

Planter

## Efterafgrøder kan øge tilgængeligheden af fosfor fra jorden

Generelt er fosfor svært tilgængeligt i jorden, men efterafgrøder kan påvirke fosfortilgængeligheden for hovedafgrøden via forskellige mekanismer. Bestemte arter af efterafgrøder kan således være et middel til at øge tilgængeligheden af jordens fosfor.

Viden om

---

### Det svært tilgængelige næringsstof

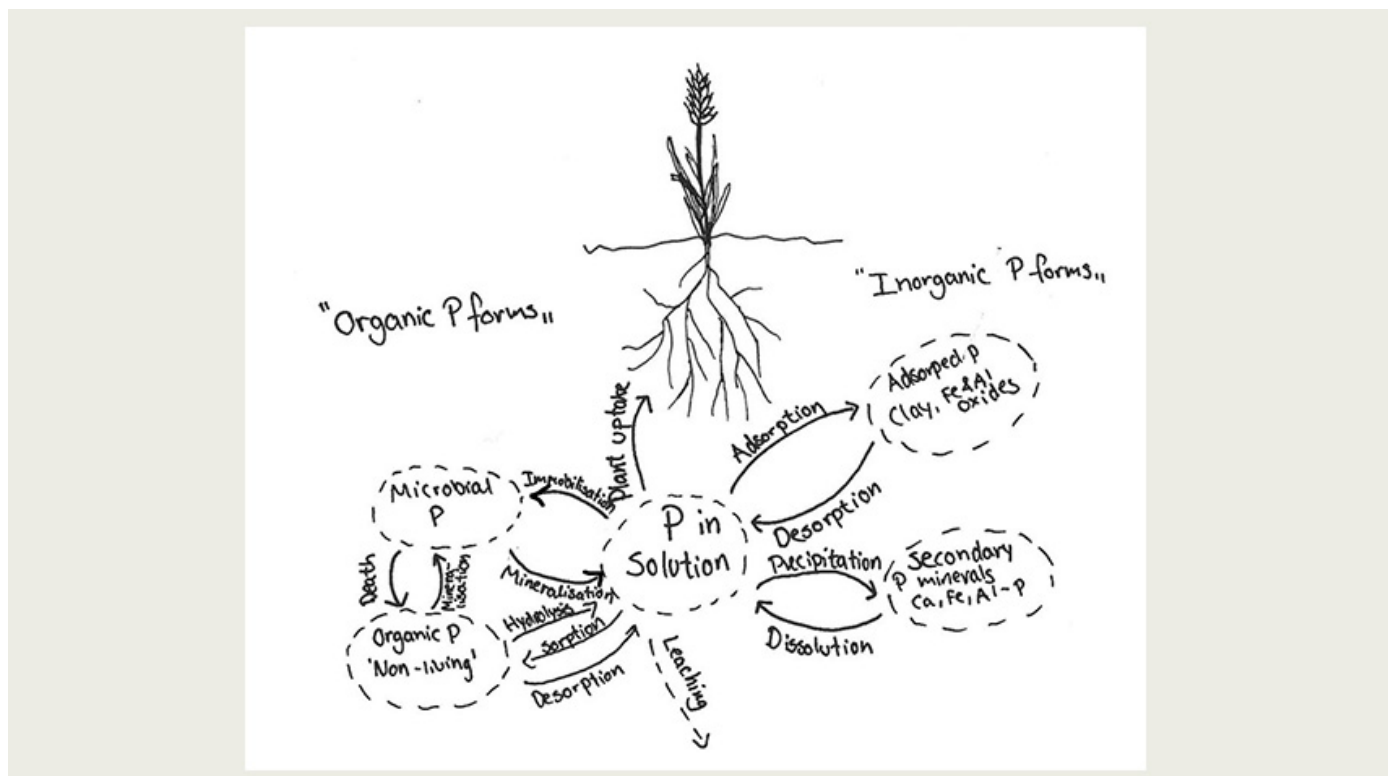
Fosfor er et essentielt makronæringsstof, der kan være begrænsende for udbyttet. Generelt er fosfor meget hårdt bundet i jorden eller i utilgængelige puljer. Tilførsel af fosforgødning kan bidrage til at sikre afgrøderne tilstrækkelig fosforforsyning, men ved høje gødningspriser er denne tilførsel er omkostningstung og tilførslen kan samtidig begrænses af fosforlofter.

Historisk set har tilførslen af fosforholdig gødning, specielt husdyrgødning, medført en akkumulering af fosfor i danske jorde, specielt i Vestdanmark. Det betyder, at mange jorde er velforsynede med fosfor, hvilket dog også medfører en øget risiko for tab af fosfor til miljøet. På andre jorde, typisk på Sjælland, er fosfortallet over årene nået et kritisk lavt niveau. Det betyder, at der mange steder er behov for strategier til at fremme afgrødernes fosforsyning.



Figur 1 illustrerer jordens fosforcyklus. I jorden er fosfor bundet i organiske forbindelser, f.eks. i den mikrobielle biomasse eller i uorganiske forbindelser, f.eks. adsorberet til lerpartikler. Af den totale mængde fosfor i jorden findes kun en lille del i plantetilgængelig form, opløst i jordvæsken. Planter kan øge tilgængeligheden af fosfor via forskellige mekanismer.

Forskellige arter eller familier af planter har forskellige strategier til at sikre optaget af fosfor. Ved at anvende viden om disse forskellige plantestrategier til fosforoptag kan fosforforsyningen til hovedafgrøden muligvis forbedres. Flere studier tyder i hvert fald på det.



Figur 1. Skematisk tegning af jordens fosforcyklus. Gengivet fra Christensen 2021.

## Plantestrategier til at øge fosfortilgængelighed

- Øget rodvækst – eks. flere rodhår eller flere smårødder til at afsøge jorden for fosfor
- Udskillelse af organiske syrer og  $H^+$  for at ændre pH i rhizosfæren
- Frigivelse af fosfortaseenzym og andre fosformobiliserede enzymer
- Symbiose med mykorrhizasvampe.

## Danske undersøgelser med efterafgrøder

I Danmark er der udført flere forsøg med det formål at undersøge om efterafgrøder kan bruges til at øge tilgængeligheden af fosfor for den efterfølgende afgrøde. Da de danske forhold væsentligt kan

adskille sig fra studier udført i udlandet, er det afgørende at fokusere på resultaterne fra danske forsøg. Samtidig er det essentielt, at de valgte efterafgrødearter er relevante og dyrknings sikre under danske dyrkningsforhold.

## Effekt af tre efterafgrøder på fosfortilgængelighed for en efterfølgende bygafgrøde

Et af de danske forsøg undersøger effekten af tre forskellige efterafgrøder på fosfortilgængelighed for en efterfølgende bygafgrøde (Christensen et al. 2021 samt Christensen et al. 2022). Forsøget blev udført som et potteforsøg, hvor der er blevet anvendt jord fra det langvarige gødskningsforsøg i St. Jynde vad. Jorden var en JB 1 med et fosfortal på henholdsvis 1,1 og 2,1 (lav og middel P). De tre efterafgrøder i forsøget var klinte, havre og lupin, som blev valgt ud fra deres forskelligartede egenskaber.

Forsøgsdesignet tillod sammenligning af effekten af efterafgrødernes rødder, grønne biomasse samt kombinationen af begge dele (hele efterafgrødeplanterne) på væksten af en efterfølgende bygafgrøde. I forsøget blev efterafgrødernes påvirkning på jorden, planternes fosforoptyag samt den efterfølgende afgrøde undersøgt. Efterafgrøderne havde forskellige fosforoptyag samt forskellig påvirkning på jorden. Fosforoptyaget i efterafgrøderne blev påvirket af jordens fosforstatus, så der var et større optag i jorden med middel P. Dog havde klinte ens fosforoptyag i både lav P og middel P jorden.

Forsøget viste, at både klinte og lupin havde egenskaber til at forbedre fosfortilgængeligheden for den efterfølgende hovedafgrøde samt øge tørstofudbyttet. Lupin øgede den totale mikrobielle biomasse i jorden, og der var også mere fosfortaseenzym i jorden med lupinrødder. Den høje C:P koncentration i klinte gør den derudover til en lovende fosformobiliserende efterafgrøde.

## Effekt af 4 andre efterafgrødearter på fosforoptyag i rajgræs

Effekten af fire andre efterafgrødearter på fosforoptyaget i rajgræs er blevet undersøgt i et potteforsøg udført på Københavns Universitet (Hansen et al. 2022). Efterafgrøderne var hvid lupin, olieræddike, boghvede samt almindelig syre. Effekten af de fire efterafgrøder blev testet i jord med forskellig fosforstatus, som stammede fra samme langvarige markforsøg. Fosfortallene var henholdsvis 0,63 (lav P) og 1,53 (middel P). Det skal hertil bemærkes, at fosfortallet i middel P må anses for at være lav, men for at kunne adskille de to, betegnes jordens fosforstatus herefter som værende middel P.

I dette forsøg blev biomassen fra de fire efterafgrødearter indsamlet fra en mark, hvorefter den blev brugt i potteforsøget. Mængden af efterafgrøde blev tilpasset, så der i alle behandlinger blev tildelt

50 mg fosfor pr. kg jord. Der var to referencebehandlinger i forsøget; en hvor der var tilført 50 mg fosfor pr. kg jord på mineralsk form og en behandling uden tilførsel af fosfor.

Efterafgrøderesterne bidrog i mindre grad end den mineralske fosforgødning til fosforoptaget i rajgræs. I forsøget blev der observeret signifikant sammenhæng mellem rajgræs' fosforoptag og efterafgrødernes fosforkoncentration samt efterafgrødernes C:P-forhold. Almindelig syre og olieræddike bidrog især til et øget fosforoptag i rajgræs sammenlignet med jorden uden fosfortilførsel i jorden med lav P-status.

I jorden med middel fosforstatus var det især almindelig syre og vikke, som bidrog til rajgræs' fosforoptag. Konklusionen fra forsøget var, at efterafgrøderester muligvis kan bidrage til fosforforsyningen af den efterfølgende afgrøde. Hvordan påvirkningen på den efterfølgende afgrøde vil være, vil afhænge af både efterafgrødernes kvalitet, f.eks. C:P-koncentration, og jordens fosforstatus.

I et inkubationsstudie udført på Københavns Universitet er frigivelsen af fosfor fra syv efterafgrødearter blevet undersøgt over en periode på 80 dage (Hansen et al. 2021). De syv arter var almindelig syre, olieræddike, boghvede, blodkløver, italiensk rajgræs, hvid lupin og sandvikke. Efterafgrøderne blev sået i en mark den 16. august 2018, og rod- og topdele af efterafgrøderne blev indsamlet den 1. november 2018 til brug i inkubationsforsøget. Forsøget blev udført i 120 ml PVC-glas. Fosfortallet i jorden, der blev brugt i forsøget, var 2,0.

Der blev udtaget prøver i forsøget på dag 1, 7, 20, 40 og 80. Ændringer i fosfortilgængelighed blev målt ved vandekstraktion. Især almindelig syre viste sig at være en lovende efterafgrøde til at mobilisere fosfor, da der blev målt en markant stigning i vandekstraherbart fosfor i slutningen af inkubationsforsøget. Derudover har hvid lupin og olieræddike ligeledes potentiale til at være fosformobiliserende. Forfatterne til artiklen understreger, at der er potentiale for at udnytte efterafgrødeblandinger til at mobilisere fosfor, da forskellige arter har forskellige egenskaber med hensyn til fosformobilisering.

## **Markforsøg i Tyskland: effekt af efterafgrødeblanding**

I et markforsøg udført i Sydvesttyskland blev effekten af anvendelsen af en efterafgrødeblanding på tilgængeligheden af organisk bundet fosfor undersøgt (Hallama et al., 2021). Forskellige parametre blev målt for at analysere tilgængeligheden, herunder mængden af mikrobielt fosfor og fedtsyrer samt aktiviteten af fosfortaseenzym.

Efterafgrødeblandingen bestod af aleksandrinekløver, markært, fodervikke, blålupin, niger samt honningurt. Blandingen blev sået i begyndelsen af august og blev samtidig gødet med 40 kg kvælstof.

Efterafgrødeblandingen blev sammenlignet med bar jord uden efterafgrøder. Jordens fosforstatus blev klassificeret som middel ifølge den gængse fosforanalysemetode i Tyskland.

Resultaterne af markforsøget indikerer, at tilstedeværelsen af efterafgrødeblandingen signifikant forøgede tilgængeligheden af organisk bundet fosfor. Derimod var puljen af uorganisk bundet fosfor størst i den bare jord uden efterafgrøder. Forskerne konkluderede, at efterafgrødeblandingen kan bruges til at mobilisere organisk bundet fosfor, hvilket i fremtiden kan spille en vigtig rolle i at sikre planternes fosforsupplering og potentielt reducere behovet for tilførsel af fosforgødning.

En omfattende analyse af i alt 240 datasæt fra 25 forskellige studier belyser, hvordan efterafgrøder påvirker fosfortilgængeligheden for den følgende hovedafgrøde (Hallama et al. 2019). Analysen viser, at det især er i systemer med meget lav tilgængelighed af fosfor, at efterafgrøder kan spille en vigtig rolle i at mobilisere ellers utilgængeligt fosfor.

En af de faktorer, som påvirker tilgængeligheden af fosfor for hovedafgrøden, er koncentrationen af fosfor i efterafgrøderne. Det påvirker nemlig, hvordan fosfor frigives, når plantevævet nedbrydes. En anden vigtig mekanisme, som væksten af efterafgrøder påvirker, er det mikrobielle samfund i jorden. Efterafgrøder kan nemlig påvirke forekomsten af mykorrhizasvampe i jorden, mængden af mikrobielt bundet fosfor samt aktiviteten af fosfortaseenzym. Fosfortaseenzym spiller en vigtig rolle i frigivelsen af organisk bundet fosfor.

Analysen viser også, at det er meget svært at måle effekten af efterafgrøder på fosfortilgængelighed med traditionelle fosforanalyser, f.eks. via Olsen P-metoden. Især lupin er på tværs af studier fundet til at øge fosfortilgængeligheden. Derudover har arter fra henholdsvis græs-, korsblomst- og ærteblomstfamilien potentiale til at øge både den mikrobielle fosfor og aktiviteten af fosfortaseenzym.

Derfor er det meget relevant at arbejde med efterafgrødeblandinger med henblik på at øge fosfortilgængeligheden. Konklusionen af meta-analysen er, at via de nævnte mekanismer er brugen af efterafgrøder en vigtig brik i at forbedre næringsstofkredsløbet. Derudover kan brugen af efterafgrøder potentielt øge planternes forsyning med fosfor og dermed øge udbytterne.

## Eksempler på mulige fosformobiliserende arter

Med fordel kan forskellige typer af efterafgrøder blandes sammen, så synergier imellem deres forskellige fosformobiliseringsstrategier kan udnyttes.

- **Lupin:** udskillelse organiske syrer og dannelse af specielle rodstrukturer, højt C:P forhold
- **Klinte:** høj koncentration af fosfor og højt C:P forhold
- **Boghvede:** udskillelse af anioner og protoner, højt C:P forhold

- **Olieræddike:** høj fosforkoncentration og stort fosforoptag
- **Blodkløver:** højt C:P forhold i skuddele
- **Havre:** dannelse af symbiose med mykorrhizasvampe
- **Almindelig syre:** høj fosforkoncentration i både rødder og skud.

## Perspektiver om fosfor og efterafgrøder

Emnet med fosfor og efterafgrøder er stadig relativt uudforsket, og det gør det svært at formulere konkrete anbefalinger på nuværende tidspunkt. Dog tyder det på, at der er potentiale for at forbedre fosfortilgængeligheden for hovedafgrøder, og at efterafgrøder dermed kan udgøre et vigtigt element i forhold til at forbedre planternes fosforforsyning. Det kræver mere viden om, hvilke arter, eller blandinger af arter, der er egnede, samt hvordan efterafgrøderne skal håndteres på marken.

Med støtte fra Promille Afgiftsfonden for Landbrug vil SEGES Innovation i samarbejde med Innovations Center for Økologisk Landbrug i 2024 igangsætte en forsøgsserie, hvor egnetheden af forskellige efterafgrødearter til at øge fosfortilgængeligheden for den efterfølgende hovedafgrøde vil blive undersøgt.

### Referencer

Christensen, J. T. (2021) Improved Utilisation of Phosphorus in Soil: Altering Soil Phosphorus Dynamics by Liming and Use of Cover Crops. PhD-afhandling. Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet.

Christensen, J. T., Hansen, E. M., Kandeler, E., Hallama, M., Christensen, B. T., Rubæk, G. H. (2021). Effect of soil P status on barley growth, P uptake, and soil microbial properties after incorporation of cover crop shoot and root residues. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 1–11. DOI: 10.1002/jpln.202100046.

Christensen, J. T., Hansen, E. M., Hallama, M., Kandeler, E., Rubæk, G. H. (2022). Oat, corncockle, and lupine growth affects resin-extractable soil phosphorus and soil microbial properties differently. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 185:329–340. DOI:10.1002/jpln.202000487.

Hansen, V., Müller-Stöver, D., Gómez-Muñoz, B, Oberson, A., Magid, J. (2022). Differences in cover crop contributions to phosphorus uptake by ryegrass in two soils with low and moderate P status. *Geoderma* (426) 116075. doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116075.

Hansen, V., Eriksen, J., Jensen, L. S., Thorup-Kristensen, K., Magid, J. (2021). Towards integrated cover crop management: N, P and S release from aboveground and belowground residues. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 313. 107392.

Hallama, M. Pekrun, C., Lambers, H., Kandeler, E. 2019. Hidden minders – the roles of cover crops and soil microorganisms in phosphorus cycling through agroecosystems. *Plant Soil* (434): 7-45.

## Emneord

Efterafgrøder

Fosfor (P)

Gødningsstrategier

Publiceret: 19. december 2023

Opdateret: 19. december 2023

## Vil du vide mere?



### Julie Therese Christensen

Specialkonsulent

SEGES Innovation P/S

[jtcn@seges.dk](mailto:jtcn@seges.dk)

+45 2125 4360

## Støttet af

Promilleafgiftsfonden for landbrug

---

SEGES Innovation P/S    Tlf.    8740 5000  
Agro Food Park 15        Fax.    8740 5010  
8200 Aarhus N            Email   [info@seges.dk](mailto:info@seges.dk)