

Et oversigtsbillede af rodtårnene. Foto: Anne-mette Lyhne-Kjærbye

# MIKROORGANISMER I DYBE JORDLAG

## Forfatterne



Mette Haubjerg Nicolaisen er Lektor i Mikrobiel Økologi ved Københavns Universitet  
meni@plen.ku.dk



Annemette Lynhne-Kjærbye er tidligere ph.d.-studerende på forskningsprojektet Deep Frontier  
annemette\_lk@hotmail.com



Frederik Bak er postdoc i Mikrobiel Økologi ved Københavns Universitet  
f.bak@plen.ku.dk

**Ny forskning giver indsigt i de hidtil udforskede bakterie- og svampesamfund i jorden, der findes i 2-5 meters dybde. De kan blive vigtige spillere i en fremtid med bæredygtig planteproduktion, hvor afgrøder med dybe rødder ses som en del af løsningen.**

**L**andbruget er under stort pres for at kunne brødføde en stadigt voksende verdensbefolkning. Allerede i 1990 var klodens samlede dyrkbare areal fuldt udnyttet, hvilket medfører, at vi er nødt til at øge afgrødeudbyttet på de eksisterende landbrugsarealer for at kunne opfylde FN's 2. verdensmål om at stoppe sult. Verdensmålet indeholder yderligere mål om at fremme bæredygtigt landbrug, hvilket inklu-

derer et stigende pres for at reducere forbruget af gødning, pesticider og vand i landbruget. Som det blev beskrevet i Aktuel Naturvidenskab nr. 4/2020 er et af flere bæredygtige alternativer, der i disse år udforskes, brugen af afgrøder, der er i stand til at sætte rødder ned under 1-2 m, som er den dybde de mest almindelige nuværende kornafgrøder sætter rødder ned til. Planter med dybe rødder kan nå længere ned efter vand og næringsstoffer

og derved udnytte ressourcer fra et væsentligt større jordvolumen og derved blive mindre udsatte under tørke og næringsstofmangel.

## **Planters samspil med mikroorganismer**

Fra studier af afgrøder såsom byg og hvede ved man, at der er et tæt samspil mellem planter og mikroorganismer, og at dette samspil er vigtigt for at opnå optimal sundhed og vækst af afgrøderne. Mikroor-



Fotos: Annemette Lynne-Kjærbye

Det er muligt at tage prøver af jorden og rødderne i rodtårnene ved at fjerne de hvide plader og bagvedliggende plexiglasruder.

## Rodtårne, et unikt anlæg

Rodtårnene er en facilitet, som er etableret under Deep Frontier projektet, og de består af 12 store kasser, der er 4 meter høje. På midten er de delt op, så hver kasse består af to kamre, der er 0,3 m × 1,2 m × 4 m. Rodtårnene er fyldt med et muldlag og to forskellige typer underjord. Rodtårnene er placeret udendørs og har et drypvandingssystem, der gør det muligt at vande i tørre perioder, lige som det er muligt at sætte tage over tårnene for at undgå nedbør. Vandet kan dræne væk fra bunden af tårnene, så der ikke opstår iltfrie forhold. I fire forskellige dybder er der placeret vandsensorer, der bestemmer vandindholdet i jorden. Forsiden af rodtårnene er opdelt i 20 paneler. Her kan en hvid plade køres væk, og bag hvert panel finder man en plexi-

glasrude, der gør det muligt at se rødderne i jorden. Plexiglasruden kan også fjernes og give direkte adgang til jorden, sådan at der kan tages prøver af jorden og rødderne, ligesom det er muligt at tilføre sporstoffer til jorden for derefter at bestemme optaget i planternes overjordiske dele.

Rodtårnene er ikke en mark, og planterne gror ikke under naturlige forhold. Både jordprofil og temperaturforhold i jorden er anderledes end i marken, men rodtårnene er en helt unik facilitet, der har muliggjort detaljerede studier af røddernes udvikling, fordeling og funktion helt ned i 4 meters dybde i gentagelser og under forhold, der minder om naturlige.

Tekst efter Dorte Bodin Dresbøll og Kristian Thorup-Kristensen, Dybe rødder... AN nr. 4/2020.

ganismer vokser både på plantens grønne dele (kaldet fylosofære), inde i planten (endosofer) samt omkring rødderne (rhizosofer). Det tætte samspil mellem planten og de associerede mikroorganismer har ført til, at man er begyndt at se planten og de tilhørende mikroorganismer som én samlet organisme, der skal optimeres for at opnå maksimalt udbytte.

Den største mængde af plante-associerede mikroorganismer findes omkring rødderne. Det skyldes, at planter udskiller kulstof via rødderne til den omgivende jord, hvilket gør rodzonen til et hotspot for interaktionerne mellem planter og mikroorganismer. Kulstoffet udskilles i form af sukkerstoffer, aminosyrer, fedtsyrer og mange andre mindre

molekyler, heriblandt antimikrobielle stoffer. S sammensætningen af kulstoffet ændrer sig med plantens alder, fysiologisk tilstand samt miljømæssige forhold.

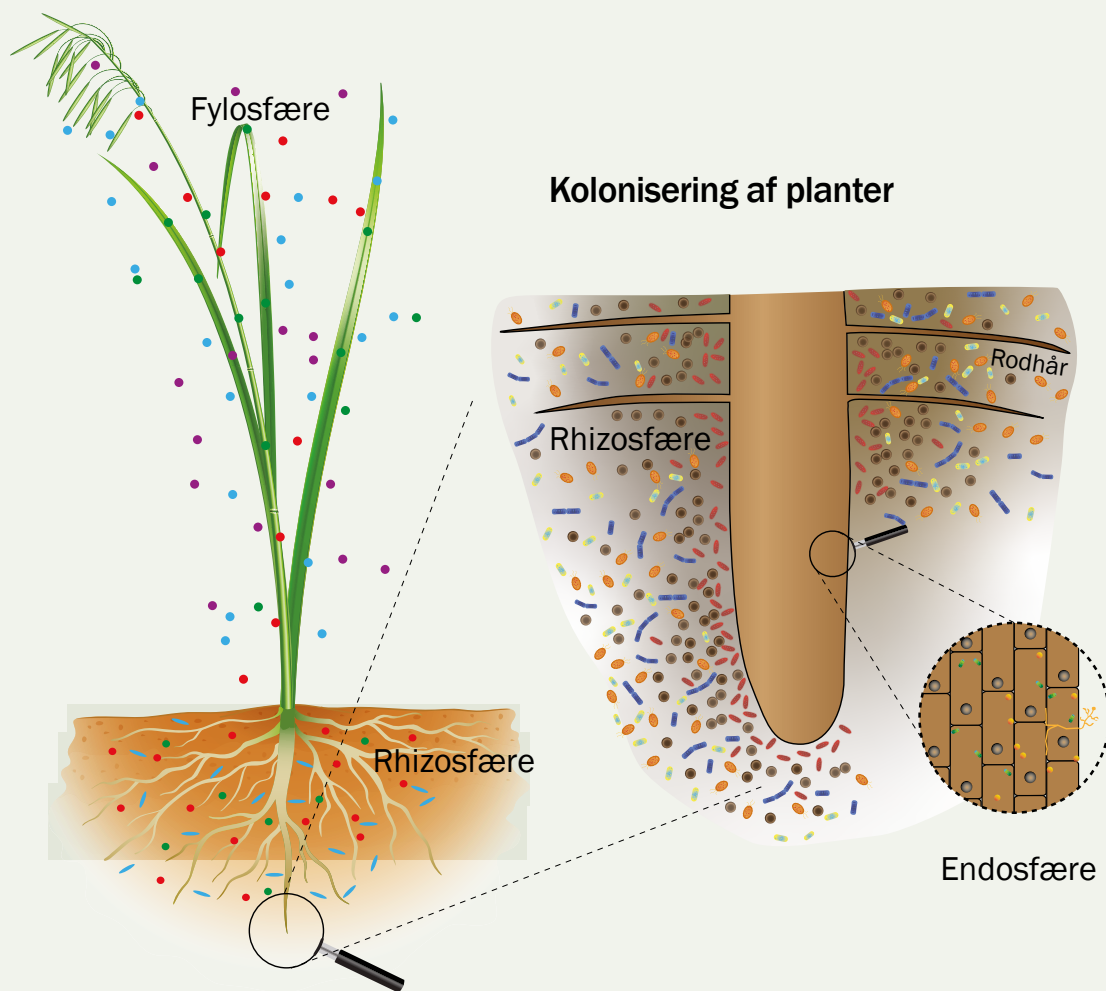
Plante-associerede mikroorganismer er blevet studeret gennem de seneste hundrede år, men fokus har hovedsageligt været på specifikke mikroorganismer og deres interaktion med planten. Der har naturligt været stor fokus på sygdomsfremkaldende mikroorganismer, men også organismer med gavnlige funktioner, der naturligt lever i rodzonen er blevet grundigt studeret. Ud over at hjælpe planten med at optage næringsstoffer fra jorden, kan de gavnlige mikroorganismer producere plantehormonlignende stoffer, som påvirker

plantens vækst positivt, de kan hjælpe planten under tørke, eller de kan beskytte planten direkte eller indirekte mod sygdomsfremkaldende organismer.

### Samspil må studeres i naturlige systemer

Gennem det seneste årti er vi blevet i stand til at studere den bredere sammensætning af de mikrobielle samfund i rodzonen ved hjælp af teknikker, som på baggrund af DNA-sekvenser udvundet fra en prøve kan sige noget om, hvilke organismer der findes i prøven. Studier har vist, at de mikrobielle samfund er yderst dynamiske og blandt andet påvirkes af ændringer i det kulstof, som udskilles fra plantens rødder. Brugen af molekylære metoder har yderligere vist,





Planter er koloniseret af mikroorganismer på de overjordiske (grønne; fylosfære) dele, de underjordiske dele (rødderne; rhizosfære), samt inde i planterne (endofyter). Specielt rødderne er et hotspot for kolonisering, da planterne udskiller energirige kulstofforbindelse fra rødderne, som mikroorganismene kan leve af.

Zonen omkring rødderne, som er påvirket af disse kulstofforbindelser, kaldes rhizosfæren. Den strækker sig fra et par millimeter op til cirka 1 centimeter fra roden og ud i den omgivende jord, blandt andet afhængig af antallet af rodhår. De mikroorganismer, der koloniserer planten, kan være:

- 1) sygdomsfremkaldende, og dermed have en negativ effekt på plantens ydeevne;
- 2) neutrale i forhold til plantevækst, det vil sige, at de lever i tæt fysisk kontakt med planterne, men har ingen direkte effekt på plantens sundhed;
- 3) gode, og hjælpe planten med at modstå næringsbegrænsning, sygdomsangreb samt tørke og andre udefrakommende forhold, som kan skade plantens sundhed og vækst.

Sammensætningen af mikroorganismer omkring planternes rødder er dermed en afgørende faktor for, hvor godt planten har det.

at den mikrobielle diversitet omkring rødderne er kraftigt reduceret i forhold til den diversitet, man finder ude i den omgivende jord, samt at specifikke grupper af mikroorganismer ofte er overrepræsenterede i rodzonen. Hvilke organismer, der koloniserer rodzonen, er yderligere afhængig af jordens beskaffenhed, hvordan den bearbejdes, og hvordan der gødskes.

Dette har ført til en erkendelse af nødvendigheden af at gå fra en-til-en systemer til at studere disse in-

teraktioner i naturlige systemer, da observationer fra en-til-en studierne sjældent genfindes under mere komplekse forhold.

### Svær adgang til prøvemateriale

En vigtig del af at udvikle dyrkningssystemer, som understøtter dyb rodvækst, er derfor at forstå interaktionerne mellem planter og mikroorganismer i hele rodzonen. Da det mikrobielle rekrutteringsgrundlag er den omkringliggende jord, er det derfor også en forudsætning, at vi har en forstå-

else af de mikroorganismer, der lever i den dybe jordmatrix. På nuværende tidspunkt er der dog kun meget begrænset viden om mikrobiologien i dybere jordlag – både generelt og i forbindelse med rodkolonisering af afgrøder. Dette skyldes hovedsageligt, at det er svært at få adgang til at indsamle jord og rodmateriale fra dybe jordprofiler på landbrugsarealer. Studier har vist, at der under pløjelaget (øverste 25 cm) er en væsentlig heterogenitet i jorden, og kulstofmængden i jorden under





pløjelaget falder drastisk med dybden. Derudover er der også andre ilt- og næringsforhold i dybere jordlag, hvilket gør at de mikrobielle samfund, der findes i de dybere jordlag, forventes at have en anden sammensætning samt have en anderledes fysiologi. Hvorvidt det har indflydelse på det mikrobielle samfund, der koloniserer afgrøders dybe rødder, er uvist.

### Nyt indblik i underjordens mikrobiologi

Gennem projekterne Genopore og Deep Frontier har vi haft muligheden for at få et første indblik i mikrobiologien i jorde ned til 5 meters dybde, både i jordmatrixen samt omkring dybe rødder. Vi har taget prøver under landbrugsjord i Danmark, og desuden har vi brugt et unikt anlæg på Københavns Universitet til at studere, hvilke mikroorganismer der koloniserer rødderne af potentielle fremtidige

afgrøder som Kernza (en flerårig kornafgrøde), Silphium (en energiafgrøde i familie med skålplante) og lucerne med rodvækst ned til mere end 3 meters dybde.

Baseret på DNA udvundet fra jordprøverne har vi bestemt hvilke bakterier, der var tilstede, og i hvilke mængder. I projektet Genopore så vi, at der var et markant fald i mængden af bakterier samt diversitet ned gennem jordprofilen. Det interessante var dog, hvor stor heterogeniteten var ved forskellige dybder. Heterogeniteten skyldes dybe regnormegange og sprækker i jorden med højere antal og større diversitet af mikroorganismer end i den omkringliggende jord. Sammensætningen af bakterier i regnormegangene og sprækkerne var også markant anderledes end i jordmatrixen og afspejlede de forskellige fysisk-kemiske forhold i disse habitater.

### Målrettet rekruttering af mikrober til plantens overflade

I Deep Frontier fandt vi som forventet, at Kernza, Silphium og lucerne rekrutterede forskellige samfund af bakterier både i pløjelaget og den dybe jord. Det var derimod interessant, at selvom der for de forskellige arter ikke var den store forskel på antallet af mikroorganismer, der koloniserede rødderne ned til cirka 3 meters dybde, så var der et markant fald i diversiteten med dybden. Det skyldes formentlig, at der er meget lidt kulstof tilgængeligt i jordmatrixen under pløjelaget, hvor rødderne skal rekruttere mikroorganismer fra, og de derfor ikke er tilpasset et liv i et rodzone "hotspot". Studiet viste yderligere, at sammensætningen af de mikrobielle samfund var markant anderledes i rodzonen i de dybe jordlag sammenlignet med de mikrobielle samfund, som koloniserede rødderne i pløjelaget.

Udgravning ned til 5 meters dybde. Prøver til karakterisering af mikrobielle samfund i jordmatrixen, regnormegange og sprækker blev taget fra udgravningens sider.

Foto: Frederik Bak



## Mere information

Deep Frontier er et samarbejde mellem Københavns Universitet, Aarhus Universitet samt ICROFS, Internationalt Center for Forskning i Økologisk Jordbrug og Fødevarer-systemer. Projektet er finansieret af Villumfonden. Se mere på [www.deepfrontier.org](http://www.deepfrontier.org)

Genopore er et samarbejde mellem Københavns Universitet og GEUS. Projektet er finansieret af De Frie Forskningsråd.

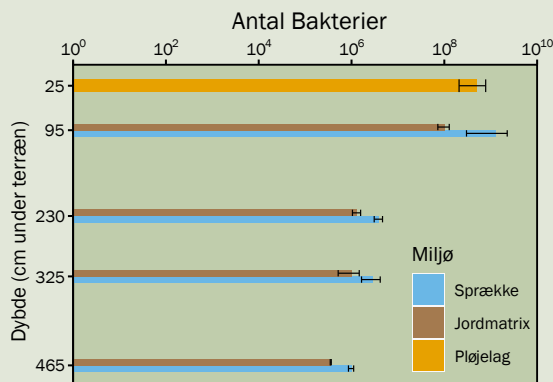
*Dybe rødder – et spadedyg tættre på bæredygtig produktion?* Aktuell Naturvidenskab nr. 4/2020.

Bak et al. (2019) *Preferential flow paths shape the structure of bacterial communities in a clayey till depth profile*. FEMS Microbiology Ecology, Vol. 95, No. 3

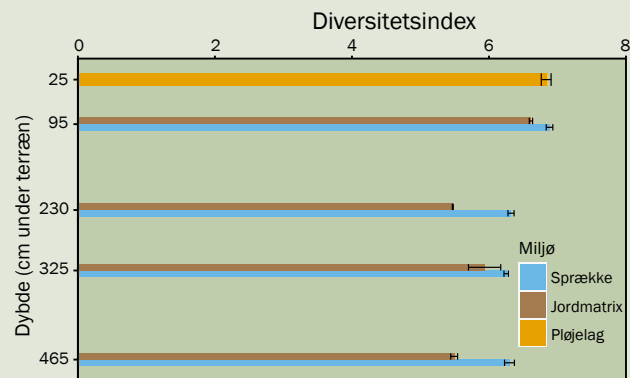
Thorup-Kristensen et al. (2020) *Digging Deeper for Agricultural Resources, the Value of Deep Rooting* Trends in Plant Science, Vol. 25, No. 4

## Diversitet samt antal af bakterier ned gennem en jordprofil:

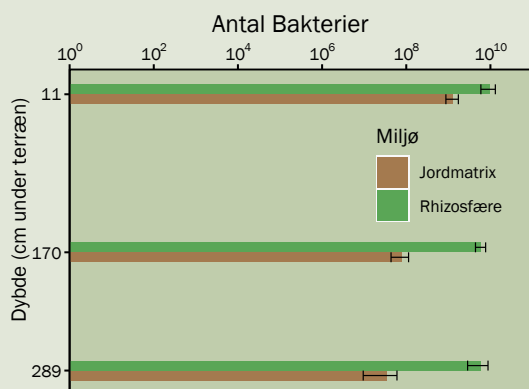
Antallet af bakterier ned gennem jordprofilen er målt ved at "tælle" antallet af et specifikt gen, som findes i alle bakterier, og som koder for en vigtig komponent (kaldet 16S ribosomalt RNA) i det maskineri, der oversætter gener til proteiner i cellen. Diversiteten af bakterier er baseret på et indeks – kaldet Shannon-indeks – som inkluderer både antal arter og arternes forekomst. Jo højere Shannon-indeks, des højere diversitet for det givne bakteriesamfund.



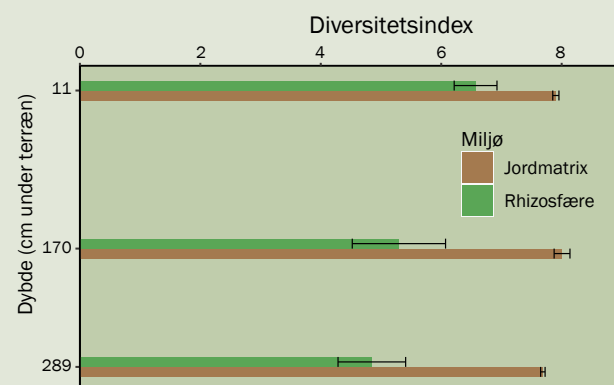
A: Antal bakterier ned gennem en jordprofil målt både i jordmatrix samt i sprækker. Det ses, at antallet af bakterier er lavere i de dybe jordlag. Der er dog selv i de dybe jordlag et højere antal bakterier i sprækkerne sammenlignet med den omgivende jordmatrix. Dette tyder på et højere næringsindhold i sprækkerne i forhold til den omgivende jordmatrix, formentlig tilført via aflejringer ved nedsivning af regnvand gennem jorden.



B: Diversiteten af bakterier i sprækkerne forbliver høj ned gennem jordlagene sammenlignet med den omgivende jordmatrix. De dybe jordlag har dog overordnet en lavere diversitet end de øverste jordlag. Dette indikerer, at der ud over at være mere næring i sprækkerne også er en kompleks sammensætning af den tilgængelige næring.



C: Antallet af bakterier, der lever omkring rødder, ændrer sig ikke væsentligt ned gennem jordlagene til trods for, at der er et væsentligt fald i det antal bakterier, jo længere ned i underjorden man kommer. Dette kan tilskrives, at rødderne helt ned i de dybeste jordlag udskiller kulstof til den omgivende jord og dermed næring til mikroorganismerne.



D: Selvom der er det samme antal bakterier omkring de dybe rødder, som man finder i de øvre rødder, så er diversiteten af de samfund, man finder omkring rødderne, faldende ned gennem jordprofilen. En mulig forklaring på det er, at der formentlig er en mindre andel af de bakterier, som lever i de dybe jordlag, der er tilpasset livet omkring rødderne.

Det tyder på, at rødderne rekrutterer specifikke mikroorganismer fra den omgivende jordmatrix. I et supplerende forsøg med cikorie fandt vi, at både rekruttering af mikroorganismer fra forskellige jordlag og transport af mikrobielle samfund med rødderne ned gennem jordmatrix var vigtige. Ud over at give en basal forståelse af systemerne, er dette resultat af

interesse for en eventuel udvikling af mikrobielle produkter, der kan hjælpe planterne med for eksempel næringsoptag fra dybe jordlag for at opnå stabil produktion.

### Et springbræt for ny forskning

Resultaterne fra disse studier giver ny indsigt i de udforskede bakteriesamfund, der er i dybe jordlag, og som koloniserer afgrøder med

dybe rødder. Resultaterne er et springbræt for ny forskning, der skal udvide vores viden om interaktionen mellem mikroorganismer og rødder i dybden. De kommende år vil dermed vise, hvordan planternes vækst og sundhed påvirkes af disse interaktioner i specifikke jordtyper, og hvordan dette kan udnyttes i optimerede dyrkningssystemer.