



Næringsstoffernes mobilitet har en afgørende rolle for planters vækst og udvikling, bl.a. gennem deres tilgængelighed i jord, translokation i planten og udvikling af mangelsymptomer.

# NÆRINGSSTOFFERNES MOBILITET i jord og træer

Nogle næringsstoffer er blot et par dage undervejs, før de når toppen af træet, mens andre er uger eller måske år om at flytte sig blot få cm ned i jorden. Tilmed er det næringsstof, der er mobilt i træet ikke nødvendigvis særligt mobilt i jorden – og omvendt. Kendskab til næringsstoffernes mobilitet hjælper dig med at diagnosticere træernes mangelsymptomer og til at forstå, med hvilke næringsstoffer du i gødningsplanlægningen i juletræer og klippegrønt især skal udvise rettidig omhu.



≡ LARS BO PEDERSEN, PH.D.

Planters vækst og udvikling afhænger af tilgængeligheden af næringsstoffer, hvad enten de stammer fra jord, luft eller gødskning. Næringsstoffernes mobilitet i jord beskriver deres evne til at bevæge sig i jordmediet og er derfor en vigtig parameter for tilgængeligheden og størrelsen af rodoptagelsen, fordampningen og udvaskningen.

I planten beskriver næringsstoffernes mobilitet evnen til at blive flyttet rundt internt i planten. Det er velkendt, også i juletræer og klippegrønt, at mangel på immobile

næringsstoffer ses som misfarvninger på de nye nåle, mens mangel på mobile næringsstoffer ses som misfarvninger på ældre nåle. Gode eksempler på dette er henholdsvis den reducerede tilførsel og manglende retranslokation af mangan, som medfører gule årsnåle (1) og den dramatiske effekt på træernes trivsel og salgsværdi af retranslokation af magnesium fra ældre til yngre nåle (bare skuldre) (2).

## 17 uundværlige næringsstoffer

Der er identificeret 17 grundstoffer, som er vitale for plantevækst. Tre af dem – ilt (O), kulstof (C) og brint (H) udgør de ikke-mineralske næringsstoffer. De er især vigtige,

7 <b>N</b> Kvælstof	15 <b>P</b> Fosfor	19 <b>K</b> Kalium	Primære makronæringsstoffer					
12 <b>Mg</b> Magnesium	16 <b>S</b> Svovl	20 <b>Ca</b> Kalcium	1 <b>H</b> Brint	6 <b>C</b> Kulstof	8 <b>O</b> Ilt	Sekundære makronæringsstoffer		
5 <b>B</b> Bor	17 <b>Cl</b> Klorid	25 <b>Mn</b> Mangan	26 <b>Fe</b> Jern	28 <b>Ni</b> Nikkel	29 <b>Cu</b> Kobber	30 <b>Zn</b> Zink	42 <b>Mo</b> Molybdæn	Ikke mineralske næringsstoffer
Mikronæringsstoffer								
Halv-metal	Halogen	Overgangs-metaller	Jord-alkali-metaller	Ikke metaller	Alkali-metaller			

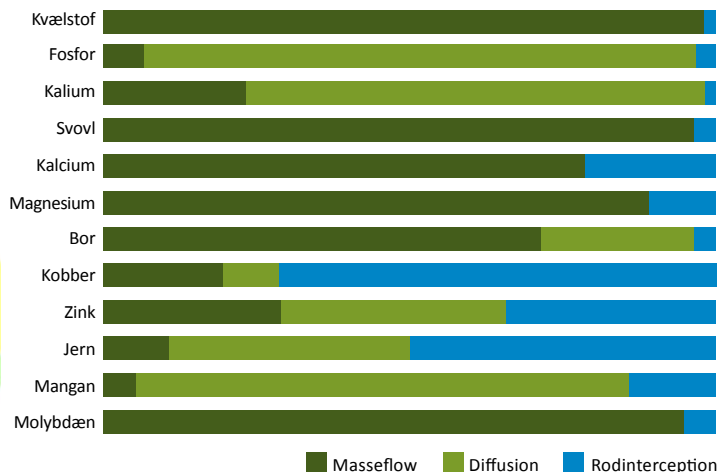
Figur 1. Plantenæringsstoffernes inddeling i ikke-mineralske næringsstoffer og i makro- og mikronæringsstoffer. Foruden disse opererer man med en gruppe mere, der kaldes "gavnige næringsstoffer". Disse er ikke nødvendige for plantevækst, men de har en vis gavnlige effekt. De udgøres af natrium, kobolt, selen og silicium. Desuden er klorid ikke altid rubriceret som værende et næringsstof.

når fokus er på klimaet, men som allestedsnærværende er de ikke relevante, når fokus er på gødsning og plante-ernæring. Kulstof og ilt optages nemlig af træerne fra luften gennem nålene som kuldioxid (CO<sub>2</sub>), mens brint optages gennem rødderne sammen med ilt som vand (H<sub>2</sub>O). Samlet kaldes disse grundstoffer også for de strukturelle næringsstoffer, fordi de har så stor betydning for planternes opbygning.

De andre 14 næringsstoffer inddeles i to grupper: *Makro-næringsstoffer* (kvælstof (N), fosfor (P), kalium (K), kalcium (Ca), magnesium (Mg), svovl (S)) er de næringsstoffer, som planten har størst behov for, og som måles i procent eller g/kg. Den anden gruppe er *mikro-næringsstofferne* (bor (B), klorid (Cl)<sup>1</sup>, kobber (Cu), jern (Fe), mangan (Mn), molybdæn (Mo), nikkel (Ni) og zink (Zn)). De er lige så vigtige som makronæringsstofferne, men behovet hos planterne er meget mindre. Mikro-næringsstofferne måles typisk i mikrogram/kg (figur 1). Fælles for de 14 næringsstoffer er, at alle skal opløses i vand, for at planterne kan optage dem – enten gennem rodsystemet eller via bladene/nålene. Det er mobiliteten af disse 14 næringsstoffer, som artiklen omhandler.

### Mobilitet i jord

Næringsstoffernes mobilitet i jorden bestemmer, hvor let de udvaskes, og hvor stort planteoptagelsespotentialet er. For at næringsstofferne er tilgængelige for planterne, skal de findes som ioner eller molekyler, der enten er positivt eller negativt ladet<sup>2</sup>. De positive ioner kaldes kationer, og de negative kaldes anioner. Foruden ladningstypen påvirkes næringsstoffernes mobilitet i jorden



Figur 2. Bevægelsesmåde i jord for de vigtigste næringsstoffer.

også af næringsstoffets størrelse og ladningsstyrke samt stoffets evne til at omgive sig med vand.

Næringsstofferne møder juletræets rødder, ved at træerødderne gror hen til dem eller ved at de tilføres via jordvandet, – alt sammen afhængig af jordstrukturen (lejringen), bevægelsesmåden igennem jorden, koncentrationen og absorptionsevne til jordpartiklerne.

### Jordstruktur

Krummestruktur har en optimal fordeling af grov-, mellem- og finporer, som sikrer en god tilgang og et godt dræn af både vand og næringsstoffer. Enkeltkorns – eller skorpestruktur er eksempler på jordstrukturer, hvor tilførslen af næringsstoffer let kan blive utilstrækkelig. Jordkomprimering hindrer eller nedsætter også røddernes evne til at vokse hen mod næringsstofferne, men også næringsstoffernes bevægelse ned gennem jorden.

### Bevægelsesmåden af næringsstoffet

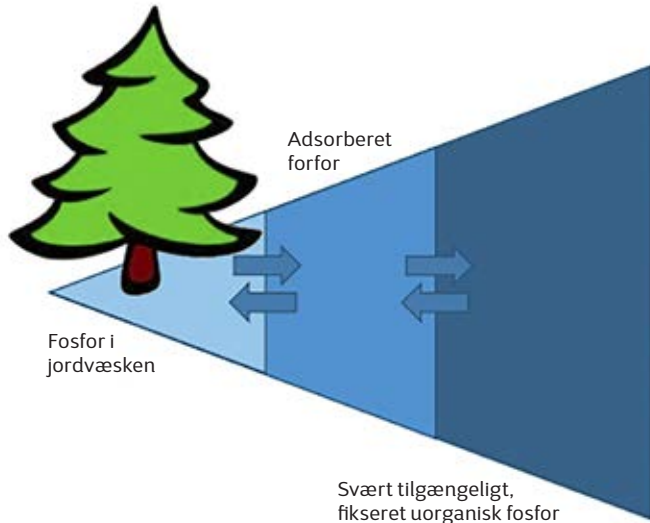
*Masseflow* hentyder til bevægelsen af opløste næringsstoffer ind til planteroden som følge af røddernes vandoptagelse drevet af transpirationen. Dette er især vigtigt for nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), Mg og Ca (figur 2). *Diffusion* er bevægelsen af næringsstoffer til roden forårsaget af en koncentrationsgradient. Dette er vigtigt for K, men især for P. Her bevæger næringsstofferne sig fra områder med høj koncentration mod områder med lav koncentration tæt på rodoverfladen f.eks. skabt ved, at næringsstofferne hele tiden fjernes gennem rodoptag. Den tredje bevægelsesmåde er *rodinterception*, hvor rødderne vokser og skaber kontakt til jordkolloider, der

1 Klorid er ikke et vitalt næringsstof for alle plantearter. Klorid optages oftest passivt, så i områder med høj deposition af havsalte er koncentrationen i plantevævet ofte højt til trods for, at næringsstoffet ikke bruges fysiologisk.

2 Bor er dog en undtagelse, da dette næringsstof kan optages på en form, uden ladninger.



Figur 3. Den lysotropiske serie angiver bindingsstyrken til jordens partikler. Styrken aftager fra venstre mod højre. Styrken bestemmes af ionernes radius inklusive vandkappe (angivet som størrelserne på kuglerne) og deres ladning.



Figur 4. Jordens fosforpuljer. Juletræet kan i praksis kun optage fosfor fra den pulje, som er opløst i jordvæsken, som kun udgør 0,01% af den samlede mængde uorganisk fosfor i jorden. Når planten tømmer jordvæsken for fosfat, forskydes ligevægten, og en del af det adsorberede fosfat bliver frigivet til jordvæsken.

indeholder næringsstoffer. Dette er af nogen betydning for Cu, Fe og Zn, men generelt er denne bevægelsestype af mindre betydning.

Den aktuelle rodoptagelse af næringsstofferne kan enten være passiv (ikke behov for energi, næringsstofferne transporteres med vandflowet) eller aktivt via såkaldte "carrier"-molekyler, rodcellernes plasmamembraner (behov for tilførsel af energi).

### Koncentration af næringsstoffer

Alt andet lige finder en højere koncentration af næringsstoffer bedre vej til rødderne end en lavere koncentration. Derfor er det – gennem jordanalyser – vigtigt at sikre sig, at næringsstofferne har den rette tilgængelighed gennem hele sæsonen.

### Absorption af næringsstoffer

Der er stor forskel på, hvor stærkt næringsstofferne bindes til jordpartiklernes overflade. Jordpartiklernes overflade er som oftest negativ. Det betyder, at næringsstoffer med den modsatte (positive) ladning (kationer) (tabel 1) tiltrækkes af jordpartiklerne. Omvendt vil de negative anioner (tabel 1) frastødes af jordpartiklerne. De næringsstoffer, der bindes stærkest til jordpartiklerne, er også de næringsstoffer, der har vanskeligst ved frit at bevæge sig til rødderne. Den stærkeste binding har de kationer, der har den mindste radius inklusive vandkappe

og den største positive ladning (figur 3). Selvom aluminium (Al) har en lille størrelse, er ladningen så stor, at den bindes meget stærkt til jordens kolloider. Ca og Mg bindes knapt så stærkt, mens K har endnu lavere og samme bindingsstyrke som ammonium ( $\text{NH}_4^+$ -N). Natrium (Na) og især brint bindes svagt. Kationernes mobilitet i jorden er den modsatte rækkefølge.

Mn (1), Fe (1) og Cu (3) er eksempler på positive næringsstoffer med en noget mere kompleks bindingskemi påvirket af både jordens iltningstilstand og indholdet af organisk stof. Især Cu bindes meget stærkt til især organiske forbindelser, hvorfor dette næringsstof ofte fremprovokerer mangel på tørve- og mosejorde – men også på sortsandede udvaskede podzoljorde (3). Når pH er større end 4, er molybdæn (Mo) en anion, som på mange måder minder om en mellemting mellem fosfat og sulfat, ved at den bindes til lerminerale samt aluminium- og jernforbindelser.

Fe og Mn findes i flere iltningstrin (1), hvoraf især  $\text{Fe}^+$  og  $\text{Mn}^{2+}$  er tilgængelige for juletræerne. Disse ioner eksisterer især under iltfattige forhold (f.eks. vandlidende jorde og hist og pist i tætte jordstrukturer) og ved lavt pH. Middel til højt pH og ilttrige forhold betyder, at jern og mangan i høj grad immobiliseres som fast stof. Jernmangel er forholdsvis sjælden i juletræs- og pyntegrøntkulturer, mens manganmangel forekommer hyppigt på løse sandjorde, jorde med højt pH og humusjorde. Mangel afhjælpes kun gennem bladgødskning for at undgå udfældning og immobilitet, når gødningsstofferne rammer jorden.

### De drivende anioner

Anionerne eller de negativt ladede næringsstoffer bevæger sig frit i jordvandet. Anionerne spreder sig generelt ved at flytte sig fra højere til lavere koncentrationer eller via det nedsivende jordvand drevet af tyngdekraften. Anionerne følges dog altid af kationer, men det er frastødningen fra jordpartiklernes overflade, som gør, at anionerne er de "drivende" stoffer i dyrkningsystemet. Klorid ( $\text{Cl}^-$ ), nitrat og sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) er alle gode eksempler på negative anioner, der efter gødskning eller atmosfærisk nedfald let flyder ned igennem jorden til planterødderne eller udvaskes fra rodzonen. Dog kan sulfat i varierende grad binde sig til f.eks. aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) og forskellige lerminerale, – et forhold der i langt højere grad gælder for det negativt ladede fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

### Fosfor

P afviger helt fra de andre anioner, fordi det i stort omfang tilbageholdes i jorden med udvaskningshastigheder, der ofte måles i mm/år. Fosfors dynamik i jorden er kompliceret, fordi den er styret af både jordens pH og indholdet af ler- og humus (4). Planter optager kun fosfor på uorganisk form som dihydrogenfosfat ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), monohydrogenfosfat ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) eller fosfat. Mange undersøgelser har vist, at den største optagelse af fosfor foregår i pH-området 5,0–6,5, hvor dihydrogenfosfat dominerer, men også at den største tilgængelige mængde fosfor findes ved  $\text{pH}=6,5$  ( $\text{Rt}=7,0$ ) (1).

Tabel 1. Næringsstoffernes rodoptagelsesform og mobilitet i planter og jord.

Næringsstof	Makro/mikro	Optagelsesform	Mobilitet i planten	Mobilitet i jord
Kulstof	Makro	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> CO <sub>2</sub>		
Hydrogen	Makro	H <sup>+</sup> , OH <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> O		
Ilt	Makro	O <sub>2</sub>		
Kvælstof	Makro	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Mobil*)	Meget mobil som NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , noget immobil som NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Fosfor	Makro	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Meget mobil	Immobil
Kalium	Makro	K <sup>+</sup>	Meget mobil	Noget mobil
Kalcium	Makro	Ca <sup>2+</sup>	Immobil	Noget mobil
Magnesium	Makro	Mg <sup>2+</sup>	Meget mobil	Immobil
Svovl	Makro	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Meget mobil	Mobil
Bor	Makro	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Immobil	Meget mobil
Kobber	Mikro	Cu <sup>2+</sup>	Immobil	Immobil
Jern	Mikro	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	Noget mobil	Immobil
Mangan	Mikro	Mn <sup>2+</sup>	Immobil	Mobil
Zink	Mikro	Zn <sup>2+</sup>	immobil	Immobil
Molybdæn	Mikro	MoO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Mobil	Noget mobil
Klorid	Mikro	Cl <sup>-</sup>	Meget mobil	Mobil
Nickel	Mikro	Ni <sup>2+</sup>	Mobil	Noget mobil

\*) Kvælstofrige aminosyrer er den mest almindelige måde at transportere kvælstof på i phloemet i højere planter.

Langt det meste fosfor er imidlertid ikke på uorganisk form, men bundet til aluminium- og jernforbindelser ved lavt pH og kalcium ved højt pH samt til humus og uomsatte planterester og mikroorganismer (figur 4). Den tilgængelige mængde fosfor sikres gennem tilførsel fra de utilgængelige puljer eller ved gødning.

### Gødsning og mobilitet i jord

De fleste positive næringsstoffer er enten noget mobile eller immobile i jord (tabel 1). Kationernes mobilitet kompliceres dog af, hvilke anioner, der følger dem. Hvis Ca f.eks. er knyttet til nitrat eller klorid, vil næringsstoffet være langt mere mobilt og lettere trækkes ned til planterødderne eller udvaskes ud af rodzonen, end hvis det er tilknyttet karbonat (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), som er tungtopløseligt, som det er tilfældet ved kalkning.

Mange af mikronæringsstofferne regnes for at være immobile i jorden, hvorfor mangel bedst bekæmpes med bladgødninger. P er som det eneste negative næringsstof stærkt immobil. S hører til gruppen af mobile næringsstoffer, men der er ingen tvivl om, at klorid og nitratkvælstof er de mest mobile næringsstoffer af alle i jord.

Meget afhænger af jordtypen og vejrforholdet, men som tommelfingerregel vil det tildelte nitrat være optaget indenfor 2 til 3 uger. Den anden kvælstoftype, ammonium, vil være i dyrkningssystemet i noget længere tid på grund af binding til jorders kolloider. Før rodoptagelsen transformeres ammonium ofte til nitrat gennem bakteriernes nitrifikation - en proces der yderligere forsinker rodoptagelsen.

P flyttes i jorden næsten udelukkende ved diffusion og bindes tillige effektivt til jordkolloiderne. På grund af den ringe tilgængelighed og mobilitet er det derfor uhyre vigtigt at udvise rettidig omhu med dette næringsstof og altid sikre sig, at fosfortallet (Pt) er større end 2.

### MOBILITET I PLANTEN

#### Transportsystemer

I planten flyttes næringsstofferne rundt gennem to transportsystemer: Xylemet (vedvævet) og phloemet, (sivævet) (figur 5). Xylemet transporterer vand og næringssalte fra rødderne op gennem stammen til nålene, men også til deponi af reservenæring. Xylemet forbindes



**GØDNING TIL JULETRÆER**  
Organisk gødning baseret på recirkulerede genanvendte animalske råvarer

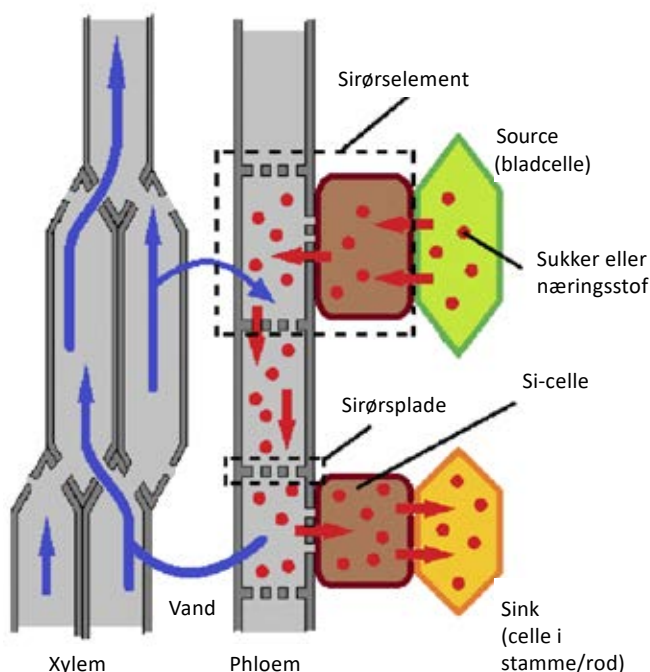
Øgro 10-3-1 | ØgroTree  
Læs mere på [www.ogro.dk](http://www.ogro.dk) eller kontakt os på tel: 5156 4709





Figur 5. Transporten af næringsstoffer foregår kun en vej i xylemet. I phloemet er transporten i flere retninger.

til barken af et radiært vedsystem, kaldt marvstråler. I xylemet er transporten af vand og næringsstoffer i princippet drevet af fordampning især fra nålene.



Figur 6. Xylemet er opbygget af tracheider, der sikrer et frit flow fra rod til top. Phloemet er opbygget af sirørsceller og følgeceller = sirørselement. Desuden er der vist "sources" and "sinks".

Phloemet transporterer sukkerstoffer (samt proteiner og andre organiske stoffer), der er dannet ved fotosyntese, fra nålene til den øvrige del af planten, men også oplagrede og brugte næringsstoffer fra ældre nåle og barkstederne, hvorfra næringsstofferne flyttes, kaldes "sources", mens stederne hvortil næringsstofferne flyttes hen, kaldes "sinks" (figur 6).

### Vækststrategi og transport

Når næringsstofferne først er kommet ind i planterne, bliver de transporteret til der, hvor de skal bruges - typisk til planternes vækstpunkter eller til midlertidige lagre. Men der er forskel på, hvordan planterne gør det, og der er desværre begrænset viden om, hvordan transporten foregår

i nåltræer sammenlignet med løvtræer og enårige afgrøder. Meget tyder på, at stedsegrønne nåltræer har en noget anderledes vækststrategi (5), der også indebærer en lidt anderledes transport af sukker og næringsstoffer.

Hos nåltræer som nordmannsgran, nobilis og rødgran er de nydannede årsnåle lysegrønne længe. De modnes langsomt, og først i løbet af sensommeren - og det tidlige efterår - får de den mørkegrønne farve som tegn på, at alt klorofylen i grønkornene er dannet. Det er en lang modningsproces, der skal til, for at disse årsnåle kan yde en optimal fotosyntese i det sene efterår og frem for alt i den kommende vækstsæson. Den lange proces er måske en tilpasning for at beskytte nålene bedst muligt, bl.a. gennem dannelse af tykke vokslag og cellevægge.

Når den kommende vækstsæson starter, og før træernes nye årsnåle er sprunget ud, måske allerede i marts eller endnu tidligere i de efterhånden hyppigere milde vintre, er nåltræerne derfor allerede bevæbnet til tænderne med et fuldt udviklet fotosynteseapparat. Måske er denne anderledes strategi en tilpasning til vækst i et koldere klima, hvor solens indstråling er mindre kraftig og af kortere varighed. Formentlig er retranslokation (se senere) af næringsstoffer fra ældre til nydannede nåle en af konsekvenserne af denne vækststrategi.

### Xylemtransport

Nåltræers xylem er som "sugerør", der udgøres af slanke, døde celler kaldet for tracheider (figur 6). Ved modenhed dør disse celler og efterlader et stilladsrør, bygget op omkring stive cellevægge, som passivt transporterer vand og næringsstoffer. Dette kan lade sig gøre, fordi vandmolekyler tiltrækker hinanden (cohesion), ligesom de også tiltrækker næringsstofferne (adhesion).

Alle næringsstoffer kan transporteres i xylemet, og især i flerårige plantearter varierer koncentrationen meget hen over året. N transporterer især som nitrat, og kun ved meget høje koncentrationer af ammonium jorden kan denne transport blive betydelig i xylemet. Nåltræerne kan dog sagtens optage ammonium gennem rødderne, men før den videre transport fra roden bliver ammonium omdannet til bl.a. nitrat.

Vi ved ikke, hvilken kvælstofform (eller blanding) nordmannsgran, nobilis og rødgran foretrækker. Flere forsøg peger dog på, at nitrat giver større vækst, grønnere nålfarve og optages langt hurtigere end ammonium (6, 7).

Xylemtransporten er i princippet bestemt af transpirationens størrelse, som igen afhænger af plantealder, tidspunkt på dagen, næringsstoffernes koncentration i jordvandet, og det specifikke næringsstof. Det er ikke altid en simpel transport fra rod til nål. Undervejs kan næringsstofferne bindes til tracheiders cellevægge og derved forsinke transporten (næringsstoffer med stor ladning f.eks.  $\text{Ca}^{2+}$  bindes lettere end næringsstoffer med lille ladning, f.eks.  $\text{K}^{+}$ ).

## Phloemtransport

Cellerne i phloemet er placeret overfor hinanden, så de danner lange rør (sirørene). Cellerne er levende og forbundet med hinanden via huller i cellernes endeplade (figur 6). Disse celler har bibeholdt deres plasmamembran, men mistet meget af deres cytoplasma og mangler helt cellekernen. De er derfor helt afhængige af tilknyttede følgeceller, der aktivt (forbrug af energi) pumper sukkerstoffer eller næringsstoffer ud i sirørerne (phloemloading).

Planterne kan ophobe meget høje koncentrationer af sukkerstoffer i sirørene. Det er det høje sukkerindhold, der gør, at sirørene optager vand ved osmose, hvorved der skabes et (osmotisk) overtryk i cellerne, som driver vandstrømmen mod andre plantedele. Det er med denne vandstrøm, at sukkerstoffer og aminosyrer flyder, men også der at flytningen (translokationen) af næringsstoffer foregår. Phloem-loading i nåletræerne foregår hyppigst i de ældre nåle, stammen og grenene, mens sinks-vævet ofte er nålenes vækstpunkter i de nye årsnåle, rodsystemet og koglerne.

## Retranslokation

Transporten af sukker og næringsstoffer rundt i planten med phloemet kaldes for translokation. Når man bruger ordet "retranslokation", understreger man blot, at et allerede indlejret stof, f.eks. N, flyttes igen fra f.eks. ældre til yngre nåle.

Retranslokation af næringsstoffer i nåletræer er en iboende proces i træerne, der foregår over hele året i hele plantens levetid, når blot de rette betingelser er til stede (8, 9, 10). Denne type retranslokation er normalt betydeligt større end den, der foregår i forbindelse med tilbagetrækning af næringsstoffer fra ældningen af nåle før det endelige nåletab.

Meget peger på, at retranslokationen i nåletræer især drives af de nye skuds vækst, og ikke så meget af tilgængeligheden af næringsstoffer i jorden. Flere undersøgelser har således vist, at det mere er størrelsen af "sinks", der er bestemmende for retranslokationen end jordens

pulje af næringsstoffer, men også at gødskningen igennem påvirkning af skuddets vækst har en stor indirekte betydning for nåletræers vækst.

Forsøg har således tydeligt vist, at retranslokationen af næringsstoffer vokser med gødningsmængderne, men også at den er meget betydelig, hvor der ikke tilføres gødning. Samme forsøg har også vist, at retranslokationen kan forårsage midlertidige fald i koncentrationen af næringsstoffer under decideret mangelniveau, selv på næringsrige lokaliteter (hvilket ikke er ukendt i juletræskulturer i forbindelse med bare skuldre).

Ofte falder retranslokationen sammen med den store vækst af de nye skud i det sene forår/tidlige sommer, hvor også mineralisering af næringsstoffer og gødskning er stor. Genopfyldning er især stor om efteråret og vinteren, når denne er mild. Det er også vist (5), at størrelsen af nåletræer (undertrykte versus dominerende) har betydning for størrelsen af retranslokationen, hvilket peger på, at kronestruktur samt størrelse og fordeling af den interne næringsstofpulje har betydning.

Det vil sige, at nedbør og den rette fordeling af jordens fugtighed – især på sandjord (11, 12, 13, 14), samt mængde, fordeling og type af gødning alle påvirker skudvæksten hos juletræer, og dermed indirekte påvirker retranslokationens størrelse.

Det er tidligere foreslået, at når juletræer nippes, reduceres det nye skuds "kald" på næringsstoffer. Denne teori underbygges ved, at transporten af f.eks. P kan være 10 gange hurtigere hos træer med sommerskud sammenlignet med træer, hvor skuddene var beskåret (9).

Forøgelsen i retranslokationen, når træernes vækst øges, peger på, at både jord- og klimaparametre, der fremmer skudvæksten, også fremmer næringsstoffranslokationen. Retranslokationen skal derfor ses som en tilpasning til at forøge næringsstofforsyningen til træernes vækstpunkter, især når andre forhold, som f.eks. tørke under udspringet eller vedvarende høj luftfugtighed begrænser tilførslen af næringsstoffer.

## Dokumenteret herkomst

### Din sikkerhed for en vellykket juletræsproduktion

- Teknisk og genetisk topkvalitet
- Bredt herkomstprogram
- Stor ekspertise og tæt samarbejde



SUSÅ PLANTESKOLE

Borupvej 62 • DK-4683 Rønnede  
Tlf. +45 20 14 60 52 • www.susaaplanteskole.dk



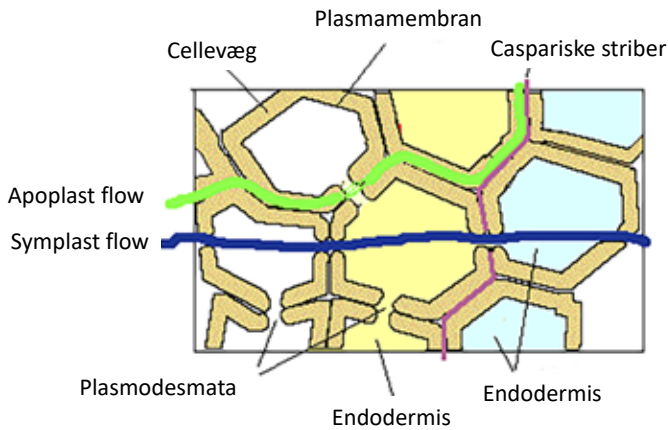
Skov & Landskab



Johansens  
Planteskole

Med rødder i viden

Damhusvej 103 • DK-7080 Børkop  
Tlf +45 75 86 62 22 • johansens-planteskole.dk



Figur 7. Apoplastisk og symplastisk flow i planteroden. Principperne for de to flowtyper er den samme for træets stamme. Endodermis er den inderste cylinder af celler i planterodens bark. Cellerne kendes på de caspariske striber - en båndformet del af cellevæggen.

### Stor forskel i næringsstoffernes mobilitet

Næringsstoffernes mobilitet er forskellig plantearterne imellem. I tabel 1 er angivet et skøn for de almindeligste juletræsarter i Danmark. De mest mobile næringsstoffer i planten er nitrat-kvælstof og K (Tabel 1). Disse næringsstoffer er kendt for en hurtig rodoptagelse og en hurtig transport med xylemet til f.eks. en slutdestination i årsnålene. I phloemet i nåltræer m.m. er nitrat ikke den almindeligste transportform for kvælstof, men derimod kvælstofrige aminosyrer. Planterne er gode til at tilbageholde det optagne kvælstof, mens kalium derimod let udvaskes fra nålene – men det optages igen lige så hurtigt af rodsystemet. Kalium er desuden den mest almindelige kation, der følger de organiske anioner transport rundt i planten. Med andre ord er kalium det vigtigste ladningsneutraliserende stof. P er et andet eksempel på et meget mobilt næringsstof i planten – helt i modsætning til i jorden. S, klorid og Mg hører også til de meget mobile næringsstoffer.

Alle andre næringsstoffer udviser en vis form for begrænsning, hvad angår mobilitet i phloemet. Mindst mobil er klart calcium og mangan, som stort set udelukkende forsynes til "sinks" via xylemet.

### Mangel på immobile næringsstoffer

Næringsstoffernes mobilitet i planten bestemmer, hvor mangelsymptomerne viser sig. Drejer det sig om immobile næringsstoffer vil mangelsymptomerne først vise sig på de nye nåle, fordi en utilstrækkelig tilførsel med xylemet ikke kan kompenseres af retranslokation fra andre steder i træet. Skoleeksemplerne er her mangel på Mn (1) eller Ca (røde nåle) (15).

Nåltræerne optager i alt overvejende grad Mn som  $Mn^{2+}$ , og transporten af Mn sker med saftstrømmen i xylemet. Mn transporteres derfor rundt i planten fra rødder og stamme til nålene og ikke omvendt. På mange måder minder Mn derfor om Ca, hvor slutdestinationen for den interne transport i planten er nålene, hvorfra det ikke kan flyttes.

Mn-mangel ses derfor typisk som en (kanarie)gulfarvning af årsnålene, hvor symptomerne ofte bevæger sig op i træet år efter år i takt med at træet vokser. Ofte er gulfarvningen mest intens på sydsiden på de soleksponerede nåle, fordi manganmangel gør træet mere lysfølsomt. Gulfarvningen hidrører især fra manglende klorofylproduktion og utilstrækkeligt forløb af fotosyntesen (1).

En af teorierne bag røde nåle bygger på Ca's meget ringe mobilitet i phloemet, og at Ca i langt overvejende grad fordeles til de nydannede nåle via xylemet. (fremhævet tekst hvis muligt)

Transporten i xylemet er i princippet en passiv transport udenfor (døde) cellers oprindelige plasmamembran og i ekstracellulærrummene (apoplasten) drevet af transpirationen (figur 7).

Anderledes er det, når transporten foregår i phloemet, som er indenfor plasmamembranen i cellevæsken (symplasten) (figur 7). I modsætning til xylemtransporten skal vand, organiske stoffer og næringsstoffer aktivt eller ved osmose flyttes over plasmamembranen for at komme fra en celle til en anden (gennem plasmodesmata = sirørsplade i figur 6). I planteceller er calciumniveauet altid lavt i selve cellevæsken, mens det er højt i vakuoler og i apoplasten (f.eks. cellevægge) udenfor plasmamembranen. Phloemets celler har ikke vakuoler eller andre strukturer, hvor calcium kan opmagasinere, hvorfor calcium nødvendigvis aktivt pumpes ud af phloemets celler. Derfor er indholdet af Ca alt for lavt i phloemet til at understøtte plantevæv i sin opbyggende fase.

Har tilførslen af calcium til nye årsnåle været lav, f.eks. i forbindelse med tørke eller høj luftfugtighed under udspring, vil der således ikke kunne foregå en retranslokation af Ca fra ældre nåle til de nye årsnåle, der kan kompensere for xylemets utilstrækkelige bidrag. Ofte ses Ca i det nydannede plantevæv at være direkte relateret til planternes transpiration.



Mangan er et mikronæringsstof, som regnes for at være immobilt i planter.



"Bare skuldre" udvikler sig, fordi depoterne af Mg i træet er for lave.

### Mangel på mobile næringsstoffer

Symptomer på mangel på af mobile næringsstoffer viser sig først i de ældre nåle, fordi de mobile næringsstoffer let flyttes i phloemet fra de ældre til de yngre blade, som planten prioriterer højest. Skoleeksemplet er her Mg-mangel, bedre kendt som bare skuldre, men mangel på mobile næringsstoffer som K, N og S er også relativt hyppige indenfor branchen.

Bare skuldre udvikler sig fordi depoterne af Mg i træet er for lave enten som følge af for lav tilgængelighed i jorden eller for lille et optag af træerne. Da bare skuldre i midten 10'erne havde sin største udbredelse betød en ringe tilgængelig, bl.a. forårsaget af høje doseringen af K med gødskningen, givetvis en stor rolle, men udbredt brug af kieserit har øget Mg-tilgængeligheden i jorden.

## R&E FOREST TEAM - EN SAMARBEJDSPARTNER DU ALTID KAN REGNE MED

- GRUNDLAGT I 2008
  - OVER 1200 VELLYKKEDE PROJEKTER
  - OVER 200 ANSATTE REKRUTTERES HVERT ÅR

### VI UDFØRER:

- MANUEL GØDSKNING
- BUNDKLIPNING
- FORMREGULERING
- PLANTNING
- TVEGE KLIP
- PLANTNING AF POTTETRÆER
- RENHOLDELSE



VI ER ET DANSK FIRMA. VI SNAKKER ENGELSK.

VERNINGEVEJ-9, 5672, NR. BROBY | CVR.NR. 38966634 | PH.N. +4552191790, +4552905473



Formentlig har ændrede klimatiske kår spillet en afgørende rolle for træernes opbygning af magnesiumreserver i ældre nåle, ved, bark, grene og rod. De nye nåle har i de værste år med bare skuldre fået en stigende andel af deres Mg tilført gennem phloemet fra de ældre nåle, primært et år gamle nåle. "Kaldet" i årsnålene på Mg i juni er altid stort og yderligere forceret gennem (en sen) forårsgødsknings påvirkning af væksten. Hvis tilførslen fra jorden gennem xylemet har været hæmmet, enten under udspringet eller under den naturlige opbygning af lagrene i efteråret, har der simpelthen ikke været nok Mg til stede til at opretholde tilstrækkelige mængder i de et år gamle nåle, der gennem retranslokationen har leveret magnesium til årsnålene. Disse nåle er blevet tappet for Mg i en sådan grad, at der er opstået akut mangel, hvor det ikke længere har været rentabelt for træet at beholde nålene.

Nipning af nye skud mindsker givetvis "sinks"-behovet, mens stabklipping gør et indhug i lagerstørrelsen ("source"). Forskningslitteraturen siger, at genopbygningen af lagerne sker om efteråret og om vinteren, når disse er milde, men med øget luftfugtighed vil transpirationen reduceres og dermed også transporten via xylemet af jordoptaget magnesium falde.

### Afslutning

Generelt er anionerne langt mere mobile i jord end kationerne, men det er vigtigt at udvise rettidig omhu i forbindelse med tilførslen af undtagelsen P, som er særdeles immobil i jord. I planten er alle næringsstoffer mobile i xylemvævet, men når det gælder retranslokation og mobilitet i phloemet, begrænses antallet. Det er især Ca, Mn og Cu's immobilitet, der påkalder sig opmærksomhed i juletræs- og klippegrøntdyrkingen.

Det kan være en god hjælp at tænke næringsstoffernes mobilitet med, når der skal vælges den rigtige gødnings-type, eller om der skal suppleres med specialgødninger. Jord- og nåleanalyser er et fantastisk værktøj, når gødningsbehovet skal bestemmes, eller når planternes trivsel skal forstås. Også her er kendskabet til næringsstofmobilitet afgørende i tolkningen.

Når koncentrationen af et immobil næringsstof skal vurderes i en nåleanalyse, er det ikke altid nok med en analyse fra årsnålene, enten fra den næstøverste eller øverste gren. Hvis tilstrækkeligheden af et mobilt næringsstof skal vurderes, er det altid det bedste at udtage prøver fra årsnåle og fra 1 år gamle nåle på den næstøverste gren, sådan som det skete i forbindelse med bare skuldre. Men det gælder for så vidt ikke kun for Mg, men også for N, P, S, K osv. Inddragelsen af begge nålealder vil altid give en bedre dynamisk forståelse af, hvordan og hvorfor træet flytter rundt på næringsstofferne. Det er en helt naturlig proces, men flytningen kan let kamme over og blive for stor.

Det er "kaldet" fra "sinks", der især bestemmer retranslokationens størrelse, så undlad også af den grund at bruge for megen gødning. Gødskning har en fundamental betydning for produktionen af primajuletræer, men man skal huske, at gødsningen er et tveægget sværd, som i den grad gennem stimulering af trævæksten, også stimulerer retranslokationen på godt og ondt.

Der er mange "hvis'er" og ubekendte i forståelsen af retranslokationens rolle for nåltræers ernæring, både af intern og ekstern karakter. Der er flere, der mener, at klimaet har spillet en afgørende rolle for f.eks.

## Juletræs traktor FORT SIRIO



SØNDERUP  
MASKINHANDEL A/S



Hjedsbækvej 464 • 9541 Suldrup • tlf: 98 65 32 55 • [www.jutrak.dk](http://www.jutrak.dk) • [www.facebook.com/FORTSIRIO](https://www.facebook.com/FORTSIRIO) • e-mail: [mail@fbdk.dk](mailto:mail@fbdk.dk)

forekomsten af bare skuldre (magnesiummangel) i juletræer. Vejret har givetvis også en afgørende rolle for fremkomsten af røde nåle (kalciummangel). Især luft- og jordfugtighed, som både kan bremse og stimulere rodoptagelsen og retranslokationen af næringsstoffer og manglende vintre, er der peget på som stærkt betydende faktorer.

De fleste har lært at begrænse forårsgødskningen, og mange er gået over til brug af organiske gødninger for at sprede tilgængeligheden af kvælstof og andre næringsstoffer. Dette er der ræson i, både med hensyn til prioritering af genbrug af næringsstoffer, men også fordi forsommerens strækningsvækst begrænses heraf (og dermed også "kaldet" på næringsstoffer). Men der kan ikke herske tvivl om, at perioden med god tilgængelighed af næringsstoffer udstrækkes, hvilket kan have en anderledes påvirkning af retranslokationen af f.eks. Mg hen over sommeren og efteråret. Hvorvidt denne udstrækning er positiv eller negativ vides ikke.

## Litteratur

1. Pedersen, L.B. (2020): Mangan og jern – to mikronæringsstoffer med stor betydning, Nåledrys, 113, side 42-50.
2. Pedersen, L.B. (2018): Bare skuldre – nogle har stadig problemet tæt på kroppen, Nåledrys, 103, side 8-17.
3. Pedersen, L.B. (2020): For lidt kobber, Nåledrys, 102, side 42-47.
4. Pedersen, L.B. (2020): Fosfor – det nye guld, Nåledrys, 112, side 38-44.
5. Pedersen, L. B. (2019): Vækst- og gødningsstrategi for nordmannsgran. Nåledrys, 108, side 43-54.
6. Rothstein, D.E. og Cregg, B. (2005): Effects of nitrogen form on nutrient uptake and physiology of Fraser fir (*Abies fraseri*). *Forest Ecology and Management*, 219(1), side 69-80.
7. Lars Bo Pedersen, Rune Vesterager Asmussen og Kenneth Klausen (2017): Form-N: Et forsøg med kvælstofformerne nitrat & ammonium, Nåledrys 99, side 22-28.
8. Nambiar, E.K.S. og Fife, D.N. (1987): Growth and nutrient retranslocation in needles of radiata pine in relation to nitrogen supply. *Ann. Bot.*, 60, 147-156. Fife, D.N. og Nambiar, E.K.S. (1982): Accumulation and retranslocation of nutrients in developing needles in relation to seasonal growth of young radiata pine trees. *Ann. Bot.*; 50:8, 17-829.
9. Fife, D.N. og Nambiar, E.K.S. (1984): Movement of nutrients in radiata pine needles in relation to the growth of shoots. *Ann. Bot.*, 54; 303-314.
10. Nambiar, E.K.S. (1987): Do nutrients retranslocate from fine roots? *Can. J. For. Res.*, 17; 913-918.
11. Pedersen, L.B., Christensen C.J. og Ingerslev, M. (2009): Jordens vandindhold påvirker topskudsvæksten. *Videnblade Pyntegrønt*, nr.: 04.02-06
12. Pedersen, L.B., Christensen, C.J. og Ingerslev, M (2009): Topskudsvækst og klimavariationer – hvordan med kemisk regulering? Nåledrys, 67, side 5-10.
13. Pedersen, L.B., Christensen, L.B. og Olsen, M.H (2007): Topskudsvækst i nordmannsgran, Nåledrys, 60, side 34-38.
14. Christensen, C.J., Pedersen, L.B. og Friis, E. (2001): Bevoksings- og farvegødskning af nordmannsgranjuletræer. *Pyntegrøntserien, Skov & Landskab*, side 1- 101.
15. Pedersen, L.B., Christensen C.J. og Hansen, R.V. (2013): Røde nåle. Vi sætter afprøvninger i gang! Nåledrys, 83, 54-59 

## Crapal®2 et stærkt valg

  
ArcelorMittal

### Zink+Aluminium legering for aktiv og langtidsvirkende korrosionsbeskyttelse

- Dobbelt så lang levetid uden merpris
- Designet til de mest barske klimaer i Norden
- Spar tid på opsætning: Hegn i 150 og 200 m ruller
- Miljøvenlig - ingen brug af skadelige metaller





Gl. Skivevej 91 · 8800 Viborg  
T: 87 281 281 · F: 87 281 291  
hd2412@hd2412.dk · www.hd2412.dk