

Odlingsåtgärders betydelse för fosforutlakning från åkermark

Helena Aronsson, Åsa Myrbeck, Gunnar Torstensson, Barbro, Ulén, Faruk Djodjic och Claudia von Brömssen

Avgränsning och mål

Den ursprungliga projektplanen byggde på ett fältförsök med utlakningsmätningar efter olika fosforgödslingsstrategier samt en analys av resultat från fosforutlakning i långliggande fältförsök. Eftersom endast projektdelen med analys av befintliga data beviljades har projektplanen och målen med projektet förändrats med hänsyn till detta. Målen har varit att 1) Beskriva fosforkoncentrationernas nivå och variation i dräneringsvattnet på olika försöksplatser och i olika typer av odlingsystem, 2) Undersöka hur olika grödor, jordbearbetning och gödsling (tillförd gödsel eller grüngödsling) påverkat fosforkoncentrationerna i dräneringsvattnet i de olika försöken och 3) Identifiera avrinningsmönster som kan förknippas med ökad risk för fosforutlakning, t ex i samband med gödsling.

Slutsatser

Resultaten visar att fosforförluster från marken förutom att vara beroende av jord- och klimatförhållanden även till stora delar styrs av odlingsfaktorer. Av avrinningsmönster att döma kan man dra slutsatsen att höstgödsling alltid, och tidig vårgödsling relativt frekvent, innebär en ökad risk för fosfortransport ned genom marken. Resultaten visar tydligt att kombinationen gröda och jordbearbetning kan ha betydande inverkan på fosforutlakningen, där jordbearbetning på hösten endast utgör ett hot om det är stora mängder biomassa som nedbrukas. Förhöjd risk förekommer särskilt efter nedbrukning av grüngödslingvallar där ingen biomassa skördats, men också efter trindsäd och i viss mån efter skördad vall och fånggröda. Sådana grödor bör därför med fördel växa över vintern i likhet med vad som gäller för att minska risken för kväveutlakning. Jordbearbetning på hösten innebar däremot ingen ökad risk för utlakning efter stråsäd, och inte ens efter potatis som är en gröda med intensiv fosforgödsling och jordbearbetning. En slutsats blir att rekommendationen att reducera jordbearbetningen på hösten för minskat kväveläckage inte generellt kan tillämpas för minskat fosforläckage, utan endast i samband med nedbrukning av större mängder biomassa.

Bakgrund

Fosforläckaget från åkermark påverkas av både naturgivna förutsättningar, markens odlingshistoria och aktuella odlingsåtgärder. Jordens struktur och fosforbindningsförmåga har en mycket stor inverkan på utlakningsrisken. Fosforförlusterna har en episodisk karaktär, där tillfälliga utlakningstoppar kännetecknas av situationer där kraftiga nederbörds-/avrinningstillfällen sammanfaller med situationer när fosfor mobiliseras. Sådana situationer kan vara gödsling, avslagning/nedbrukning av växtbiomassa och jordbearbetning. Gemensamt för de flesta studier kring fosforutlakning i samband med gödsling är att de utförts under kontrollerade laborationsliknande förhållanden med mer eller mindre ”worst case-scenarier”, där t ex gödslingen följts av simulerat regnfall. Det finns relativt få studier som representerar verkliga fältförhållanden med naturlig väderlek. I de specialdränerade fältförsöken finns nu långa mätserier för fosforutlakning i olika odlingsystem och med olika typer av fosforgödsling. I detta projekt användes samlad information från flera platser under ett stort antal år för att söka orsakssammanhang för fosforutlakning från jordbruksmark.

De svenska försöksplatserna och försökens inriktning

De svenska försöksfälten, som finns på 6 platser, representerar några olika jordarts- och klimattyper med olika försöksinriktningar (tabell 1 och 2). Olika typer av försöksplaner har avlöst varandra genom åren på de olika platserna, men oftast har själva inriktningen på odlingen varit konsekvent

vad gäller tex stallgödseltillförsel och ekologisk odling. Försöksfälten vid Lanna och Mellby hyser ett flertal försök, där det är möjligt att jämföra olika typer av odlingsinriktningar på samma plats. Mellby, Fotegården och Lilla Böslid representerar jordar med enkelkornstruktur, medan övriga platser har jordar med betydligt högre lerhalter och ojämnare infiltrationsförhållanden för vatten. Huvudfinansiärer av olika studier har främst varit Jordbruksverket, Stiftelsen Oscar och Lili Lamms minne, SLU och Stiftelsen lantbruksforskning.

Tidigare resultat från de svenska fältförsöken med fokus på gödslingseffekter

Av tidigare resultat har det allmänt kunnat konstateras att tillförsel av handelsgödsel eller stallgödsel inte entydigt innebär en risk för ökade förluster av fosfor. Vid Lanna genomfördes under 1990-talet flera förrådsgödslingar med fosfor (60-80 kg P/ha) efter vilka man såg förhöjda koncentrationer av löst fosfor i dräneringsvattnet. Lindén et al. (2006) identifierade denna gödsling som den enda åtgärd som verkade påverka fosforkoncentrationerna. Också vid sandjordsfältet vid Lilla Böslid konstaterades ökat fosforläckage vid ett tillfälle med kraftig nederbörd efter gödsling till potatis (Neumann et al., 2012). Stallgödseltillförsel under många år med relativt stora givor av fosfor (40 kg P/ha) gav däremot inget signifikant utslag på fosforutlakningen vid Mellby försöksfält, där alven har en mycket god fosforbindningsförmåga (Liu et al., 2012a). Å andra sidan visade studier av matjordslysimetrar med kraftig bevattning från samma fält att långsiktig uppbyggnad av fosfor i marken till följd av årliga stallgödselgivor innebär en större utlakningsrisk än enstaka givor av stallgödsel (Liu et al., 2012b). Vidare visade Liu et al. (2012c) att myllning av stallgödsel har stor inverkan på läckagerisken på lerjord (Lilla Böslid), vilket också verifierades i ett fältförsök med flytgödsel på hösten på samma försöksplats (Aronsson et al., 2014). Däremot har ingen ökad fosforutlakning kunnat relateras till stallgödselspridning på hösten på lätt jord i Halland, vilket undersökts i flera omgångar med avseende på nöt- och svinflytgödsel i olika givor (Aronsson & Torstensson, 2009; Torstensson & Aronsson, 2015) samt nötfastgödsel (Torstensson et al., 2012). I de ekologiska försöken på Lanna och Mellby uppmärksammades ökade fosforförluster i samband med odling av gröngödslingsgrödor (gräs/klövervall och lusern) och åkerbönor, särskilt efter kraftiga froster på hösten (Torstensson, 2003a, b; Ulén et al., 2005; Neumann et al., 2011), vilket väcker en fråga om en gröda med stora mängder växtrester rentav kan ha en större betydelse för fosforutlakningen än gödslingsstrategier. I fältförsöken har ännu inte kunnat verifieras att användning av fånggrödor skulle öka risken för fosforläckage genom ökad mängd biomassa som innehåller fosfor (Aronsson & Torstensson, 2009; Aronsson et al., 2011; Neumann et al., 2011). Efter potatisgrödor kunde heller ingen ökad fosforutlakning observeras i studier vid Lilla Böslid (Neumann et al., 2012) och Mellby (Torstensson & Ekre, 2003), medan däremot kväveutlakningen kan vara betydande i samband med odling av potatis. Fältförsöket vid Bornsjön har visat på markstrukturens betydelse för fosforläckagerisken, där strukturkalkning medfört tydligt minskat fosforläckage till följd av en jämnare infiltration (Ulén & Etana, 2014).

Tabell 1. De olika försöksplatsernas grundförutsättningar avseende jordart, fosforstatus och årsmedelnederbörd

	Lönnstorp	Mellby	L:a Böslid	L:a Böslid	Lanna	Fotegården	Bornsjön
Läge	V Skåne (Lomma)	S Halland (Laholm)	S Halland (Halmstad)		V-götland (Vara)	V-götland (Lidköping)	Södermanland (Södertälje)
Nederbörd 1961-90	Lund 655 mm	Halmstad 803 mm	Halmstad 803 mm		Lanna 558 mm	Lidköping 602 mm	Stockholm 539 mm
Jordart	moränlättilera	mo	sand	mellanlera	styv lera	Mo	styv lera
Lerhalt							
matjord	23%	6%	9%	29%	45%	7%	59%
alv	23%	2%	1%	37%	55-60%	4%	61%
P-AL mg/100g							
Matjord	9	13-34*	11	5	3-7***	16	5
Alv	3	2-4	1	2-11**	5-18**	2	2

*Stor variation mellan delförsök (ME1 23-34, ME2: 16, ME3- 4: 24), **Högsta värden under 60 cm djup, ***Ekoförsök: 3 mg/100g, övrigt: 7 mg/100g

Tabell 2. Försökens inriktning på de olika försöksplatserna. De försök som i studien omfattas av en statistisk analys av odlingsfaktorers inverkan är markerade med *

	Försöksupplägg	Period	Gödsling med P	Grödor
Lönnstorp* 10 rutor	Roterande växtföljd (mestadels)	1993-2013	Handelsgödsel, vår	Stråsäd, raps, sockerbetor, träda, insådd/eftersådd fånggröda, majs, hampa
Mellby 14 rutor* (ME1)	Fastliggande led fånggröde- och gödslingsbehandlingar	1984-2013	Svinflytgödsel, olika givor, höst och vår	Stråsäd, insådd fånggröda, potatis
9 rutor* (ME2)	Roterande växtföljd, därefter några korta studier	1990-2013	Svin- och nötflytgödsel samt nöt-fastgödsel, vår/höst	Stråsäd, vall, potatis, raps, majs, insådd fånggröda
7 rutor (ME3)	Roterande växtföljd Ekoodling utan djur	1997-2013	Ingen	Stråsäd, gröngödslingsvall (klöver+gräs), trindsäd, potatis
10 rutor (ME4)	Roterande växtföljd Ekoodling med djur	1990-2013	Nötflytgödsel, vår-sommar	Stråsäd, vall, trindsäd, potatis, raps
Lilla Böslid sand 36 rutor	Växlande försöksplaner	2003-2013	Handelsgödsel, vår	Stråsäd, potatis, insådd fånggröda, eftersådd fånggröda
Lilla Böslid ler 36 rutor	Roterande växtföljd Några fastliggande led	2009-2013	Nötflytgödsel vår/höst Med och utan handelsgödsel	Stråsäd, vall, insådd fånggröda
Lanna 7 rutor* (LA1)	Fastliggande -2000, därefter roterande växtföljd	1992-2013	Handelsgödsel, vår/höst, några förrådsgödslingsår höst	Stråsäd, oljeväxter, grölträda (klöver+gräs), insådd fånggröda, långliggande träda
7 rutor* (LA2)	Roterande växtföljd Ekoodling utan djur	1998-2013	Biofer, vår, några tillfällen	Gröngödslingsvall, trindsäd, stråsäd
6 rutor* (LA3)	Roterande växtföljd Ekoodling med djur	1998-2013	Nötflytgödsel, vår-sommar	Vall, stråsäd, trindsäd
Fotegården* 8 rutor (FGN)	Fastliggande led fånggrödor, jordbearbetning	1993-2013	Handelsgödsel, främst vår	Stråsäd, potatis, insådd fånggröda
Bornsjön 4 rutor (BSN)	Fastliggande led strukturkalkning	2007-2014	Handelsgödsel, vår	Stråsäd, arter, träda

Material och metoder

Utlakningsmätningar och statistiska metoder

Försöken som ingick i projektet ligger alla på försöksfält som är särskilt konstruerade för utlakningsmätningar, där varje försöksruta har ett eget dräneringsystem som är kopplat till en mätstation för kontinuerlig flödesmätning och flödesproportionell vattenprovtagning. Fosfor i dräneringsvattnet kan förekomma i partikulärt bunden form, i löst organisk form och oorganisk form. På jordar med jämn infiltration (utan makroporer) är det löst oorganisk fosfor som dominerar, medan andelen partikelbunden fosfor kan vara betydande i dräneringsvatten från lerjordar. Den vattenanalys som gjorts med störst kontinuitet i försöken och som därmed använts i denna studie är totalfosfor. Totalfosforanalysen görs efter en syrauppslutning av vattenprovet och den inkluderar både partikulär och löst fosfor. Från 1998 togs vattenprov med loggerstyrning efter varje ca 0,2 mm avrinning, till 2-veckors samlingsprov. Före dess togs momentanprov manuellt varje eller varannan vecka. Mängden utlakad fosfor i försöken erhöles genom att multiplicera avrinning med koncentration i dräneringsvattnet. Genom att summera utlakningen månadsvis och dividera med avrinningen erhöles månadskoncentrationer, vilket var den parameter och den upplösning som främst användes i utvärderingsarbetet. Även årsvärden av koncentrationer och utlakning användes, liksom dygnsvärden för avrinning. Åren indelades som s.k. agrohydrologiska år (1 juli-30 juni), där följande princip tillämpades; ”grödan som står på fältet den 1 juli förväntas påverka utlakningen under den efterföljande hösten, vintern och våren”.

Databaser byggdes upp för samtliga försöksplatser med data för varje försöksruta (ca 140 st). Olika grödkategorier identifierades med koppling till höstbearbetning och gödsling. En statistisk modell sattes upp för analys av påverkan på fosforkoncentrationer av gröda, gödsling, och jordbearbetning i

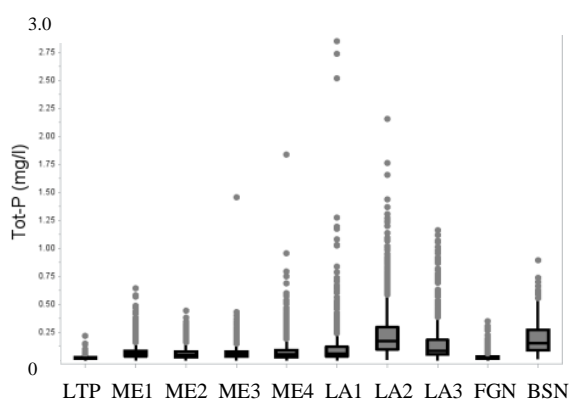
några av försöken (tabell 2). För att erhålla normalfördelning logtransformerades värdena för totalfosfor. För den statistiska analysen användes en SAS Mixed-modell för "repeated measurements" vilken möjliggjorde analys av data som samlats in genom återkommande observationer i samma ruta under en längre tid. Ruta behandlades som en slumpmässig variabel. Modellen kunde inte visa på några effekter av gödsling eller jordbearbetning eftersom dessa åtgärder i de allra flesta fall var kopplade till speciella grödgrupper. Resultaten från den statistiska analysen fokuserar därför på effekten på fosforkoncentrationer av olika grödor. I samtliga försök fanns en signifikant interaktion mellan månad och gröda vilket visar att koncentrationstopparna uppträder vid olika tillfällen på året beroende av vilken gröda som odlats. Då det analyserade materialet härrör från systemförsök är det många faktorer som kan ha bidragit till uppmätta fosforkoncentrationer efter olika grödgrupper men som inte ingår i modellen. Det främsta exemplet är förfrukt, som liksom gödsling och bearbetning delvis är kopplad till speciella grödor. Det generella sambandet mellan månads- och årskoncentration och avrinning undersöktes också för samtliga platser. Generellt fanns ingen nämnvärd korrelation mellan fosforkoncentrationer och avrinning. Totala mängden fosfor transporterat genom dräneringssystemet var däremot positivt korrelerat mot avrinningen ($R^2 = 0.19-0.72$).

Resultat

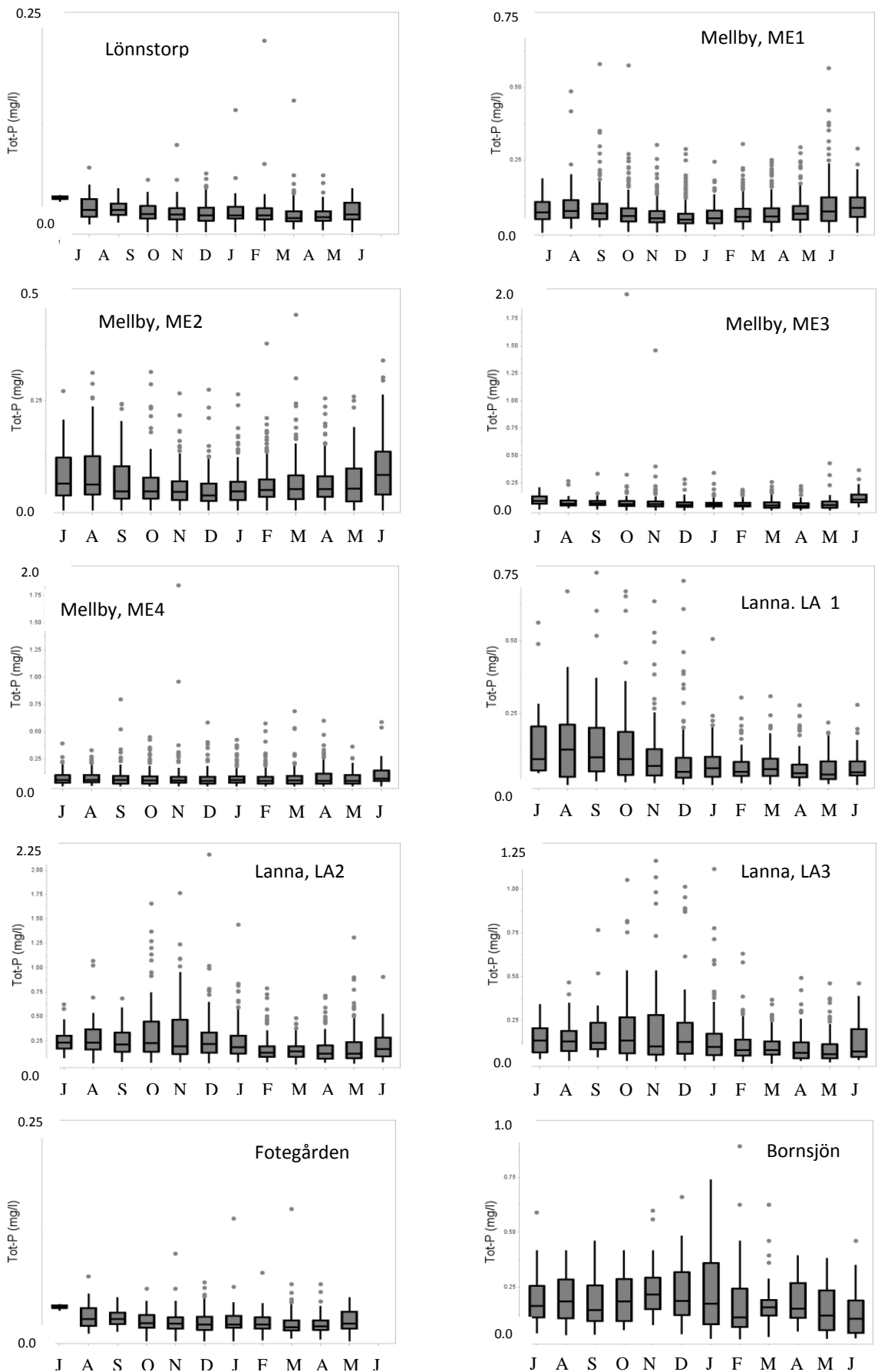
Dräneringsvattnets fosforkoncentrationer i olika odlingsystem

Fosforkoncentrationerna uppvisade stor variation mellan försöksplatser, men också mellan odlingsystem på samma försöksplats (figur 1 och 2). Det var en påtaglig (men inte oväntad) skillnad mellan sandjordarna och moränlätteren å ena sidan och de styva lerorna å andra sidan, där försöken på de förra alla hade betydligt lägre fosforkoncentrationer än de flesta försök på de styva lerorna vid Lanna och Bornsjön.

Det fanns tendenser till olika tidsmönster hos fosforkoncentrationerna. Försöken på Lanna visade en puckel hos koncentrationerna på hösten (okt-nov) och lägst koncentration under vårmånaderna (april-maj). Samtliga försök på lätt jord i Halland och Fotegården i Västergötland visade snarare på nedåtgående halter på senhösten och högst halter under sommarmånaderna. Halterna var generellt mycket låga men även dessa jordar visade enstaka toppar under höst och vinter. Skillnader i mönster kan höra samman med hur perkolationen genom marken går till, men också på odlingsåtgärder. Lannajorden har snabba transportvägar i makroporer, vilket kan ha gett snabbt utslag på koncentrationerna under hösten efter nedbrukning av växtmaterial. De ekologiska försöken på Lanna hade en hög frekvens av grüngödslingsgrödor (gräs och klöver) till skillnad från exempelvis det konventionella försöket på samma jord, där mestadels stråsäd utan stallgödseltillförsel odlades. De ekologiska försöken på Lanna hade också generellt högre fosforkoncentrationer än det konventionella. I odlingsystemen på Mellby var skillnaderna i brukningsåtgärder mellan ekologisk och konventionell produktion mindre (även konventionell odling hade stallgödseltillförsel och ibland vallodling), vilket kan vara en bidragande orsak till mindre skillnader i fosforkoncentrationer mellan systemen än på Lanna.



Figur 1. Medianvärde och variation av månadsvärden för fosforkoncentrationer (mg totalfosfor/l) under 20-30 år från 10 försök (BSN 7 år). Se tabell 2 för utförliga försöksnamn.

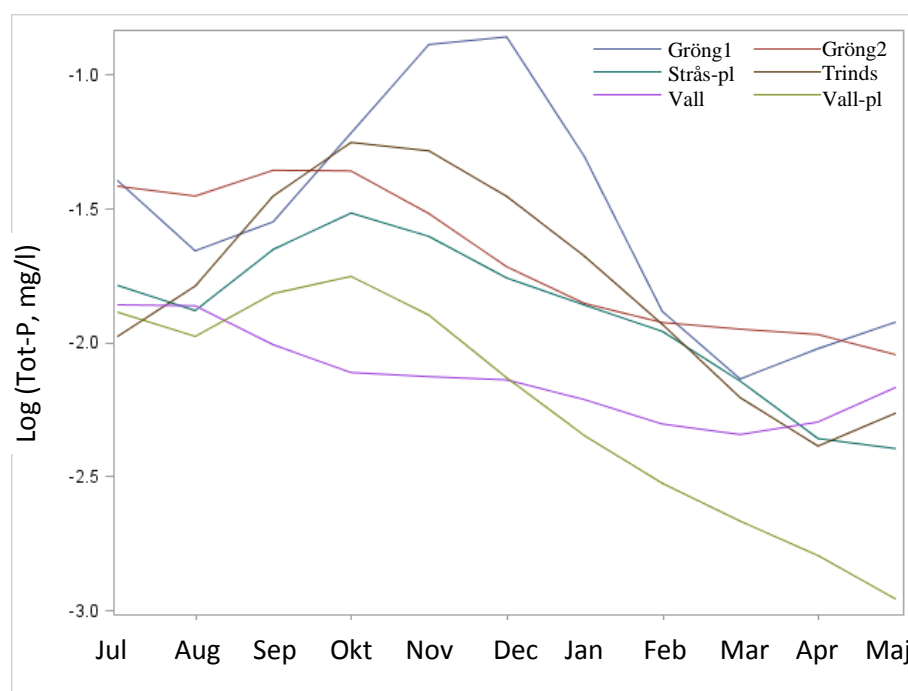


Figur 2. Månadsvisa medianvärden och variation av fosforkoncentrationer (mg totalfosfor/l) i dräneringssvattnet från försöksrutorna i 10 försök. Observera de olika skalorna på y-axeln.

Analys av odlingsåtgärders inverkan

För de försök som inkluderades i en mer omfattande statistisk analys framstod det tydligt att grödkategorier skiljde sig åt vad gällde efterföljande fosforkoncentrationer i dräneringsvattnet. Genom att olika grödor i försöken naturligt hänger samman med åtgärder som jordbearbetning och stallgödning kom alltså dessa faktorer delvis att inkluderas i begreppet grödkategori. Vid jämförelser av odlingsystemen på Lanna var det tydligt att grön gödslingsgrödorna i de ekologiska odlingsystemen utmärkte sig med högre koncentrationer än växande vall och stråsåd under vissa månader, figur 3 (statistiska signifikanser anges i tabell 3). Nedbrukning av växtmassa på hösten verkar alltså vara en faktor som har betydelse för fosforutlakningen, där grön gödslingsvall som ej skördades gav högre värden än vall som skördades. Växande vall över vintern hade relativt låga koncentrationer i de ekologiska försöken, medan en långliggande vall i det konventionella systemet ej hade lägre koncentrationer än höstbearbetad mark (figur 4). Vid jämförelse av olika grön gödslingsgrödor gav nedbrukning av grön gödslingsvall sent på hösten signifikant högre koncentrationer än tidig höstnedbrukning följt av höstvetete (figur 3). Denna skillnad skulle, förutom ett upptag av fosfor i höstvetegrödan, även kunna bero på att fosfor från biomassan effektivare bands in i marken efter den tidiga nedbrukningen och såbäddsberedningen inför höstvetetet, på samma sätt som nedbrukning av gödsel minskar fosforläckaget genom ökad markkontakt.

Vid Mellby (mojord) var koncentrationerna högre efter nedbrukning av fånggröda på hösten än efter stråsåd med höstplöjning utan fånggröda (figur 5) vilket tyder på att nedbrukning av växtmassa innebär en risk för fosforutlakning. Efter nedbrukning av en mindre mängd växtmassa (stråsåd utan fånggröda) erhöles ingen tydlig ökning i fosforkoncentrationer, vare sig på Mellby eller Lanna, jämfört med vid utebliven höstbearbetning (figur 4 och 5). På Mellby där motsvarande jämförelse kunde göras även med en fånggröda insådd i stråsåden gav en höstbearbetning däremot en ökning i fosforkoncentrationerna jämfört med om marken lämnades orörd (figur 5). Potatis var den gröda som gav upphov till lägst fosforkoncentrationer vid Mellby1, trots att den gödslades kraftigare än stråsådesgrödorna och låga koncentrationer även vid Mellby2 (figur 6). Här kan man möjligtvis spekulera i att kraftig bearbetning av marken gynnar fastläggning av fosfor som frigjordes från växtrester under sensommar. Efter trindsåd (ärter och åkerböna) där marken höstplöjdes på Lanna uppstod förhöjda koncentrationer jämfört med stråsådesgrödor (figur 3).



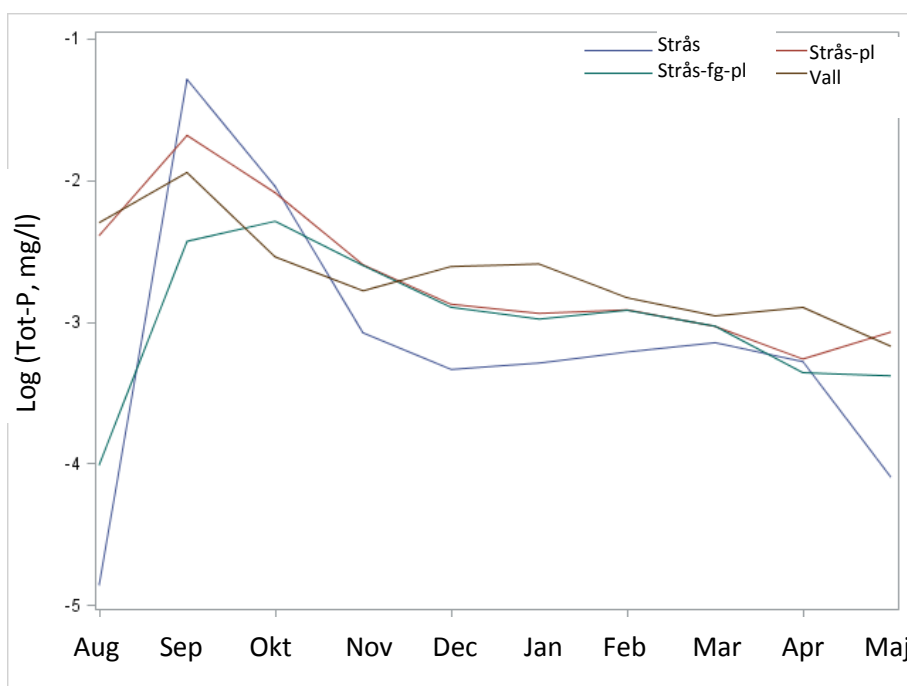
Figur 3. Jämförelse av månadsvisa fosforkoncentrationer (logaritmerade värden) efter olika grödor i ekologiska försök på Lanna (LA2 och LA3). Parvisa jämförelser i tabell 3.

Gröng1=grön gödslingsvall nedplöjd sen höst, ej skördad
Gröng2= grön gödslingsvall, plöjd tidig höst, höstvetete, ej skördad
Strås-pl: stråsåd, höstplöjt
Trinds= Ärtor/bönor, höstplöjt
Vall= vall över vintern, skördad
Vall-pl= Vall, höstplöjd, skördad

Tabell 3. Signifikansangivelser för parvisa jämförelser vid Lanna (LA2 och LA3), figur 3.

Månad	Gröng1	Gröng2	Stråsåd-pl	Trinds	Vall	Vall-pl
Aug	a	a	a	a	a	a
Sep	a	a	a	a	a	a
Okt	a	a	a	a	b	a
Nov	a	cd	ab	ab	d	abc
Dec	a	bc	ab	a	c	abc
Jan	a	bc	ab	ab	c	ab
Feb	ab	ab	a	ab	b	ab
Mar	a	a	a	a	a	a
Apr	a	a	a	a	a	a
Maj	a	a	a	a	a	a

* Juni och juli är exkluderade på grund av begränsad avrinning och få observationer under dessa månader.



Figur 4. Jämförelse av månadsvisa fosforkoncentrationer (logaritmerade värden) efter olika grödor i Lannaförsöket LA1. Parvisa jämförelser i tabell 4.

Strås= Stråsåd ej höstplöjt
 Strås-fg= Stråsåd med insådd fånggröda, höstplöjt
 Stråsåd, höstplöjt
 Vall= långliggande vallträda

Tabell 4. Signifikansangivelser för parvisa jämförelser vid Lanna (LA1), figur 4.

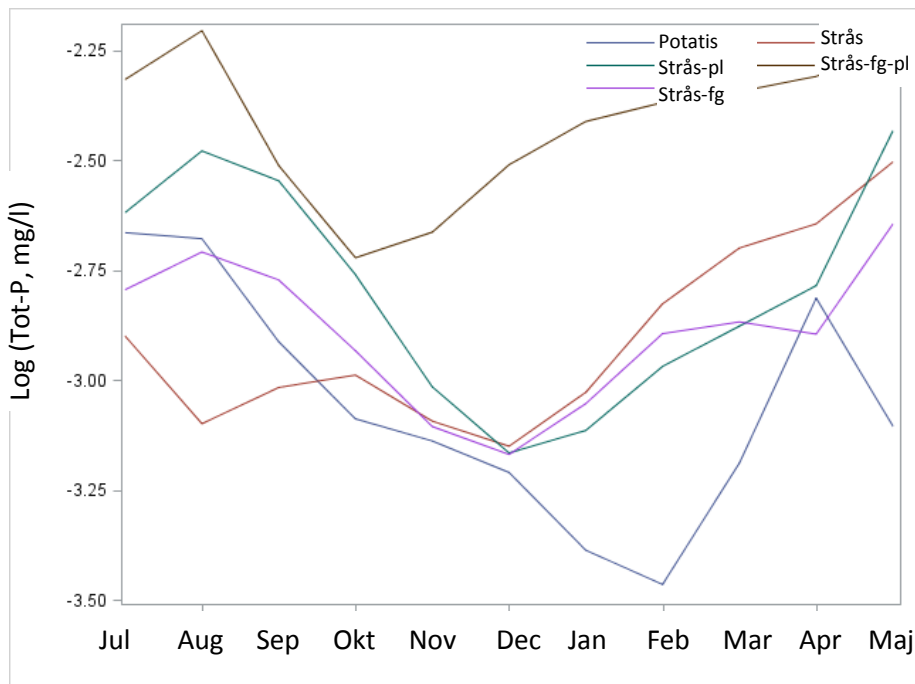
Månad	Stråsåd	Stråsåd-pl	Stråsåd-fg-pl	Vall
Aug	b	a	b	a
Sep	a	a	a	a
Okt	a	a	a	a
Nov	a	a	a	a
Dec	b	ab	ab	a
Jan	b	ab	ab	a
Feb	b	ab	ab	a
Mar	a	a	a	a
Apr	b	ab	ab	a
Maj	c	a	bc	ab

* Juni och juli är exkluderade på grund av begränsad avrinning och få observationer under dessa månader.

Tabell 5. Signifikansangivelser för parvisa jämförelser vid Mellby (ME1), figur 5.

Månad	Potatis	Stråsåd	Stråsåd-pl	Stråsåd-fg-pl	Stråsåd-fg
Jul	b	ab	ab	a	ab
Aug	a	b	a	a	a
Sep	b	ab	a	ab	a
Okt	b	ab	a	ab	a
Nov	a	a	a	a	a
Dec	b	b	b	a	b
Jan	c	abc	bc	a	ab
Feb	c	ab	b	a	ab
Mar	c	ab	b	a	ab
Apr	b	ab	ab	a	ab
Maj	b	a	a	ab	a

* Juni månad är exkluderad på grund av begränsad avrinning och få observationer.



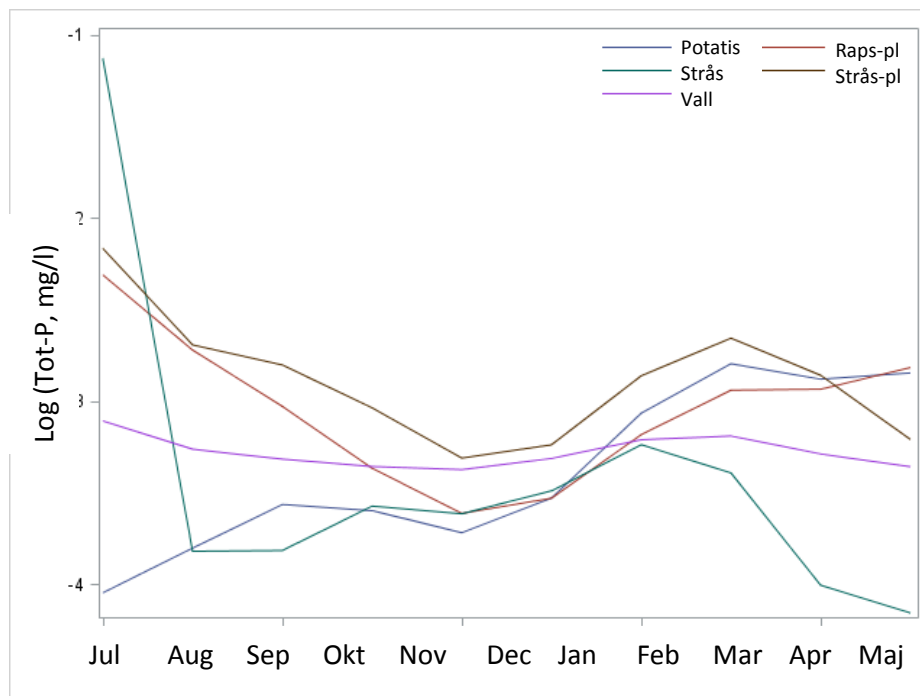
Figur 5. Jämförelse av månadsvisa fosforkoncentrationer (logaritmerade värden) efter olika grödor i Mellby, ME1. Parvisa jämförelser i tabell 5.

Strås-pl= Stråsåd, höstplöjt

Strås-fg= Stråsåd med insådd fånggröda över vintern

Strås= Stråsåd, ej höstplöjt

Strås-fg-pl= Stråsåd med insådd fånggröda, höstplöjt



Figur 6. Jämförelse av månadsvisa fosforkoncentrationer (logaritmerade värden) efter olika grödor i Mellby, ME2. Parvisa jämförelser saknas på grund av för få observationer.

Strås= Stråsåd, ej höstplöjt

Vall= Vall över vintern

Raps-pl= Raps, höstplöjt

Strås-pl= Stråsåd, höstplöjt

Avrinningsmönster

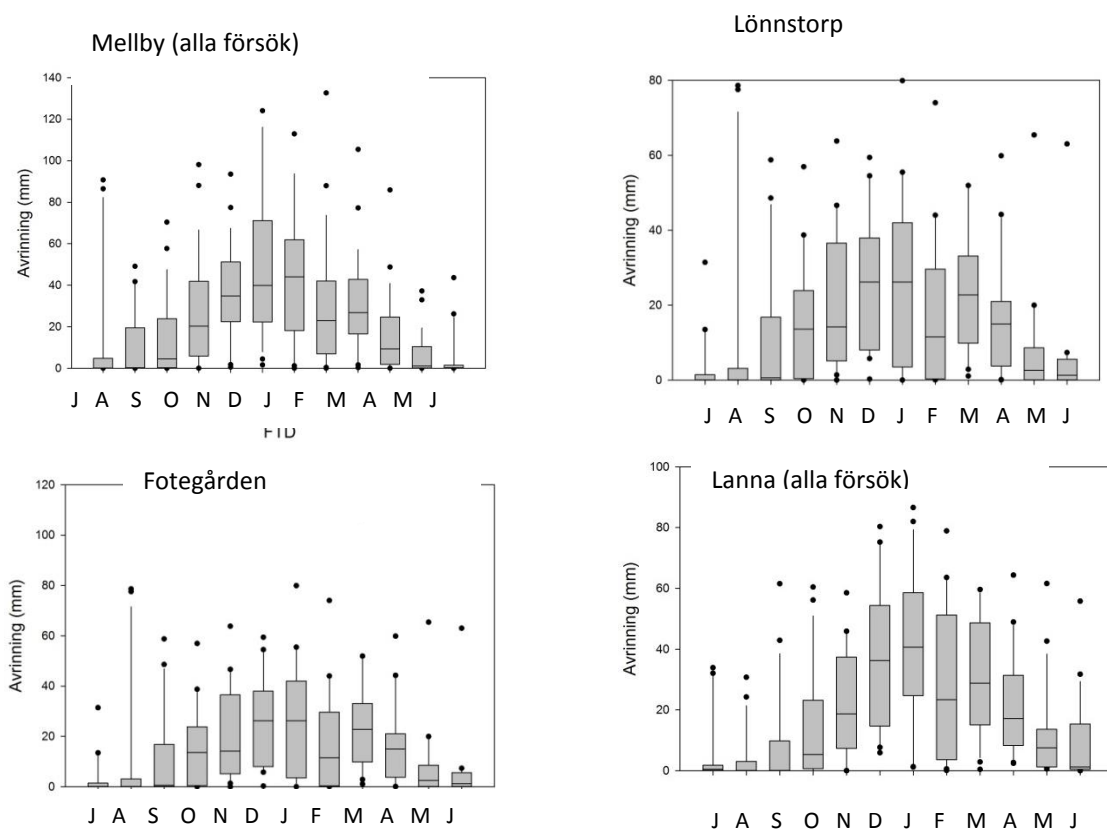
Avrinningens fördelningen under året, och variationen mellan åren framgår av figur 7, där data från försöksplatserna med minst 20 år långa mätserier (Mellby, Lanna, Fotegården och Lönnstorp) sammanställts. Försöksplatserna är alla belägna i södra Sverige utan långa tjalperioder. Avrinningen har en tydlig fördelning, med vanligtvis liten eller ingen avrinning under maj till september, och måttlig till stor månadsavrinning under november till mars. Variationen är dock stor mellan åren.

Av betydelse för fosforutlakningen är hur ofta det uppstår kraftig avrinning under perioder med gödseltillförsel. Gödning i vårbruket sker vanligtvis i mars-april i sydligaste Sverige och i april-maj längre norrut. Under mars månad har stor månadsavrinning (>30 mm) förekommit på samtliga fyra försöksplatser i genomsnitt 3-4 år av 10. Därmed kan denna månad räknas som en högflödesmånad med potentiell betydande utlakningsrisk kopplad till fosfortillförsel. Under april månad har

motsvarande flöden förekommit mer sällan, 1-2 gånger per 10 år, och under maj enbart 0,5-1 gång per 10 år. Detta visar att man endast i undantagsfall kan förvänta sig att en vårgödsling under april och maj riskerar att resultera i ökad utlakning medan en gödsling i mars däremot kan vara mer riskabel.

Risken för stor avrinning efter en höstspridning i slutet av oktober är ur det här perspektivet större än efter en vårspridning, särskilt i Halland där månadsavrinningen 6-7 år av 10 varit över 30 mm under både november och december. På samtliga fyra försöksplatser sker den huvudsakliga avrinningen mellan november och mars, inte alltid som kraftiga flöden men med en avsevärd volym totalt sett, vilket i sig innebär en risk för transport. Att höstgödslingar med flytgödsel, som systematiskt studerats i försök på Mellby inte har gett utslag beror på markens mycket goda förmåga att binda fosfor som passerar ned genom alven.

Korta flödestoppar kan resultera i en nedtransport av fosfor och temporärt förhöjda fosforkoncentrationer vilket bidrar till att fosforförluster uppträder episodiskt. Det kan därför finnas anledning att titta på avrinningsmönster med större upplösning än per månad. Av tabell 6 framgår att majoriteten av uppmätt vattenflöde på Mellby och Lanna haft en intensitet på <1 mm/dygn. Under sommarmånaderna har drygt 90% av dygnet haft en låg flödesintensitet och under högflödesperioderna minst 50%. Kraftiga dygnsflödestoppar (>4 mm/dygn) har uppträtt främst under vintermånaderna och som mest 2-3 dagar per månad. På Lanna har kraftiga dygnsflöden även förekommit under mars månad, vilket stärker bedömningen att riktigt tidiga gödslingar kan vara riskabla. Kraftiga sommarregn har orsakat vissa avrinningstoppar även under juni på Lanna och under juli och augusti på Mellby.



Figur 7. Medianvärde och variation av månadsavrinning (mm/månad) under 20-30 år från försöksrutorna på fyra försöksplaster.

Tabell 7. Antal dagar per månad med dygnsavrinning (mm/dygn) av olika storlek på två försöksplatser

	Mellby mojord, Halland			Lanna, styv lera, Västergötland		
	<1 mm	1-4 mm	>4 mm	<1 mm	1-4 mm	>4 mm
Jan	17	10	3.3	18	10	2.7
Feb	18	8.0	1.9	20	5.7	1.8
Mar	21	8.7	1.5	21	7.5	2.4
Apr	27	2.7	0.2	23	5.5	1.1
Maj	29	1.3	0.4	29	1.9	0.4
Jun	29	0.8	0.4	28	1.5	0.6
Jul	27	2.5	1.1	30	1.3	0.2
Aug	27	3.2	0.7	30	1.5	0.1
Sep	26	3.4	1.0	27	2.0	0.6
Okt	22	6.4	2.4	27	3.7	0.9
Nov	18	11	1.8	21	8.4	1.1
Dec	18	10	3.2	20	8.7	2.4

Publikationer och övrig resultatförmedling

Projektet har möjliggjort ett första steg för en mer omfattande analys av ett mycket stort försöksmaterial. Vi kommer under 2015 att fortsätta den statistiska bearbetningen för vetenskaplig publicering och extrahera intressant information för avnämare, främst rådgivande myndigheter.

Litteratur

- Aronsson H, Liu J, Ekre E, Torstensson G, Salomon E (2014) Effects of pig and dairy slurry application on N and P leaching from crop rotations with spring cereals and forage leys. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 98: 281-293 (DOI:10.1007/s10705-014-9611-3).
- Aronsson H, Stenberg M, Ulén B (2011) Leaching of N, P and glyphosate from two soils after herbicide treatment and incorporation of a ryegrass catch crop. *Soil Use and management* 27, 54-68.
- Lindén B, Aronsson H, Engström L, Torstensson G, Rydberg T (2006) Kväveminerisering och utlakning av kväve och fosfor på en lerjord vid Lanna i Västergötland. *Ekohydrologi nr 91*, Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Liu J, Aronsson H, Blombäck K, Persson K, Bergström, L (2012a) Long-term measurements and model simulations of phosphorus leaching from a manured sandy soil. *Journal of soil and water conservation* 67(2), 101-110
- Liu J, Aronsson H, Ulén B, Bergström L (2012b) Potential phosphorus leaching from sandy topsoils with different fertilizer histories before and after application of pig slurry. *Soil Use and Management* 28:457-467.
- Liu J, Aronsson H, Bergström L, Sharpley A (2012c) Phosphorus leaching from loamy sand and clay loam topsoils after application of pig slurry. *SpringerPlus* 1:53.
- Neumann A, Torstensson G, Aronsson H (2011) Losses of nitrogen and phosphorus via the drainage system from organic crop rotations with and without livestock on a clay soil in south-west Sweden. *Organic Agriculture* 1, 217-229.
- Neumann A, Torstensson G, Aronsson H (2012) Nitrogen and phosphorus leaching losses from potatoes with different harvest times and following crops. *Field Crops Research* 133, 130-138.
- Torstensson G, Aronsson H (2015) Utlakning av kväve och fosfor efter spridning av fastgödsel i oktober respektive november på sandjord. Slutrapport till Jordbruksverket.
- Torstensson G, Aronsson H, Ekre E (2012) Växtnäringsutlakning i samband med spridning av flytgödsel till vall på hösten. *Ekohydrologi* 133, SLU, Uppsala.
- Torstensson G (2003a) Ekologisk odling – Utlakningsrisker och kväveomsättning i ekologiska odlingssystem med resp. utan djurhållning på lerjord i Västra Götaland. Resultat från perioden 1997 – 2002. *Ekohydrologi* 73, SLU, Uppsala
- Torstensson G (2003b) Ekologisk odling – Utlakningsrisker och kväveomsättning i ekologiska odlingssystem med resp. utan djurhållning på sandig grovmo i södra Halland. *Ekohydrologi* 72, SLU, Uppsala.
- Torstensson G, Ekre E (2003) Kväveutlakning på sandjord - motåtgärder med ny odlingsteknik. Miljöanpassad stallgödselanvändning och odling i realistiska odlingssystem. Resultat från en grovmjord i södra Halland, perioden 1999-2002. *Ekohydrologi* 72, SLU, Uppsala
- Ulén B, Etana A (2014) Phosphorus leaching from clay soils can be counteracted by structure liming. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, DOI: [10.1080/09064710.2014.920043](https://doi.org/10.1080/09064710.2014.920043)
- Ulén B, Aronsson H, Torstensson G, Mattsson L (2005) Nutrient turnover and risk of waterborne phosphorus emissions in crop rotations on a clay soil in south-west Sweden. *Soil Use Management* 21: 221-230.