

BARBRO ULÉN

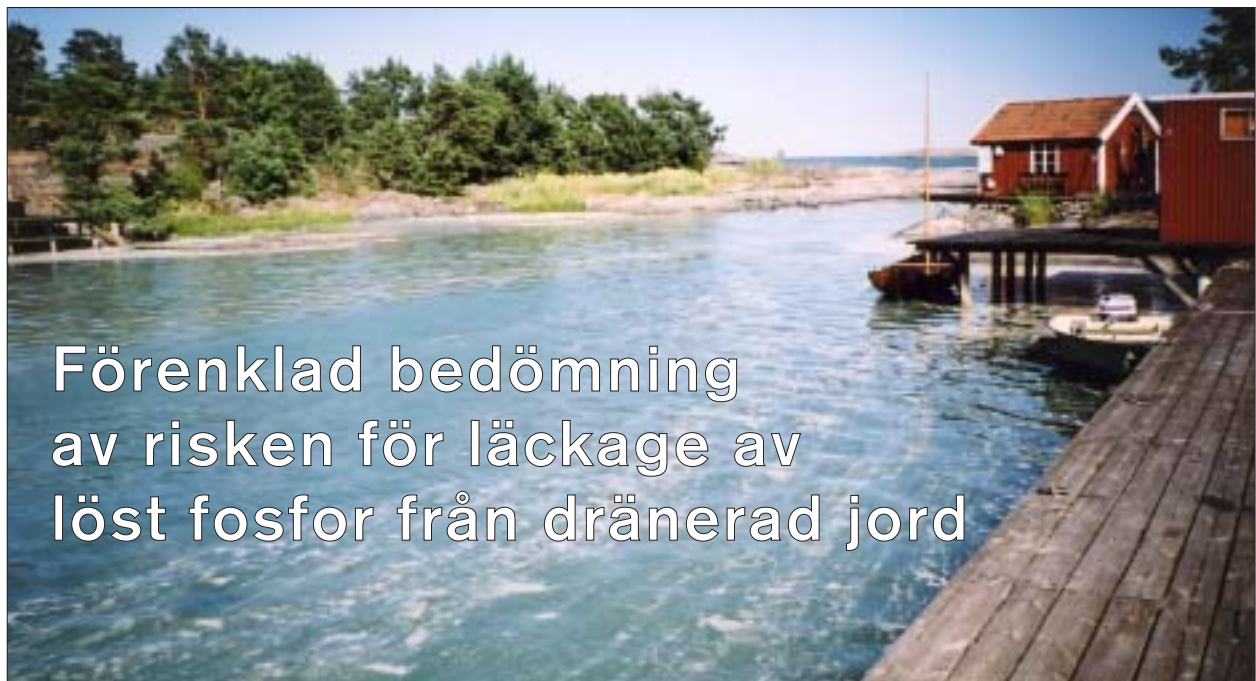


FOTO: BARBRO ULÉN

## Förenklad bedömning av risken för läckage av löst fosfor från dränerad jord

FIGUR 1. | Algblomning sommaren 2005 vid Flatvarp utanför Loftahammar.

- Under 1900-talet skedde en omfattande upplagring av fosfor i svensk åkermark. Nu finns en enkel metod som gör det möjligt att identifiera fält som riskerar att läcka stora mängder löst fosfor därför att jorden blivit i det närmaste fosformättad.
- För merparten av Sveriges jordar, de kalkfria, är föreningar med järn och aluminium viktigast för förmågan att binda fosfor. Innehållet av dessa ämnen mäts dock sällan, eftersom den vanligaste metoden är både besvärlig och dyr.
- Vi mätte halterna av såväl järn och aluminium som fosfor i jordextrakt som beretts för rutinbestämning av fosfortalet (P-AL). Vårt förenklade uttryck för graden av fosformättnad hade ett klart samband med förluster av löst fosfor via dräneringsvatten.
- Av 230 sura jordar från den svenska markkarteringen i södra Sverige hade tre procent så pass höga värden på graden av fosformättnad, antingen i matjorden (lerjordar) eller alven (sandjordar), att läckaget av löst fosfor antagligen är betydande.
- Gamla bestämningar av fosfortalet bör räknas om ifall de ska jämföras med nyare resultat. Dagens analysmetod gav 19 procent högre värden på fosfortalet i vår studie.

Den fosfor som finns lagrad i svensk åkermark är en viktig källa till övergödning av vattendrag och sjöar. På senare tid har det också blivit tydligare att vi måste minska fosforförlusterna från åkermark för att minska risken för algblooming i Östersjön (figur 1). Det går att bromsa och förbättra situationen där, eftersom Östersjöns botten successivt kan tömmas på sitt fosforinnehåll om mycket av tillförseln stryps. Speciellt viktigt är det att strypa tillförseln av *löst fosfor*, eftersom den kan tas upp direkt av cyanobakterier (kallas ibland blågröna alger), den organismgrupp som till och från orsakar "giftig algblooming". I detta fakta redovisar vi en ny analysmetod som gör det möjligt att identifiera fält som riskerar att läcka stora mängder löst fosfor därför att jorden blivit i det närmaste fosformättad.

Den fosfor som är *bunden till jordpartiklar* tas bara delvis upp av cyanobakterier och växtplankton, och är därmed mindre övergödande på kort sikt. Förlusterna av partikelbunden fosfor kan dock bli betydande under vissa förhållanden, och vad man kan göra för

#### FAKTARUTA 1

### Sorption och kelering av fosfor i jord

Fysikaliskt kan fosfor vara vidhäftad både på utsidan av och inuti jordpartiklarna. Oftast är det omöjligt att skilja de båda sätten åt och de brukar gemensamt kallas för sorption. Genom desorbering frigörs fosfor åter till markvätskan.

En viktig faktor för jordarnas sorberande förmåga är innehållet av aluminium och järn. Aluminium förekommer dels i form av amorfa (strukturelösa) oxider, dels i form av hydroxider som tenderar att bilda en film över lerpartiklarna och därmed ger fosfor en stor yta att sorbera till. Järnoxider och järnhydroxider uppträder oftare klumpvis i partiklar.

Ämnen med förmåga att binda fosfor hårt med flera bindningar (komplexbinda) verkar *kelerande* (grekiska *chelé*, kräftklo). Sådana ämnen är effektiva extraktionsmedel för fosfor bunden till jord.

att undvika detta har diskuterats i tidigare Fakta (se litteraturlistan).

### Fosfor binds till aluminium, järn och kalk

För merparten av Sveriges jordar är föreningar med järn och aluminium viktigast för förmågan att binda fosfor (se faktaruta 1). Fosfor kan dock bara bindas till dessa ämnen upp till en viss gräns. Efter långvarig fosforuppgödning kan marken nå en mättnadsgräns, dvs. att jordens järn- och aluminiumoxider blir mättade med fosfor, och då riskerar man stora pro-

blem med fosforläckage. Platserna i jorden där fosfor skulle kunna bindas är helt enkelt upptagna. Denna mättnadsgräns är dock mycket olika för olika jordar. För jordar med mycket kalk är risken liten att denna gräns ska uppnås, eftersom fosfor också binds kemiskt till kalk. Andra jordar kan naturligt ha få sådana "platser" för fosfor att sätta sig på, eftersom de har lite järn och aluminium i jordprofilen. Genom att beskriva jordens grad av fosformättnad kan man planera för odlingsmetoder som kan minska läckaget av löst fosfor från åkermarken.

#### FAKTARUTA 2

### Högre fosfortal med nya analysmetoder

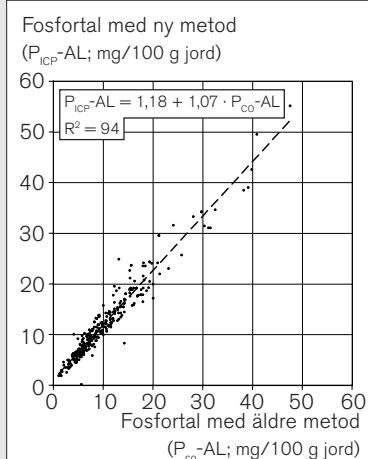
I Sverige används vanligen en sur ammoniumlaktatlösning (AL) vid bedömning av jordens innehåll av lättlöslig fosfor (Egnér m.fl., 1960). Extraktet kan frigöra en del olöslig fosfor genom att det löser bindningar med metaller som aluminium och järn. Detta är en svaghet med metoden, men den anses ändå fungera bra för sura jordar. I kalkjordar kan det emellertid ske ytterligare upplösning av kalciumbunden fosfor, vilket kan påverka resultatet av fosforbestämningen på ett mer avgörande sätt. Nära 12 procent av de svenska jordarna är kalkjordar (Eriksson & Andersson, 1997).

Fosfortalet bestämdes fram till perioden 1993–1995 med en metod som går ut på att bilda ett färgämne (kolorimetrisk metod), men sedan 1996 använder de stora kommersiella laboratorier en modernare teknik (induktiv kopplad plasma; ICP).

### Jämför inte nya och gamla fosfortal utan omräkning

När induktiv kopplad plasma används för fosforbestämning upphetas jordprovet. Det gör att en del organiskt bunden fosfor kan komma att ingå i den analyserade fosfor, till skillnad från när man mäter med den gamla färgmetoden. När vi jämförde de båda metoderna på jordprover från södra Sverige fick vi därför praktiskt taget alltid högre värden med den nya metoden (figur 2). Skillnaden var i genomsnitt 19 procent, vilket motsvarade 1,94 mg fosfor per 100 g jord. Nyare data med P-AL-tal bör därför modifieras när de jämförs med data som är äldre än 1993–1995 eftersom den analytiska metoden sannolikt har ändrats.

Skillnaderna mellan de två metoderna var tydligast för jordar från Jönköpings och Kronobergs län. Detta kunde inte förklaras på ett enkelt sätt, varken med jordarnas pH, lerhalt eller innehåll av organiskt material.



FIGUR 2. | Fosfortalet i jord mätt med ICP-teknik ( $P_{ICP-AL}$ ) och med kolorimetrisk metod ( $P_{CO-AL}$ ) efter extraktion i sur ammoniumlaktat. Jämförelsen gjordes med 325 jordar, både sura och kalkrika, från den svenska markkarteringen i södra Sverige, i huvudsak representerad av sandiga mjälalättleror. Två kraftigt avvikande analyspar har uteslutits.

## Tester för att mäta graden av fosformättnad i jorden

Det finns flera extraktionsmetoder och andra tester för att mäta graden av fosformättnad. I flera länder använder man analyser av enbart fosforhalten i jordextrakt (se faktaruta 2) för att bedöma risken för utlakning av fosfor i dräneringsvatten.

I Nederländerna utnyttjas redan ett jordtest i miljöpolitiska sammanhang, men detta test kan inte överföras till svenska förhållanden. Det finns framför allt ingen enkel rutinanalys för svenska förhållanden. De metoder vi har kräver stor noggrannhet och resultaten kan i praktiken vara svåra att jämföra om de utförts av olika personer och laboratorier.

Analys av aluminium- och järnhalter i jorden utförs sällan. I vissa sammanhang görs bestämningar med starka extraktionsmedel, t.ex. kelerande ämnen som ammoniumoxalat (se faktaruta 1). Då får man bra mått på jordens förråd av järn och aluminium. Den efterföljande analysen är dock besvärlig i viss typ av apparatur, eftersom extraktet tapper till den. Därför undersökte vi möjligheten att analysera aluminium och järn direkt i det extrakt som används vid bestämning av fosfortalet (P-AL). En test av båda metoderna (ammoniumlaktat och ammoniumoxalat) på 40 olika jordprover visade att den enkla AL-metoden kan användas. Utbytet av aluminium och järn blir visserligen betydligt mindre med det svagare

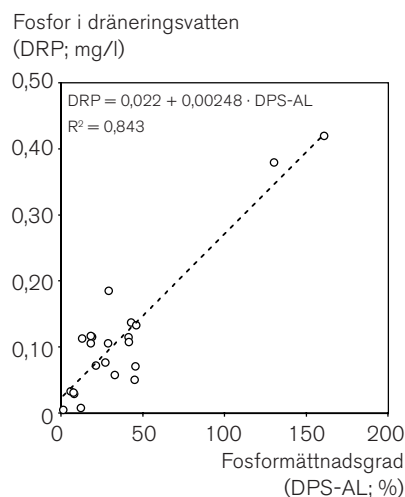
extraktionsmedlet, men det går att skatta det verkliga innehållet med tillräcklig noggrannhet (se faktaruta 3).

Graden av fosformättnad kan sedan beräknas som en kvot mellan mängden lättlöslig fosfor och summan av de uppskattade mängderna av järn och aluminium i det sura extraktet (ämnen uttryckta i mol). I lerjordar används värdet från matjorden och för sandjordar värdet i alven.

## Samband mellan fosformättnad och dräneringsförluster

Nästa steg var att undersöka vad detta förenklade mått på fosformättnadsgrad säger om risken för förluster av löst fosfor via dräneringsvatten. Detta undersöktes i 22 nordiska dränerade försöksfält, och det fanns ett tydligt samband (figur 4). Andra egenskaper hos jordarna, som lerhalt eller bara P-AL-talet, sa mindre om utlakningsrisken. Och om fosfortalet sattes i relation till bara aluminiumhalt eller bara järnhalt blev sambandet sämre än då båda ämnena utnyttjades.

Två fält med höga fosforkoncentrationer i dräneringsvattnet kunde tydligt identifieras. De hade en fosformättnadsgrad i AL-extraktet på 130–160 procent\*. Baserat på enbart fosfortalet i matjorden, dvs. Naturvårdsverkets klassificering (se "Läs mer"), skulle bara det ena av de två högriskfälten pekas ut. Värderna på 30–50 var vanliga, men representerade ändå en ganska måttlig halt av löst fosfor i dräneringsvattnet.



FIGUR 4. | Flödesvägda medelkoncentrationer av löst reaktiv fosfor (DRP) i vattnet från dräneringsledningarna mot graden av fosformättnad (DPS) för 22 nordiska dränerade observationsfält med ler- mjälalättler- eller sandjord. För lerjordar användes resultat från matjorden och för sandjordarna resultat från alven.

Sammantaget pekar resultaten på att man skulle kunna identifiera problemfält som har höga fosforläckage med hjälp av den här förenklade bestämningen av graden av fosformättnad, om man begränsar sig till jordar som inte innehåller kalk. Det innebär att metoder är tillämpbar på 88 procent av Sveriges jordbruksmarker, varav merparten har pH-värden som åtminstone understiger 7.

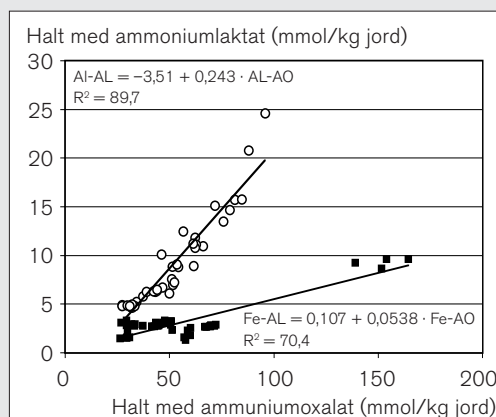
\* Metoden mäter förhållandet i extraktet, inte i markvätskan, och därför kan den beräknade mättnadsgraden vara högre än 100 %. Fosfor extraheras mer effektivt än aluminium och järn.

### FAKTARUTA 3

## Rutinanalys av aluminium och järn ger bra mått på jordens förmåga att binda fosfor

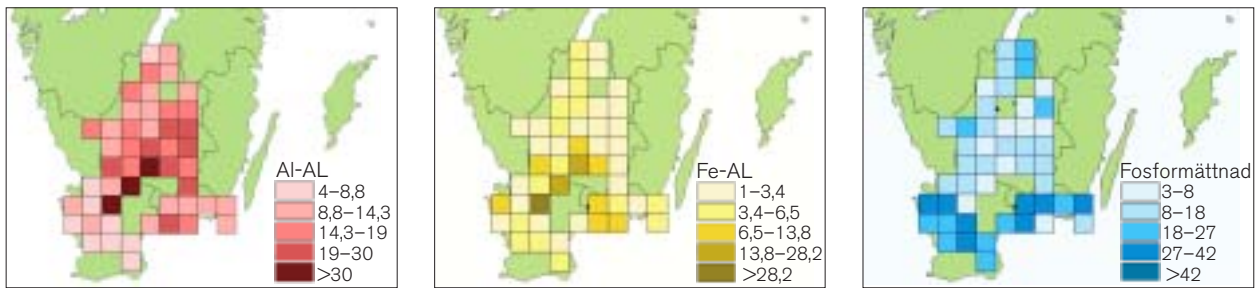
Vid analyser av aluminium och järn i det sura laktatextraktet var utbytet 16,8 respektive 6,0 procent jämfört med extrahering med det effektivt kelerande medlet ammoniumoxalat.

Sambanden (figur 3) kunde beskrivas som linjära, åtminstone för aluminium. Därför bedömde vi att analysen av aluminium och järn direkt i laktatlösningen skulle kunna utnyttjas som en grov metod att bestämma fosfors sorptionsförmåga till järn och aluminium och för beräkning av fosformättnadsgraden.



FIGUR 3. | Halter av aluminium (cirkel) och järn (fyrkanter) i 40 svenska jordar med olika textur från de långliggande försöken, vid extraktion med ammoniumlaktat (AL) respektive ammoniumoxalat (AO).





FIGUR 5. | a) Aluminium extraherad i sur ammoniumlaktat (Al-AL) och b) järn i samma extrakt (Fe-AL) uttryckt i mmol per kg jord och c) graden av fosformättnad i samma extrakt (DPS) på molbasis. Varje ruta representerar i genomsnitt fyra jordprov.

## Jordtester ger delar av svaret

Enbart jordtester kan aldrig ge ett fullständigt svar på hur mycket fosfor som förloras till vattendragen. Beräkningar av graden av fosformättnad bör kombineras med en karakterisering av hur vattnet transporteras på det aktuella fältet. I lerjordar kan fosfor transporteras mycket snabbt från ytskiktet via kanaliserade flöden genom profilen (makroporflöden), t.ex. i form av maskgångar eller sprickor (Djodjic, 2001). I sandjordar däremot sker vattenflödet ofta långsammare. Fosfor hinner komma i god kontakt med jordprofilen och kan bindas inte minst till alven som ofta har god fosforbindande förmåga. Därför är det viktigt att analysera graden av fosformättnad i sandiga alvjordar, åtminstone om matjorden har indikerat höga fosformättnadsvärden.

FOTO: BARBRO ULÉN



Jordprovtagning i Västergötland.

## Sydsvenska jordar kartlagda

För att få en bild av hur vanligt det är med fosformättad åkermark gjorde vi en kartläggning av sura jordar i södra Sverige, beträffande fosformättnadsgrad och halter av aluminium och järn (figur 5). Fosformättnadsgraden, och därmed risken för stora fosforläckage, var hög i delar av Blekinge och norra Skåne. I södra Skåne var jorden ofta alltför kalkrik för att metoden skulle kunna användas. Både aluminiumhalter och järnhalter var höga i sura jordar i gränstrakterna mellan Skåne och Småland.

## Mullhalten kompletterar bilden

Jordar som hade ett högt fosfortal och samtidigt en låg mullhalt (jfr. faktaruta 2) hade ofta en hög grad av fosformättnad. Man skulle därför kunna få en indikation på graden av fosformättnad (DPS) om man känner till fosfortalet (mätt med den nyare metoden efter 1995) och jordens koncentration av organiskt material (OM) enligt:

$$DPS = 4,47 + 1,51 \cdot P-AL - 0,265 \cdot OM$$

## Tre procent i riskzonen

Typiska värden för fosformättnadsgraden i extraktet var i storleksordningen 10–20. Lika höga värden som från de två problematiska observationsfälten återfanns inte. I tre procent av jordarna var dock fosformättnadsgraden 50 procent eller högre. Dessa jordar bör inte fosforgödas alls och man bör överväga att använda dem för odling av snabbväxande gräs. På sikt skulle man

försöka minska fosforhalten genom att skörda och föra bort vallmaterialet.

## Ämnesord

Fosfor, aluminium, järn, dräneringsvatten, extrahering, jord, fosformättnad

## Läs mer

- Börling, K., Otabong, E. & Barberis, E. 2001. Phosphorus sorption in relation to soil properties in some cultivated Swedish soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 59, 39–46.
- Djodjic, F. 2001. Lerjordar läcker mycket fosfor – utlakning från enskilda fält kartläggs. *Fakta Jordbruk 13/2001*. SLU, Uppsala.
- Naturvårdsverket 2006. *Åkermarkens kvalitet – lättlösliga former av fosfor och kalium i åkermark*. [www.naturvardsverket.se/dokument/lagar/bedgrund/odling/odldok/mark.html]
- Ulén, B. 2002. Undvik fosforläckage när lerjordar gödglas. *Fakta Jordbruk 2/2002*. SLU, Uppsala.
- Ulén, B. 2002. Svävande lerpartiklar för fosfor till havet. *Fakta Jordbruk 6/2002*. SLU, Uppsala.
- Ulén, B. 2004. Svårt förutsäga utlakning i växtföljder – enstaka händelser betyder mest. *Fakta Jordbruk 11/2004*. SLU, Uppsala.
- Ulén, B. 2006. A simplified risk assessment for losses of dissolved reactive phosphorus through drainage pipes from agricultural soils. *Acta Agriculturae Scandinavica Sec B* (in press).

## Författare

Barbro Ulén är docent och forskare vid avdelningen för vattenvårdslära, SLU, Box 7014, 750 07 Uppsala. Tel: 018-67 12 51. E-post: Barbro.Ulen@mv.slu.se

Varmt tack till Katarina Börling, Jan Eriksson, Faruk Djodjic, Eva Orsmark, Maria Stenberg och nordiska kolleger som bistått med jordprover och data. Tack också till Gunilla Hallberg, Josefin Ingvast och Anna Melakari för kemiska analyser. Studien har finansierats av Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF).

**Ansvarig utgivare:** Lars Rask, SLU, NL-fakulteten, Box 7082, 750 07 UPPSALA  
**Redaktör:** David Stephansson, SLU, Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap, Box 7082, 750 07 UPPSALA. Telefon: 018-67 14 92. Telefax: 018-67 17 00. E-post: David.Stephansson@adm.slu.se  
**Internet:** www.slu.se/forskning/fakta/  
**Prenumeration och lösnummer:** SLU Publikationstjänst, Box 7075, 750 07 UPPSALA. Telefon: 018-67 11 00. Telefax: 018-67 35 00. E-post: Publikationstjanst@slu.se  
**Prenumerationspris:** 340 kronor + moms  
**Tryck:** Elanders Tofers AB, 2006

