

# *Fosforförluster från jordbruksmark*

*– vad kan vi göra för att  
minska problemet?*



# Inledning

Förlusterna av fosfor från svensk åkermark har beräknats till 0,4 kg per hektar och år. Detta är en liten mängd jämfört vad som totalt finns i marken. Det är också en liten mängd jämfört med den mängd som tillförs vid normal gödsling. Men trots det blir halten i avrinnande vatten ofta så hög att det leder till övergödning av sjöar och vattendrag som tar emot vatten från åkermark.

Tillförseln av fosfor till vatten från mänsklig verksamhet har dock minskat kraftigt under de senaste decennierna genom rening av avloppsvatten från samhällen och industrier. Trots detta är en del sjöar fortfarande övergödda. Under senare tid har också fosfors betydelse för övergödningen av Östersjön blivit mera tydlig. Det är därför angeläget att hitta sätt att minska förlusterna av fosfor från åkermarken.

Fosfor förloras från åkermarken i olika former och på olika vägar. För kväve finns relativt enkla samband mellan gödsling och förluster. Finns det oorganiskt kväve i form av nitrat kvar i marken och ett överskott av vatten som rinner iväg så följer kvävet med. För fosfor finns inte lika tydliga samband. Mekanismerna bakom fosforförlusterna är mycket mer komplexa. Bland de åtgärder som är tänkbara gäller det därför att hitta de som ger en rimligt säker effekt. Osäkerheten om effekten gör också att enkla och billiga åtgärder måste prioriteras. Eller omvänt så bör en mera kostsam åtgärd ha en dokumenterat säker effekt för att vara aktuell. I framtiden kan kanske forskning och försök ge oss bättre underlag för att hitta rätt åtgärder men i denna skrift redovisas de åtgärder som verkar mest lovande med dagens kunskap.

Förlusternas storlek skiljer sig också mycket mellan regioner, fält och också inom fält. Något som kännetecknar fosforförluster från avrinningsområden är att 90 % av förlusterna kan ske från 10 % av arealen och under 1 % av tiden. Det innebär att det, förutom att hitta lämpliga motåtgärder, också är angeläget att hitta de platser där förlusterna är som störst.

I denna skrift presenteras en sammanställning av de faktorer som påverkar förlusterna av fosfor från åkermark och de åtgärder som kan bidra till att minska förlusterna. Det är så tidigt som möjligt, dvs. på åkern, som det är lättast att sätta in åtgärder som ger goda resultat. Det är inte bara bättre att stämma i bäcken än i ån, utan ännu bättre att undvika att fosfor hamnar i vattnet överhuvudtaget.

Målgruppen för denna publikation är lantbrukare, rådgivare, myndigheter och andra som är intresserade av vattenvård i odlingslandskapet.

Denna skrift har tagits fram i samarbete mellan Jordbruksverket och SLU och är skriven av Lars Bergström (SLU) med stöd från Janne Linder (Jordbruksverket) och Rune Andersson (SLU). Den bygger på en rapport som publicerats av Naturvårdsverket i samarbete med SLU (Rapport MAT 21 nr 2/2007).

Framtagandet har finansierats av MAT 21 och medel ur landsbygdsprogrammet.



# Innehåll

<b>Fosforförluster i Sverige</b> .....	<b>4</b>
Påverkan på miljön.....	5
Det nationella miljömålet.....	6
<b>Fosforförluster i växtodlingen</b> .....	<b>7</b>
Mängder och former av fosfor i jordbruksmark .....	7
Fosforgödsling .....	7
Fosfor i stallgödsel och andra organiska gödselmedel .....	8
<b>Fosforförluster till vatten</b> .....	<b>10</b>
Ytavrinning .....	12
Utlakning.....	12
Erosion i diken.....	13
Nedfall .....	13
Klimatpåverkan.....	13
<b>Motåtgärder för att minimera fosforförluster från jordbruket</b> .....	<b>14</b>
Hitta "hotspots" .....	14
Markvård.....	15
Jordbearbetning .....	15
Skyddszoner och fånggröda .....	16
Begränsningar i fosformängden i marken .....	17
Anpassning av gödslingstekniken .....	19
Fånga upp fosfor som löper risk att lämna/har lämnat åkern .....	19
Sammanfattning .....	22
<b>Matematiska simuleringsmodeller</b> .....	<b>23</b>
<b>Hur går vi vidare?</b> .....	<b>24</b>

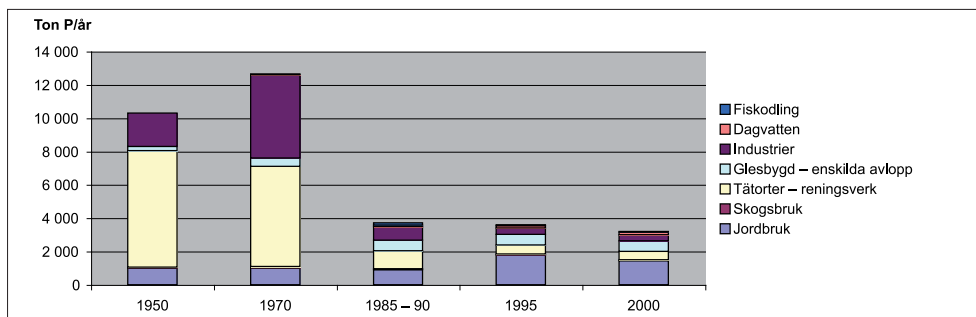
# Fosforförluster i Sverige

Historiskt har vi haft betydligt högre tillförsel av fosfor till vatten än den vi har idag. Införandet av vattenklosetter ledde till en mycket hög tillförsel. Inom tätbebyggda områden utvecklades efterhand ett gemensamt omhändertagande av avloppsvattnet och effektiva reningsverk byggdes. Idag klarar ett modernt reningsverk att avlägsna mer än 98 % av fosfor i avloppsvattnet. Även industrins utsläpp har minskat kraftigt. Däremot finns det fortfarande ett stort behov av att rena avlopp från enskild bebyggelse.

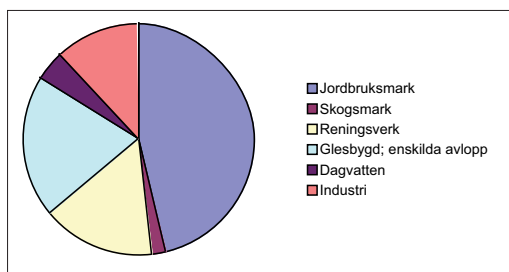
I figur 1 visas några olika beräkningar av fosfortillförsel till vatten orsakade av mänsklig verksamhet. Ökningen av förlusterna från jordbruket fr.o.m. 1995 beror på ändrade beräkningssätt och motsvarar inte någon verklig förändring.

## Bruttobelastningen av fosfor till Östersjön

Den totala bruttobelastningen av fosfor till Östersjön var år 2000 34 500 ton. Av detta bidrog Sverige med ungefär 5 000 ton, vilket är lika mycket som Finland och Ryssland, medan Polens bruttobelastning var hela 13 000 ton. Räknat per invånare blir dock bidraget från Sverige ungefär 1 kg P medan Polens bidrag blir 0,3 kg P.

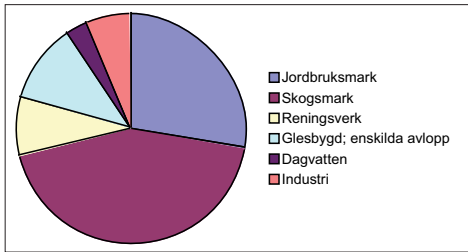


Figur 1. Fosforförluster till vatten beroende på mänsklig verksamhet i Sverige.



Figur 2. Källfördelning för fosforförluster orsakade av mänsklig verksamhet, (s.k. antropogena förluster) år 2000.

I figur 2 anges den källfördelning av förlusterna som beräknats för år 2000. Jordbruket står för 46 % men då är bakgrundsläckaget från jordbruket uppskattat till endast 10 % av de totala förlusterna från jordbruksmark. Det är inte troligt att jordbruksmarken skulle ge ifrån sig så lite fosfor även om den helt togs ur produktion. Av de totala fosforförlusterna till vatten, där även bakgrundsläckage från skogsmark och övrig mark ingår, utgör förlusterna från jordbruksmarken 24 %. Av den totala belastningen från södra delarna av Sverige på egentliga Östersjön beräknas 40 % komma från jordbruks-



Figur 3. Källfördelning för totala fosforförluster till vatten, år 2000.

mark. Denna bidrar följaktligen med ganska stora mängder fosfor till våra insjöar och Östersjön. Koncentrationen av partikelbunden fosfor i ett antal jordbruksår har dock visat en minskande trend under senare tid på nära 2 % per år (1993–2004), medan det för fosfatfosfor snarare syns en ökning.

### Miljöövervakning

Institutionen för vatten och miljö vid SLU är ansvariga för miljöövervakning av våra vatten. De följer regelbundet upp halterna av bl.a. fosfor i sjöar och vattendrag. För att följa jordbrukets miljöbelastning finns ett särskilt program som Institutionen för mark och miljö vid SLU ansvarar för. Där görs mätningar dels i 21 små jordbruksdominerade avrinningsområden, s.k. typområden, och dels från 13 enskilda skiften, sk observationsfält.

Halten av totalfosfor i en sjö ger en bild av sjöns näringsstatus. Normalt anses en sjö vara eutrof (näingsrik) vid halter över 25–30 µg P/l. Vid halter över 25 µg P/l finns risk för förändringar i sjön som kan accelerera eutrofieringen. Vid extrem eutrofiering kan halten uppgå till mer än 100 µg P/l. Halten av totalfosfor varierar dock under året och olika sjöar har olika naturliga halter. Sjöarnas naturliga näringshalter påverkar känsligheten för övergödning.

### Påverkan på miljön

Fosfor är det näringsämne som begränsar tillväxten av växter i sötvatten och under vissa tider av året även i Östersjön. Ökad tillförsel av fosfor ökar tillväxten av alger och blågröna s.k. cyanobakterier vilket leder till algblomningar. I Östersjön kan vissa typer av bakterier, bl.a. cyanobakterier, bilda gifter. När bakterierna och algerna dör, faller till botten och bryts ner förbrukas mycket syre och i värsta fall uppstår syrebrist eller helt syrefria botten. Förutom att vattnet blir oattraktivt för oss människor påverkas många vattenlevande djur och växter negativt. Många sjöar har påverkats kraftigt och Östersjön har drabbats av en dramatisk försämring



Algblomning i Östersjön.



av ekosystemen. Övergödningen orsakar också igenväxning i grunda vatten.

### *De nationella miljömålen*

Ett av våra miljömål, ”Ingen övergödning”, anger att ”Halterna av gödande ämnen i mark och vatten inte ska ha någon negativ inverkan på människors hälsa, förutsättningarna för biologisk mångfald eller möjligheterna till allsidig användning av mark och vatten”. Gödande ämnen är i detta fall kväve och fosfor. För fosfor har regeringen definierat ett delmål som anger att fosforförlusterna till vatten ska minska med 20 % till år 2010 jämfört med 1995 års nivå. I delmålet anges också att de största minskningarna ska göras i de områden där påverkan på miljön är som störst.

Delmålet för fosfor anger riktningen men det har varit svårt att definiera målet närmare. Detta beror på osäkerheten om hur stora förlusterna är från olika källor och hur stor re-

tentionen är i sjöar och vattendrag. Det har inte heller varit möjligt att fastställa vad som är bakgrunds nivå, dvs. den fosforförlust som blir resultatet om man helt slutar odla marken.

Mot bakgrund av de uppmätta trenderna under senare år verkar det realistiskt att nå delmålet i södra Sverige, men knappast i Mellansverige där en del av förbättringarna sannolikt överskuggas av klimatförändringarna.

Den vattenförvaltning som har byggts upp enligt EU:s vattendirektiv skapar nya möjligheter att åtgärda övergödning inom de avrinningsområden där behovet är som störst. Vattenmyndigheterna har som uppdrag att kartlägga alla vattenförekomster i Sverige och göra upp åtgärdsplaner för vatten där god ekologisk status inte uppnås. Genomförandet av åtgärderna kan t.ex. ligga på ett vattenråd eller en vattendragsgrupp. Detta gör det möjligt att skraddarsy åtgärderna för varje vattenförekomst.

## Lästips:

*Bergström, L., Djodjic, F., Kirchmann, H., Nilsson, I. och Ulén, B. 2007. Fosfor från jordbruksmark till vatten – tillstånd, flöden och motåtgärder i ett nordiskt perspektiv. Rapport MAT 21 nr 2/2007. SLU, Uppsala.*

*Henriksson, A. 2007. Actions against phosphorus losses from agriculture in the countries surrounding the Baltic Sea. Rapport MAT 21 nr 1/2007. SLU, Uppsala.*

*Naturvårdsverket 2004. Fosforutsläpp till vatten år 2010 – delmål, åtgärder och styrmedel. Rapport 5364, Naturvårdsverket, Stockholm.*

*Naturvårdsverket 2007. Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag. Bilaga A till Handbok 2007:4, Naturvårdsverket, Stockholm*

*SLU, Avd. för vattenvårdslära: [www-mv.slu.se/Vv/Datavskap/dv\\_program.html](http://www-mv.slu.se/Vv/Datavskap/dv_program.html)*

*SLU, Institutionen för miljöanalys: <http://www.ma.slu.se>*

*Ulén, B., (red.) 2005. Fosforförluster från mark till vatten. SNV Rapport 5507, Naturvårdsverket, Stockholm.*

*Ulén, B. och Fölster J. 2005. Närsaltskoncentrationer och trender i jordbruksdominerade vattendrag. Ekohydrologi 84. SLU, Uppsala*

*Vattenmyndigheterna i Sverige: [www.vattenmyndigheterna.se](http://www.vattenmyndigheterna.se)*

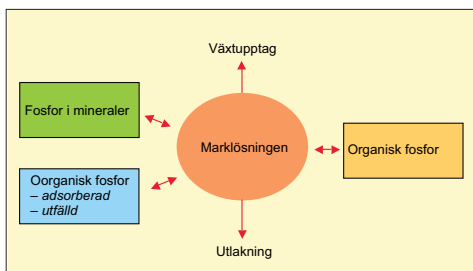


# Fosfor i växtodlingen

## Mängder och former av fosfor i jordbruksmark

Åkermarkens totala fosforinnehåll kan variera mellan 200 och 800 mg P/kg jord vilket motsvarar mellan 900 och 3 600 kg fosfor per hektar matjord. I genomsnitt innehåller matjorden i svensk åkerjord 2 000 kg fosfor per hektar. I alven är mängden fosfor mindre men kan ändå ha stor betydelse för grödan eftersom det ofta finns växtrötter även där. Nästan all fosfor föreligger dock i bunden form och totalhalten i marklösningen utgör endast 0,1–1 mg/liter, vilket ofta motsvarar mindre än ett kg fosfor per hektar. Koncentrationen i marklösningen är emellertid på en nivå som leder till övergödning om vattnet kommer direkt ut i vattendragen utan att passera jordlager som binder fosfor.

Vilka fosforformer som finns i marken och deras koppling till marklösningen framgår i Figur 4. Löst fosfor förekommer som fosfatjoner ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  och  $\text{HPO}_4^{2-}$ ). Dessa binds snabbt till metalljoner såsom järn och aluminium, samt till kalcium. Olika bindningsformer med dessa joner bildar tillsammans markens förråd av oorganisk fosfor. Det kan bestå av utfällningar med fria metalljoner eller adsorption till joner på ytan av markpartiklar. Det är svårt att skilja mellan utfällt och adsorberat fosfat eftersom stabiliteten är likartad. Båda typerna av bindning står i jämvikt med marklösningen och fosfor blir på det sättet tillgänglig för växternas rötter.



Figur 4. Fosfors former i marken och kopplingen till marklösningen.

Vid syrefria betingelser i marken och tillgång till organiskt material kan fosfor bunden till trevärt järn frigöras som fosfat. Samtidigt reduceras järnet till tvåvärda former, från  $\text{Fe}^{3+}$  till  $\text{Fe}^{2+}$ . Reaktionen spelar en viktig roll för sedimentbottenarna i övergödda sjöar och hav eftersom betydande mängder fosfat kan komma i lösning vid en sådan omvandling.

Organiskt bunden fosfor i marken utgör en stor del av markens totala fosforinnehåll (25–65 %). Denna kan vara bunden i exempelvis humus eller i levande mikroorganismer. Markens mikroorganismer innehåller 30 till 120 kg P/ha. Eftersom denna fraktion omsätts snabbare än övriga fosforformer kan mikrobiellt bunden fosfor vara en viktig växtnäringsskälla.

## Fosforgödsling

Bortförseln av fosfor med olika skördeprodukter är vanligen 10–20 kg P/ha, men kan i vissa fall vara större. Genomsnittlig bortförsel av fosfor från svensk jordbruksmark är 12 kg P/ha och år. Grödans upptag är större än så men resten återförs till marken med skörderesterna. Dessa innehåller som lägst några enstaka kilon per hektar upp till 2 kg P/ton för rapshalm.

För att fastställa gödslingsbehovet används i Sverige en jordanalys som bestämmer koncentrationen av den lösta och växttillgängliga fosfor i marken baserat på extraktion med surt ammoniumlaktat (P-AL). Denna metod är anpassad till de relativt sura skandinaviska jordarna. För jordar med pH värden över 7 är metoden mindre lämplig eftersom extraktionen görs i en sur lösning och därför innebär en viss överskattning av den växttillgängliga fosformängden. På dessa jordar kan istället en jordanalys göras som utgår från extraktion med bikarbonat (s.k. Olsen-P bestämning).

## Jordanalys

Markens P-AL-värde delas in i olika fosforklasser:

Klass	P-AL (mg P/100 g jord)	P-HCl
I	<2	<20
II	2,0–4,0	20–40
III	4,1–8,0	41–60
IV A	8,1–12,0	61–80
IV B	12,1–16,0	61–80
V	>16	>80

Medelvärdet för P-AL i Sverige är 10,6 mg P/100 g jord, vilket motsvarar klass IV A. Om man vill få reda på hur stort förrådet av fosfor är i marken, skakar man jorden med saltsyra som är ett betydligt starkare extraktionsmedel än ammoniumlaktat. Analysmetoden benämns HCl-analys och de erhållna fosformängderna delas in i fem klasser.

Rekommendationer för fosforgödning finns bl.a. i Jordbruksverkets riktlinjer för gödning och kalkning. Om fosforhalten i alven är känd kan man ta hänsyn även till denna när gödningen fastställs, åtminstone för djuprotade grödor. Det finns undersökningar som visar att även mull- och lerhalt påverkar behovet av fosforgödning men detta används inte praktiskt idag.

Våra åkermarker har från början haft ett lågt fosforinnehåll. Man fann tidigt att en höjning av fosforinnehållet i marken, förutom att ge en direkt skördeökning, också ledde till en högre bördighet. Gödslingsrekommendationerna är idag anpassade så att fosforinnehållet i marken ska närma sig P-AL klass III.

Från början av 1950-talet och fram till mitten av 70-talet spreds stora mängder mineralgödsel på den odlade jorden för att öka fosforinnehållet. Dessutom förekom det relativt ofta att marken fick stallgödsel utan att man tog hänsyn till dess värde som fosforkälla. Detta har lett till att det sedan andra världskriget har ackumulerats i medeltal 600 kg fosfor per hektar i svensk åkermark, vilket skulle kosta mer än 65 miljarder kronor att tillföra idag. Denna fosfor och markens

goda fosfortillstånd kan ses som en tillgång för framtida produktion men kan också öka risken för förluster. Användningen av handelsgödsel fosfor under de senaste 25 åren har dock minskat betydligt och genomsnittsgivorna i Sverige har varit nära 7 kg P/ha och år under 90-talet och framåt, vilket är lägre än återförseln av fosfor med stallgödsel (ca 9 kg P/ha och år).

Att gödningen minskat beror dels på jordarnas höga P-AL tal och att högre P-AL tal än 8–10 mg P per 100 g jord (klass IV A) inte ger någon skörderespons och dels på kraftiga prishöjningar på fosfor, särskilt under de senaste åren. Endast sockerbetor och potatis kan behöva fosfortillskott om P-AL överstiger 10 mg P per 100 g jord. I praktiken är det idag bara gårdar med mycket stallgödsel som tillför mer fosfor än vad grödan behöver.

### *Fosfor i stallgödsel och andra organiska gödselmedel*

I stallgödsel finns fosfor både i organiska och oorganiska former. I såväl nöt-, gris- som hönsflytgödsel är minst 90 % oorganisk fosfor och mindre än 10 % organiskt bunden fosfor. Vid lagring utan tillgång till syre



Stallgödselspridning. (Foto: Jan-Olof Sannö)

omvandlas nämligen organiskt bunden fosfor till oorganiska former. Det är påvisat att de oorganiska formerna delvis är löst fosfat men att huvuddelen av den oorganiska fosfor finns i fast form som olika utfälda Ca/Mg-fosfater. I fastgödsel kan andelen organisk fosfor vara något högre, dvs. gris- och höns-gödsel innehåller ungefär 20 % organiskt bunden fosfor medan nötfastgödsel kan innehålla ända upp till 50 % organisk fosfor. Som gödselmedel är fosfor i stallgödsel i stort sett likvärdig med mineralgödsel.

Att återbörda fosfor i slammet från re-

ningsverken till åkermarken är önskvärt för att sluta kretsloppet. Tillförseln av sådan fosfor till svensk åkermark är dock blygsam (0,2 kg P/ha i genomsnitt). Till energigrödor såsom Salixodlingar ges däremot mycket stora givor i form av förrådsgödsling för flera års behov och energiskogen betraktas som ett reningsfilter. I det framtida jordbruket beräknas energiproduktionen bli allt viktigare och gödsling med fosfor till energigrödor, liksom den åtföljande läckagerisken, behöver utvärderas.

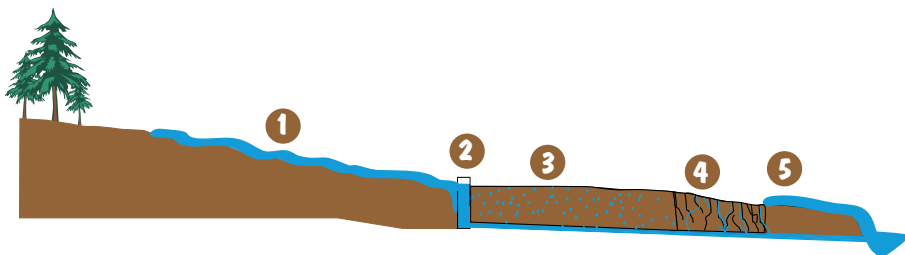
# Fosforförluster till vatten

Fosfor förloras från åkermarken genom att den frigörs och transporteras iväg med avrinnande vatten. Vattnet kan i princip bara ta två vägar. Antingen rinner det på ytan till ett dike eller vattendrag, eller också tar det sig ner till dräneringsledningarna. Ytavrinning kan leda till erosion av stora och små partiklar, men vatten på ytan kan också innehålla lösta fosfater eller organiskt bunden fosfor som jorden lämnar ifrån sig. Till dräneringsledningarna kan vattnet ta sig på två sätt. Antingen är det ett flöde på bred front genom markprofilens mindre porer. Detta är det normala på lättare jordar. Vid ett sådant flöde är det i stort sett bara löst fosfor som kan följa med vattnet och det uppstår en utlakning av fosfor. På alla aggregerade jordar (jordar där de enskilda partiklarna sitter ihop i små och stora aggregat) sker däremot huvuddelen av vattentransporten i större kanaler mellan aggregaten, ofta kallat "makroporflöde". Vid denna transport kan även partikelbunden fosfor följa med vattnet ner till dräneringssystemet. Den snabba förbindelsen mellan markytan och diket där dräneringen mynnar ut innebär att ett makroporflöde kan liknas vid ytavrinning. Det snabba flödet kan också leda till att partiklar slits med från porernas

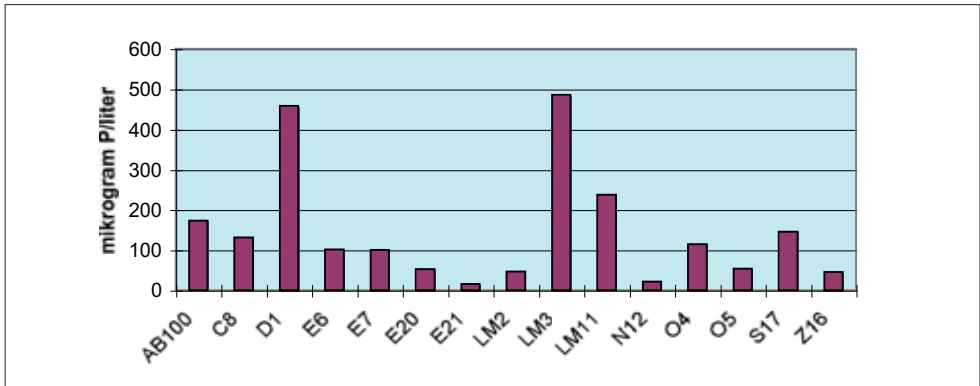
väggar, s.k. inre erosion. Vatten som når dräneringen via ytvattenbrunnar kan också betraktas som ytavrinning.

Vatten kan naturligtvis också ta sig från åkern ner till grundvattnet och sedan vidare ut till vattendragen. Här har vi bortsett från denna transportväg eftersom vatten som har förflyttat sig i marken under så lång tid normalt kommer i kontakt med jordlager som binder fosfor. Fosforhalten i grundvatten är vanligen mycket låg. I miljöövervakningen av grundvattnet och SGU:s grundvattennät ligger medianvärdet på 6 µg/l. När grundvattnet tränger upp kan fosforhalten till och med sänkas i vattendragen genom att grundvattnet har en utspädningseffekt.

Vilken förlustväg som dominerar kan variera både i tid och rum. Det är inte klarlagt vilket flöde som har störst betydelse för förlusternas storlek. Tidigare ansågs fosforförluster uppstå i huvudsak genom erosion vid ytavrinning. Man kan dock konstatera att det i många typområden och på observationsfälten oftast inte går att se någon ytavrinning. Ändå kan det vara mycket fosfor i det dike som avvattnar området. Det måste alltså vara en transport via dräneringssystemen. Andelen löst fosfor tyder på att det är



Figur 5: Förlustvägar för fosfor. Från vänster: En sluttande åker (1) som inte är täckdikad där det uppstår ytavrinning som fångas upp i en ytvattenbrunn (2). En täckdikad åker med en enkelkornsjord (t.ex. sand där de enskilda jordpartiklarna inte sitter ihop i aggregat). Där sker ett flöde av vatten på bred front ner till dräneringsledningen (3). Vid (4) har jordarten ändrats till lera eller annan aggregatbildande jord. Här uppstår sprickor där vattnet kan transporteras ner till dräneringsledningen. På åkern närmast det öppna diket visas att vattnet kan rinna på ytan direkt ner i diket genom ytvattenavrinning (5).



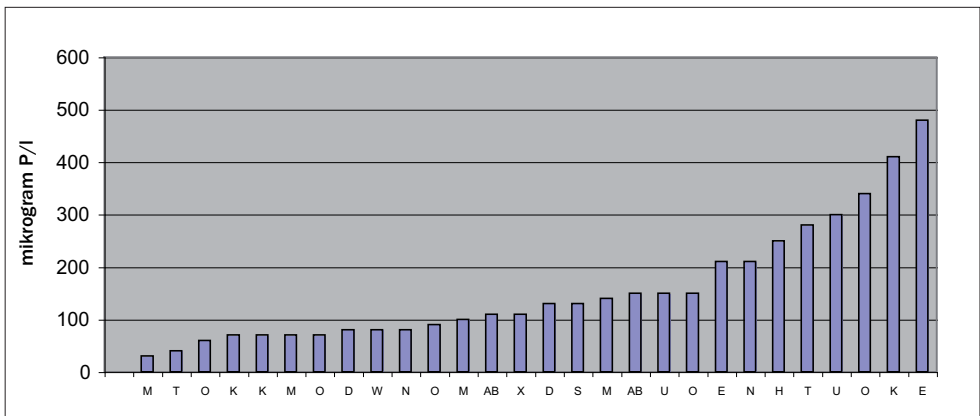
Figur 6: Fosforkoncentrationen i avrinnande vatten från 15 observationsfält.

en relativt stor del som är utlakningsförluster. Mätdata visar att 10–90 % av fosfor i vatten från åkermark är i löst form. I genomsnitt är ungefär hälften av förlusterna löst fosfor. Allt ifrån 10 % till 100 % av åkerns totala fosforförluster kan komma via dräneringssystemet.

De stora skillnaderna mellan olika fält syns tydligt i mätningarna från observationsfälten (Figur 6). Genomsnittlig fosforkoncentration i avrinnande vatten varierar från 16 till 486 µg/l och den totala fosforförlusten mellan 0,02 och 2 kg/ha och år. Vatten från de fält som har höga halter ger ofta upphov till extremt höga halter i sjöar och åar om vattnet inte späds ut av annat vatten med lägre fosforhalt. Skillnaderna mellan enskilda

observationsfält är större än skillnaden mellan olika avrinningsområden. Resultaten från typområdena (Figur 7) visar ändå att det finns stor variation även mellan olika avrinningsområden.

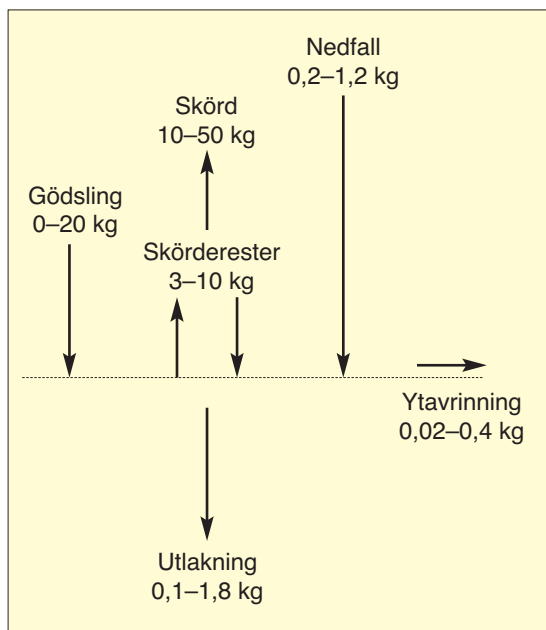
Man skulle kunna dra slutsatsen att det är dräneringen av åkermarken som är problemet. I många fall skulle säkert förlusterna av fosfor till vatten minska om man kunde bromsa upp vattenflödena och tvinga vattnet att infiltrera långsamt till grundvattnet. Men den åkermark som ska brukas måste vara väl dränerad. Dålig dränering leder till sämre skördar och osäkrare odling. En god dränering är en förutsättning för ett bra utnyttjande av tillgänglig växtnäring och bidrar på det sättet till att minska förlusterna. Dålig dräne-



Figur 7: Fosforkoncentrationen i avrinnande vatten i 28 typområden. Under respektive stapel anges vilket län typområdet ligger i.

ring skulle dessutom leda till ökade problem med ytavrinning och erosion.

Åtgärder för att minska fosforförluster måste som nämnts ovan ta hänsyn till vilken transportväg som dominerar fosforflödet. Vilket flöde som dominerar beror på en mängd faktorer såsom markens infiltrationskapacitet, regnintensitet etc. En annan viktig faktor är om marken är frusen eller ej. Infiltrationen av vatten i frusen mark bestäms framför allt av markstrukturen och vattenhalten i marken vid frysningstillfället. När marken fryser vid hög vattenhalt eller vattenmättnad blir den i stort sett ogenomtränglig för vatten. Detta gör att smältvatten eller regn som faller under vintern ofta ger upphov till häftig ytvattenavrinning, vilket i sin tur ökar risken för höga fosforförluster. Risken blir speciellt stor om stallgödsel sprids sent på hösten eller under vintern och på höstbearbetad mark. Luftfyllda makroporer i frusen mark kan också utgöra en risk för fosforförluster, genom att vatten och däri löst eller partikelbunden fosfor snabbt kan transporteras ner till dräneringen.



Figur 8. Flöden av fosfor per hektar till och från mark-/växsystem i Sverige baserade på litteraturuppgifter.

När vi söker efter lämpliga motåtgärder för att minska fosforförluster i ett område eller från ett fält behöver vi följaktligen identifiera den dominerande transportvägen.

Flöden av fosfor till och från åkermarken visas i Figur 8 här nedan.

### Ytavrinning

Förluster av fosfor genom ytavrinning är störst i de norra delarna av landet med i medeltal 0,4 kg P/ha och år. I de södra delarna är förlusterna vanligen betydligt lägre. Orsaken är att snösmältningen i de norra delarna av landet ofta sker på frusen mark. I de södra delarna är marken oftast inte tjälad vid snösmältningen så att vattnet kan infiltrera. Storleken på ytavrinningsförluster av fosfor är givetvis också kopplade till jordart, fältens lutning, hur marken bearbetats etc.

Mjåla- och lerjordar är de jordar som ger störst ytavrinningsförluster. Mjålajordarna har ett lågt motstånd mot erosion och partiklarna följer lätt med vattnet. Partiklarna i en mjålajord kan sedimentera i lugnt vatten eller om flödet stoppas upp av vegetation. En lera är inte riktigt lika känslig för erosion men de lerpartiklar som slammas upp är ofta så små att fosfor bunden till sådana kan transporteras mycket långt. Utpräglade mjålajordar finns i Dalarna och längs Norrlands älvdalar. Lerjordarna är framför allt koncentrerade till Mälarenregionen och ostkusten vid Östergötland, samt delar av Västergötland och Skåne.

### Utlakning

Fosforutlakning i storleksordningen 0,1 till 1,8 kg har uppmätts och är, i motsats till ytavrinningsförluster, störst i de södra länen och minst i de norra. Som medeltal för Sverige brukar man ange 0,3 kg P/ha årligen. I utlakningen inräknas transport av både löst- och partikelbunden fosfor ner genom markprofilen till dräneringen eller direkt till ett vattendrag.

### Erosion i diken

Enligt danska studier härstammar 15-40 % av fosforförlusterna från jordbruksmarker





Rönneå i Skåne: (Foto: Barbro Ulén)

från erosion i diken och bäckar. Motsvarande undersökningar finns inte gjorda i Sverige men eftersom djupa bäckraviner inte är ovanliga måste det förekomma även i det svenska landskapet.

### *Nedfall*

Utsläpp av fosfor till atmosfären sker vid förbränning och från naturliga källor som vulkaner, pollen och damm från vinderosion. Betydelsen av nedfallet är oklar. Det har också visat sig vara svårt att mäta nedfallets storlek. Föroreningar i mättrattar, t.ex. fågelträck, har gjort att det verkliga nedfallets storlek inte är helt klarlagd. I svenska mätningar på fyra platser varierade nedfallet mel-

lan 0,2 och 1,2 kg P/ha och år, vilket visar att det kan vara betydande.

### *Klimatpåverkan*

Klimatförändringarna kan ha en stor inverkan på fosforförlusterna. Blir det oftare extrema vädersituationer leder det sannolikt till större förluster. Ett klimat med upprepad frysning och tining under vintersäsongen har stor betydelse, liksom antalet tillfällen med intensiv nederbörd under vintern och antalet snösmältningstillfällen. Exempel från Mälardalen har t.ex. visat att koncentrationen av totalfosfor i avrinnande vatten ökade med ungefär 20 % från 1975 till 2004, vilket kan vara kopplat till förändrat klimat.

## **Lästips:**

*Andersson, A. 1998. Fosforupplagringen i svensk jordbruksmark. Rapport 4919. Naturvårdsverket, Stockholm.*

*Bertilsson, G., Rosenqvist, H. och Mattsson, L. 2005. Fosforgödsling och odlingsekonomi med perspektiv på miljömål. Rapport 5518. Naturvårdsverket, Stockholm*

*Eriksson, J., Andersson, A. och Andersson, R. 1997. Tillståndet i svensk åkermark. Rapport 4778. Naturvårdsverket, Stockholm.*

*Sims, J.T. och Sharpley, A.N. (red.) 2005. Phosphorus: Agriculture and Environment. Agronomy Monographs No. 46, American Society of Agronomy, Madison, WI.*

*Sjöqvist, T. 2001. Fosforflöden i marken – om fosforhushållning i ekologiskt lantbruk. Jordbruksinformation 7-2001.*



# Motåtgärder för att minimera fosforförluster från jordbruket

För att det ska uppstå förluster av fosfor till vatten behövs en källa från vilken fosfor kan frigöras och en transport av denna fosfor för att den ska nå vattendragen. Åtgärder mot förluster går ut på att hindra denna frigörelse och att skapa hinder längs transportvägarna.

Nedan följer en sammanställning av de åtgärder som idag kan sättas in för att minska fosforförluster från jordbruket, med utgångspunkt från hur effektiva de är, var de kan tillämpas etc. En uppdelning har gjorts i följande kategorier:

- **Hitta "hotspots"**: riskindex, brukarens erfarenhet
- **Markvård**: jordpackning, dränering, kalkning, ytavvattning
- **Jordbearbetning**: bearbetningstidpunkt, plöjningsriktning
- **Marktäckning**: fånggröda, vårplöjning, bevuxen träda
- **Begränsa fosformängden i marken**: fördelning, planering, utfodring, "mining"
- **Gödslingsteknik**: tidpunkt, radmyllning, nedmyllning
- **Fånga upp fosfor som löper risk att lämna/har lämnat åkern**: skyddszon, våtmarker, kalkfilter

## Hitta "hotspots"

Det finns idag ett antal åtgärder som kan användas mot fosforförluster från åkermark. Innan man sätter in några åtgärder måste man dock veta var förlusterna sker. Det gäller att identifiera de avrinningsområden, delavrinningsområden, skiften och t.o.m. delar av skiften där förlusterna är av någon betydelse. Valet av åtgärder måste sedan styras av vilken typ av förluster som dominerar. Är det fråga om avrinning på ytan eller sker transporten huvudsakligen genom marken till dräneringsledning? Kunskapen om detta är

helt avgörande för hur motåtgärderna ska utformas.

Lämpliga åtgärder måste i framtiden anpassas dels till den lokala marktypen och odlingen och dels till vattendragens och sjöarnas känslighet. Fungerande strategier och tillräckligt avancerade verktyg för denna lokala anpassning av åtgärder inom jordbruket saknas idag men måste utvecklas.

Som ett första steg i en sådan utveckling har nyligen ett svenskt s.k. riskindex för fosfor tagits fram där varje enskilt fält, eller del av fält, bedöms (Figur 9). Man kan, som tidigare nämnts, ha som strategi att antingen minska problemen genom att kontrollera källorna till förlusterna (fosforhalt i marken, gödsling) eller också själva transporten (ytavrinning, utlakning). Konceptet med ett riskindex för fosforförluster innebär en kombination av båda strategierna. Ett högt riskindex uppstår när en potentiell källa och en tänkbar transportväg sammanfaller.

Förutom riskindexverktyg av den typ som just beskrivits är självfallet varje lantbrukares erfarenhet av sin åkermark till stor hjälp vid identifiering av var risken för fosforförluster är stor. Riskindexverktyg är också avsedda att användas av eller i samråd med enskilda lantbrukare.

## Så gör man:

- Motåtgärder för att minska fosforförluster från åkermark måste sättas in där de bäst behövs, dvs. inom de delar av fält eller avrinningsområden där risken för förluster är stor.
- Fosforindex är ett verktyg som, i kombination med lantbrukarens egna erfarenheter, kan användas för att bedöma risken för fosforförluster från enskilda fält och strukturera orsakerna.

## Markvård

Fosforförluster uppstår ofta vid snabba flöden av vatten på eller genom marken. För att i möjligaste mån hindra dessa flöden är det viktigt att marken kan ta upp så mycket vatten som möjligt. Detta vatten kan sedan användas av en odlad gröda eller vid vattenöverskott infiltrera sakta i marken och dräneras bort. Långsamma flöden ökar chansen att partikelbunden fosfor inte följer med vattenströmmen och att löst fosfor binds till markpartiklarna.

Den "goda jorden" ska ha en hög infiltrationskapacitet, gott om medelstora porer och därmed en hög vattenbindande förmåga. Det är alltså samma egenskaper som ger en hög bördighet vilket gör åtgärderna angelägna även om det inte finns problem med fosforförluster. De åtgärder som kan vara aktuella är välkända och ingår i varje växtodlars medvetande. Det gäller att undvika markpackning genom att undvika körning på blöt jord, använda lägsta möjliga däcktryck, ha bra däcksutrustning och köra så lite som möjligt med tunga maskiner. Dräneringen är vik-

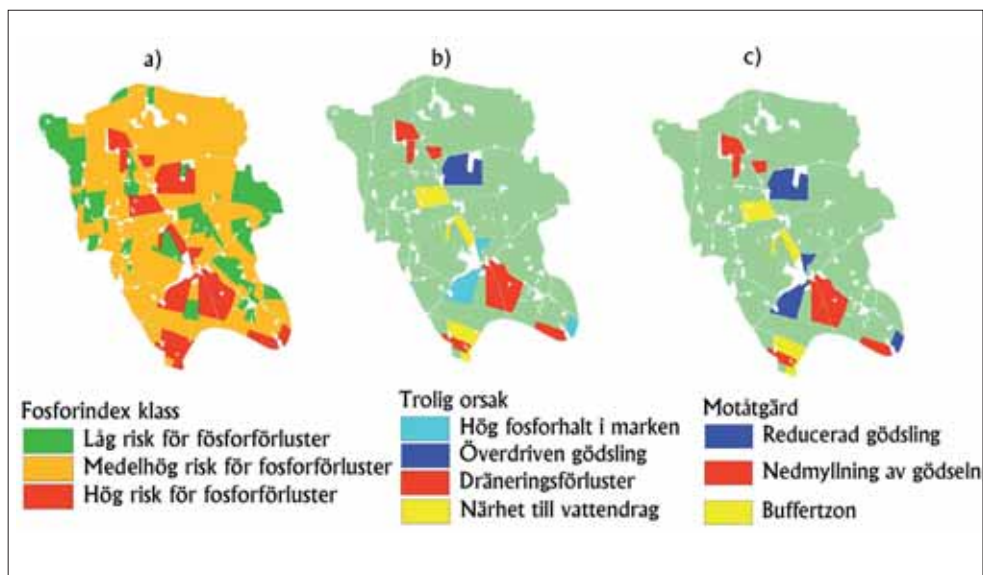
tig för att få en jämn upptorkning. Bortledning av ytvatten och underhåll av öppna diken kan också vara viktigt. En lämplig nivå på pH i marken förbättrar strukturen, framförallt på lerjordar. Strukturkalkning kan förbättra egenskaperna på struktursvaga jordar.

### Så gör man:

- Markvårdande åtgärder som förhindrar att vatten rinner av på markytan bör eftersträvas. Dit hör att man undviker markpackning, håller dränering och ytavvattning i gott skick och strukturkalkar.

## Jordbearbetning

Reducerad jordbearbetning, dvs. att plöjningen ersätts av en grund bearbetning, kan användas för att minska ytavrinningen. Genom att skörderester lämnas på markytan ökar infiltrationen och mer vatten binds i marken för efterföljande grödor. Genom reducerad bearbetning kan erosionsförlus-



Figur 9. Klassificering av fält eller delar av fält inom ett avrinningsområde där risken för fosforförluster är stor (a), och vilken orsaken till detta är (b), samt vilken motåtgärd som kan sättas in för att minska problemet (c). Bilden är modifierad från en publikation av Djodjic m.fl. (*Journal of Environmental Quality* 31:937-945; 2002).

terna reduceras med 30–90 % beroende på gröda. Man kan räkna med att för varje ton av markpartiklar som inte rinner av ett fält reduceras fosforförlusterna med minst 50 g.

Det är dock viktigt att påpeka att generella rekommendationer sällan ger ett bra resultat. Erosionsbegränsande åtgärder behöver anpassas till lokala förhållanden. Det är också viktigt att inse att inte alla erosionsbegränsande åtgärder minskar fosforförlusterna. Växtrester som lämnas på markytan kan exempelvis fungera som fosforkälla och öka förlusterna av löst, reaktiv fosfor. Löst fosfor skapar betydligt större problem i de flesta vattenkosystem än partikelbunden fosfor, beroende på den höga biotillgängligheten. Om reducerad bearbetning utförs när marken är blöt kan den orsaka markpackning som leder till ökade problem med fosforförluster.

Med jordbearbetningsåtgärder kan man också bryta kontinuiteten av makroporer i matjorden och därmed minska fosfortransporten. Det har visat sig i flera studier att fosforförlusterna blir mindre i bearbetad jord jämfört med ostörd, även om exempel finns som visar att jordbearbetning inte har en sådan effekt. Det kan också vara viktigt att titta på förhållandena i alven där strukturen är relativt opåverkad och nedtransporten av fosfor genom makroporer till dräneringsledningar kan ske snabbt. En minskning av flödes hastigheten i alven kan ske genom exempelvis djupplöjning, men detta är dyrt och effekten på fosforutlakning är inte testad under svenska förhållanden, vilket gör metoden osäker.

Det finns ett flertal strategier för bearbetning av jorden som hindrar eller bromsar upp ytavrinning. Dit hör bearbetning vinkelrätt mot fältlutningen eller längs med höjdkurvorna, s.k. konturplöjning. Det är en fördel om marken inte är helt slät efter bearbetningen på hösten. Höstharvning bör undvikas på erosionsbenägna jordar. Odling av höstsäd har liknande effekt och ger normalt större förluster än när markytan är plöjd eller grovt bearbetad.

### *Så gör man:*

- Genom reducerad bearbetning där mycket växtrester lämnas på ytan kan erosionsförluster minskas betydligt. En förutsättning är att den reducerade bearbetningen kan utföras under gynnsamma förhållanden. Det är också viktigt att uppmärksamma att växtrester som lämnas på markytan kan fungera som fosforkälla och öka risken för förluster av löst fosfor.
- Med jordbearbetningsåtgärder som plöjning vinkelrätt mot fältlutningen och konturplöjning kan man effektivt minska ytavrinningsförluster av framför allt partikulärt bunden fosfor.
- På erosionsbenägna jordar bör markytan inte vara helt slät på hösten efter bearbetningen.

### *Skyddszoner och fånggröda*

En enkel åtgärd för att minska ytavrinning av fosfor är att anlägga skyddszoner längs vattendrag och diken. Effekten av en skyddszon beror bl.a. på hur bred den är och hur tät vegetation som täcker ytan. I en nordisk studie minskade totalfosforhalten i det vatten som rann över en skyddszon med mellan 27 och 97 %. Skyddszoner fångar upp fosfor genom att partiklar sedimenterar, genom att vattnet infiltrerar och genom att vegetationen tar upp fosfor. Man har emellertid ofta en högre uppsamling av partiklar än av fosfor i en skyddszon eftersom fosfor ofta är bunden till de små partiklarna som inte sedimenterar.

En skyddszons effekt mot förlusterna av fosfor är naturligtvis helt beroende av att det verkligen förekommer ytavrinning. På många ställen där det idag har anlagts skyddszoner förekommer ingen ytavrinning. Skyddszoner har emellertid en rad andra positiva effekter vilket motiverar en generell användning. Ur fosforsynpunkt är det framförallt en fördel att spridning av mineral- och stallgödsel flyttas bort en bit från vattendraget. Dessutom tar skyddszonen bort risken för att jordbearbet-



*Skyddszon längs dike i Uppland (till höger), och olika plöjningsriktning (till vänster).  
(Foto: Faruk Djodjic)*

ning sker så nära vattendraget att det uppstår ras av jord direkt ner i vattendraget.

Man kan också tänka sig att bruket av fånggrödor och vårplöjning, som är en väl beprövad metod för att minska kväveläckage från framför allt lätta jordar i södra Sverige, har en reducerande effekt på fosforförluster på styvare jordar. Detta skulle ske genom minskad ytavrinning och erosion pga. förbättrad infiltration och bortfiltrering av frigjorda partiklar, vilket kräver ett tätt vegetationstäck, samt fosforupptag av fånggrödan. Utländska studier har visat att en fånggröda som tillåts växa under en relativt lång period kan binda 10–30 kg P/ha i ovanjordisk biomassa.

En risk med skydds zoner och fånggrödor i kalla områden är, som tidigare nämnts, utfrysning av fosfor. I flera studier har det uppmärksamats att fosforförlusterna kan öka när grödan fryser, cellerna sprängs och löst fosfor frigörs som kan följa med avrinnande vatten. Vårbearbetning kan, om den utförs när marken inte har torkat upp, förstöra markstrukturen och därmed minska infiltra-

tionskapaciteten och öka ytavrinningen, samtidigt som grödans tillväxt hämmas.

#### *Så gör man:*

- Skydds zoner längs diken och vattendrag som bidrar till att ytavrinnande partiklar sedimenterar och vatten infiltrerar, kan påtagligt reducera fosforförlusterna till vattendragen.
- Vårbearbetning minskar förlusterna genom att stubb och vegetation hindrar ytavrinning under höst och vinter.
- En väl utvecklad fånggröda kan binda 10–30 kg P/ha i ovanjordisk biomassa, vilket kan bidra till att fosforförlusterna minskas under vinterhalvåret på utlagningskänsliga jordar.

#### *Begränsning av fosformängden i marken*

Trots att det inte finns ett entydigt samband mellan ett högt innehåll av fosfor i marken och förluster av fosfor är det viktigt att begränsa tillförseln och undvika ackumulering



av fosfor. Ett högre fosforinnehåll kan innebära en ökad risk för förluster. Dessutom är det en dålig hushållning med fosfor och direkt oekonomiskt att tillföra mer än vad grödan behöver. Det är helt onödigt att skapa sig problem genom att bygga upp höga fosformängder i marken.

De rekommendationer som tillämpas idag leder till en balans mellan tillförsel och bortförsel på de jordar som befinner sig i fosforklass III, vilket motsvarar ett P-AL värde mellan 4 och 8 mg P/100 g jord. Att gödsla upp marken ytterligare kan bara motiveras vid odling av potatis och sockerbeter. Vid enbart spannmålsodling kan den lägre delen av klassen räcka till. Årlig gödsling, framförallt till vårsåden, och radmyllning gynnar grödupptaget och minskar risken för att fosfor fastläggs eller utlakas.

Anpassningen av fosforgivan kan ske genom att minska eller helt undvika fosforgödsling till höstsäd och genom att välja olika gödselmedel till olika skiften vid vårsådd. Precisionsgödsling med differentierad fosforgiva kan genomföras vid höstsådd för att jämna ut skillnader inom det enskilda fältet.

För den som har stallgödsel är det viktigt att den fördelas på ett sådant sätt att inte skiften nära gården får onödigt höga fosforgivor. Det kan finnas olika lösningar för att få en bra fördelning. Har gården skiften som ligger långt bort kan det vara lönsamt att istället göra upp med någon granne som tar emot stallgödseln. I vissa fall kan en separering av stallgödseln vara en lösning. Det mesta av fosfor hamnar då i den fasta fraktionen och det blir en betydligt mindre mängd som ska transporteras. Billiga transporter är en förutsättning och vid längre transporter är det alltid billigare att köra på lastbil än med traktor och spridare. Tillräcklig lagringskapacitet på gården är en förutsättning för att kunna optimera spridning och transporter.

I vissa fall kan det vara så mycket djur i ett område att omfördelning av gödseln inte räcker för att få en balans mellan bortförsel från och tillförsel till åkermarken. Då kan åtgärder inom utfodringen vara en lösning. Ett

första steg kan vara att kontrollera så att det inte förekommer en överutfodring med fosfor. Som ett andra steg kan foderstaten ses över för att hitta fodermedel som leder till en lägre tillförsel av fosfor. Arbete pågår med att justera både normerna för fosfor i foder och schablonerna för tillgänglighet i olika fodermedel.

Fosforutnyttjandet i foder till enkelmagade djur är lågt eftersom 80–90 % av fosfor i spannmålskärnor är fytinbunden. Det är en stabil fosforförening som är svårnedbrytbar för alla djur utom idisslare. Dessa har mikroorganismer i våmmen som kan frigöra fytinbunden fosfor. För fjäderfä kan fosforhalten i fodret sänkas rejält vid en tillsats av enzymet fytas i fodret, vilket gör att fosfor i fodret utnyttjas bättre. Även för grisar kan fytastillsats användas som en säkerhet då fosforhalten sänks.

Ett enkelt sätt att bedöma fosforhushållningen på en gård är att göra en växtnärbalans. På lång sikt bör tillförseln till gården inte vara större än bortförseln. Om jordarna på en gård är utarmade på fosfor kan det vara rimligt att ha ett överskott av fosfor under en övergångsperiod tills jordarnas fosforinnehåll har nått en lämplig nivå. Att använda gårdsbalansen som ett mått på fosforhushållningen bygger på att stallgödseln inte koncentreras på vissa skiften. För att följa upp fosforgödslingen på skiftesnivå bör en skiftesredovisning upprättas där fosfortillförseln redovisas varje år. Utvecklingen bör följas upp med markkartering var 7–10 år.

Frågan är hur mycket vi kan tära på markens förråd och hitta en nivå som ger bästa möjliga odlingsekonomi. Strategin kan sammanfattas med att man ska gödsla så lite som möjligt utan att gödsla för lite. Man bör vara observant så att markens fosfortillstånd inte sjunker till en nivå där det slår tillbaka i form av sämre odlingsekonomi.

På jordar med högt fosforinnehåll och där man kan misstänka risk för förluster kan en medveten utarmning av fosfor vara en viktig åtgärd. En högavkastande vallgröda tar bort mycket fosfor och om ingen fosfor till-

förs kan fosforinnehållet på sikt sänkas till en nivå där riskerna för förluster minskar. Vissa grödor som t.ex. lusern har på grund av sitt djupa rotsystem stor kapacitet att ta upp stora mängder fosfor ur marken.

### *Så gör man:*

- Fosforgödsel bör tillföras så att det leder till en balans mellan tillförsel och bortförsel på jordar som befinner sig i fosforklass III (P-AL 4–8 mg P/100 g jord). Lite mer fosfor kan behövas till potatis och sockerbetor.
- Det är viktigt att stallgödsel fördelas på tillräckligt stor areal och inte sprids på ett sådant sätt att skiften nära gården tillförs för stora mängder.
- Med tillsats av enzymet fytas i fodret till enkelmagade djur går det att sänka fosforhalten i fodret och dämed också få lägre fosformängd i gödseln.
- Fosforbalanser bör årligen upprättas på gårds- och fältnivå för att se till att tillförseln är i balans med bortförseln.

### *Anpassning av gödslingstekniken*

Även om tillförseln av fosfor till åkermark är i balans med bortförseln kan man ibland få stora förluster som orsakas av nyspridd fosfor. För att minska effekten av dessa förluster bör man ta stor hänsyn till såväl tidpunkten när fosfor sprids som vilken metod man använder för att sprida gödseln.

Omedelbart efter spridning är mineralgödsel fosfor och en stor del av stallgödsel fosfor löst i markvätskan och kan följa med vattnet som utlakning eller ytavrinning. Det är därför viktigt att skapa en god kontakt mellan fosfor och markpartiklarna vid spridningen. Det kan också vara en stor fördel att sprida fosfor vid tidpunkter då det inte är något överskott av vatten i marken som kan rinna bort. I praktiken innebär det att mineralgödsel bör spridas på våren och helst med radmyllning (kombisådd). Genom att man vid radmyllning placerar gödsel fosfor i band minskar kontaktytan mellan tillförd fosfor och jordmaterialet, och därmed

fastläggningen. Mer fosfor är med andra ord tillgänglig för grödan, utan att utlakningsförlusterna behöver öka. Ska fosfor spridas på hösten bör det ske tidigt, i första hand nedmyllat eller radmyllat i samband med höstsådd. Förrådsgödsling för flera år i taget bör i möjligaste mån undvikas. Fosfor som plöjs ner sent på hösten riskerar att lakas ut innan den har bundits till markpartiklarna.

För stallgödseln gäller samma principer. Spridning bör i första hand ske i samband med vårbruk och med så snabb nedmyllning som möjligt, inte minst för att undvika ammoniakförluster. Ska den spridas på hösten bör detta göras så tidigt som möjligt, vilket kommer i konflikt med åtgärder mot kväveläckage där spridningen ska ske så sent som möjligt. Vid tidig vårspridning på mark med yttlig tjäle är det stor risk för ytavrinning eller utlakning av löst fosfor. Vid spridning i växande gröda är det en fördel att använda myllningsaggregat. Spridning i växande vall ger ett högt utnyttjande av fosfor och kalium, men vid odling av vallfoder till mjölkkor bör man vara uppmärksam på risken för sporer i mjölken.

### *Så gör man:*

- Spridning av såväl mineral- som stallgödsel bör ske i samband med vårbruket, och helst med radmyllning/kombisådd eller snabb nedbrukning. För stallgödsel ställer det krav på tillräcklig lagringskapacitet.
- Höstgödsling med fosfor bör bara göras i undantagsfall och då tidigt på hösten som radmyllning.

### *Fånga upp fosfor som löper risk att lämna/har lämnat åkern*

Våtmarker har under senare år anlagts i jordbrukslandskapet för att minska transporten av kväve och fosfor till havet. Det finns dock ganska få kvantitativa mätningar som visar hur effektiva våtmarker är som fosforfällor under svenska förhållanden. I en sammanställning av data från 17 våtmarker belägna i

Skandinavien, Schweiz och Illinois (USA) fann man att faktorer som våtmarkens yta i förhållande till avrinningsområdets, våtmarkens ålder m.m. har stor betydelse för fosforretentionen, som varierade mellan 1 och 88 % när det gällde totalfosfor. I de våtmarker vars yta utgjorde över 1 % av avrinningsområdets, och som hade en hög andel löst reaktiv fosfor i inloppsvattnet, var retentionen av totalfosfor ungefär 20 %, vilket motsvarade 4–11 kg P/ha våtmark och år. Om andelen partikulärt bunden fosfor var stor blev retentionen betydligt högre. Dessa resultat indikerar att våtmarker potentiellt kan bidra till att minska förluster av partikulärt bunden fosfor från åkermark i kalla klimatregioner som Sverige. Samtidigt har våtmarker ämnade att reducera fosfortransporten visat sig kunna bidra med löst reaktiv fosfor under sommaren pga. tillskott från sedimenten.

I Sverige görs idag stora ekonomiska satsningar på att anlägga våtmarker, framför allt med avseende på kväveretention. För fosfor måste dock metoden ses som relativt osäker, trots de positiva resultaten beskrivna ovan. Det beror främst på att våtmarkerna måste utformas och skötas ytterst omsorgsfullt för att över huvudtaget ha någon effekt på de diffusa fosforförlusterna från åkermark. Man underskattar lätt vattenflödena och överskattar sedimentationshastigheten hos de långtransporterande allra minsta lerpartiklarna som svarar för mycket av fosfortransporten till exempelvis Östersjön.

Den omgrävda och tillbakafyllda jord som finns över en täckdikesledning kan generera en snabb fosfortransport i marken som liknar flödet genom makroporer, speciellt de närmaste åren efter det att täckdikningen utförts. En metod som utvecklats i Finland för att förhindra detta är den s.k. FOSTOP-metoden (Nordkalk Oy Ab), vilken bygger på att man vid återfyllning av diken i lerhaltiga jordar blandar in bränd (dvs. osläckt) kalk ( $\text{CaO}$ ). Resultatet blir en hållbar och porös återfyllnad, som effektivt binder fosfor i genomrinnande vatten. Kalkfilterdike, som metoden ofta kallas, fungerar således som ett kemiskt

minireningsverk. Metoden har testats i ett flertal finska försök och visat sig reducera fosforhalterna i avrinnande vatten med i flertalet fall mer än 80 %. Förutom fosforrening kan kalkfilterdiken även leda till förbättrad dränering i täta lerjordar och därmed bidra till minskad erosion. Medellivslängden för kalkfilterdiken har visat sig överstiga 10 år utan att reningseffekten gått förlorad.

I Sverige har metoden endast testats vid en försöksplats men långtidseffekten har inte kunnat följas upp. Mer forskning om kalkfilterdikens effekt för att minska fosforförluster från åkermark under svenska förhållanden är därför nödvändig innan metoden kan få någon genomslagskraft. Det bör påpekas att metoden främst kan tillämpas vid nydikning.

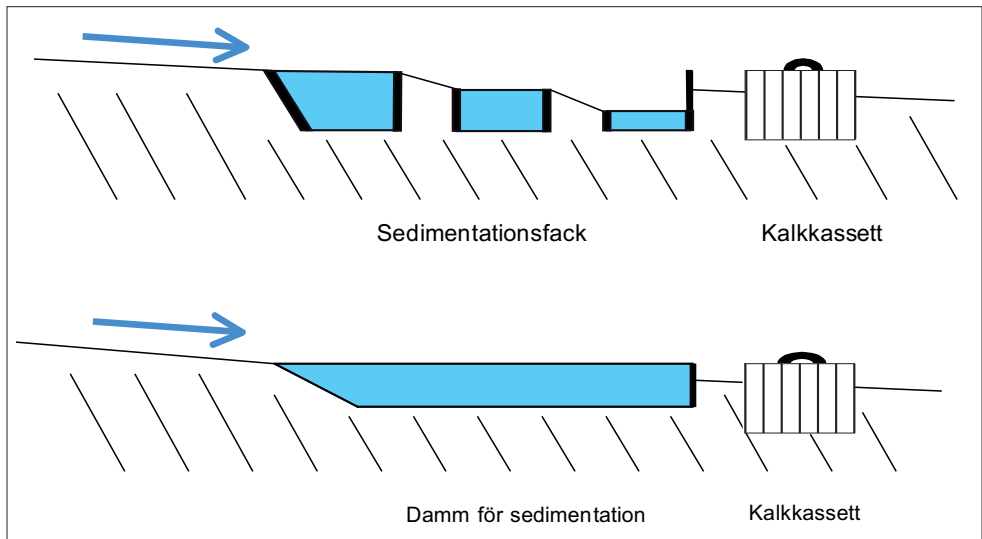
Man kan sannolikt finna andra situationer än ”kalkfilterdiken” där tillförsel av bränd kalk kan minska förlusterna av fosfor, exempelvis spridning runt ytvattenbrunnar och längs kanten av öppna diken. Sådana tillämpningar är dock dåligt testade i Sverige. Kalkning i samband med nergrävning av ytvattenbrunnar är speciellt intressant eftersom sådana nergrävningar ofta görs idag. Kalksandfilter på lokaler med mycket ytvattenavrinning med höga fosforhalter borde också testas, speciellt på sura jordar.

Man kan också tänka sig mer ”tekniska”



*Jordningstillande av kalkfilterdike.  
(Foto: Barbro Ulén)*





Figur 10. Skiss över en fosforfälla i ett avrinningsdike: Partikelsedimentation följt av P-fällning med kalkkassett (övre bild). Omvandling av våtmark till fosforfälla: Partikelsedimentation följt av P-fällning med kalkkassett (undre bild).

lösningar som bygger på samma princip, nämligen att installera ett antal sedimentationsbehållare efter varandra i ett dike dit dräneringsvatten leds (Figur 10). Dessa behållare kan sedan tömmas efter behov. Innan det renade vattnet sedan rinner ut i en recipient kan det ledas genom ett kalkfilter som fångar upp löst fosfor. Man får på detta sätt ett reningsverk för åkermark.

Ett alternativ som framförts under senare år är att i systematiskt täckdikade fält begränsa avrinningen genom reglerbar dränering, dvs. genom att höja vattennivån i fältet utanför växtsäsongen. En förutsättning är att fältet är relativt platt. De reducerande betingelser som därmed uppstår i marken kan dock leda till frigörelse av löst fosfor från järnföreningar. Andra studier har emellertid visat att man kan reducera fosforförlusterna med ungefär 35 % med hjälp av reglerbar dränering.

### Så gör man:

- Våtmarker kan bidra till en sänkning av fosforförluster i jordbrukslandskapet i storleksordningen 20 %, om dess yta överstiger 1 % av avrinningsområdets yta. Om andelen partikulärt bunden fosfor är stor i avrinnande vatten kan retentionen bli ännu högre.
- Spridning av osläckt kalk i dikesåterfyllnad ("kalkfilterdiken"), längs kanten av öppna diken och runt ytvattenbrunnar kan påtagligt minska fosforförlusterna från åkermark.

### Sammanfattning

Ett försök till att värdera effektiviteten i åtgärder som finns idag mot fosforläckage från åkermark visas i tabell 1. Det behöver dock påpekas att osäkerheten i sådana bedömningar är mycket stor, vilket gör att de endast bör uppfattas som ett underlag för rangordning.

Tabell 1. Värdering av åtgärder för att reducera förluster av löst (LP) och partikulärt bunden (PP) fosfor från olika jordar. (0) betyder ingen effekt, och fler (+) anger ökad effekt. (-) betyder att åtgärden inte kan tillämpas. Tabellen är baserad på bedömningar redovisade i rapport 5507 från Naturvårdsverket (SNV, 2005a).

Åtgärd	Lerjord		Mjälajord		Sandjord	
	LP	PP	LP	PP	LP	PP
Radmyllning/Kombisådd	+++	++	+++	++	+++	++
Minskad markpackning	++	+++	++	+++	++	++
Markkartering och anpassad gödsling	+++	+	+++	+	+++	+
Kalkfilterdiken <sup>b</sup>	++	+++	++	+++	++	++
Vårplöjning	+	+	++	+++	++	+
Skyddszoner <sup>c</sup>	-	+++	-	+++	-	+
Vegetationstäckt mark under vintern	0	+++	0	+++	0	+
Kalkning runt ytvattenbrunnar <sup>b</sup>	+	++	+	++	+	+
Våtmarker <sup>d</sup>	+	(+) <sup>e</sup>	+	++	+	++
Reglerbar dränering <sup>b</sup>	+	+	+	+	+	+

<sup>a</sup> Ulén, B. (red.) 2005. Fosforförluster från mark till vatten. SNV Rapport 5507, 61 sid. Naturvårdsverket, Stockholm.

<sup>b</sup> Ej alls eller otillräckligt testat i Sverige.

<sup>c</sup> Bör anpassas efter lokala förhållanden för att få bra effekt.

<sup>d</sup> Viktigt med design och skötsel.

<sup>e</sup> Omfattningen av sedimentation av kolloidalt material är mycket osäker.

## Lästips:

Djordjic, F. och Bergström, L. 2005. Conditional phosphorus index as an educational tool for risk assessment and phosphorus management. *Ambio* 34, 296-300.

SERA-17. Minimizing phosphorus losses from agriculture. (<http://sera17.ext.vt.edu/>)

# Matematiska simuleringsmodeller

För att få veta var de största förlusterna av fosfor förekommer använder man sig ofta av mätningar. För att få pålitliga resultat krävs omfattande provtagning och en bestämning av vattenflödet. Annars är det lätt att missa en episod med kraftiga flöden och åtföljande stora fosfortransporter. Detta kan bara genomföras i ett mindre antal områden. I andra områden blir det nödvändigt att använda modeller och andra verktyg för att beräkna fosforförluster från åkermark. En sådan modell är ICECREAM som beskrivs kortfattat i faktarutan nedan. Dessa modeller måste ta hänsyn till de processer som styr fosforns förekomstformer i marken, fosforns mobilisering och transport genom markprofilen och

i landskapet samt alla de punktkällor och diffusa förluster som kan förekomma.

Modeller kan användas för att kvantifiera förluster, beräkna källfördelningen och bestämma storleksordningen av olika transportmekanismer. Resultaten kan användas för att hitta områden med stor risk för förluster men också för att beräkna effekten av olika åtgärder. Modeller kan också användas för att följa utvecklingen där mätningar saknas. Mätningar och modellering kan med ett integrerat angreppssätt dra nytta av varandra. Mätningarna behövs för att validera modellerna och modellerna kan användas för att förklara mätresultaten.

## Faktaruta – ICECREAM

ICECREAM är en simuleringsmodell för att beräkna fosforförluster från åkermark. Det ursprungliga modellkonceptet kommer från USA, men det har under senare år anpassats till skandinaviska förhållanden. Modellen är dynamisk och åtgärdsinriktad, och relativt komplicerad att använda genom att den matematiskt beskriver en mångfald processer som påverkar fosforförluster i åkermark. Användaren behöver följaktligen vara kunnig inom flera områden både för att kunna använda modellen och för att kunna utvärdera rimligheten i de simulerade resultaten. Genom att modellen beskriver många processer ställs stora krav inte bara på användaren, utan också på indata till modellen. Tillgången till bra indata är ofta en begränsande faktor för användning av en modell som ICECREAM.

ICECREAM har under senare år kompletterats med beskrivningar av makroporflöde, vilket har avgörande betydelse för fosforförluster från lerjordar. I dagsläget kan modellen på ett realistiskt sätt användas för att ta fram typiska fosforkoncentrationer i avrinnande vatten för olika grödor och gödslingar från ett antal jordtyper.

## Lästips:

*Brandt, M., Larsson, M., Wallin, M., Rosberg, J., Pers, C. och Wallenberg, P. 2006. Modellering av fosforflöden med olika modellsystem. Rapportserie SMED och SLU, 37 sid.*

*Wallin, M., Olsson, H. och Zakrisson, J. 2004. Påverkansbedömning för ytvatten enligt EU's Ramdirektiv för vatten - tillgängliga metoder, verktyg och modeller samt utvecklingsmöjligheter för SMED och SLU. Rapportserie SMED och SLU, 64 sid.*

# Hur går vi vidare?

Trots att det idag finns en hel del motåtgärder som kan sättas in för att minska fosforförlusterna från jordbruket till yt- och grundvatten, vilket framgått av tidigare presentation i denna skrift, är vi ändå i stort behov av bättre framtida motåtgärdsstrategier. Mycket av problemet är kopplat till att vi helt enkelt inte i tillräcklig grad känner till motåtgärdernas effektivitet under svenska förhållanden. Vi måste också bli bättre på att identifiera områden där risken för fosforförluster är stor, så att åtgärdsarbetet blir så effektivt som möjligt. En annan viktig orsak är att kunskapen om hur fosfor beter sig i marken (i vilken form den befinner sig under olika betingelser, hur den transporteras i olika jordar och i landskapet i stort etc.) ofta är alldeles för bristfällig för att kunna ta fram ändamålsenliga och kostnadseffektiva motåtgärder.

Framtida utvecklingsarbete kring fosforns uppträdande i mark-/växsystemet är givetvis

inte bara kopplat till behovet av att få fram nya åtgärder mot fosforförluster, utan även till frågor om fosfor som en produktionsresurs, vilket också kräver ökad kunskap om fosforns beteende i marken.

Nedan följer exempel på några områden där kunskapen är bristfällig.

- Fosforgödsling med slam från kommunala reningsverk
- Lång- och kortsiktiga förändringar i tillgänglighet för fosfor i marken
- Grödans betydelse för att hindra förluster
- Effekten av nedbrukning av olika typer av växtrester
- Erosion i diken och bäckar
- Utformningen av våtmarker
- Olika tekniska lösningar för att rena vatten



*Text:* Lars Bergström, Sveriges Lantbruksuniversitet  
Janne Linder, Jordbruksverket  
Rune Andersson, Sveriges Lantbruksuniversitet

Jordbruksverket  
551 82 Jönköping  
Tfn 036-15 50 00 (vx)  
E-post: [jordbruksverket@sjv.se](mailto:jordbruksverket@sjv.se)  
Webbplats: [www.sjv.se](http://www.sjv.se)



Detta material har delvis  
finansierats med EU-medel

ISSN 1102-8025

JO08:27