette haft en række utilsigtede bivirkninger, som f.eks. udvikling af antibiotikaresistens og nedsvining af pesticider til grundvandet. Med den stigende indsigt i bakteriernes funktioner og samspil må vi erkende, at naturen i mange tilfælde allerede har skabt "levende løsninger" på mange af de forhold, vi forsøger at løse med kemi. I dag anvendes bakterier til bekæmpelse af plantesygdomme og skadelige insekter samt til fremme af planter vækst. Via en øget forståelse af mikroorganismernes funktion vil vi i fremtiden kunne se en stigende målrettet anvendelse af mikroorganismer til at forebygge og løse problemer i sundheds- og landbrugssektoren.

Forslag til yderligere læsning

Karlson U, Kroer N, Willumsen PA (1996): Forureningsbekæmpelse med mikroorganismer. DMU Temarapport 5/1996.

Hendriksen NB, Binnerup S (1997): Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler i planteproduktionen - muligheder og risici. DMU Temarapport 14/1997.

Damgaard C, Kjellsson, G, Kjær C, Strandberg B (1998): Gensplejsede planter. DMU Temarapport 23/1998.

Andersen JK, Fabech B, Jacobsen BL, Mejborn H, Rasmussen L (1997): Biokonservering - mikrobielle, ernæringsmæssige og andre sundhedsmæssige aspekter. Fødevarerdirektoratet, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Publikation nr. 240.

Veterinær- og Fødevarerdirektoratet (1999): Fakta om Fødevarehygiejne - Bakterier. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

Yderligere oplysninger om fødevarer-bakterier:

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

Fødevarerdirektoratet
Mørkhøj Bygade 19
2860 Søborg
Tlf. 33 95 60 00
Fax: 33 95 60 01
E-post: vfd@vfd.dk
Hjemmeside: www.vfd.dk

Statens Veterinære Serumlaboratorium
Hjemmeside: www.svs.dk

Dansk Zoonosecenter
Hjemmeside: www.svs.dk/dk/Organisation/z/Frm_zoo.htm
Udgiver tidsskriftet Zoonose-Nyt.

Yderligere oplysninger om miljø og bakterier i miljøet:

**Miljø- og Energiministeriet
Miljøstyrelsen**
Hjemmeside: www.mst.dk, hvor der bl.a. er link til Miljøbutikken, som informerer om miljø- og energiforhold i Danmark. Badevandskort 2000

Oplysninger om mikrobiel økologi:
Digital Learning Center for Microbial Ecology: Microbe Zoo
<http://commtechlab.msu.edu/sites/dlcm/zoo/>

Oplysninger om „Effektive Mikroorganismer“:
<http://www.emro.dk>
<http://www.agriton.nl>
Tidsskriftet Jord og Viden 1998 nr. 2. Hele nummeret omhandler mikrobiologiske bekæmpelsesmidler og „Effektive Mikroorganismer“ i særdeleshed.

Oplysninger om kvælstofkredsløbet:
Nitrogen Assimilation and Its Regulation:
<http://www.uoguelph.ca/mbnet/65-604/TOPIC2.html>

Ordliste

- 16S rRNA:** Et ribonukleinsyre molekyle som indgår i ribosomerne. Molekylet består af cirka 1.500 baser, hvis rækkefølge anvendes til identifikation af bakterier.
- 16S-23S udsnitsmønster:** De gener, som koder for 16S og 23S rRNA molekylerne, ligger tæt på hinanden, kun adskilt af 100-1.000 baser. Det meste af området koder ikke for nogen funktioner, hvorfor stort set alle typer mutationer kan bestå i dette område. Dette medfører, at området er meget variabelt og kan anvendes til at sammenligne og genkende bakterier.
- 23S rRNA:** Et ribonukleinsyre molekyle som indgår i ribosomerne. Molekylet består af cirka 3.000 baser. 23S sekvensen anvendes også til identifikation af bakterier, men i langt mindre grad end 16S sekvensen.
- Aerob respiration:** Ånding, der kræver tilstedeværelse af ilt.
- Agaroseplade:** En geléagtig plade med huller, hvori DNA fragmentopløsninger anbringes. Når der sættes elektrisk spænding hen over agarosepladen, vil DNA fragmenterne vandre med strømmen (elektroforese). De mindste fragmenter vandrer hurtigst, hvilket betyder, at der sker en opdeling af DNA fragmenter på grundlag af størrelse. Ved at farve agarosepladen kan DNA fragmenterne gøres synlige.
- Agarsubstrat:** Næringsvæske, som kan anvendes til dyrkning af bakterier, og som er stivnet med agar.
- Anaerob respiration:** Ånding uden anvendelse af ilt, men ved reduktion af for eksempel nitrat (NO_3^-) eller sulfat (SO_4^{2-}).
- Antibiotika:** Ordet er græsk og betyder "mod livet". Forskellige stoffer, der hæmmer eller dræber specifikke organismer. Anvendes ofte til bekæmpelse af mikroorganismer, men kan også ramme planter, parasitter og insekter.
- Antistof:** Protein, der oprenses fra for eksempel kaninblod, efter at kaninen har fået indsprøjet et fremmed protein. Antistoffet er et forsvarstof, som kaninen har lavet for at inaktivere fremmede stoffer. Antistoffer genkender og inaktiverer det fremmede protein ved at binde sig til det.
- Archaea:** Arker, se figur 7.
- Art:** En bakterieart er en afgrænset gruppe af bakterier, der fysiologisk ligner hinanden mere end andre. Ved sammenligning af hele DNA'et har de en lighed på over 70%, mens 16S delen af ribosomet har en lighed på mindst 97%.
- Autotrof:** Organisme, der danner organisk stof ud fra uorganiske kulstofforbindelser som for eksempel kuldioxid eller metan med energi fra sollys eller kemiske reaktioner.
- Bacteria:** Bakterie, se figur 7.
- Bakteriocin:** Antibiotika lignende produkt, som laves af bakterier. I modsætning til antibiotika virker de ikke på store grupper af bakterier, men kun på visse nærtbeslægtede bakterier.
- Bakterievirus:** Virus, der angriber bakterier.
- Bakteriofag:** Andet ord for bakterievirus.
- Baser:** Byggesten i det dobbeltstrengede DNA molekyle, bestående af baserne adenin (A), thymin (T), guanin (G) og cytosin (C), hvor A altid findes overfor T, og G altid findes overfor C. I RNA er thymin erstattet af uracil (U)
- Bælgplanter:** *Fabaceae*, ærteblomstfamilien, f. eks. ærter, bønner, kløver, lucerne, lupin, kællingetand.
- Cellemembran:** Tyndt dobbeltlag af lipidmolekyler, der omslutter en celledre fra det ydre.
- Cellevæg:** En celledre yderste stive struktur, som omslutter og afstiver cellemembranen.
- Cytoplasma:** Cellevæske, hvori alle cellens komponenter flyder rundt.
- Deoxyribonukleinsyre = DNA:** Makromolekyle, der udgør arvematerialet og indeholder koder for gener, som kan udtrykkes i cellen.
- Diversitet:** (= forskellighed) Forholdet mellem antallet af arter og antallet af individer af hver enkelt art.
- DNA:** Deoxyribonukleinsyre.
- Elektroforese:** Teknik til adskillelse af makromolekyler, specielt DNA, RNA og proteiner, på basis af deres elektriske ladning og størrelse.

- Endospore:** Bakterier fra slægten *Bacillus* er bl.a. karakteristiske for at lave en spore inde i den vegetative celle. Endo = inde i.
- Enterotoksiner:** Giftstoffer, som er specifikt giftige overfor tarmceller.
- Enzym:** Protein, der øger hastigheden af en kemisk proces ved spaltning eller dannelse af kemiske forbindelser uden selv at deltage i den kemiske proces.
- Eucarya:** Eukaryote organismer, se figur 7.
- Fagtypning:** Metode, hvormed man kan opdele en bakterieart på baggrund af hvilke bakteriofager (virus), der kan inficere de enkelte bakterier.
- Fakultativt anaerobe:** Organismer, som benytter nitrat (NO_3^-) eller sulfat (SO_4^{2-}) for at danne energi til vækst, men som også kan anvende ilt.
- Familie:** En beslægtet gruppe af slægter.
- Flagel:** En slags rør opbygget af proteiner. Flagellen sidder på ydersiden af cellerne og bruges til bevægelse.
- Fluorescerende:** Evne til at udsende lys af en bestemt bølgelængde ved påvirkning af lys med en anden bølgelængde.
- Fotoautotrof:** Organisme, der danner organisk stof ud fra CO_2 med energi fra sollys.
- Funktion:** De funktioner en bakterie kan udføre i et samfund. Det kan være de forskellige organiske stoffer, de omsætter, samt de stoffer de fikserer, mineraliserer eller ilter.
- Funktionel gruppe:** En gruppe af organismer, der udfører en bestemt funktion.
- Fylogenetisk træ:** Slægtskabstræ baseret på viden om rækkefølgen af baser i for eksempel 16S rRNA molekylet.
- Fysiologi:** Funktioner og aktiviteter af en organisme.
- Gensekvens:** Rækkefølge af basepar i DNA.
- Gram:** Farvemethode til karakterisering af bakteriers cellevæg, som enten kan være Gram-positiv eller Gram-negativ. Se figur 5.
- Habitat:** Den lokalitet, hvor en organisme lever.
- Heterotrof:** Organisme, der danner organisk stof ud fra andet organisk stof.
- Katalase:** Enzym, som nedbryder brintoverilte til vand og ilt.
- Kitinase:** Enzym, der nedbryder kitin, som er en kulhydrat med en kompliceret struktur, der indgår som byggesten i svampes cellevæg.
- Koliforme:** Koliforme bakterier er bakterier, der ligner *E. coli*.
- Kolonier:** En enkelt bakterie, som afsættes på et kunstigt næringssubstrat, kan begynde at dele sig. Efterhånden vil der være så mange bakterier, at de danner en synlig koloni.
- Konjugation:** Overførsel af arvemateriale ved direkte kontakt mellem to bakterier.
- Kvælstoffikserende bakterier:** Bakterier, som kan lave ammonium (NH_4^+) ud fra luftens kvælstof (N_2). F. eks: kan *Rhizobium* bakterier i samspil med bælgplanter forsyne planterne med ammonium, til gengæld for at planterne forsyner bakterierne med føde.
- Leghæmoglobin:** Et jernholdigt rødt pigment i rodknolde, der kan transportere store mængder ilt.
- Miljøfremmede stoffer:** Kemiske stoffer, som mennesket har udledt til miljøet, og som i dag opfattes som uønskede. Det kan f.eks. være olie- og tjærekomponenter i jord, sprøjterester i vand eller tungmetaller i jord eller vand.
- Mitochondrie:** Cellebestanddel hvori respiration foregår. Findes hos alle eukaryote organismer.
- Mutationer:** En ændring i rækkefølgen af basepar i arvematerialet (DNA).
- Mycelium:** Forgrenet vegetativ vækstform hos svampe og *Streptomyces*.
- Nitrogenase:** Nitrogenase er opbygget af to forskellige enzymer, som arbejder sammen om at omdanne N_2 til NH_3 ved kvælstoffiksering i *Rhizobium*-ærteblomst symbiose.
- Orden:** Gruppe af beslægtede familier.
- Oxidase:** Oxiderende enzym med ilt som elektron-acceptor.
- PCR:** Polymerase Chain Reaction, betyder direkte oversat: Polymerase kæde reaktion. Polymerase er et enzym, som kan kopiere DNA. Ved at tilsætte de rette reagenser til PCR er det kun bestemte områder af kromosomet, som bliver kopieret. Ved PCR bliver der typisk lavet 30.000.000 kopier af et stykke DNA. Molekyler i så stort antal kan analyseres ved elektroforese.
- Petriskål:** Rund flad skål med tilhørende låg; udviklet af tyskeren R. J. Petri i 1887. Benyttes i stort omfang ved mikrobiologisk arbejde.
- Plasmid:** Et cirkulært DNA molekyle, hvis tilstedeværelse i cellen er uafhængig af kromosomale

- egenskaber. Desuden bærer plasmider ikke egenskaber som er livsvigtige for cellen, hvilket også afspejles i, at plasmider kan tabes, uden at det har betydning for væksten af bakterien. Derimod kan tab af plasmid have betydning for vekselvirkninger med andre organismer.
- Plasticitet:** Et samfunds evne til og hastighed hvormed det vender tilbage til udgangspunktet efter en forstyrrelse.
- Probiotika:** Ordet "probiotika" er græsk og betyder "for livet". Mikrobielle probiotika er naturligt forekommende gode bakterier, som kan findes i mave-tarm kanalen hos mennesker og dyr, og som påvirker værtsdyret/mennesket ved at forbedre tarmfloraens balance.
- Protein:** Proteiner laves i ribosomerne og er opbygget af aminosyrer.
- Resistensgener:** Gener, hvis produkter gør organismen resistent, typisk over for antibiotika eller tungmetaller. Generne findes ofte på plasmider, som relativt nemt overføres mellem bakterier.
- Respiration:** Ånding.
- Ribonukleinsyre = RNA:** Makromolekyle, der dels indgår i dannelse af proteiner, dels indgår i ribosomer (rRNA), dels fungerer som budbringer (mRNA) fra gener til ribosomer, og oversætter koderne i DNA (tRNA).
- Ribosom:** Opbygget af RNA og proteiner. I ribosomerne "oversættes" arveanlæggenes information til proteiner.
- RNA:** Ribonukleinsyre.
- Rodknold:** En udvækst på roden af en plante fra ærteblomstfamilien, hvori der foregår kvælstoffiksering.
- Samfund:** Alle organismer tilstede i en habitat.
- Samfundsstruktur:** Antallet af forskellige arter tilstede i en habitat.
- Serotypning:** Karakterisering af bakterier ved hjælp af antistof.
- Slægt:** En beslægtet gruppe af arter.
- Spore:** Hvilestadium for Gram-positive bakterier. Sporer er modstandsdygtige overfor blandt andet varme, tørke og UV-lys.
- Stamme:** En art eller underart består af mange forskellige bakterier, som betegnes stammer.
- Symbiose:** Betyder "at leve sammen". Når to organismer af forskellig art lever sammen til gavn for begge organismer.
- Tarmepithelceller:** En type celler, der udgør overfladen af tarmvæggen.
- Tokimbladet:** Planter hvis frø spirer med to kimblade, i modsætning til f.eks. græsser som kun har ét kimblad.
- Transduktion:** Overførsel af DNA mellem bakterier ved hjælp af bakterievirus.
- Transformation:** Optagelse af frit DNA fra omgivelserne.
- Underart:** En bakterieart, som yderligere er opdelt i underart efter serotype, fagtype eller fysiologiske karakteristika som er fælles for en delmængde af bakteriearten.
- Vegetative celler:** Celler som vokser og deler sig.
- Verotoksin:** Et giftstof som er kendetegnet ved giftighed overfor Veroceller. Veroceller er celler, der stammer fra en abenyre og som kan dyrkes i laboratoriet.
- Virulens:** Egenskab som gør en organisme i stand til at forårsage sygdom.
- Virus:** Partikel, der indeholder DNA eller RNA, og som kun kan dele sig ved at snylte inde i en anden organisme.

DMU

Danmarks Miljøundersøgelser er en forskningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.

Henvendelse kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

Danmarks Miljøundersøgelser

Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tlf. 4630□1200
Fax 4630□114

Direktion

Personale- og Økonomisekretariat
Forsknings- og udviklingssektion
Afd. for Systemanalyse
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Miljøkemi
Afd. for Havmiljø
Afd. for Mikrobiel Økologi og Bioteknologi
Afd. for Arktisk Miljø

Danmarks Miljøundersøgelser

Vejlsøvej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tlf. 8920□1400
Fax 8920□1414

Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Vandløbsøkologi
Afd. for Sø- og Fjordøkologi

Danmarks Miljøundersøgelser

Grenåvej 12, Kalø
8410 Rønde
Tlf. 8920□1700
Fax 8920□1514

Afd. for Landskabsøkologi
Afd. for Kystzoneøkologi

Publikationer

DMU udgiver temarapporter, faglige rapporter, arbejdsrapporter, tekniske anvisninger, årsberetninger samt et kvartalsvis nyhedsbrev, DMUNyt. En oversigt over DMU's publikationer og aktuelle aktiviteter kan findes på DMU's hjemmeside. Årsberetning og DMUNyt er gratis.

Tidligere TEMA-rapporter fra DMU



- | | | | |
|---------|--|---------|--|
| 1/1994 | Kvælstof tilførsel til Limfjorden
<i>Brian Kronvang m.fl., 16 sider. Udsolgt.</i> | 17/1998 | Olieeftersforskning og miljø i Vestgrønland
<i>David Boertmann m.fl., 56 sider, kr. 80,-.</i> |
| 2/1994 | Luftforurening i danske byer,
<i>Kåre Kemp m.fl., 42 sider, kr. 100,-.</i> | 18/1998 | Bilisme og miljø – en svær balance
<i>Mette Jensen m.fl., 48 sider, kr. 60,-.</i> |
| 3/1995 | Ozon som luftforurening
<i>Jes Fenger, 48 sider, kr. 80,-.</i> | 19/1998 | Kemiske stoffer i landbruget
<i>John Jensen m.fl., 32 sider, kr. 40,-.</i> |
| 4/1996 | Tungmetaller i danske jorder,
<i>John Jensen m.fl., 40 sider, kr. 100,-.</i> | 20/1998 | Naturen og landbruget
<i>Rasmus Ejrnæs m.fl., 76 sider, kr. 100,-.</i> |
| 5/1996 | Forureningsbekæmpelse med mikroorganismer
<i>Ulrich Karlson m.fl., 32 sider. Udsolgt.</i> | 21/1998 | Skov og skovvandløb
<i>Nikolai Friberg, 32 sider, kr. 40,-.</i> |
| 6/1996 | Status og jagttider for danske vildtarter
<i>Jesper Madsen m.fl., 112 sider, kr. 110,-.</i> | 22/1998 | Hvordan står det til med naturen?
<i>Michael Stoltze, 76 sider, kr. 100,-.</i> |
| 7/1996 | Naturens tålegrenser for luftforurening
<i>Morten Strandbjerg og Lisbeth Mortensen, 40 sider, Kr. 60,-.</i> | 23/1998 | Gensplejede planter
<i>Christian Damgaard m.fl., 40 sider, kr. 60,-.</i> |
| 8/1996 | Anskydning af vildt
<i>Henning Noer m.fl., 52 sider, kr. 80,-.</i> | 24/1999 | Danske søer og deres restaurering
<i>Martin Søndergaard m.fl., 36 sider, kr. 50,-.</i> |
| 9/1996 | Kvælstofbelastning af havmiljøet
<i>Henrik Paaby og Flemming Møhlenberg, 40 sider, Kr. 60,-.</i> | 25/1999 | Tropisk diversitet - skov og mennesker i Ecuador
<i>Flemming Skov m.fl., 56 sider, kr. 80,-.</i> |
| 10/1996 | Havets usynlige liv
<i>Åke Hagström m.fl., 33 sider, kr. 50,-.</i> | 26/1999 | Bekæmpelsesmidler - anvendelse og spredning i miljøet
<i>Betty Bügel Mogensen m.fl., 48 sider, kr. 60,-.</i> |
| 11/1997 | En atmosfære med voksende problemer..., luftforureningens historie
<i>Jes Fenger, 64 sider, kr. 90,-.</i> | 27/1999 | Giftige alger og algeopblomstringer
<i>Hanne Kars m.fl., 64 sider, kr. 80,-.</i> |
| 12/1997 | Reservatnetværk for vandfugle
<i>Preben Clausen m.fl., 52 sider, kr. 80,-.</i> | 28/1999 | Dyreplankton i danske farvande
<i>Torkel Gissel Nielsen, m.fl., 64 sider, kr. 80,-.</i> |
| 13/1997 | Næringsstoffer – arealanvendelse og naturgenopretning
<i>Brian Kronvang m.fl., 40 sider, kr. 60,-.</i> | 29/1999 | Hvor kommer luftforureningen fra? Fakta om kilder, stoffer og udvikling...
<i>Jytte Boll Illerup m.fl., 32 sider, kr. 40,-.</i> |
| 14/1997 | Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler i planteproduktion – muligheder og risici
<i>Niels Bohse Henriksen m.fl., 28 sider, kr. 40,-.</i> | 30/1999 | Bundmaling til skibe - et miljøproblem
<i>Signe Foverskov m. fl., 48 sider, kr. 60,-.</i> |
| 15/1997 | Kemikalier i hverdagen
<i>Suresh C. Rastogi m.fl., 40 sider, kr. 60,-.</i> | 31/2000 | CO ₂ - Hvorfra, hvorfor, hvor meget?
<i>Jes Fenger, 40 sider, kr. 40,-.</i> |
| 16/1997 | Luftkvalitet i danske byer
<i>Finn Palmgren m.fl., 64 sider, kr. 90,-.</i> | 32/2000 | Risiko og usikkerhed - Miljø og fødevarer
<i>Hans Løkke, 52 sider, kr. 50,-.</i> |

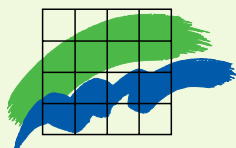
De enkelte hæfter i serien beskriver resultaterne af DMU's forskning inden for et afgrænset område. Rapporterne er skrevet på letforståeligt dansk og henvender sig til alle, der er interesseret i miljø og natur. Serien er udformet, så den kan bruges i undervisningen i folkeskolens ældste klasser og i gymnasiet.

Bakterier findes alle vegne i miljøet omkring os, i vores fødevarer, i drikkevand og inden i og uden på levende organismer. En verden uden bakterier er umulig at forestille sig. Bakterier udfører mange nødvendige og gavnlige funktioner, og der forskes i disse år meget i mulighederne for at anvende bakterier som bekæmpelsesmidler og plantevækstfremmere, til forebyggelse af sygdomme og til produktion af fødevarer og medicin. Bakterier har dog også en række skadelige virkninger og kan forårsage massedødsfald.

Formålet med denne temarapport er at give et indblik i den store artsrigdom blandt bakterier og anskueliggøre, at denne artsrigdom er en stor fordel for menneskeheden og miljøet. Endelig er det målet, at pege på nogle områder, hvor bakterier kan være til stor nytte.

Omslagsillustrationen viser mikroskopiske kolonier af bakterier farvet med forskellige fluorescerende farvestoffer.

Foto: DMU/Anne Winding.



Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

