

KAPITEL 5

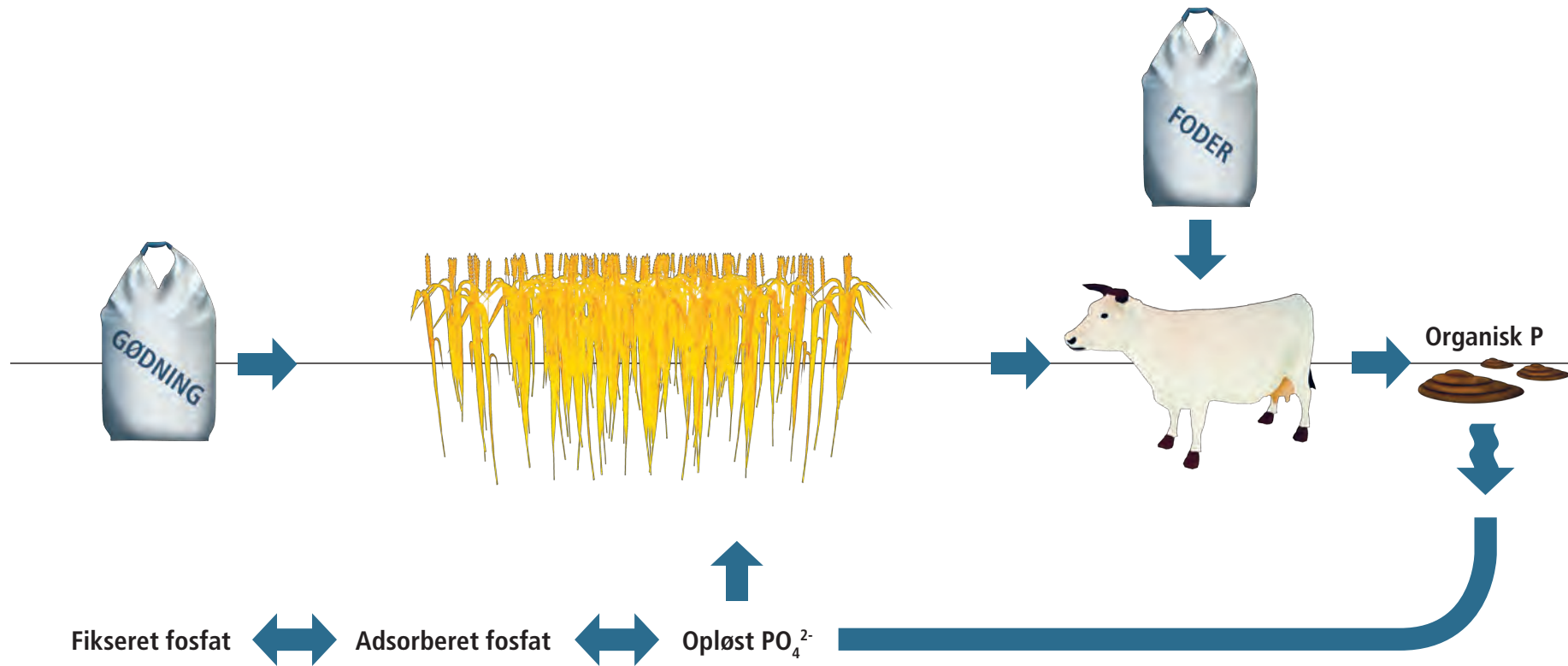
FOSFOR

— FREMTIDENS GULD

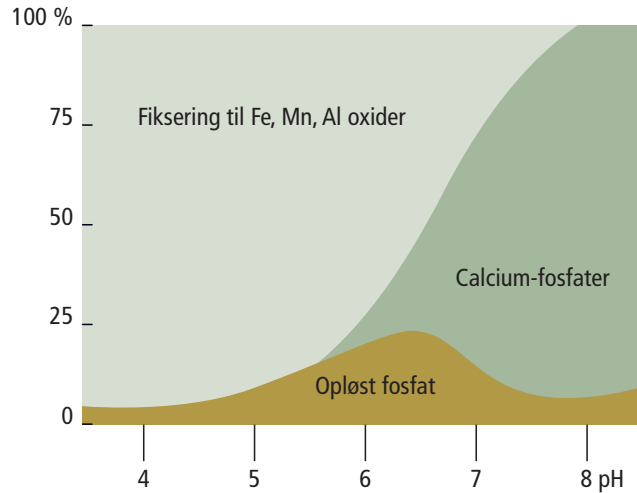
Fosfor er et essentielt plantenæringsstof, som er så reaktionsvilligt, at det ikke forekommer frit tilgængeligt for planterne i jorden. Derfor er fosfor tit en begrænsende faktor i planteproduktionen – særligt på tropiske jorde. Næringsstoffet udvinder man fra miner, hvis reserver inden for en overskuelig fremtid er udtømte. Vi står derfor over for en enorm global udfordring med både at sikre fosfor til landbruget og føde-vareproduktionen i fremtiden.

Hvordan løser vi det dilemma? Hvordan sikrer vi, at fosfor også er tilgængeligt om 50 år? Kan det være ved at øge recirkuleringen af fosforen i det moderne landbrug og i byerne? Ved at dyrke jorden anderledes i troperne? Eller måske ved at lave nye planter, der er mere fosforeffektive?

Læs svar og overvejelser på de næste sider.



Figur 5.2. Fosfors kredsløb i jordbruget. Fosfor bliver tilført dyrkningssystemet i form af kunstgødning og foder. Den organiske P-pulje i jorden kommer fra husdyrgødning og planterester. Fosforen i den organiske pulje omsætter mikroorganismene til opløst fosfat, som er en del af jordens uorganiske pulje. 3D: Hans Christian Asmussen/NATION. Ko: Studio Bottini Google 3D Warehouse. Foto: Yara Danmark.



Fosformangel giver lavere udbytter

Fosfor (P) udgør typisk mellem 0,2-0,4 % af plantens tørstof. Da fosfor er centralt i dannelsen af cellemembraner, vokser planter med fosformangel meget langsomt og bliver ikke så store. Klorofyldannelsen bliver næsten ikke påvirket under fosformangel, derfor bliver planterne kraftigt mørkegrønne eller ligefrem blålige, fordi klorofyl bliver opkoncentreret i bladene. Efter længere tids fosformangel bliver der dannet antocyaniner, og planterne bliver derfor rødligt/lilla-farvede (Figur 5.1). Vedvarende fosformangel hos planten giver et markant lavere høstudbytte.

Figur 5.1. Tomatplante med fosformangel. Bemærk, at bladenes nerver og underside er lillafarvet. Foto: Søren Husted.



Figur 5.3. Ved lave pH-værdier binder fosfat til jern-, mangan- og aluminiumoxider på lermineralernes overflade eller i jordvæsken. Ved pH under 5 bliver fosfortilgængeligheden ekstremt lav. Ved høje pH-værdier bindes fosfat til calcium i jorden. Plantetilgængeligheden er størst i neutrale jorde.

Fosfors funktion i planten

Fosfor er et af de essentielle næringsstoffer for planter. Det indgår i en række forbindelser:

- i ATP, ADP og AMP – som er cellernes energitransportører.
- i fosforlipider – som indgår i cellemembraner.
- som en del af nukleinsyrerne, der indgår i DNA og RNA.

Foruden disse tre centrale funktioner, spiller fosfor hos planter en vigtig rolle for en række processer, der regulerer enzymers aktivitet f.eks. fosforylering.

Fosfors kredsløb

I modsætning til kvælstof har fosfor ikke noget atmosfærisk kredsløb. Til gengæld er fosfors binding til jord meget kompliceret og er reguleret af en række parametre såsom pH, ler- og humusindhold i jorden. Fosforkredsløbet kan overordnet deles op i tre dele (Figur 5.2):

- fosfor i organismen (planter og dyr).
- jordens uorganiske fosforpulje.
- jordens organiske fosforpulje.

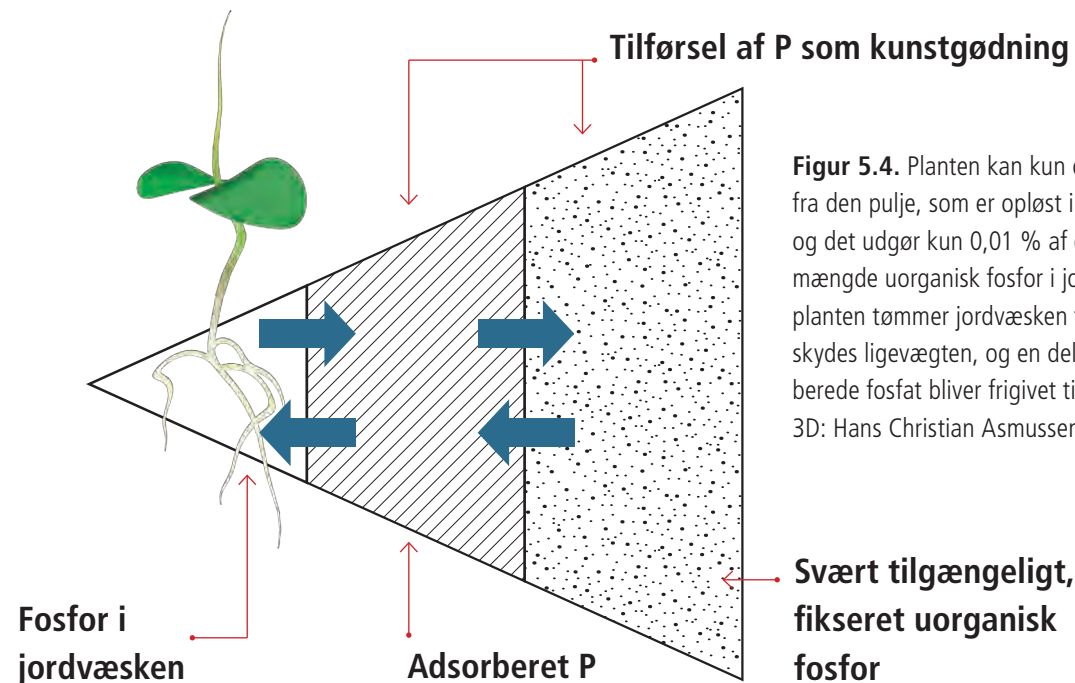
Den uorganiske fosfor-pulje

Planter optager udelukkende fosfor i sin

uorganiske form, dvs. som fosfat ($\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$) fra jordvæsken. Det opløste fosfat står i ligevægt med den fosfor, som er adsorberet til overfladen af jordens mineraler. Mængden af plantetilgængeligt fosfor styres af et meget kompliceret samspil, der omfatter: mineraliseringen af organisk P fra gødning og plantester samt ligevægten mellem fosfor (bundet til lerminerale) og den meget beskedne mængde fosfat (opløst i jordvæsken). Ved lav pH binder fosfor sig især til jern- og aluminiumholdige lerminerale i jorden. Ved høj pH bindes fosfor overvejende i forskellige calciumholdige forbindelser (Figur 5.3). Fosfor har størst opløselighed ved pH omkring 6,5. Det er en af de vigtige grunde til, at landmanden forsøger at fastholde en neutral pH-værdi i jorden.

Den organiske pulje i jorden

Den organiske fosfor-pulje i jorden består primært af humus og planterester. Når de bliver nedbrudt til CO_2 , sker der en langsom



Figur 5.4. Planten kan kun optage fosfor fra den pulje, som er opløst i jordvæsken, og det udgør kun 0,01 % af den samlede mængde uorganisk fosfor i jorden. Når planten tømmer jordvæsken for fosfat, forskydes ligevægten, og en del af den adsorberede fosfat bliver frigivet til jordvæsken. 3D: Hans Christian Asmussen/NATION.

frigivelse af $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ til jorden. Mængden er overvejende styret af, hvor meget humus og gødning, der er i jorden, og hvor hurtigt mikroorganismene nedbryder det.

Fosfat vil enten blive optaget af planter, adsorberet af jordens mineraler eller udvasket. Dog er udvaskningen af P meget begrænset, fordi det bindes meget kraftigt til jordens lerpartikler.

Den relative fordeling af jordens P i den organiske og mineralske pulje kan variere fra 20-80 %. I Danmark er der ofte omtrent lige meget af hver, dog indeholder lerjorde typisk mere mineralsk P end sandjorde.

Tilgængelighed og adsorption i jorden

Selvom fosfor findes som en anion – fosfat – i jorden, opfører den sig helt anderledes

end f.eks. nitrat, som også er en anion. Da jordens overflader er overvejende negativt ladede, bindes kationer typisk bedre til jorden end anioner. Derfor bliver nitrat (NO_3^-) udvasket, hvorimod ammonium (NH_4^+) bindes til jorden.

Man kunne derfor tro, at fosfor også udvasker let, men det er ikke tilfældet. Fosfats opløselighed i jord er styret af nogle helt andre processer. Det reagerer med Ca, Al og Fe og udfælder som tungtopløselige forbindelser især på overfladen af lerpartiklerne i jorden. Langt det meste af det uorganiske fosfat er således udfældet og derfor utilgængeligt for planterne. Kun 0,01 % af den samlede mængde fosfor i jorden er på opløst form i jordvæsken, som omgiver rødderne. Det kan kun forsyne en hurtigt voksende afgrøde med fosfor i nogle ganske få timer. Når det opløste fosfor er opbrugt, bliver der langsomt frigivet nyt fosfor fra jordens fosforholdige mineraler (Figur 5.4). Det er derfor ikke mængden af fosfor i jordvæsken, som

primært bestemmer plantens fosfороptag, men snarere hvor hurtigt fosfor bliver frigivet fra mineralerne til jordvæsken.

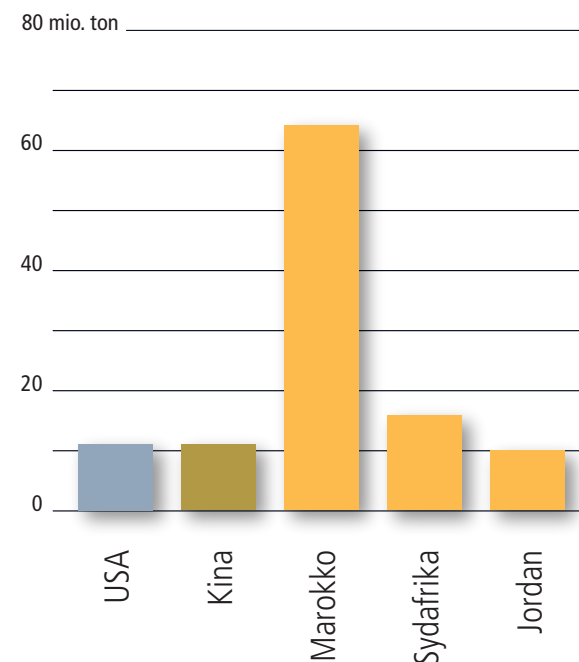
Fosfor i fødevarerproduktionen

Der er tre grunde til, at det er interessant at kigge nærmere på fosfor i forhold til fødevarerproduktion:

- fosfor er meget tit begrænsende for planterproduktionen
 - omkring 2/3 af jordene i udviklingslandene mangler fosfor.
- fosfor bliver udvundet fra miner ganske få steder på jorden – de reserver vil være opbrugt i løbet af 50-100 år.
- fosfor opfører sig helt anderledes end kvælstof i jorden
 - planterne må derfor bruge særlige strategier for at få fosfor nok til deres vækst.

Rigelig fosfor i dansk jord

I Danmark har jordbruget i mange årtier tilført fosfor til markerne, og derfor er vores



Figur 5.5. De globale fosforreserver i 2001. Marokkos reserver udgør ca. 50 % af fosforreserverne.

opdyrkede jorde i dag fosfor-mættede. Jorden binder derfor ikke længere fosforen særlig hårdt (man kan sammenligne det med en malerrulle, som allerede er våd og derfor ikke suger så godt). Der er desuden ofte meget organisk stof i jorden i Danmark. Det organiske stof lægger sig på overfladen af lerpartiklerne, så de ikke kan reagere med fosfat i jordvæsken. Det organiske stof mindsker altså antallet af steder, hvor fosfat kan binde sig. Dermed bliver fosfor lettere tilgængelig for planterne.

Fosfor-hungrende afrikanske jorde

Omvendt forholder det sig med de udpinte tropiske jorde i eksempelvis store dele af Afrika. Hvis man spreder fosforgødning på disse jorde, bliver fosfor bundet hårdt og vil være utilgængeligt for planterne (man kan sammenligne det med en tør malerrulle, der skal dypes mange gange i malingen, før man kan få maling ud af den igen). Derfor får den tropiske jordbruger ikke meget ud af at tilføre sin jord

uorganisk fosfor, da langt det meste binder sig til mineralerne, og der er måske kun 10 % tilbage, som afgrøden kan optage. Først efter flere år med jævnlig tilførsel af gødning vil det føre til en egentlig forbedring af jordkvaliteten og en bedre fosforudnyttelse af gødningen. Hvis man som fattig landmand kun har begrænsede muligheder for at investere, vil man vælge de ting, som giver en vis effekt med det samme. Derfor ser man tit en ensidig brug af f.eks. kvælstofgødning, som afgrøden reagerer hurtigt på. Det gavner på længere sigt ikke planten, fordi ubalancen mellem næringsstofferne i jorden stiger.

Et andet problem er, at fattige landmænd ofte "smører for tyndt på". I stedet for at dyrke halvdelen af deres jord lidt mere intensivt, spreder de den lille mængde fosforgødning, de har, på hele marken. Dermed bliver det sværere for planterne at "konkurrere" med jordens mineraler om fosforen, fordi jorden først skal mættes med fosfor, før der er fosfat i jordvæsken.

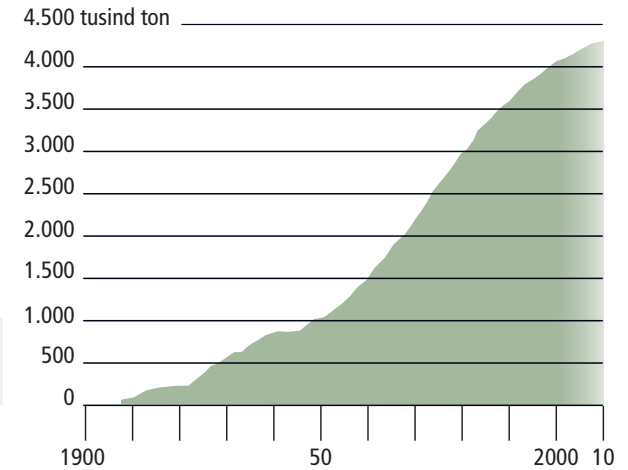
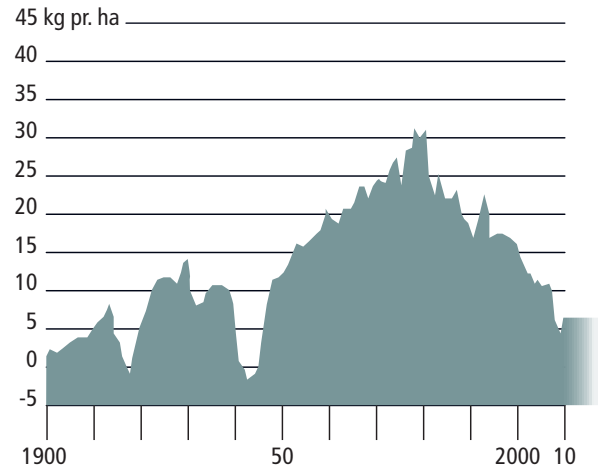
Klodens fosforreserver slipper op

Store koncentrationer af fosfor finder man kun få steder på kloden i dag. Fra disse miner udvinder man fosfor til brug i kunstgødning, foder og vaskemidler. Tidligere udvandt man fosfor fra guanobjerge ud for Chiles kyst, men de er næsten udtømte (se faktasiden fra guano til gylle s. 76).

I dag er 90 % af de tilgængelige fosforreserver at finde i fem lande (Figur 5.5). Derudover har Brasilien, Rusland, Israel og en række andre lande mindre reserver.

Med det nuværende forbrug af fosfor rækker reserveerne til de næste 100 år. Hvis efterspørgslen stiger med 2,5 % om året, grundet større behov for mad og industriel vækst i udviklingslandene, vil minerne være tomme, inden der er gået 50 år.

Uanset udviklingen står vi over for en enorm udfordring med at sikre fosfor til landbruget i fremtiden. Kina har allerede taget konsekvensen og stort set standset eksporten af fosfor med høje skatter. USA er allerede nu



netto-importør af fosfor, selvom det er et af de få lande, som selv har fosforreserver. En del af Marokkos miner ligger i et landområde, som er annekteret fra Vestsahara, så hvis det udvikler sig til et konfliktområde, er forsyningssikkerheden til resten af verden truet.

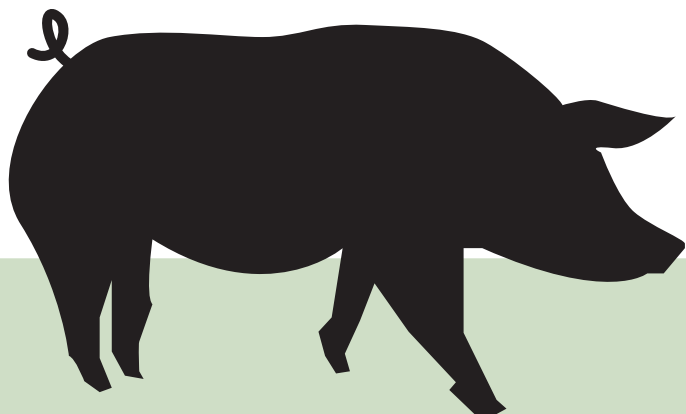
Hvor olien fra 70'erne og frem har været en nøglefaktor i det geo-politiske spil, har fosfor og vand chancen for at overtage den rolle i det 21. århundrede. Man kan allerede nu se, at de forskellige lande begynder at sikre deres egen fosforforsyning.

Fosfor-balancen i Danmark

I slutningen af 1800-tallet var store dele af dansk landbrugsjord ikke særlig frugtbar. Mange hundrede års dyrkning havde udpint den, og dele af landsbrugsjorden var indvundet fra næringsfattige hede- og skovarealer. Udbyttet for hvede lå typisk under 1 ton pr. ha, hvor man i dag høster over 10-12 ton på de mest frugtbare jorde.

I starten af 1900-tallet begyndte man at importere gødning i større stil (Figur 5.6). Først i form af fosforgødning fra guano og

Figur 5.6. Årligt og akkumuleret fosforoverskud i dansk jordbrug i det 20. århundrede. Danmark har igennem de sidste 100 år importeret store mængder fosforgødning (tv.). Fosforoverskuddet er støt stigende – afbrudt af de to verdenskrige – frem mod 1980'erne. Herefter er overskuddet faldende, fordi man begyndte at reducere kunstgødningsforbruget i erkendelse af, at jorden var fuldt gødet. De meget lave værdier i 2008/2009 skyldes bl.a. høje gødningspriser under fødevarekrisen. Importen af fosfor i foderet er fortsat med at stige helt frem til i dag. Der har været en fosforophobning på 1.500 kg pr. ha i gennemsnit i Danmark i løbet af det 20. århundrede (th.). Konsekvensen er, at mange danske jorde er mættede med fosfor, og risikoen for fosforudvaskning er stigende.



Danske grise vokser meget hurtigt – op til et kilo om dagen, og derfor skal de også bruge meget fosfor til deres vækst. Langt det meste fosfor i

det foder, de får, er bundet i fytat. Fytat er svært at nedbryde, og derfor kan grisene ikke optage ret meget af det fosfor, som er i foderet. Det har man traditionelt løst ved at tilføje ekstra fosfor på en mere lettilgængelig form til foderet. Det øger naturligvis fosforforbruget. En anden løsning er at tilføje et enzym; fytase, som spaltes fytaten og øger biotilgængeligheden af fosfor. Enzymet findes i alle planter, og man arbejder på at fremavle planter med et højere indhold af fytase. Man kan også fremstille det industrielt og tilsætte det til foderet.

miner, men efterhånden i stigende grad gennem foder, som indeholder meget fosfor, til vores husdyr.

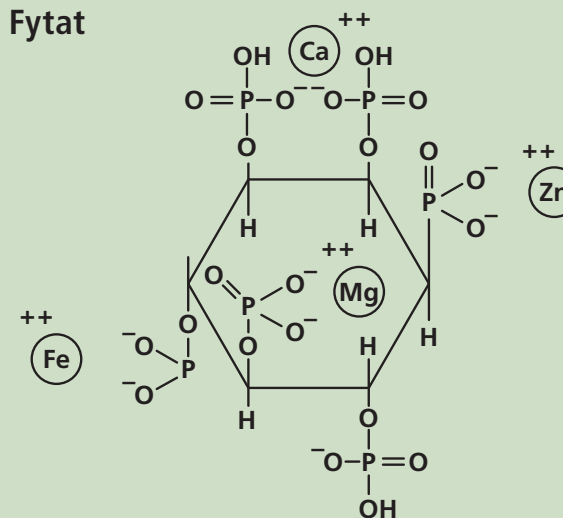
Fosforholdig husdyrgødning

I dag fjerner vi ca. 70 % af det tilførte fosfor i dyre- og planteprodukter, resten ophobes i jorden eller udvaskes. Omkring en fjerdedel af fosfortilførslen stammer fra kunstgødning, to tredjedele er fra det foder, som dyrene spiser, og ender i husdyrgødningen (Figur 5.7). En

mindre – men stigende – andel kommer fra recirkuleret slam og affald fra byer. Udnyttelsesgraden af det tilførte fosfor er steget markant de seneste 20 år, fra 40 % til 70 %. Men vi tilføjer stadig hvert år mere, end vi fjerner, på trods af at de danske jorde indeholder rigtig meget fosfor.

Det store bidrag af fosfor fra husdyrgødningen resulterer i en meget skæv fordeling af fosforoverskuddet i Danmark (Figur 5.8). I de østlige egne er der få husdyr. Her kan man

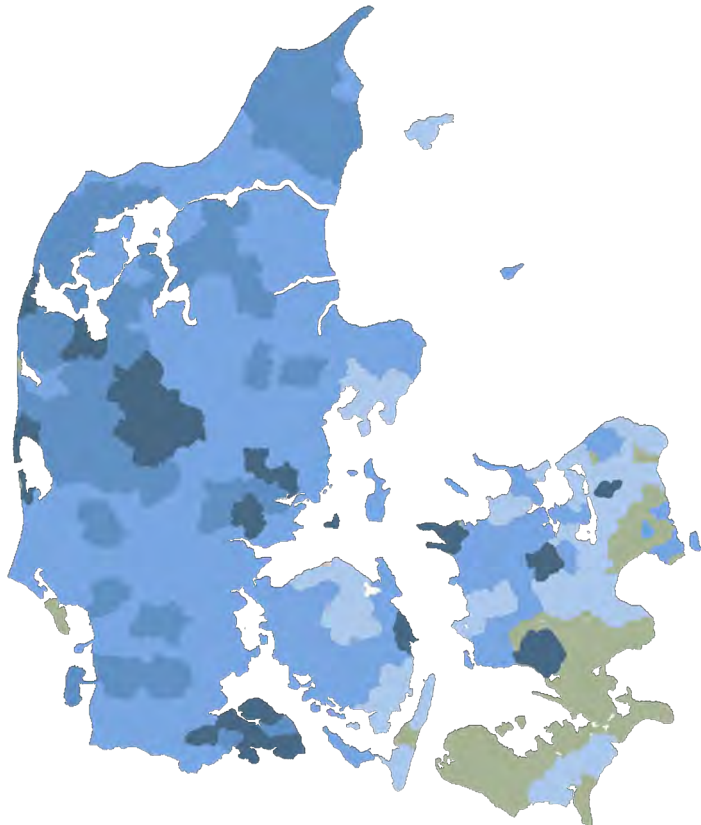
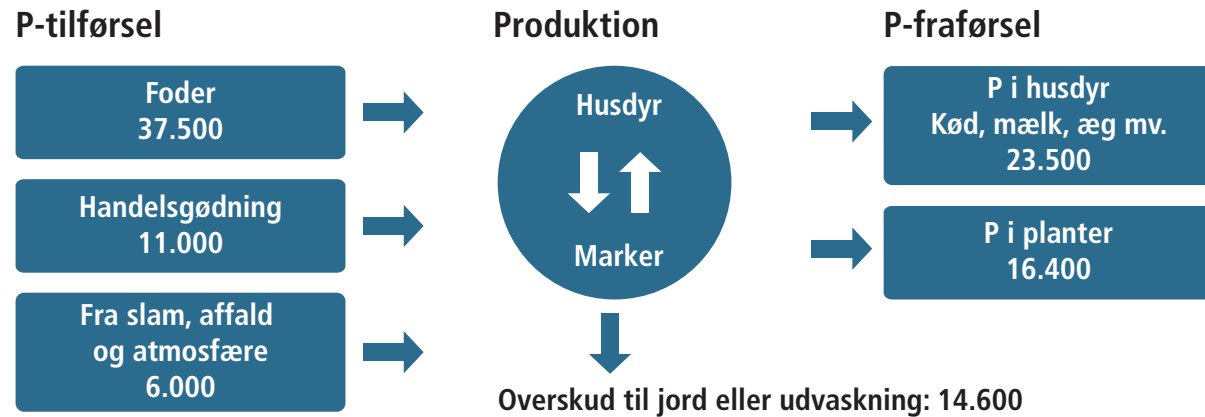
Fytat



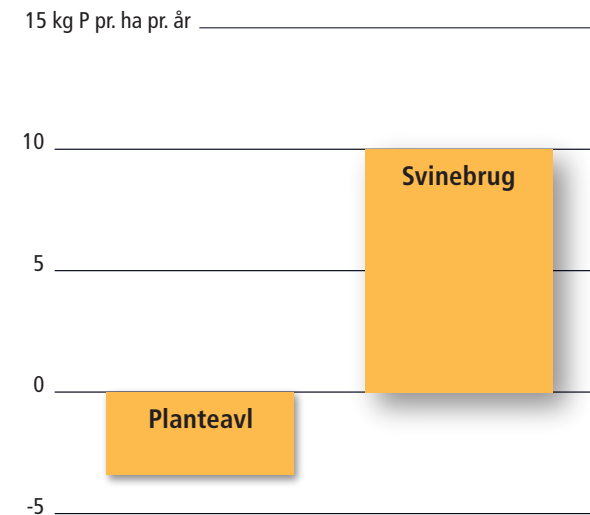
styre fosfortilførslen ret præcist, fordi det hovedsagelig kommer fra kunstgødning. Vestpå er der mange husdyr, og fosfortilførslen kommer derfor overvejende fra husdyrgødningen, hvor fosfor-indholdet er meget varierende.

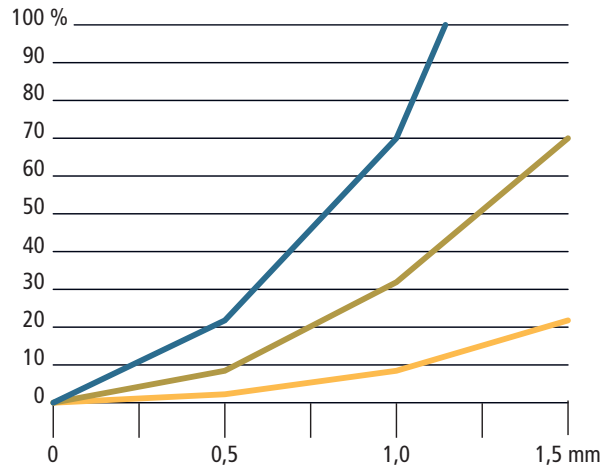
Gødningsnormen i Danmark – den regel, som bestemmer, hvor meget gødning en landmand må bruge – er baseret på kvælstofmængden i gødningen. Der er derfor almindeligvis ikke nogen, som fokuserer på, hvor meget fosfor der tilføres jorden via husdyrgødning.

Figur 5.7. Fosforomsætningen i dansk jordbrug angivet i tons fosfor. Bemærk forskellen imellem totalt importeret P (som gødning og foder) og den mængde, som man fjerner i form af landbrugsprodukter (korn, kød, mælk etc.) (2010).



Figur 5.8. Fosforoverskuddets fordeling i Danmark (Kort). De største fosfor-overskud er der, hvor der er mange husdyr. Planteavlerne har sænket deres kunstgødningsforbrug og tilfører i dag mindre fosfor, end de fjerner. Svinebønderne køber heller ikke meget kunstgødning, men der kommer meget fosfor fra foderet, som havner i husdyrgødningen på marken.





Figur 5.10a. Rodlængden og rodhårene spiller en vigtig rolle for, hvor godt roden udtømmer jorden. Jo højere rodhårslængde, jo større et jordvolumen er roden i kontakt med.

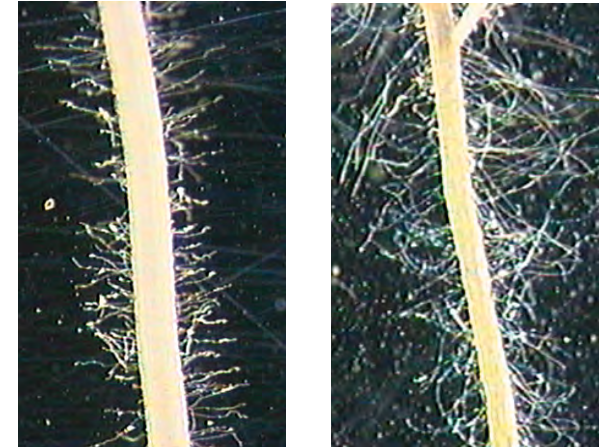
X-akse: Rodhårslængden.

Y-akse: % jord volumen, som rødderne kan optage P fra.

Lav ■, mellem ■ og høj ■ rodthæthed.

Figur 5.10b. Rod fra byg-plante med korte rodhår (tv.) og lange rodhår (th.).

Foto: Andreas de Neergaard.



Strategier for øget fosforudnyttelse

Forskellige strategier og forskningsområder kan blive sat i spil for at afhjælpe det fremtidige problem med at skaffe fosfor nok til fremtidens fødevarerproduktion. De kan groft opdeles i tre områder:

- dyrkningsstrategier.
- udvikling af fosforeffektive planter.
- forbedret recirkulering af fosfor.

Dyrkningsstrategier

I lande med fosfor-fikserende jorde, sådan som vi typisk finder dem i troperne, hvor

bønderne ikke har råd til at købe gødning, arbejder man med udvikling af dyrkningsstrategier, som forbedrer gødningseffektiviteten af fosfor. Det betyder, at den fosfor, som jordbrugeren tilfører jorden, i højere grad bliver optaget i planterne. Fordelen ved disse dyrkningsstrategier er, at det er lavteknologiske løsninger, som kan implementeres uden videre.

En simpel metode, som har været anvendt i både nord og syd er stribe-gødsning. Her bliver fosforgødningen placeret i smalle striber hen over marken, og planterne sås i disse

striber. Derved bliver gødningen koncentreret omkring rødderne, og man overkommer problemet omkring fosforadsorption til jorden, fordi jorden lokalt bliver mere mættet med fosfor. Endnu en fordel er, at afgrøden får en konkurrencefordel over for ukrudtet i forhold til næringsstofftilgængelighed. Udfordringen er, at det kræver maskineri, som kan placere gødningen og frøene.

En anden metode har været promoveret bl.a. i det sydlige Afrika. Man gøder det samme hul, som der sås i år efter år, derved sparer man gødning. Jordens frugtbarhed



Figur 5.9. Kvinde i gang med at plante majs i huller på en mark. Lesotho, det sydlige Afrika. Foto: Andreas de Neergaard.

bliver bygget op lidt efter lidt, som små øer på marken (Figur 5.9).

Ved begge metoder kan der – udover kunstgødning – også blive tilført organisk stof som kompost eller husdyrgødning. Det mindsker fosforfikseringen i jorden, fordi det binder sig til de samme lermineraller, som fikserer fosforen. Det forbedrer desuden jordstrukturen og jordens evne til at optage og binde vand og næringsstoffer.

Udvikling af fosfor-effektive planter

Hvis man vil forbedre planters evne til at udnytte fosforen i jorden, kan man eksempelvis forbedre plantens evne til at optage fosfor fra jorden. Her er to mulige strategier:

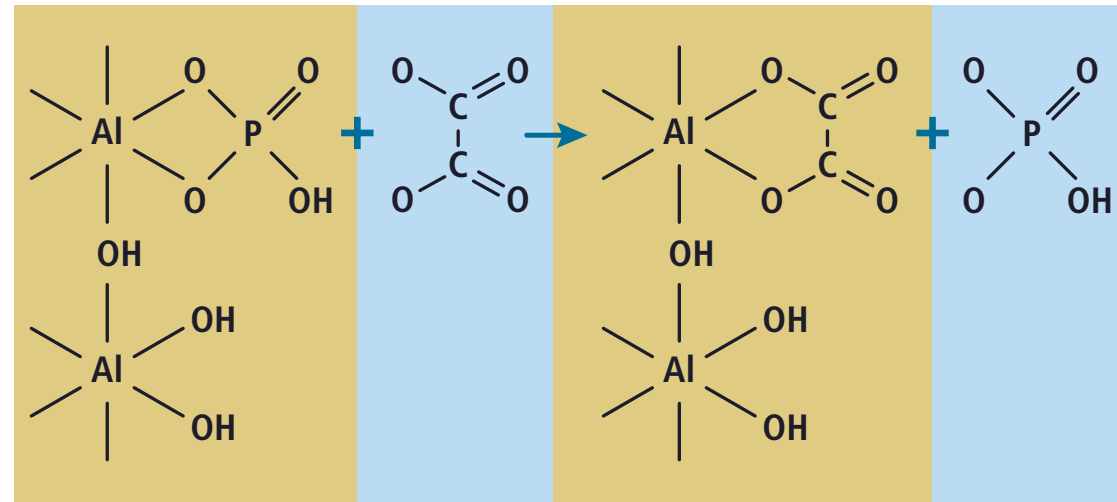
Styrke plantens rodarkitektur

Da fosfor er meget immobilt i jorden, kan man sige, at planten må komme til fosforen og ikke omvendt. Fosfat kan kun diffundere under 1 mm i jorden på en hel vækstsæson, dvs. al jord, som er mere end 1 mm fra en

rod, kan ikke bidrage til fosforforsyningen (det forholder sig helt anderledes med nitrat, som nemt kan bevæge sig mange centimeter med jordvæsken).

Forskningen har derfor fokuseret på forgreningen af plantens rodnet og betydningen af rodhår, den såkaldte rod-arkitektur. Ganske kort kan man sige, at for at optage jordens fosfor skal planten have et stort og forgrenet rodnet (Figur 5.10a).

Rodhår er encellede udvoksninger fra de yderste rodceller, som strækker sig 1-2 mm



Figur 5.11. Reaktionen mellem fosfat, der er bundet til et aluminiumholdigt mineral og en organisk syre (her oxalsyre) frigivet som rodexudat. Den organiske syre bytter plads med fosfat, som bliver opløst i jordvæsken og kan optages af planten.



Figur 5.12. I dag bevæger fosfor sig overvejende i et lineært forløb fra minerne gennem landbruget til byerne og ud i kloakken. I Vesten renser vi vores spildevand, så næringsstofferne ikke havner direkte i naturen, dog bliver vores slam kun i lille grad brugt i jordbruget. I fremtiden skal vi blive bedre til at recirkulere fosforen i spildevand og affald tilbage til landbruget. Det kræver dog, at vi får styr på tungmetaller, medicinrester, sygdomskim og andre uønskede stoffer i vores affald. 3D Hans Christian Asmussen/NATION, Traktor: Noodle, Google 3D Warehouse.

ud i jorden (Figur 5.10b). De øger andelen af jord, hvorfra de kan optage fosfor og andre immobile næringsstoffer. Det er langt mere energieffektivt for planten at lave rodhår end ved f.eks. at lave dobbelt så lange rødder, fordi den så skal danne meget mindre rodbiomasse for at afsøge den samme jordvolumen.

Forsøg har vist, at rodhårene er meget vigtige for optagelsen af fosfor, og at planten udvikler flere og længere rodhår, når jorden er fattig på fosfor.

Øge opløseligheden af fosfor i jorden

Planterne kan aktivt øge opløseligheden af fosfor i jorden. Det kan de gøre på tre måder:

- sænke pH ved at udskille H^+ fra rødderne, hvilket kan øge opløseligheden af Ca-bundet fosfor (navnlig på neutrale eller basiske jorde).
- frigive organiske syrer, som kompleksbinder med det adsorberede fosfor og gør det

opløseligt. Planter kan udskille organiske syrer fra rodhårene, som frigiver fosfor, der er bundet hårdt til Fe og Al på overfladen af jordens mineraler, en såkaldt rod-eksudering (Figur 5.11).

- frigive fosfatase (et enzym), som øger mineraliseringen af fosfor fra humus og andet organisk stof i jorden.

Der er ingen tvivl om, at der er meget store potentialer i at udvikle planter med større rodnet, længere rodhår, og som kan mobilisere jordens fosfor.

Hidtil har man forædlet planter, som klarer sig godt under optimale gødningsforhold, og der har ikke været noget selektivt pres på planter, som klarede sig godt med mindre næringsstofftilførsel. De sorter, man dyrker i dag er meget forskellige, hvad angår deres evne til at klare sig med mindre fosfor. Man kan håbe, at man iblandt dem kan finde sorter, som kan blive stamfædre til fremtidens fosforeffektive planter.

Forbedret recirkulering af fosfor

Uanset hvor gode vi bliver til at udnytte fosforen, kommer vi ikke uden om, at reserverne en dag slipper op. Vi bør derfor se på, hvordan vi kan recirkulere den fosfor, vi tilfører markerne. Som det er nu, bevæger fosforen sig i et lineært flow fra minerne til markerne, ind i dyrene og afgrøderne, ind til menneskerne i byerne og ud i kloakken (Figur 5.12). Dette flow skulle gerne blive cirkulært eller mere lukket. Der er to steder, hvor vi kan sætte ind:

- ved en bedre geografisk fordeling af fosforen fra gødningen.
- ved at tilbageføre fosfor fra vores spildevand og kloakker til landbruget.

Fordel gødningen geografisk

Fodersammensætningen og det at grise ikke er særlig gode til at optage fosforen i foderet, gør, at der i de dele af landet med mange husdyr bliver tilført meget mere fosfor til markerne, end der er brug for. Det samme

mønster med en ulige fordeling af fosforen ser man i næsten alle lande.

Den oplagte løsning på det problem er at flytte gødningen til de dele af landet, hvor der ikke er mange husdyr (Figur 5.8). Men det er dyrt at køre rundt med gyllen. Derfor udvikler man i dag forskellige gylle-separeringsanlæg, der ved kemiske og mekaniske metoder adskiller den faste del af gyllen fra den våde del. Derefter er vægten nede på 15 % af det oprindelige, mens 60-90 % af fosforen stadig er bundet i den faste del. Så er det meget nemmere at flytte den faste del af gyllen, som der er fosfor i, til de dele af landet med få husdyr, hvor det kan erstatte kunstgødningen.

Recirkuler affaldet fra by til land

Landbruget har hidtil været skeptisk over for recirkulering af affald fra byerne til jordbruget. Man er bekymret for tungmetaller, parasitter og sygdomskim, som affaldet potentielt indeholder. Heldigvis er vores spildevands-

slam de sidste årtier blevet mindre forurenede, fordi der er strenge miljøkrav til industrierne, og vi er blevet bedre til at indsamle kemikalier.

Man kan i dag separere affaldet. Urin indeholder 90 % kvælstof, 80 % kalium og 60 % fosfor i forhold til afføring, til gengæld er urin nærmest sterilt dvs. uden sygdomskim. Effektiv adskillelse af urin fra afføring med separations-toiletter har derfor stort potentiale for at muliggøre en sikker tilbageførsel af næringsstoffer fra byerne til landbruget.

Konklusion

Jordens fosforreserver er ved at løbe ud. Alligevel tilfører vi stadig store mængder fosfor til markerne i de industrialiserede landbrug. Det gør vi ikke mindst, fordi vores foderimport trækker en masse fosfor med sig, og vi tjener penge på husdyrproduktionen. Hvis al den fosfor blev brugt på de udpinte jorde i troperne, kunne vi mangedoble fødevarerproduktionen der. Det kræver dog, at de kan

sælge deres varer til højere priser for at få råd til gødning.

Der er et kæmpe potentiale i at udvikle planter, som er bedre til at optage fosfor, og forbedre fosforoptagelsen i foderet hos husdyrene. Vi kommer også til at investere i teknikker, der kan recirkulere vores spildevand og affald på en sikker måde, for vi kan ikke undvære fosforen i fremtidens fødevarerproduktion.

FAKTASIDE FRA GUANO TIL GYLLE

Man begyndte at bruge fosforgødning i 1800-tallet med benmel fra dyr og især guano – fuglegødning – fra klippeøer ud for bl.a. Peru (Figur 5.13). I midten af 1800-tallet begyndte man at grave råfosfat $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ud fra mineralske aflejringer. Man fandt hurtigt ud af, at man kunne gøre gødningen mere opløselig ved tilførsel af svovlsyre, som danner calciumhydrogenfosfat $\text{Ca}_2(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, og er mere opløseligt end råfosfat. Omkring år 1900 udviklede man andre forarbejdningsmetoder, som yderligere øgede kvaliteten af fosforgødningen, navnlig behandling med fosforsyre til dannelse af dobbelt- og trippel-superfosfat. Sidstnævnte har et markant højere fosforindhold og er billigere at transportere, fordi der er mindre "fyld" samt en høj opløselighed, og det er altså lettere tilgængeligt for planterne sammenlignet med råfosfat.

Fremstilling af fosforgødninger er energikrævende

Forarbejdning af råfosfat til superfosfat og

kommercielle gødninger er en meget energikrævende proces, da det bl.a. kræver opvarmning til 1.200-1.500°C. Der er derfor et stort energiforbrug – ligesom ved fremstilling af kvælstofgødning. Derfor er prisen på fosforholdig gødning meget tæt forbundet med olieprisen.

Recirkulering af fosfor i jordbruget

Da fosforressourcerne er ved at være knappe, og den vestlige verden er begyndt at have problemer med udvaskning af fosfor til den omgivende natur, er man begyndt at se på, hvordan vi i højere grad kan recirkulere fosfor. Det er oplagt at udnytte fosforen i husdyrgødningen (gylle) bedre (Figur 5.14). Man arbejder i dag med forskellige separationsteknikker, som kan rense fosforen. Her får man skilt den fosfor-rige fraktion fra den med ganske lidt fosfor. Dermed er det meget billigere at flytte fosforen hen, hvor der er brug for den, frem for at flytte den useparerede gylle, som indeholder meget vand.



Figur 5.13. Fugle og guano (deres hvidlige afføring) på Islas Ballestas (mini Galapagos) i Peru. Foto: Maja Balle.



Figur 5.14. Gylle i en gylletank (tv.). Gyllefibre fra separering af svinegyfle. Her bliver den faste del sorteret fra (ne. tv.). Glas med henholdsvis gyllefibre og væskefraktion fra separering af svinegyfle fra et separationsanlæg (herunder). Fotos: Thorkild Q. Frandsen, Agrotech.



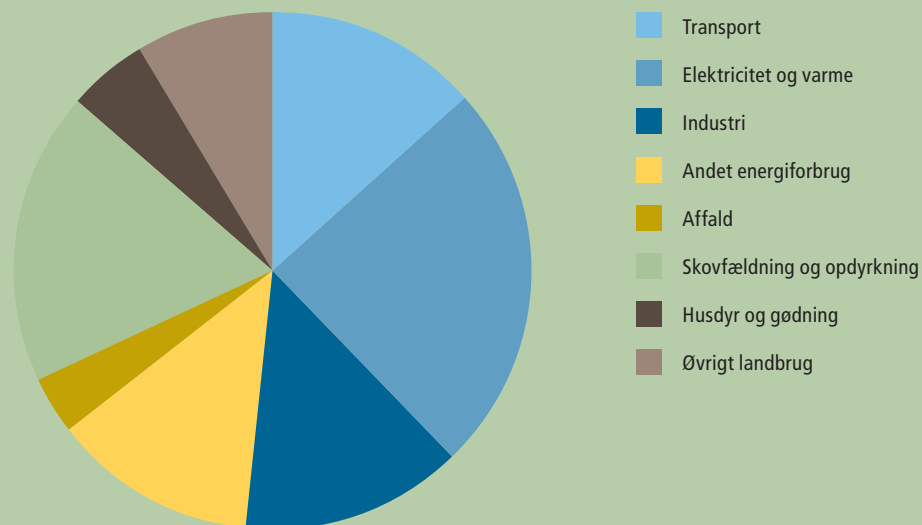
FAKTASIDE KLIMAFORANDRINGER OG JORDBRUG

Jordbruget bliver påvirket af klimaforandringerne, men jordbruget er selv en vigtig drivhusgas-kilde (Figur 5.15).

Landbruget udgør ca. 30 % af de samlede drivhusgasemissioner. Det største bidrag – på 18 % kommer fra skovning. Når man fælder skoven, bliver der frigivet store mængder CO₂, som har været bundet i træerne og i jordens humus. Der bliver også fældet skov for at gøre plads til byer, veje og industri, men den vigtigste årsag er skovrydning, så jorden kan dyrkes.

En anden væsentlig drivhusgas-kilde er husdyrene. Særlig køer frigiver meget metan, som bidrager med over 5 % af de samlede emissioner. Hvis man lægger energiforbruget til dyrenes foder og den skov, man rydder til græsning, oveni, viser det sig, at 14 % af drivhusgasserne kommer fra verdens kødproduktion. Det er lige så meget som al transport med bil, tog, skib og fly tilsammen på globalt plan.

Endelig er der et bidrag på 8,4% fra det øvrige landbrug. Her er det især frigivelse



Figur 5.15. Drivhusgasemissionen (kuldioxid, metan og lattergas samlet) fra forskellige sektorer. Energiforbruget til transport, elektricitet, opvarmning og industri udgør den største kilde, efterfulgt af skovfældning og landbrug.

af lattergas (N₂O) fra denitrifikation i bl.a. rismarker, samt CO₂-frigivelse fra landbrugsmaskiner og fra industriel fremstilling af kunstgødning, der er væsentlige kilder. Når vi intensiverer landbruget, udleder vi flere drivhusgasser.

I de kommende år er det afgørende, at vi kan øge landbrugsproduktionen uden at øge drivhusgasudledningen tilsvarende. Man arbejder på mange tiltag for at nedsætte energiforbruget, reducere metanproduktionen

fra husdyr, opbygge jordens kulstofindhold og mindske lattergasproduktionen.

Det kolde nord bliver lidt mildere

På vores nordlige breddegrader forventer man at få vådere, varmere vintre og somre. Det giver en længere vækstsæson med mulighed for større udbytter og for at dyrke nye typer af afgrøder. Det højere CO₂-indhold i atmosfæren giver også højere udbytter i sig selv i form af "CO₂-gødskning".

Det er ikke kun afgrøderne, der gror, når temperaturen og CO₂-koncentrationen stiger. Det gør mange ukrudtsplanter også. Det milde klima vil medføre større problemer med vores nuværende ukrudtsplanter, og man forventer, at der kommer nye "problem-børn" til.

De fleste skadegørere på planter er insekter eller svampe, der transporteres med insekter. Og insekter vil generelt klare sig bedre i de milde vintre. Det varme og fugtige vejr giver også gode vækstbetingelser for svampe, derfor forventer man større angreb af *Fusarium*, kartoffelskimmel og rust. Øgede mængder af skadedyr, svampesygdomme og ukrudt vil medføre et øget behov for plantebeskyttelse, herunder pesticider.

Hvis temperaturen stiger 2 C° på verdensplan, vil det både medføre vandmangel og risiko for oversvømmelser pga. ændrede nedbørsmønstre i Afrika og Sydasiens. Især store dele af Afrika vil blive hårdt ramt. Dels vil temperaturen stige, dels vil mængden af

regnvand blive reduceret med 10 %, og det vil medføre en kolossal vandmangel.

Ifølge FAO vil de øgede temperaturer og det ustabile vejr reducere høstudbyttet, som øger risikoen for fødevaremangel.

Områder, der allerede i dag er udsat for tørke, ser desværre ud til fremtidigt at blive de mest udsatte. Afrikanske subsistensjordbrugere er blandt de mest udsatte. Dem, der i dag har sværest ved at takle tilværelsen, vil også være dem, der i fremtiden bliver hårdest ramt. Groft sagt kan man sige, at de, der kommer til at betale den højeste pris, er dem, som ikke har været skyld i udledningen af drivhusgasser – nemlig de fattige lande omkring ækvator.

Størstedelen af de klima-effekter, vi ser på landbrugsudbytterne i Afrika, bliver forstærket af en faldende jordkvalitet, hvor der vil være et stadigt mindre humusindhold, og evnen til at holde på vandet vil også være mindre. Systemerne bliver dermed meget mere følsomme over for udsving i klimaet.

Der er derfor god grund til at arbejde hen imod systemer, hvor bønderne får et ekstra incitament til at opbygge jordens kulstofpuljer.

I dag arbejder man med at afbøde klimaændringer ved at opbygge kulstofpuljen i jorden eller planterne og dermed reducere CO₂-indholdet i atmosfæren. Dette giver samtidig mere stabile dyrkningssystemer, som bedre kan modstå tørkestress og kraftige regnskyl.

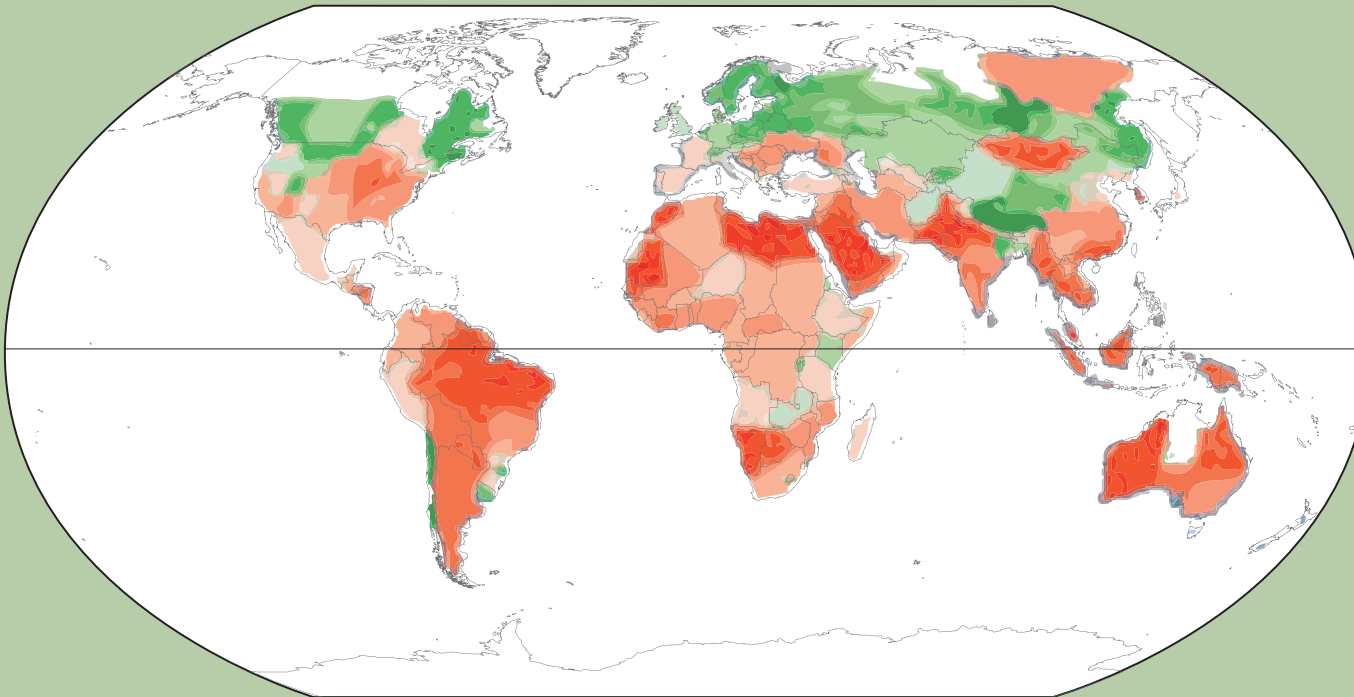
Klimaændringer og nye områder til dyrkning

Klimaforandringerne kommer til at spille en særlig rolle for udviklingen af, hvor stort behovet i fremtiden er for fosforgødning. Groft sagt vil ændringerne i klimaet flytte vegetationsbælterne og de mest produktive landbrugsarealer mod polerne (Figur 5.16). Og de områder, der i dag har tørkeproblemer, bliver umulige at dyrke.

De områder, hvor der bliver bedre vilkår for landbrugsproduktion, ligger ofte uden for

de nuværende produktionsområder. Det betyder, at vi skal til at gøde nye store arealer op for at have tilstrækkeligt med næringsstoffer. Der er ganske enkelt ikke tilstrækkelige fosforreserver til, at det kan lade sig gøre.

Derfor er det afgørende, at vi effektiviserer brugen af fosfor i jordbruget, recirkulerer fosforen fra vores foder og fødevarer og bringer affald fra byerne tilbage til landbruget.



Figur 5.16. Kortet viser, hvordan klimaforandringerne vil påvirke landbrugsproduktion i 2050 i forhold til, hvordan landbrugsproduktionen ser ud i dag. Grønne områder vil kunne høste mere, rosa og røde områder vil opleve en nedgang i udbyttet. Nogle af verdens mest produktive områder i USA, Brasilien og nogle af verdens folkerigste lande (Kina, Indien, Indonesien) vil høste mindre.



Foto: Myles Oelofse.