



Til Landbrugsstyrelsen

Levering på bestillingen: "Roddybder for væksthushafgrøder"

Landbrugsstyrelsen (LBST) har i en bestilling dateret d. 27. september 2018 bedt DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug – om at levere et notat med en undersøgelse af, "hvor dybe rødder de mest almindelige væksthushafgrøder har og hvilken andel af næringsstofferne, der hentes fra givne jorddybder. Samt viden om hvilke plantearter, -relevante for væksthushafgrøder, der har en kort roddebygge".

Besvarelse på bestillingen følger nedenfor, og er udarbejdet af Lektor Hanne Lakkenborg Kristensen, Seniorforsker Karen Kofoed Petersen og Seniorforsker Jørn Nygaard Sørensen alle fra Institut for Fødevarer, Aarhus Universitet. Faglig kvalitetssikring er foretaget af Seniorforsker Kai Grevsen fra samme institut.

Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale mellem Miljø- og Fødevareministeriet og Aarhus Universitet om forskningsbaseret myndighedsbetjening af Miljø- og Fødevareministeriet med underliggende styrelser 2018-2021" (bestillingen er relateret til Ydelsesaftale Planteproduktion opg 6.10 i det tilhørende arbejdsprogram).

Venlig hilsen

Klaus Horsted

DCA - Nationalt Center for
Fødevarer og Jordbrug

Klaus Horsted

Specialkonsulent

Dato 08.11.2018

Direkte tlf.: 87 15 79 75

Mobiltlf.:

E-mail:

Klaus.Horsted@dca.au.dk

Afs. CVR-nr.: 31119103

Reference: khr

Journal 2018-760-000900

Roddybder for væksthushønsager

Af Hanne Lakkenborg Kristensen, Karen Koefoed Petersen og Jørn Nygaard Sørensen, Institut for Fødevarer, Aarhus Universitet

Indhold

1. Bestillingen	2
2. Generelt/Indledning	2
2.1 Metoder til måling af rodvækst.....	3
2.2 Optag af næringsstoffer korreleret med roddybder	3
2.3 Rodfordeling og dybde	4
3. Roddybder og næringsstofoptag for de fire vigtigste væksthuskulturer	4
3.1 Tomat.....	4
3.2 Agurk.....	5
3.3. Salat	6
3.4. Spansk peber / peberfrugt.....	7
3.5 Næringsstofoptagelse.....	8
3.6 Konklusion	8
4. Plantearter med kort roddybde	9
4.1 Løg, bundtløg, forårsløg.....	9
4.2 Spinat.....	9
4.3 Porre	10
4.4 Radis	10
4.5 Krydderurter	10
4.6 Babyleaf	10
5. Alternativer til en 2-årig omlægningsperiode	10
5.1 Jævnt fordelt overfladejord eller ikke afgrænsede bede af økologisk dyrkningssubstrat med god luft- og vandholdende evne	10
5.2 Ikke afgrænsede bede ovenpå vævet ukrudtsdug	11
5.3 Ikke afgrænsede bede med græs eller anden kørefast afgrøde på gang/kørearealerne.....	11
5.4 Halv-åbent dyrkningssystem	11
5.5 Optagelse af 'gammel' kvælstof og andre plantetilgængelige emner inden etablering.....	11
5.6 Nyt væksthushus på omlagt jord.....	12
6. Litteratur.....	12

1. Bestillingen

Økologisk væksthushproduktion i Danmark kan i dag foregå i afgrænsede bede. Det vil sige, at produktionen foregår i økologiske voksemedier som f.eks. jord, spagnum og tilladte gødningsstoffer. Hvis produktionen foregår i afgrænsede bede, kan der produceres økologiske afgrøder straks efter omlægningens start. Planterødderne må således ikke være i kontakt med bundjorden og jorden skal, hvis der er risiko herfor, være dækket af en uigennemtrængelig membran til bundjorden.

Normalt skal der gå en periode på 2 år, før der kan produceres økologiske væksthushafgrøder, og hvor der i hele perioden dyrkes efter de økologiske produktionsregler. Hvis en økolog vil stoppe med produktion i afgrænsede bede, kan han begynde produktionen i bundjorden efter omlægningsperioden på 2 år. I 2021 bliver en ny økologiforordningen implementeret. Når det sker, er det ikke længere muligt at dyrke økologiske afgrøder i afgrænsede bede. Dog kan produktionen fortsætte uændret i en periode på 10 år på arealer, der allerede anvendes til afgrænsede bede, ydermere er det stadig muligt at producere økologiske planter, som videresælges i potter.

Erhvervets bekymring er, at den to årige omlægningsperiode, hvor der ikke kan sælges økologiske produkter er meget dyr. LBST er ved at afsøge forskellige muligheder for modeller til omlægning af væksthuse. I den forbindelse undersøger vi nu en model, hvor der i produktionen kan anvendes økologiske voksemedier / økologisk jord oven på bundjorden. En sådan model vil kræve, voksemediet er af en sådan mængde/dybde, at det er muligt at være forsikret om, at produktionen overvejende foregår i det økologiske voksemedie.

Derfor vil LBST gerne vide:

1. hvor dybe rødder de mest almindelige væksthushafgrøder har og hvilken andel af næringsstofferne, der hentes fra de givne jorddybder. De mest almindelige afgrøder er tomat, agurk, peberfrugt og salat. Hvis disse data ikke findes, så ønskes en opgørelse af rodmasse i procent af hele rodmassen opgjort i nedenstående intervaller.
2. Vi ønsker en redegørelse for optag af næringsstoffer korreleret med rodtybder for de mest almindelige væksthushafgrøder. Det kan evt. også opgøres i intervaller. Dvs. hvor stor en del af næringsstofferne optages der i de første 0-5 cm, 5-10, 10-15 cm osv.
3. Der ud over har vi brug for at vide, hvilke plantearter, der har kort rodtybde og som samtidig er relevante i en væksthushproduktion. På den måde kan udredningen også bruges til at oplyse om alternative muligheder for afgrøder, som økologiske gartnere vil kunne dyrke i en omlægningsperiode.

2. Generelt/Indledning

Det er en relativ vanskelig opgave der er stillet. Der er ikke mange undersøgelser af relativt uforstyrrede og 'naturlige' dyrkningssystemer, og slet ikke fra væksthushproduktion. Ofte foretages undersøgelserne i lukkede, begrænsede systemer med henblik på at have kontrol over alle faktorer. En del undersøgelser foregår også i dyrkningsmedier, der tillader en lettere oprensning af rødder f.eks. sand eller vermiculit (mineral) eller i vandkultur hvor man umiddelbart kan følge ændringer i forgrening og udseende af rødder. Man kan diskutere om dyrkning i sand/vermiculit, hvor rødderne har forholdsvis lille modstand, giver et sandt billede, men måske ligner det forholdene i overjordens pløjelag forholdsvis godt.

2.1 Metoder til måling af rodvækst

I frilandssystemer findes en række metoder til at undersøge planters rodvækst. Det er ikke kompliceret, når der er tale om systemer med monokultur, men arbejdskrævende. Her kan anvendes fx rodekstraktion, hvor jordprøver i de ønskede dybdeintervaller hjemtages og jorden vaskes væk mens rødderne tilbageholdes på en finmasket sigte. Herefter scannes rødderne og rodlængden bestemmes vha. automatisk billedbehandling og røddernes biomasse bestemmes ved vejning. En anden destruktiv, men mindre arbejdstung metode, er søjlebrækkemetoden ('core break'), hvor en intakt jordsøjle tages og brækkes over, hvorefter rodender tælles. En tredje udbredt metode, der ikke er destruktiv og heller ikke så arbejdstung, er minirhizotronmetoden, hvor fx 1 eller 2,5 meter lange gennemsigtige rør bores skråt ned i jorden ved såning/plantning, og rødderne filmes inde fra røret ud på dets overflade flere gange i løbet af sæsonen. Senere anvendes filmen til at tælle antallet af rødder på et grid på rørens overflade i de enkelte jordlag (Smit et al. 2000).

De tre nævnte metoder er velbeskrevne og anerkendte til at beskrive rodsystemers udbredelse. De giver resultater som er noget forskellige med hver deres enheder og uden umiddelbar mulighed for konvertering af resultaterne mellem metoderne (Wahlstrøm et al. 2015). Især minirhizotronmetoden hvor der bruges lange rør, er god til at undersøge den maksimale roddebyde og røddernes udbredelse i form af længden af rødder pr jord rumfang (rodtæthed) hos etårige kulturer ned til stor dybde. Roddebyde og rodtæthed er vigtige fx i forhold til optagelse af fosfor og kvælstof fra jorden. Rodtætheden er vigtig for fosforoptagelse, da fosfor er hårdt bundet til jorden. Roddebyden og til dels rodtætheden, samt den tid rødderne er tilstede i et givent jordlag er vigtig for kvælstofoptagelsen, da få rødder kan optage megen nitrat, fordi nitrat er mobilt i jorden (Thorup-Kristensen 2001; Kristensen & Thorup-Kristensen 2004a). Rodekstraktionsmetoden er god til at estimere biomassen af rødder i de jordlag, hvor der indsamles prøver fra. Biomassen er vigtig at kende fx ved studier af kulstoflagring i jorden.

Ved studier af rødder i en jordprofil bruges begreberne rodtæthed (root length density (RLD)) om rodlængder pr jordrumfang i forskellige jordlag (rodekstraktionsmetoden) eller rodintensitet og rodfrekvens (minirhizotronmetoden). Fordelingen af rødder er baseret på den procentvise rodlængde af den samlede rodlængde.

RLD = cm pr cm ³
Rodlængde = cm
Rodintensitet = antal kryds pr meter gridstreg
Rodfrekvens = %

2.2 Optag af næringsstoffer korreleret med roddebyder

Næringsoptagelsen fra forskellige dybder studeres bedst hvis man arbejder med lukkede systemer eller i lysimetre gerne kombineret med isotoper af næringsstoffer som P³² eller ved dybdeinjektion af N¹⁵ på friland (Kristensen & Thorup-Kristensen 2004b). Her har man mulighed for at kontrollere hvad der kommer ind i systemet, genfindes i plantemassen, forbliver i forskellige jordlag og udvaskes. Til denne type forsøg har man typisk brugt landbrugskulturer.

2.3 Rodfordeling og dybde

Rodfordeling og dybde afhænger af:

Først og fremmest plantearten (Kristensen & Thorup-Kristensen 2009)

Temperatursummen siden såning/plantning (vækstperioden)

De faktorer der bestemmer plantetilvæksten så som tilgængeligheden af lys, næringsstoffer og vand
Plantetæthed og konkurrence (intra- og interspecifik konkurrence) (Xie & Kristensen 2017)

Jordpakning

Giftige stoffer eller ekstremt pH i jorden

Jordtype (Hammes & Bartz 1963).

Især planters genetik (arten) bestemmer rodsystemets udbredelse når dyrkningsforholdene i øvrigt er gode; i højere grad end tilgængeligheden af kvælstof i forskellige jordlag (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2007).

3. Roddybder og næringsstofoptag for de fire vigtigste væksthuskulturer

3.1 Tomat

Tomat (*Lycopersicon esculentum* L.) har primært rødder i de øverste 30-40 cm af jordprofilen (de Jong & Otinkorang 1965; Machado et al. 2003; Oliveira et al. 1996; Tan & Fulton 1985), men benævnes af nogle som dybrodet og har en lav og ensartet fordeling af rødder ned til den dybeste undersøgte dybde på 120 cm (Jackson & Bloom, 1990) og kan have rødder helt ned til 2,5 m dybde (Weaver & Bruner 1927). I figur 1 er der vist roddensiteter målt i tre forskellige undersøgelser. Der er mange faktorer der kan være afgørende for præcis hvordan rodfordelingen ser ud bl.a.; plantens genetiske baggrund (sort/genotype), plantens alder, vandingssystem, vandingfrekvens, jordtype, jordbearbejdning og hvorvidt planterne er udplantet eller sået direkte i marken.

I de undersøgelser hvor der er fundet en væsentlig del af rødderne (mere end 20%) under 40 cm er der f.eks. brugt en jord med meget sand (Oliveira et al. 1996), der har været minimal jordbearbejdning/kørsel forud for forsøgene (Jackson & Bloom 1990) eller forsøgene er foregået i bokse med påfyldning af jord (dvs. der er ikke nogen kompakte lag).

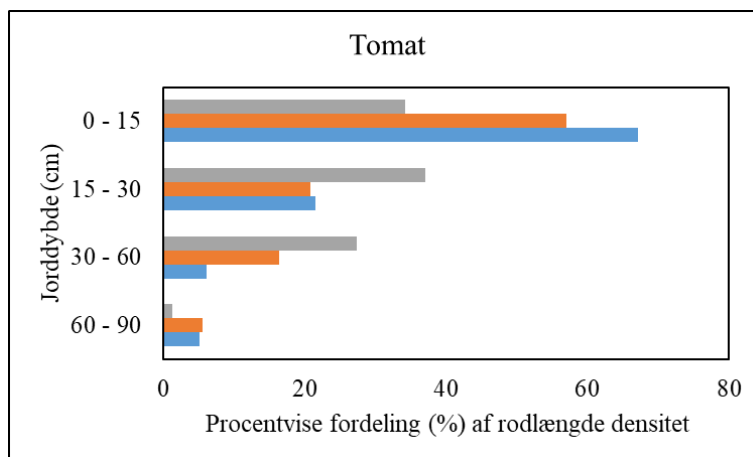
Mange undersøgelser har vist at både vandingssystem og vandingfrekvens i høj grad påvirker den vertikale og horisontale rodudvikling. Hvis man udtørre mellem hver vanding vil der være en større andel rødder i den øverste del af jordprofilen (de Jong & Otinkorang 1969; Oliveira et al. 1996) og rødderne vil have større horisontal udbredelse (de Jong & Otinkorang 1969). I enkelte undersøgelser er der ikke fundet nogen forskel på vandingssystem eller vandingfrekvens (Machado et al. 2003; Machado & Oliveira 2005) hvilket måske kan skyldes at jorden er kompakt på grund af en såkaldt pløjesål da der forud for forsøget er jordbearbejdet ned til 40-50 cm's dybde.

Tilførsel af vand og gødning kan ske via drypslanger som enten ligger oven på jorden eller er nedgravet i oftest 10-30 cm's dybde (Machado & Oliveira 2005). Tætheden af tomatrødder er størst lige rundt om vanding/gødevandingsstedet når drypslangen ligger oven på jorden (Bar-Yosef et al. 1980; Machado & Oliveira 2005; Machado et al. 2003; Zotarelli et al. 2009). Ved nedgravning af drypslangen ses nogle gange flere rødder i de øverste jordlag end når drypslangen ligger oven på jorden (Zotarelli et al. 2009).

Etableres en tomatkultur ved udplantning af småplanter i plugs/potter (som det altid er tilfældet i kommerciel praksis i DK) findes langt den overvejende andel af rødderne (85 %) i de øverste 30

cm. Ved direkte såning findes 85 % af rødderne i de øverste 90 cm jord (de Jong & Otinkorang 1969). Figur 1 viser, at de tre undersøgelser, der er afbilledet, ikke har nået bunden af rodzonen, idet der stadig er en del rødder i 60-90 cm jordlaget. Som nævnt fandtes en jævn fordeling af rødder til 120 cm (Jackson & Bloom, 1990) og rødder ned til 2,5 m dybde (Weaver & Bruner, 1927).

Det konkluderes at tomatrødder er fordelt med den overvejende del af rodlængder og biomasse i 0-60 cm dybde, men at tomat med stor sandsynlighed også har en del rødder langt dybere i jordprofilen (>1 m).



Figur 1. Data fra Zotarelli et al. (2009) i blå, de Jong & Otinkorang (1969) i orange og Oliveira et al. (1996) i gråt. Bemærk tallene fra Oliveira et al. (1996) er baseret på rodintensitet (antal m^{-1}) og ikke rodtæthed ($cm\ cm^{-3}$).

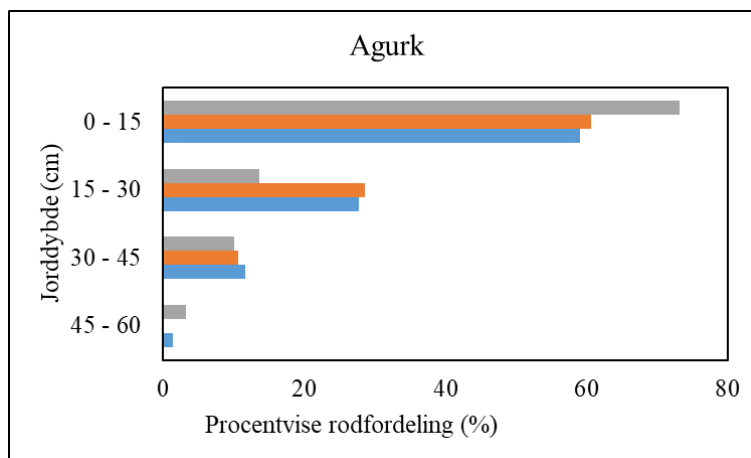
3.2 Agurk

Det har været lidt sparsomt med egnet litteratur for agurk (*Cucumis sativus* L.). Gou et al. (2008) beskriver i deres introduktion af agurks rodsystem, som bestående af en pælerod og herfra store mængder horisontalt voksende siderødder i de øverste 30 cm jordlag. Gou et al. (2008) finder selv at 90 % af rødderne befinder sig i de øverste 30 cm og de resterende rødder hovedsageligt findes i 30-45 cm's dybde. Først og sidst på sæsonen fandt de ingen rødder under 45 cm. Undersøgelser af Weaver & Bruner (1927) viste ligeledes at langt hovedparten af rødderne findes i 30 cm, men at pæleroden kan gå helt ned til 100 cm.

I et forsøg med agurk dyrket i 31 x 15 x 60 cm beholdere fyldt med en sandet jord blev 60 % af rødderne (tørvægt) fundet i de øverste 10 cm hvor der var den største tilgængelighed af vand og næringsstoffer (Ismail & Ozawa 2007). Fra 10-20 cm blev der fundet 14,8 % af rødderne. I samme undersøgelse blev der blandet lerholdig jord i de øverste 20 cm af den sandholdige jord hvilket betød at 83,5 % af rod-tørvægten blev fundet i dette lag. I en anden undersøgelse hvor agurk blev dyrket i bundjorden af et væksthuse ved forskellige vandingsstrategier blev rodlængdefordelingen ned til 45 cm's dybde bestemt. Med rigelig vandforsyning blev 87-94 % af rodlængden fundet i de øverste 30 cm (Zhang et al. 2012). I en markundersøgelse blev rødderne vasket fri for jord og biomassen bestemt, men det angives ikke hvor dybt man har gravet og man har ikke opgjort det for forskellige jorddybder (Zawiska & Siewk 2014). Fra frilandsundersøgelser vides at en nær slægtning som squash/zucchini ved høst har en roddybde på 1,7-2 meters dybde under danske forhold (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2007).

Konklusionen er at agurk har et relativt overfladisk rodsystem, hvor den overvejende del af rødderne findes i 0-30 cm dybde (figur 2).

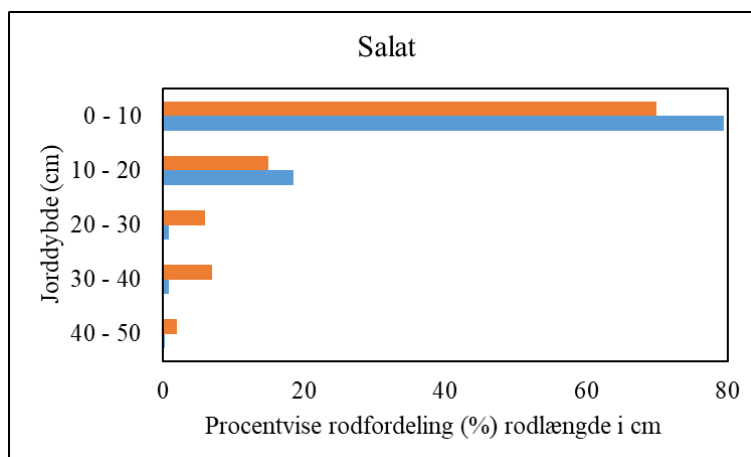
Moderat udtørring enten ved partiel rodzoneudtørring (Zhang et al. 2012) eller lang tid mellem vandingerne, som resulterer i at der bliver stor forskel i jordens vandindhold lige før og lige efter en vanding, medfører at man finder større rodmasse i dybere jordlag og et højere rod/skud-forhold hos agurk. Der hvor der blev vandet ofte med små mængder vand blev der primært fundet rødder i de øverste 15 cm.



Figur 2. Data fra Gou et al. (2008) i blå (rodtæthed cm cm^{-3}), Zhang et al. (2012) i orange (rodlængde i cm) og Ismail & Ozawa (2007) i gråt (rodtørvægt i g).

3.3. Salat

Salat (*Lactuca sativa* L.) har et forholdsvis overfladisk rodsystem, der er dog målt rødder ned til ca. en meters dybde, men kun få under 60 cm som anses for slutdybden under danske markforhold (Thorup-Kristensen 2006). Uanset gødningsstrategi og om jorden dækkes af plastic eller ej findes langt den største del af salats rodsystem i de øverste 40 cm (Andresen et al. 2016; Gallardo et al. 1996; Jackson 1995; Johnson et al. 2000; Murakami et al. 2002) (figur 3). Salat har til gengæld en god horisontal udbredelse af rødder i de øverste jordlag (Andresen et al. 2016, Thorup-Kristensen 2006). Disse resultater bekræfter tidligere undersøgelser af Weaver & Bruner (1927), som fandt at 2 måneder gamle planter havde en roddebyde på omkring 50-60 cm med hovedparten af rødderne i de øverste 40 cm. Pæleroden og enkelte siderødder voksede dog dybere ned til 90-100 cm.



Figur 3. Data fra Jackson (1995) i blå (rodlængde i cm) og Murakami et al. (2002) i orange (rodlængde i cm).

En undersøgelse af 6 salatsorter har vist at der er meget store forskelle både med hensyn til rodintensitet (antal rødder) og hvor stort et jordvolumen rødderne afsøger (Andresen et al. 2016).

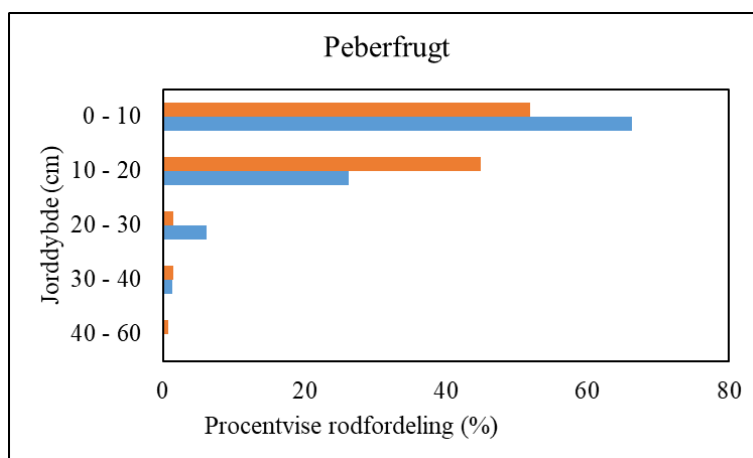
Konklusionen bliver at salat har et forholdsvis overfladisk rodsystem med kun få under 60 cm.

Salat er på grund af sit overfladiske rodsystem relativ følsom over for dyrknings- og vandingsstrategier der tillader udtørring af den øverste del af jordprofilen og der ses en større rodudvikling i underliggende lag hvis de øverste 20 cm får lov at tørre ud (Gallardo et al. 1996; Murakami et al. 2002). I en undersøgelse med forskellige strategier for placering af kvælstofgødning (ingen, bredspredt eller i striber) kombineret med +/- plasticdækning af jorden viste at plasticdække (mindre udtørring) havde større betydning for rodudviklingen end gødskningsstrategien (Murakami et al. 2002).

3.4. Spansk peber / peberfrugt

I lighed med de øvrige væksthushafgrøder afhænger rodudviklingen i spansk peber (*Capsicum annuum*) af mange faktorer herunder vandingsystem og vandingsfrekvens. I en kinesisk undersøgelse blev peberfrugt dyrket i marken med drypvandingslanger på jordoverfladen eller nedgravet i 20 cm's dybde kombineret med kvælstofniveauer på 0, 75, 150 eller 300 kg N per ha (Kong et al. 2012). Planterne var to måneder gamle da de blev udplantet.

Nedgravning af drypvandingslangen fremmede rodvæksten (rodlængden) og der var en lidt større andel rødder i 30-40 cm's dybde. Dog blev der kun fundet mellem 1,25 og 6,63 % rødder nede i 30-40 cm (andelen af rødder i jordprofilen ned til 40 cm) baseret på målinger af rodtætheden. Det vil sige jo oftere peberplanter vandes jo færre rødder har de og jo mere overfladiske er de. I en anden undersøgelse, hvor spansk peber blev dyrket i marken, blev der kun fundet 0,2-0,4 % af rødderne under 40 cm (1,7 – 3,2 % under 20 cm) når der blev vandet ofte (hvert tiende minut) mens der blev fundet 2,5 – 2,7 % under 40 cm henholdsvis 9,8 – 9,9 % under 20 cm hvis der blev vandet hver anden dag. Men denne undersøgelse var baseret på biomassen af rødder, som domineres af de tykke rødder i overjorden, der ikke er så vigtige i næringsstoffoptagelsen som de fine rødder, der vejer meget lidt (Assouline et al. 2012) (figur 4). Undersøgelser af Weaver & Bruner (1927) viste at spansk peber har en kraftig pælerod hvorfra der udvikles mange siderødder, som vokser ned til omkring 100 cm. Hovedparten af rødderne findes dog i de øverste 30-50 cm jordlag.



Figur 4. Data fra Kong et al. (2012) i blå (rodtæthed cm cm^{-3}) og Assouline et al. (2012) i orange (rodtørvægt per cm^{-3} jord).

Spansk peber optager primært næringsstoffer fra de øverste 35 cm, men har rødder ned til mindst 85 cm hvorfra der optages små mængder næringsstoffer (Hammes & Bartz 1963). Det meste af sæsonen har den kun lille rodaktivitet under 20 cm; mindre end 20% af rodmassen findes under denne dybde. Ved nedgravning af drypslanger kan man styre vanding og mindske kvælstof i jordprofilen i dybder under 40 cm (Assouline et al. 2012).

3.5 Næringsstofoptagelse

Ud fra den eksisterende litteratur er det vanskeligt præcist at afgøre hvorfra i jordprofilen rødderne optager den største del af næringsstofferne, da optagelsen af næringsstoffer ligesom fordelingen af rødder afhænger af mange faktorer, såsom fordelingen af kvælstof i jorden. Der er et vist sammenfald mellem rodtæthed/rodintensitet og optag af næringsstoffer støttet af f.eks. Bar-Yosef et al. (1980), mens Thorup-Kristensen (2006) og Andresen et al. (2016) diskuterer dette. De fandt en god sammenhæng mellem næringsstofoptagelse og skudvækst og også mellem skudvækst og rodvækst, men om det er rodvæksten eller skudvæksten der er den drivende kraft er svært at afgøre. Den maksimale roddeybde fortæller hvorfra der potentielt kan optages kvælstof, hvis der er uorganisk kvælstof tilstede. Dette vil især ske under forhold hvor afgrøden ikke kan få sit kvælstofbehov dækket.

Kristensen & Thorup-Kristensen (2004a; 2004b; 2007) og Thorup-Kristensen (2006) har vist at plantearter med højtliggende rodsystemer primært optager kvælstof fra de øverste jordlag, mens dybtrodede arter, især tokimbladede, kan have mange rødder dybere i jorden af stor betydning for især kvælstofoptagelsen. Thorup-Kristensen (2006) fandt fx at hvidkål på friland kunne optage mere end 100 kg N ha⁻¹ fra 1-2 meters dybde, når der var plantetilgængeligt kvælstof tilstede.

Det skal overvejes og bør måske undersøges, hvor stor tilgængeligheden af uorganisk kvælstof der er i jorden i væksthuse, der har været anvendt til forskellige produktioner over en årrække. Der kan tænkes at være ophobet endog meget høje mængder af kvælstof fra tidligere produktioner hvis systemet ikke har været helt lukket og der ikke har været vandet med overskud, dvs. at 'gammel' kvælstof ikke er blevet udvasket.

3.6 Konklusion

Agurk, salat og spansk peber har alle relativt overfladiske rodsystemer og har en overvejende del af deres rødder i de øverste 30-60 cm af jordprofilen. Hvordan rodfordelingen er i de øverste 40 cm afhænger i høj grad af vandingstrategien.

Tomat har en overvejende del af rodsystemet i de øverste 60 cm af jordprofilen, men kan forventes at have en del rødder til stor roddeybde, måske ned til 1,5-2 m.

Hvor stor optagelsen af uorganisk kvælstof er hos afgrøder med rodsystemer, der rækker ned i de dybere jordlag, afhænger af mængden af tilgængelig uorganisk kvælstof i disse jordlag (evt. ophobet 'gammel' kvælstof). Desuden har det betydning om der er tilstrækkelig uorganisk kvælstof i overjorden til at dække afgrødens behov.

4. Plantearter med kort roddebyde

Udplantede væksthushgrønsager (tomat, agurk, spansk peber og salat) har som vist ovenfor en overvejende del af rodsystemet i 30-60 cm. Hvis næringsstofoptag fra væksthushets bundjord skal undgås er det derfor nødvendigt at tilføje et 40-60 cm tykt lag af økologisk voksemedie eller udskifte bundjorden med økologisk jord til 40-60 cm's dybde.

Hvis tilførsel af et lag af voksemedie eller udskiftning af bundjord ikke er muligt vil det i en omlægningsperiode være relevant at dyrke afgrøder med kort roddebyde i et tyndere lag økologisk voksemedie.

En plantearts roddebyde er primært afhængig af jordtype, vækstperiode, etableringsmetode og vandingsmetode. Generelt er roddebyden mindre på sandjord end på lerjord og generelt er roddebyden mindre i udplantede planter end i direkte såede planter. Og som vist ovenfor er roddebyden generelt mindre ved hyppig vanding end hvis planterne udsættes for moderat vandmangel.

Af alternative plantearter med kort roddebyde vil det derfor være relevant at anvende planter som udplantes.

4.1 Løg, bundtløg, forårsløg

Løg optager primært næringsstoffer fra de øverste 30 - 40 cm dog lidt afhængigt af jordtypen (Hammes & Bartz 1963) og omkring 85 % P-optag fra de øverste 20 cm. Direkte målinger i jord på friland viser en roddebyde på 30 cm i direkte såede løg (Thorup-Kristensen 2006). Ældre undersøgelser beskrevet af Weaver & Bruner (1927) viste imidlertid at løg kan have en roddebyde på op til 90 cm. Hovedparten af rødderne blev dog fundet i de øverste 40 cm jordlag. I udplantede løg er roddebyden formodentlig mindre. I en sammenligning af forskellige sorter fandt Andresen et al. (2016) den største roddebyde i 5-25 cm's dybde, og at der var store sortsforskelle. Kraftigt voksende sorter havde større roddebyde end svagt voksende sorter.

Løg kan høstes på forskellige udviklingsstadier. Hovedparten af alle løg høstes om efteråret når løgtoppen vælter og visner hen, og løget har en diameter på 50-70 mm. En del løg høstes imidlertid på et tidligere stadie medens løgtoppen stadig er grøn, og løgdiameteren er 30-40 mm. Disse løg markedsføres ofte som bundtløg. Da roddebyden øges med stigende plantealder (Weaver & Bruner 1927; Thorup-Kristensen 2006; Andresen et al. 2016) er roddebyden af bundtløg mindre end 30 cm og formodentlig kun 20-25 cm. Ved høst på et endnu tidligere udviklingsstadium opnås produktet 'forårsløg' hvor også de grønne blade anvendes. Roddebyden af forårsløg er formodentlig endnu mindre end roddebyden i bundtløg.

4.2 Spinat

Spinat har omkring 80 % af den totale rodlængde i det øverste 15 cm jordlag og mindre end 5 % under 30 cm (Schenk et al. 1991). Det øverste 15 cm jordlag bidrog til 80 % af den samlede N-optag. Denne roddebyde bekræftes af Smit & Groenwold (2005) som fandt at mere end 80 % af rødderne befandt sig i det øverste 20 cm jordlag 45 dage efter såning. Disse resultater bekræfter tidligere undersøgelser af Weaver & Bruner (1927), som fandt at 6 uger gamle planter havde en roddebyde på omkring 50-60 cm med hovedparten af rødderne i de øverste 25 cm. Pæleroden og enkelte siderødder voksede dog dybere ned til ca. 60 cm. I 10 uger gamle planter fandt Weaver & Bruner (1927) hovedparten af rødderne i de øverste 30 cm, men en del siderødder voksede dog ned til 60 cm og pæleroden ned til 90 cm.

I lighed med løg er spinat en afgrøde der høstes på forskellige udviklingsstadier. Ved høst efter 40-50 dage opnås et udbytte på omkring 30 tons pr hektar. Ved en tidligere høst opnås et lavere udbytte i produktkategorien 'baby leaf'. Den maksimale roddebyde af babyleaf spinat var 60 cm på grovsandet jord under danske forhold (H.L. Kristensen, unpubl. resultater).

4.3 Porre

Porre er en afgrøde med et relativt øverligt rodsystem. Således fandt Pedersen et al. (2010) at 90 % af rødderne befandt sig i det øverste 35 cm jordlag. De resterende rødder fandtes i 35-60 cm's dybde. Disse resultater bekræfter tidligere undersøgelser af Weaver & Bruner (1927), som fandt at porre havde en roddebyde på omkring 60 cm med hovedparten af rødderne i de øverste 35 cm.

4.4 Radis

Radis er en afgrøde med en meget kort produktionstid og som derfor forventes at have en kort roddebyde. Efter 5 ugers vækst fandt Weaver & Bruner (1927) en roddebyde på 50 cm. Langt hovedparten af rødderne var dog i de øverste 25 cm jordlag.

4.5 Krydderurter

Krydderurter som for eksempel persille og dild er ligeledes hurtige kulturer, som derfor formodes at have kort roddebyde. I 2 måneder gamle planter fandt Weaver & Bruner (1927) en roddebyde på 40 cm i persille. Roddebyden øgedes dog med stigende plantealder.

4.6 Babyleaf

Babyleaf grøntsager som for eksempel spinat, rucola, vårsalat og vinterportulak samt asiatiske bladgrøntsager som pak choi, tat soi og komatsuna er ligeledes hurtige kulturer, men især arter fra kålfamilien som rucola og pak choi kan forventes af have en relativ stor roddebyde og med en del rødder fordelt i dybere jordlag på trods af den korte vækstperiode. Således havde rucola dyrket som babyleaf på en grovsandet jord roddebyder på 70-90 cm ved første høst på friland under danske forhold. Ved genvækst og anden høst var roddebyden 140 cm, og kvælstof blev på dette tidspunkt i højere grad taget op fra 60 cm end 110 cm dybde (Kristensen & Stavridou, 2017).

5. Alternativer til en 2-årig omlægningsperiode

5.1 Jævnt fordelt overfladejord eller ikke afgrænsede bede af økologisk dyrkningssubstrat med god luft- og vandholdende evne

Mange af undersøgelserne citeret i denne rapport har vist at rødderne primært vokser hvor jorden er bekvem (løs struktur og gode iltforhold) og hvor der er vand og næringsstoffer tilstede (Zhang et al. 2012). Derfor er det overvejende sandsynligt at det primære optag af vand og næringsstoffer vil ske fra et lag tilført økologisk dyrkningssubstrat hvis dette har mere optimale dyrkningsegenskaber og bedre tilgængelighed af kvælstof end den underliggende bundjord.

5.2 Ikke afgrænsede bede ovenpå vævet ukrudtsdug

Bede af økologisk dyrkningsmedie kan etableres ovenpå flerårig vævet ukrudtsdug som f.eks. Mypex (MyPex®), som delvist vil forhindre afgrødens rødder i at trænge ned i bundjorden, men stadig tillade overskydende vand og næringsstoffer at trænge ned. Der kan dog potentielt være stor risiko for udvaskning hvis der vandes med stort overskud.

Ved at bruge sensorstyring af vanding kan man dog begrænse vandforbruget og samtidig begrænse udvaskningen af kvælstof (Zotarelli et al. 2011).

5.3 Ikke afgrænsede bede med græs eller anden kørefast afgrøde på gang/kørearealerne

Bede af økologisk dyrkningsmedie etableres oven på bundjorden. Mellem bedene, direkte i bundjorden etableres græs eller anden flerårig, kørefast kultur som kan tåle at blive slået/høstet med mellemrum. Herved får man fjernet overskydende næringsstoffer fra bundjorden. Det vil koste noget i vand og næringsstoffer (som tages fra hovedkulturen).

5.4 Halv-åbent dyrkningssystem

Ved dyrkning af væksthushønsager vandes ofte med 15 % overskud for at sikre sig at alle planter får tilstrækkelig vand og næring. Det betyder at der ved dyrkning direkte i bundjorden eller i økologisk dyrkningsmedie lagt oven på bundjorden sker en nedsivning af vand og at der er en risiko for tab af næringsstoffer. Ved dyrkning i afgrænsede bede opsamles og recirkuleres dette overskud og der er derfor ikke risiko for udvaskning af næringsstoffer.

Recirkulering af næringsstoffer er imidlertid også muligt ved dyrkning i væksthushønsager såfremt der placeres et vandtæt materiale under planterne. Ved at kombinere dyrkning i bundjorden og dyrkning i afgrænsede bede opnås et halv-åbent dyrkningssystem hvor det er muligt at recirkulere overskudsvand og næringsstoffer samtidig med at planterne har mulighed for at optage vand og spormineraler fra bundjorden. Rent praktisk vil dette halv-åbne dyrkningssystem ligne dyrkning i afgrænsede bede, men disse bede har huller i de lodrette sider; huller ud til bundjorden, som planternes rødder kan vokse i og afsøge for vand og spormineraler. Et sådant dyrkningssystem har været afprøvet i et forsøg med tomat (Sorensen & Thorup-Kristensen 2006). Forsøgene viste at det halv-åbne dyrkningssystem gav større udbytte og bedre kvalitet sammenlignet med såvel dyrkning i afgrænsede bede som dyrkning i bundjorden.

5.5 Optagelse af 'gammel' kvælstof og andre plantetilgængelige emner inden etablering

Jorden under de afgrænsede bede må antages ikke at have modtaget konventionelle midler (gødning og pesticider) i den periode hvor de afgrænsede bede har været dyrket med økologiske grøntsager. Hvis den periode overstiger omlægningsperioden på 2 år kan man overveje om det er mere hensigtsmæssigt at få optaget den kvælstof der eventuelt ligger ophobet i jorden fra tidligere tiders produktioner i væksthuset. Hvis kvælstoftilgængeligheden er høj i dybere jordlag er det også meget sandsynligt at væksthushønsager vil optage kvælstof derfra. Man kunne overveje en model hvor der som det første skal dyrkes en efterafgrøde fx af olieræddike, der har dybe rødder (1,5-2 m), god evne til optagelse af kvælstof fra dybde jordlag og samtidig en samlet stor kapacitet til kvælstofoptagelse (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004a). Det er vigtigt at få olieræddiken godt

etableret fx med såning og vanding for at sikre den optimale effekt. Herved får man ført dybtliggende kvælstof og andre næringsstoffer op til overjorden.

5.6 Nyt væksthus på omlagt jord

Som et alternativ til udskiftning af bundjord eller tilførsel af et tykt lag økologisk voksemedie vil det i nogen udstrækning være relevant at etablere et nyt væksthus på omlagt jord. I eksisterende gartnerier med produktion i afgrænsede bede vil det være muligt at omlægge tilstødende frilandsarealer.

6. Litteratur

- Andresen M, Dresbøll DB, Jensen LS, Magid J, Thorup-Kristensen K 2016. Cultivar differences in spatial root distribution during early growth in soil, and its relation to nutrient uptake – a study of wheat, onion and lettuce. *Plant Soil* 408, 255-270.
- Assouline S, Möller M, Furnan A, Narkis K, Silber A 2012. Impact of water regime and growing conditions on soil-plant interactions: From single plant to field scale. *Vadose Zone Journal* doi:102136/vzj2012.0006
- Bar-Yosef B, Stammers C, Sagiv B 1980. Growth of trickle-irrigated tomato as related to rooting volume and uptake of N and water. *Agro. J.* 72, 815-822.
- de Jong E, Otinkorang ES 1969. Measurement of root distribution of irrigated tomatoes with P-32 injection technique. *Can. J. Plant Sci.* 49, 69-74.
- Gallardo M, Jackson LE, Thompson RB 1996. Shoot and root physiological responses to localized zones of soil moisture in cultivated and wild lettuce (*Lactuca* spp.) *Plant Cell Environ.* 19, 1169-1178.
- Guo R, Li X, Christie P, Chen Q, Jiang R, Zhang F 2008. Influence of root zone nitrogen management and a summer catch crop on cucumber yield and soil mineral nitrogen dynamics in intensive production systems. *Plant Soil* 313, 55–70.
- Hammes JK, Bartz JF 1963. Root distribution and development of vegetable crops as measured by radioactive phosphorus injection technique. *Agronomy Journal* 55, 329-333.
- Ismail S M, Ozawa K 2007. Improvement of crop yield, soil moisture distribution and water use efficiency in sandy soils by clay application. *Appl. Clay Sci.* 37, 81-89.
- Jackson L E 1995. Root architecture in cultivated and wild lettuce (*Lactuca* spp.) *Plant Cell Environ.* 18, 885-894.
- Jackson LE, Bloom AJ 1990. Root distribution in relation to soil nitrogen availability in field-grown tomatoes. *Plant Soil* 128, 115-126.
- Johnson WC, Jackson LE, Ochoa O, van Wijk R, Peleman J, St.Clair DA, Michelmore RW 2000. Lettuce, a shallow-rooted crop, and *Lactuca serriola*, its wild progenitor, differ at QTL determining root architecture and deep soil water exploitation. *Theor. Appl. Genet.* 101, 1066-1073.

- Kong Q, Li G, Wang Y, Huo H 2012. Bell pepper response to surface and subsurface irrigation under different fertigation levels. *Irrig. Sci.* 30, 233-245.
- Kristensen HL, Stavridou E 2017. Deep root growth and nitrogen uptake by rocket (*Diplotaxis tenuifolia* L.) as affected by nitrogen fertilizer, plant density and leaf harvesting on a coarse sandy soil. *Soil Use and Management* 33, 62-71. <https://doi.org/10.1111/sum.12334>
- Kristensen HL, Thorup-Kristensen K 2009. Roots below one meter depth are important for uptake of nitrate by annual crops. In: L. Ma, L. R. Ahuja, and T. Brusselma (eds.) *Quantifying and Understanding Plant Nitrogen Uptake for Systems Modeling*. Taylor & Francis Group, LLC. p. 245-258.
- Kristensen H L, Thorup-Kristensen K 2007. Effects of vertical distribution of soil inorganic nitrogen on root growth and subsequent nitrogen uptake by field vegetable crops. *Soil Use and Management* 23, 338-347.
- Kristensen H L, Thorup-Kristensen K 2004a. Root growth and nitrate uptake of three different catch crops in deep soil layers. *Soil Science Society of America Journal* 68, 529-537. doi:10.2136/sssaj2004.5290
- Kristensen H L, Thorup-Kristensen K 2004b. Uptake of ¹⁵N labeled nitrate by root systems of sweet corn, carrot and white cabbage from 0.2-2.5 meters depth. *Plant and Soil* 265, 93-100.
- Machado RMA, Oliveira MRG 2005. Tomato root distribution, yield and fruit quality under different subsurface drip irrigation regimes and depth. *Irrig. Sci.* 24, 15-24.
- Machado RMA, Oliveira MRG, Portas CAM 2003. Tomato root distribution, yield and fruit quality under subsurface drip irrigation. *Plant Soil* 255, 333-341.
- Murakami T, Yamada K, Yoshida S 2002. Root distribution of field-grown crisphead lettuce (*Lactuca sativa* L.) under different fertilizer and mulch treatment. *Soil Sci. Plant Nutr.* 48, 347-355.
- Oliveira MRG, Calado AM, Portas CAM 1996. Tomato root distribution under drip irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121, 644-648.
- Pedersen A, Zhang K, Thorup-Kristensen K, Jensen LS 2010. Modelling diverse root density dynamics and deep nitrogen uptake – A simple approach. *Plant and Soil* 326, 493-510.
- Schenk M, Heins B, Steingrobe B 1991. The significance of root development of spinach and hohlrabi for N fertilization. *Plant and Soil* 135, 197-203.
- Smit AL, Bengough AG, Engels C, van Noordwijk M, Pellerin S, van de Geijn SC (eds.) 2000. *Root methods. A handbook*. Springer, Berlin. Chapter 6.
- Smit AL, Groenwold J 2005. Root characteristics of selected field crops: Data from the Wageningen Rhizolab (1990-2002). *Plant and Soil* 272, 365-384.
- Sorensen JN, Thorup-Kristensen K 2006. An organic and environmental friendly growing system for greenhouse tomatoes. *Biol Agric Hort* 24, 237-256.
- Tan CS, Fulton JM 1985. Water uptake and root distribution by corn and tomato at different depth. *HortSci.* 20, 686-688.
- Thorup-Kristensen K 2001. Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? *Plant Soil* 230, 185-195.

- Thorup-Kristensen K 2006. Root growth and nitrogen uptake of carrot, early cabbage, onion and lettuce following a range of green manures. *Soil Use Manag.* 22, 29-38.
- Weaver JE, Bruner WE 1927. Root development of vegetable crops. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Xie Y and Kristensen HL 2017. Intercropping leek (*Allium porrum* L.) with dyer's woad (*Isatis tinctoria* L.) increases rooted zone and agro-ecosystem retention of nitrogen. *European Journal of Agronomy* 82, 21-32. Open access <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.017>
- Zawiska I, Siwek P 2014. The effect of biodegradable direct covers on the root development, yield and quality of cucumber. *Folia Hort.* 26, 43-48.
- Zhang L, Gao L, Zhang L, Wang S, Sui X, Zhang Z 2012 Alternate furrow irrigation and nitrogen level effects on migration of water and nitrate-nitrogen in soil root growth of cucumber in solar-greenhouse. *Sci. Hort.* 138, 43-49.
- Zotarelli L, Scholberg J M, Dukes M D, Munoz-Carpena R, Icerman J 2009. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agric. water manage.* 96, 23-34.
- Zotarelli Z, Dukes MD, Scholberg JMS, Feminella K, Munoz-Carpena R 2011. Irrigation scheduling for green bell peppers using capacitance soil moisture sensors. *J. Irrig. Drainage Eng.* 137, 73-81.