



DYBE RØDDER

– et spadestik tættere på bæredygtig produktion?

Foto: Københavns Universitet

Forfatterne



Dorte Bodin Dresbøll er lektor i afgrødevidenskab ved Københavns Universitet. Hun forsker i rodvækst og ressourceoptag især fra dybe jordlag. dbdr@plen.ku.dk,



Kristian Thorup-Kristensen er professor i afgrødevidenskab ved Københavns Universitet. Han forsker i bæredygtige dyrkningssystemer og rodvækst. ktk@plen.ku.dk

Afgrøder med dybe rødder kan hente både vand og næring i dybere jordlag, og flere afgrøder med dybe rødder i landbrugsproduktionen kan derfor hjælpe med at udnytte ressourcerne bedre.

Det har forskere kigget nærmere på i DeepFrontier-projektet, hvor de har udviklet helt nye faciliteter til at studere dybe rødder.

Der er stor global fokus på, hvordan vores landbrugsproduktion bliver mere bæredygtig. Udviklingen af en mere bæredygtig produktion kan angribes fra mange vinkler, og en af dem er at fremme afgrøder med dyb rodvækst. Med dyb rodvækst får afgrøderne nemlig adgang til større mængder af vand og næringsstoffer fra jorden og bliver dermed mindre afhængige af, at vi tilfører vand og gødning i landbruget. Hvis afgrøderne kan optage næringsstoffer fra dybere jordlag, kan udvaskningen af især nitrat til grundvand og det omgivende miljø reduceres. Og hvis planterne kan

udnytte vand fra dybere jordlag, kan de i højere grad udnytte vand fra vinterens overskudsnedbør til deres vækst om sommeren og dermed være bedre tilpassede til de højere temperaturer og hyppigere tørkeperioder, vi forventer med de globale klimaændringer.

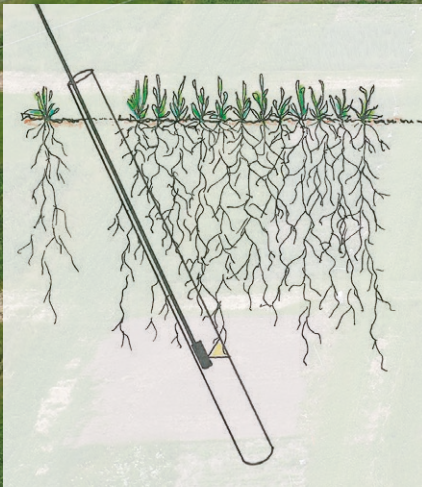
Der er altså mange gode grunde til at interessere sig for, om vi kan fremme den dybe rodvækst hos landbrugsafgrøderne. For at gøre det, har vi brug for langt mere viden om, hvilke afgrøder der har den bedste evne til at vokse dybt ned i jorden, og hvilke forhold omkring dyrkning, klima og jordbunden der

især påvirker den dybe rodvækst. Vi skal også forstå de dybe rødders funktion bedre: Hvilke ressourcer hjælper de især planterne til at få fat på, og hvordan bidrager det til planternes vækst, udbytte og samlede næringsstofudnyttelse?

Rodvækst er altid en besværlig side af plantevækst at arbejde med, fordi de tynde rødder er skjult i jorden og svære at observere og måle på. Netop fordi det er udfordrende at studere rødder, er der lavet alt for få undersøgelser af planternes rodvækst og funktion i dybe jordlag. Det forsøger vi at gøre noget ved i DeepFrontier-projektet (finansieret af

Baggrund: Luftfoto af vores markfacilitet, DeepRootLab, hvor vi har installeret minirhizotroner til 5 meters dybde og in-growth cores, som ses længst til højre.

Foto: Eusun Han,
Tegning: Irene Skovby Rasmussen.



Skitse af minirhizotroner.



Installation af in-growth-core i marken.



Udstyr til In-growth-cores

Metoder til at studere dybe rødder

Minirhizotroner

Minirhizotroner er en velkendt teknik, som kan bruges til at måle røddernes vækst, fordeling og dybde. Metoden går ud på at installere lange plexiglasrør i jorden, føre et kamera ned i rørene og tage billeder af de rødder, der rammer rørenes overflade. På den måde kan man følge røddernes udvikling over tid uden at tage destruktive prøver. De mange billeder, der bliver taget på denne måde, kan analyseres ved hjælp af et nyt program vi har udviklet til billedanalyse. Det er baseret på et neuralt netværk, som efter en kort manuel træning automatisk kan bestemme den totale rodlængde.

Vandoptag

Røddernes vandoptag måler vi blandt andet med vandsensorer (TDR-sensorer, time domain reflectometer) i jorden, der løbende måler jordens vandindhold. På den måde kan vi estimere planternes vandoptagelse ved at følge udtørringen af jordlagene. En anden metode er at injicere tungt vand $^2\text{H}_2\text{O}$ i en bestemt dybde. Herefter kan transpirationsvandet opsamles ved at sætte en plastikpose over planten og samle det kondensvand, der sætter sig på indersiden af posen, når planten transpirerer. Ved efterfølgende at analysere det opsamlede vand for $^2\text{H}_2\text{O}$ kan man måle, om rødderne i forskellige dybder er i stand til at tage vand op og transportere det til de overjordiske dele.

In-growth-cores

Er vi ikke kun interesseret i røddernes fordeling, men også optagelse af vand og næring, er der brug for andre metoder. Vi har blandt andet udviklet et system, hvor jordprøver kan sættes ned i jorden gennem et rør, der giver adgang til jorden i forskellige dybder. Når jordprøven er placeret, kan planternes rødder vokse ind i prøven. Tilføres jordprøven isotoper som ^{15}N eller sporstoffer som rubidium, cæsium eller litium, der optages analogt med væsentlige makronæringsstoffer som calcium og kalium, bliver det muligt at bestemme røddernes aktivitet i en bestemt dybde ved at måle på det overjordiske optag.

Villumfonden), hvor vi arbejder med dyb rodvækst hos især landbrugsafgrøder. Planterne har nogle kraftige rødder, som man kan se, hvis man graver en plante op, men de rødder, der især optager næringsstoffer, er meget tynde, typisk kun omkring 0,1 til 0,5 mm i diameter. Det er naturligvis ekstra udfordrende at studere de tynde rødder dybt i jorden, som i DeepFrontier-projektet, hvor

vi fokuserer på rodvækst i jordlag fra 2 til 5 meters dybde.

Hvad er dyb rodvækst?

Der findes ingen definition af, hvad dyb rodvækst er, og i den videnskabelige litteratur bruges mange forskellige grænser. Det er blevet foreslået at bruge 1 meter som grænsen for dyb rodvækst generelt, og det kan give god mening i den

store sammenhæng. Der er store forskelle på, hvor dybt forskellige planter rødder kan gro ned i jorden: En del planter når sjældent en meters dybde, mens verdensrekorden i målt rodtybde er på hele 68 meter. Men grænsen på 1 m giver god mening, både fordi 1 m udgør en grænse i vores viden, rigtig mange studier af rodvækst og funktion har ikke målt dybere end det, og

Figuren er tilpasset fra Thorup-Kristensen and Kirkegaard, 2016.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcw122>

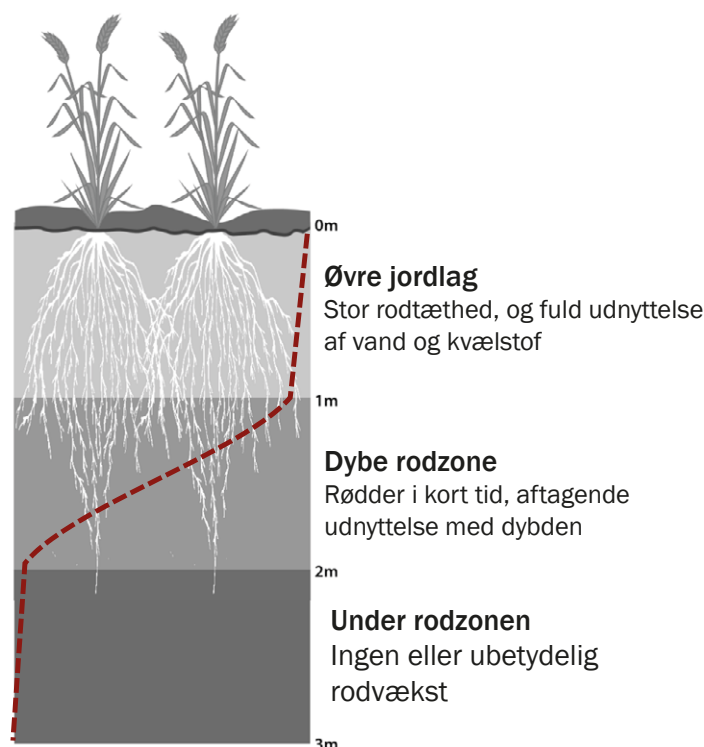


Illustration af rodzonen og dyb rodvækst. Dybderne passer nogenlunde med vinterhvede med fuld udnyttelse af vand og kvælstof til cirka 1 meters dybde og derefter aftagende rodthæthed og udnyttelse imellem 1 og 2 meters dybde. Fokus i projektet er på de dybere jordlag: Kan vi øge vækst og udnyttelse i den dybe del af rodzonen, og kan vi flytte bunden af rodzonen længere ned, og dermed øge den samlede udnyttelse af ressourcer fra dybe jordlag?

fordi mange af vores landbrugsafgrøder med deres korte vækstsæson ofte når roddybder på et sted imellem 0,5 og 2,5 meters dybde. Forenklet kan vi sige, at hvis vi kan måle dybere end 1 m, får vi ny viden om dybe rødder, og kan vi øge landbrugsafgrødernes rodvækst og rodaktivitet under en meters dybde, opnår vi bedre udnyttelse af ressourcerne.

Det biologiske potentiale for dyb rodvækst er stort – især hos flerårige planter. Blandt træer og buske har en række studier vist eksempler på rodvækst ned til 5-10 meters dybde eller mere, men i mange tilfælde begrænses den faktiske rodudvikling af forholdene i underjorden. Vores samlede viden om, hvor dybt planterødder vokser i praksis, er ret begrænset. For dyrkede afgrøder er roddybden især styret af to faktorer – dels hvor hurtigt, de gror ned gennem jorden, og dels hvor lang tid, de har til deres rodvækst. I landbrug er roddybden derfor generelt væsentligt mindre end i naturlige plantebestande. Vores mange enårige afgrøder vokser simpelt hen i for kort tid til at kunne nå at udvikle rigtigt dybe rødder.

Dyb rodvækst kan også forstås i forhold til rodfunktion, ikke bare den faktiske dybde. I de øverste jordlag, hvor næringsstoffer tilføres med gødning og frigives ved omsætningen i jorden, kan næsten alle afgrøder opnå en høj rodthæthed og effektivitet. I de jordlag er optagelsen af vand og næringsstoffer høj, og rodvæksten normalt ikke begrænsende for optagelse. Længere nede i jorden er rodvæksten ofte den begrænsende faktor: I den dybeste del af rodzonen er der få rødder, de er kun aktive i en kort periode, og ofte uensartet fordelt. Endnu længere nede er der jordlag, som nogle afgrøder kan nå, andre ikke. Vores fokus på dybe rødder handler om at øge forståelsen og dermed forbedre udnyttelsen af vand og næringsstoffer fra de dybe dele af jorden, hvor afgrødernes rodvækst ellers er begrænsende for udnyttelsen eller helt fraværende.

Dybe rødder – hvordan?

Afgrøders rodvækst afhænger af både biotiske og abiotiske faktorer, men vigtigst for røddernes dybde er som nævnt planteartens genetiske potentiale og udviklingstiden. Så det er her, vi skal sætte ind, hvis vi for alvor skal have dybere rødder

i vores dyrkningssystemer. Det er først og fremmest artsvalget, der er afgørende. Afgrøder med langsom rodvækst eller kort vækstsæson, for eksempel løg eller salat, kan have svært ved at nå en halv meters roddybde. Vores mest udbredte kornafgrøder kan typisk nå 1-2 meters dybde, dybest for vinterkornet, som sås om efteråret, mens for eksempel roer eller vinterraps har mulighed for at nå i hvert fald 3 meters dybde. Den dybeste rodvækst opnås hos visse flerårige afgrøder. Det er især kendt fra lucerne, hvor nogle studier har vist rodvækst til over 5 meters dybde.

Flerårige afgrøder har derfor særligt mulighed for at sætte dybe rødder, så hvis man kan inkludere flere flerårige afgrøder i vores dyrkningssystemer vil det bidrage til en bedre udnyttelse af jordvolumenet. I DeepFrontier-projektet har vi derfor undersøgt en række flerårige afgrøder, blandt andet Kernza, som er en flerårig kornafgrøde, der er udviklet i USA. Det er ikke kun artsvalget, men også valg af sort indenfor den enkelte art, der har betydning for roddybden. Sortsforskelle på op mod 50 cm er fundet i vinterhvede, og der er derfor et stort potentiale for forædling for sorter med dybe rødder. Da vækstsæsonens længde har stor indflydelse på roddybde, er sådant også en vigtig parameter, der kan skrues på, og tidligere studier har vist betydeligt større roddybde, når vinterhvede sås 2-4 uger tidligere i efteråret.

Endelig kan dyrkningssystemet have stor effekt på røddernes dybde. Studier, hvor to eller flere plantearter dyrkes sammen, har vist, at dette kan føre til dybere rødder, hvilket både kan skyldes konkurrence og facilitering, altså hvor den ene plante fremmer rodvæksten af den anden. Det kan også have stor betydning for roddybden, hvad der har været på marken året før. Især afgrøder med pælerod og kraftige rødder kan danne bioporer i jorden, der fremmer roddybden af den efterfølgende afgrøde. Rødderne vok-

Yderligere læsning:
 Thorup-Kristensen et al. 2020. Digging deeper for agricultural resources, the value of deep rooting. *Trends in Plant Science* 25, 4: 406-417.

Thorup-Kristensen et al. Exposing Deep Roots: A Rhizobox Laboratory. Technology of the month. *Trends in Plant Science*, 25, 4: 418-419.

Pierret A et al. 2016. Understanding deep roots and their functions in ecosystems: an advocacy for more unconventional research. *Annals of Botany* 118: 621-635.



Øverst et oversigtsbillede af rodtårnene. Nederst viser billederne fra venstre: tårnene med tage for at holde vand ude, en specialbygget fotoboks, der gør det muligt at tage billeder af rødderne i hele jordprofilen, injektion af ^{15}N og $^2\text{H}_2\text{O}$ direkte i jorden og endelig placering af sporstoffer i små rør, der efterfølgende kan tages ud igen.

Rodtårnene

Rodtårnene er en facilitet, vi har etableret i projektet, der 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 $0,3 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} \times 4 \text{ m}$. Rodtårnene er fyldt med jord, tre forskellige typer taget fra forskellige dybder i marken, et muldlag og 2 forskellige typer underjord. Rodtårnene er placeret udendørs, men 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 plexiglasrude, 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 m dybde i gentagelser og under forhold, der minder om naturlige.

Fotos: Camilla Ruø Rasmussen

ser mere ubesværet ned gennem porer, der allerede findes i jorden.

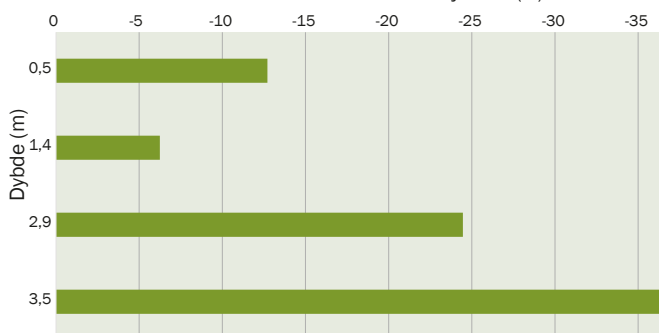
Ressourceudnyttelse

Så selvom vand og næring tilføres til jordoverfladen, vil de i et vist omfang bevæge sig ned i jorden. Vand er mo-

bilt i jorden, så når der er overskud af vand, bevæger det sig ned igennem jorden, og nogle næringsstoffer følger med ned, opløst i jordvandet. For at sikre en optimal udnyttelse af ressourcerne er rodsystemernes fordeling i jorden og roddybden der-

for væsentlig. Især vand og kvælstof bevæger sig let i jorden, og det er derfor en fordel at have dybe rødder for at hente vand fra dybere jordlag under tørre forhold og for at fange kvælstof, inden det bliver udvasket og risikerer at forurene vandmiljøet.

Forskel i vandindhold i jorden (%)



Vandindhold målt med TDR-sensorer i jorden vist som forskellen mellem lucerne og Kernza i slutningen af juni 2018. I de øvre jordlag er der ikke stor forskel på optaget, mens Lucerne i modsætning til Kernza tager betydelige mængder vand op i de dybe jordlag, på trods af at begge har dybe rødder og sammenlignelig overjordisk biomasse.

Det er dog mindre kendt, i hvor høj grad afgrøder kan hente andre næringsstoffer i dybere jordlag, og hvor effektivt og hurtigt de er i stand til at udnytte vand dybt i jorden, vand der skal transporteres flere meter igennem rødderne op til overfladen.

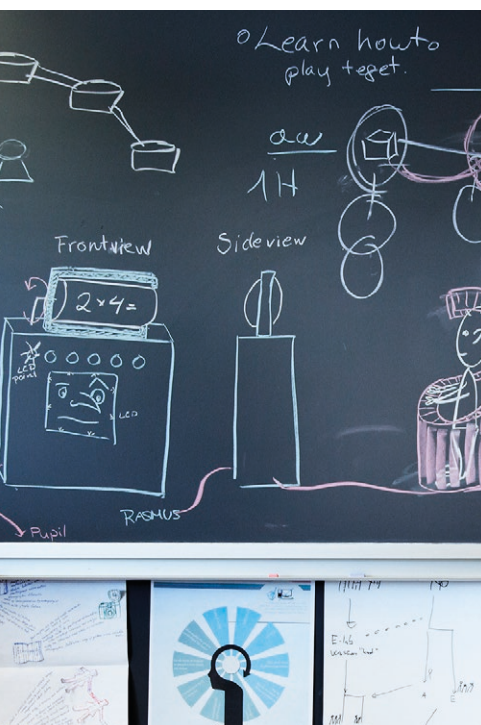
I DeepFrontier-projektet viste det sig, at en række arter havde rødder i mere end 2 meters dybde, og at de var i stand til at hente næring fra disse dybder. Overraskende viste det sig, at der er arter, som kan optage fosfor effektivt fra dybe jordlag, selvom vi normalt regner med, at dette kræver en høj rodtæthed, og at fosfor især tages op fra de øverste jordlag. Resultaterne viste også, at der er stor forskel på, hvor gode afgrøderne er til at hente vand fra

dybere jordlag. En sammenligning mellem lucerne og Kernza viste meget tydelig forskel i arternes evne til at hente dybt vand. På trods af, at de begge havde rødder under 3 meters dybde og havde sammenlignelig overjordisk biomasse og dermed vandbehov, tog Kernza næsten ingen vand op fra de dybe jordlag, mens lucerne kunne tømme hele rodzonen for vand, lag for lag.

Nye metoder flytter forskningen

Vi har et stort behov for at udvikle nye og bedre metoder i rodforskningen og ikke mindst til forskning i dybe rødder. De fleste metoder er dyre eller meget tidskrævende, og man må ofte nøjes med få målinger, hvor rødderne studeres uden tilstrækkelige gentagelser. Mange metoder er destruktive, og de påvirker rødderne eller jorden, vi skal måle på. For at udvikle forskningen på området, har vi brug for metoder, som muliggør flere og hyppigere målinger, så vi kan følge planterne over tid. Sådanne metoder skal helst gøre det muligt at måle flere parametre om både rodvækst og rodfunktion samtidigt under så naturlige og uforstyrrede forhold som muligt.

I projektet har vi derfor udviklet to nye faciliteter til at studere dyb rodvækst. Først en række "rodtårne", det vil sige 4 meter høje kasser fyldt med jord, vi kan dyrke planter i. Her kan vi gennem plexiglasruder se og tage billeder af røddernes udvikling, samt åbne helt ind til jorden og tage prøver ud eller tilsætte isotoper og sporstoffer i specifikke dybder. Ved hjælp af vandsensorer i forskellige dybder kan vi også følge vandoptaget. Derudover har vi udviklet et rodlaboratorium i marken, hvor vi har 24 parceller udstyret med lange minirhizotroener, der gør det muligt at se rødderne i jorden ned til 5 meters dybde. Vi har også udviklet et system, der gør det muligt at placere jordprøver i forskellige dybder og studere rodvæksten ind i prøverne og optagelsen af isotoper og sporstoffer derfra. Endelig er rodlaboratoriet udstyret med vandsensorer i flere dybder. Disse faciliteter gør det muligt at kombinere en række metoder og at måle løbende igennem planternes vækst og udvikling. Udvikling af nye metoder og videreudvikling af eksisterende metoder har været en vigtig del af projektet, og med de nye faciliteter er vi kommet et spadestik tættere på forståelsen af dybe rødders vækst og funktion. ■



sdu.dk/ing #sduing

Innovationskursus for gymnasielærere – efterår 2020

SDU tilbyder nu helt et nyt kursus, der giver gymnasielærere viden og kompetencer til at udvikle og undervise i forløb baseret på innovationsfaglige læringsmetoder.

Innovationskursus for gymnasielærere tager udgangspunkt i Design Thinking-metoden, og hver enkelt lærer vil udvikle sit eget innovative undervisningsforløb med udgangspunkt i fagstof af eget valg. Derudover giver kurset indsigt i aktuelle metoder og værktøjer til innovativ læring samt sætter deltagerne i stand til at reflektere over didaktiske valg.

Kurset består af tre moduler, der afholdes på SDU Sønderborg d. 24/11/20, 8/12/20 og 26/1/21. Alle dage fra kl.12:00 - 17:00.

Læs mere og meld dig til her www.sdu.dk/da/gyminnovation
Tilmeldingsfrist: 25. september