

# LÄCKAGE AV FOSFOR OCH KVÄVE MED I VÄXTFÖLJDER MED OCH UTAN STALLGÖDSEL

## OCH EFTER ÖVERGÅNG TILL FLYTGÖDSELSPRIDNING PÅ HÖSTEN

Barbro Ulén, Mark och Miljö, SLU

### Inledning

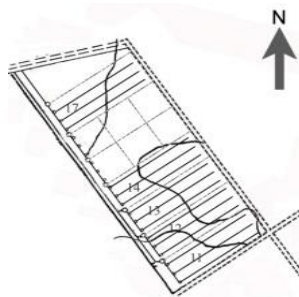
I de nya förslagen på åtgärdsprogram för Vattendistriktet ingår förbättrad anpassad gödsling och att undvika stallgödsetillförsel på senhösten som en viktig åtgärd. Fast stallgödsel har ofta i praktiken brukats ner i samband med vallbrott, i Syd- och Mellansverige ofta under oktober. Under t.ex. blöta höstar kan stallgödsel komma att tillföras ännu senare. Sen höstspredning (i sydligare delar av Sverige i november) av flytgödsel till vallar anses också vara ett alternativ om det är svårt att få god hygien med ensilage efter tidig höstspredning. En utvärdering har därför gjorts av läckage av fosfor och kväve med och utan stallgödsel och då denna övergått till att ske som flytgödsel under hösten. Specifikt ville vi också se om en senareläggning av tillförsel av flytgödsel under hösten skulle innebära en avsevärt ökad risk för ökat fosforläckage.

### Material och metoder

På Lanna (R3-0056) har utlakning och växtnäringsomsättning av både fosfor och kväve följts i fem system (Figur 1) varav två (11 och 12) med stallgödsel (Ulén m.fl., 2003 och 2005). Dessa har haft en sexårig växtföljd med fyra år med gräsvall resp. luzernvall (Tabell 1). System 11 har fått flytgödsel på våren och f o m 2009 flytgödsel på hösten. System 12 har sedan 2007 fått flytgödsel som under senare år applicerats på hösten (Tabell 2). Flytgödseln som spreds hösten 2009 hade dock relativt hög TS-halt (5%) jämfört med den som spreds i led 11 (0.8%). Två av tre rena växtodlingssystemen har haft två års avbrott med grönräda (2007-2008). System 13 och 17 har speglat ett system med relativt hög giva av mineralkväve medan system 14 vanligen fått halva kvävegivan men samma mängd mineralgödsel-fosfor. Läckaget har följts kontinuerligt genom flödesmätningar, flödesproportionell vattenprovtagning och med ett analysomfång som sedan 2000 bestått av totalfosfor (TotP), löst reaktiv fosfor (DRP), totalkväve (TotN), nitratkväve (NO<sub>3</sub>-N), kalium (K) och organiskt kol (OC). Icke-reaktiv fosfor (UP) har beräknats som en differens mellan TotP och DRP. Skördat växtmaterial har analyserats på kväve och fosfor.

### Utvärdering och beräkningar

Grundvattenytan står något snett i området med de fem leden vilket gör att led 11 (SO) genomgående haft den lägsta avrinning medan denna vanligen ökat ju längre mot NV försöksrutan varit belägen. De årliga läckagen har därför beräknats från samma medelavrinning mellan de fem rutorna. För att särskilja de olika åren hydrologiskt beräknades vattenflödets variation under året med ett s.k. 'skyfalls-index' (F-index) dvs. den genomsnittliga variationen i flödet från dag till dag i förhållande till den totala årliga avrinningen enligt Richards-Baker (2004). Dessutom beräknades den årliga avrinnings-



Figur 1. De fem försöksrutorna (11,12 13 14 och 17) för läckage-mätningar som representerade system med och utan stallgödsel.

Tabell 1. Gröda enskilda år i fem växtföljder 2000-2013, med odlingsystem med och utan stallgödsel

År	System med stallgödsel		System utan stallgödsel		
	11	12	13	14	17
2000	Gräsvall IV	Lusernvall IV	Vårraps	Vårraps	Korn
2001	Vårraps	Vårraps	Höstvete	Höstvete	Korn
2002	Korn+ insådd	Korn+ insådd	Korn	Korn	Korn
2003	Gräsvall I	Lusernvall I	Havre	Havre	Korn
2004	Gräsvall II	Lusernvall II	Höstvete	Höstvete	Korn
2005	Gräsvall III	Lusernvall III	Havre	Havre	Korn
2006	Gräsvall IV	Lusernvall IV	Vårraps	Vårraps	Korn
2007	Vårraps	Vårraps	Grönträda I	Höstvete	Grönträda I
2008	Korn+ insådd	Korn+ insådd	Grönträda II	Korn	Grönträda II
2009	Gräsvall I	Lusernvall I	Havre	Havre	Korn
2010	Gräsvall II	Lusernvall II	Höstvete	Höstvete	Korn
2011	Gräsvall III	Lusernvall III	Havre	Havre	Korn
2012	Gräsvall IV	Lusernvall IV	Vårraps	Vårraps	Korn
2013	Vårraps	Vårraps	Vårvete	Höstvete	Korn

koefficienten D/N dvs. den totala dränerade vattenmängden dividerat med nederbördsmängden där en låg kvot indikerar att en större del av nederbörden genererats under sommarsäsongen då grödan tar upp vatten och avdunstningen är hög.

För läckage av fosfor kan det enskilda fältets egenskaper ha en avgörande betydelse (Stenberg m. fl. 2014). Det gäller också försöksrutor med likartad textur och fosfortal (Svanbäck m. fl. 2013). Kväveläckaget från angränsande fält med likartad jord kan däremot svara mera direkt på odlingen (Stenberg m. fl. 2014). En allmän rimlighetsbedömning av rutornas olika läckagebenägenhet gjordes utifrån de genomsnittliga skillnaderna i de årliga flödesproportionella halterna av fosfor mellan likartade led. Ackumulerad mängd fosfor till marken beräknades som en skillnad mellan tillförsel med gödsel och bortförsel med skörd utan hänsyn till bortförsel med skörderester. Med upprepningar i tiden togs därefter typhalter för olika odlingsåtgärder fram för försöksplatsen med eventuell signifikans ( $p < 0,05$ ) för skillnaderna.

Tabell 2. Spridning av fast- eller flytgödsel i led 11 och 12. Givan var vanligen 30t/ha men i några fall 20 eller 35 t/ha. Vallbrott (Vbrott) inför kommande vårgröda och datum för sen höstplöjning. Insådd, grönträda, och höstvete som inte plöjts är alla betecknade som vintergrön (Grön) för resp. agrohydrologisk år (motsvarar läckageperioden 1:a juli-30:e juni). Led 17 har relativt ofta haft fånggröda och plöjts sent på hösten

System År	Stallgödselspridning		Datum för ev. höstplöjning efter 1:a okt				
	med stallgödsel		med stallgödsel		utan stallgödsel		
	11	12	11	12	13	14	17
1999/2000			Grön	Grön	20/10	20/10	20/10
2000/2001	Flyt vår 10/5 -01	Fast höst 31/10 -00	Vbrott	Vbrott	Grön	Grön	1/11
2001/2002	Flyt vår 9/4 -02		26/10	29/10	29/10	29/10	30/10
2002/2003		Fast sommar 4/7 01	Grön	Grön	23/10	23/10	23/10
2003/2004			Grön	Grön	Grön	Grön	6/11
2004/2005			Grön	Grön	10/10	10/10	10/10
2005/2006			Grön	Grön	18/10	18/10	17/10
2006/2007	Flyt vår 24/5 -07	Fast höst 23/10 -06	Vbrott	Vbrott	Grön	Grön	6/11
2007/2008	Flyt vår 22/4 -08	Flyt Vår 22/5 -08	31/10	31/10	Grön	31/10	Grön
2008/2009	Flyt vår 29/4 -09	Flyt Vår 10/6 -09	Grön	Grön	Grön	18/11	Grön
2009/2010	Flyt höst 11/10 09	Flyt höst 31/10 -09	Grön	Grön	Ej*	Ej*	18/11
2010/2011	Flyt vår 29/4-11		Grön	Grön	18/11	18/11	18/11
2011/2012			Grön	Grön	19/11	19/11	19/11
2012/2013	Flyt höst 8/11 12	Flyt höst 8/11 12	Vbrott	Vbrott	Ej*	Grön	Ej*
2013/2014	Flyt höst 18/10 13	Flyt höst 25/11 13	24/10	27/11	28/10	28/10	28/10

\* Ej motsvarar direktsådd av höstvete eller ej plöjt på hösten över huvud taget

Tabell 3. Medelvärden för avrinning via dränering (Drän), Rickards-Baker flödesindex (F-index), kvoten dränerad mängd/nederbörd (D/N) samt typhalter i dräneringsvatten 11 och 12 under år med stallgödseltillförsel i samband med vallbrott och året efter vallbrottet. Motsvarande halter för växtodlingssystemen led 13, 14 och 17

	Drän (mm)	F-index -	D/N -	TotP	DRP	UP	TotN	NO <sub>3</sub> N (mg L <sup>-1</sup> )	OC	K
Stallgödsel höst + vallbrott	560	0,44	0,86	0,25	0,05	0,20	3,2	2,3	19	2,8
Stallgödsel år efter vallbrott	458	0,40	0,72	0,18	0,03	0,15	5,2 <sup>ab</sup>	4,9 <sup>a</sup>	17	3,0
Grön*	409	0,48	0,63	0,13	0,05	0,08 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>	2,3	8	2,7
Medel led 14 och 17	451	0,45	0,70	0,17	0,03	0,13 <sup>b</sup>	-	-	-	2,8
Medel led 13 och 17	451	0,45	0,70	-	-	-	3,0 <sup>b</sup>	2,5 <sup>b</sup>	10	2,8

\*'Grön' enligt Tabell 2 och med stallgödsel bara på våren eller ingen stallgödsel

<sup>a b ab</sup> Halter med olika bokstäver var signifikant olika

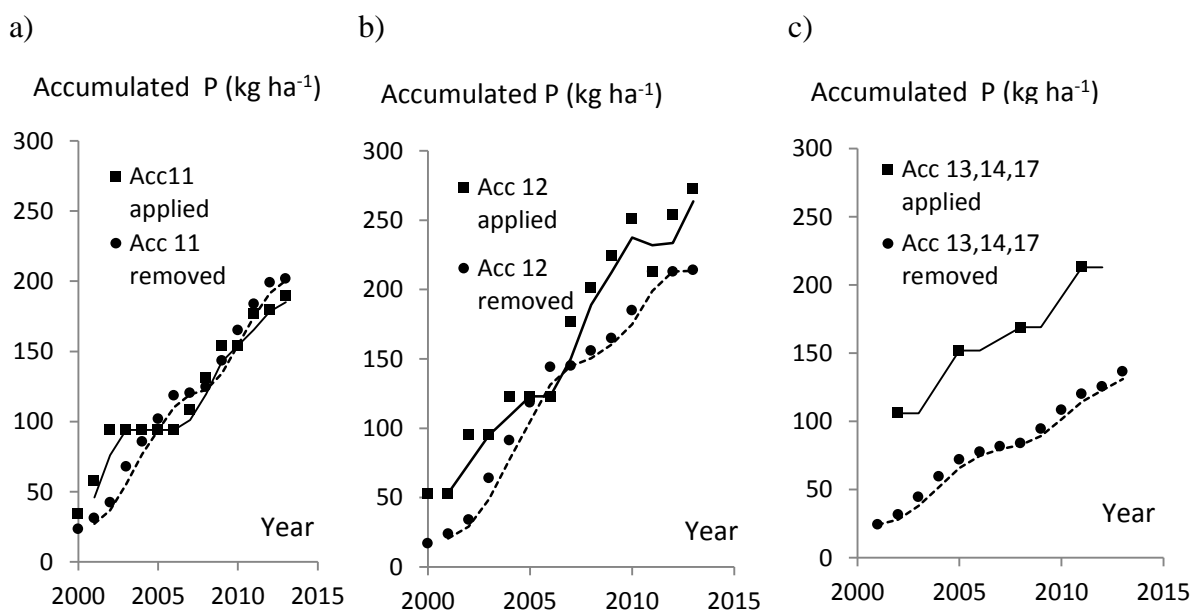
## Fosforbalanser

Led 11 var nära fosforbalans under de 14 åren medan växtodlingssystemen 13, 14 och 17 samtliga hade hög mineralgödseltillförsel i förhållande till vad som fördes bort med skörden (Figur 2). Matjordens fosfortal i samtliga led har trots detta inte tenderat att öka. För led 13, 14 och 17 låg de i genomsnitt på samma nivå (3,9 mg P-AL/100 g jord) när de analyserats hösten 1985, 2001 och 2008.

### De olika ledens karakteristiska växtnäringshalter

Över de 14 åren hade led 13 en signifikant lägre totalfosforhalt ( $0,04 \pm 0,02$  mg L<sup>-1</sup>) i medeltal jämfört med de övriga leden ( $0,17 \pm 0,09$  mg L<sup>-1</sup>) trots att den årliga tillförseln av fosfor i snitt ( $14 \pm 23$  kg ha och år<sup>-1</sup>) inte skiljde sig från de övriga 4 leden ( $16 \pm 20$  kg ha och år<sup>-1</sup>) och fosfortalet i matjorden var likartad. Led 13 utnyttjades därför inte vid jämförelse med fosforläckage från de stallgödslade rutorna.

Led 13, 14 och 17 fick endast mineralgödsel med kväve varje år förutom två år med grüngödsling i led 13 och 17. Avsikten med led 14 var att studera ett odlingsystem med låg insats av kväve. Mineralkvävetillförseln till led 14 ( $66 \pm 12$  ha och år<sup>-1</sup>) var lägre än medelvärdet för led 13 och 17 ( $125 \pm$  ha och år<sup>-1</sup>) samtidigt som den genomsnittliga kvävehalten i dräneringsvattnet var signifikant lägre ( $1,5 \pm 1,0$  mg L<sup>-1</sup>) jämfört med de båda övriga två rena växtodlingsleden 13 och 17 ( $3,0 \pm 1,4$  mg L<sup>-1</sup>). Kväveläcketaget från de båda leden med stallgödseltillförsel (11 och 12) har därför primärt jämförts med medelvärdet för läcketaget från led 13 och 17.



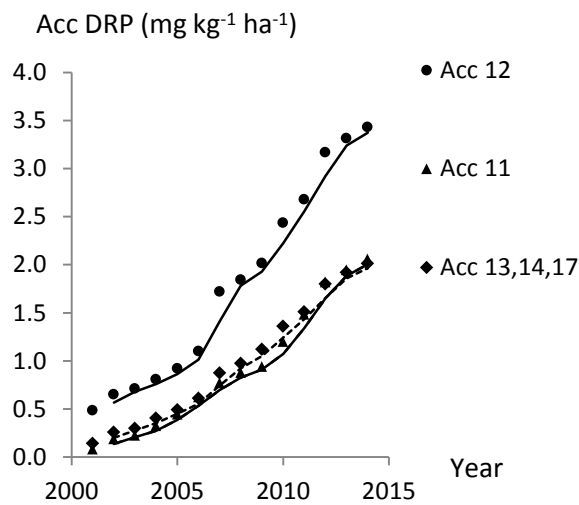
Figur 2. Fosforbalanser (tillförsel med stall- och mineralgödsel minus bortförsel med skörd i a) led 11, b) led 12 och c) medelvärdet för led 13, 14 och 15.

Tabell 4. Medelvärden för avrinning via dränering (Drän), enligt Rickards-Baker flödesindex (F-index), kvoten avrinning via dränerings/nederbörd (D/N) samt typhalter från led 11 och 12 för dräneringsvatten med stallgödseltillförsel på hösten, för det agrohydrologiska året efter att flytgödsel tillförts på våren och för alla agrohydrologiska år utan någon stallgödsel på hösten

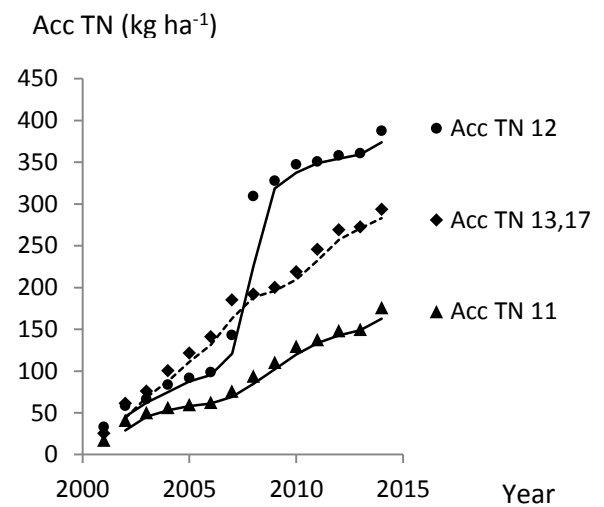
	Drän (mm)	F-index -	D/N -	TotP	DRP	UP	TotN	NO <sub>3</sub> N (mg L <sup>-1</sup> )	OC	K
Fast och flytgödsel höst	506	0,40	0,81	0,25 <sup>a</sup>	0,05	0,20	4,3	3,7	16	3,0
Efter flytgödsel på våren	434	0,44	0,67	0,18	0,03	0,09	3,8 <sup>a</sup>	3,4 <sup>a</sup>	7	2,6
Utan fast och flytg. höst	420	0,47	0,68	0,13 <sup>b</sup>	0,03	0,09	3,0 <sup>b</sup>	2,5 <sup>b</sup>	12	2,7
Medel led 11 och 12	451	0,45	0,70	0,17	0,04	0,12	3,4	2,9	12	2,8

<sup>a,b</sup> Halter med olika bokstäver var signifikant olika

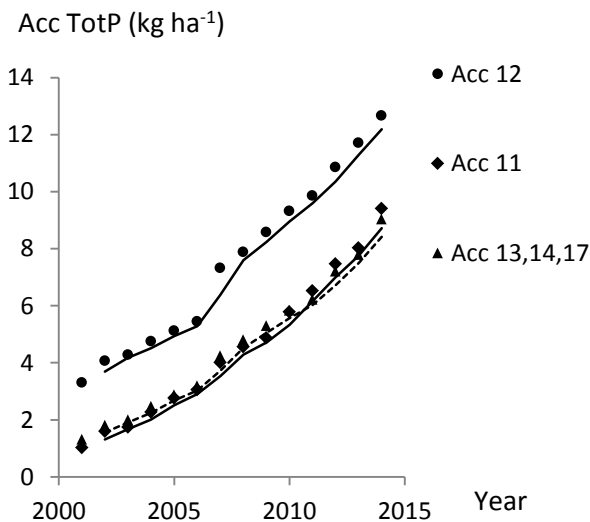
a)



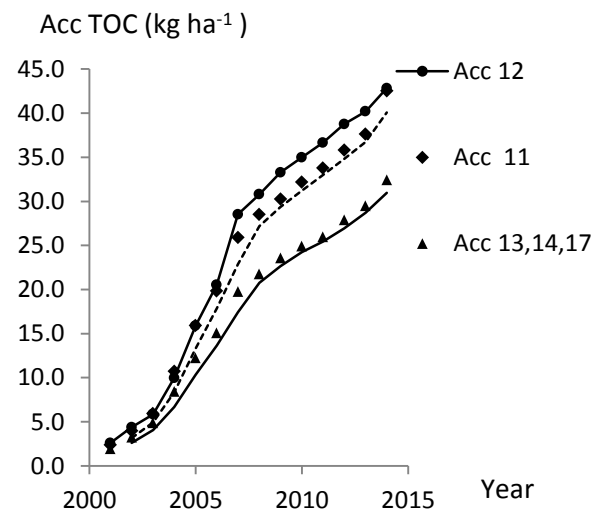
b)



c)



d)



Figur 3. Ackumulerat läckage av a) löst reaktiv fosfor (DRP), b) totalkväve (TotN), c) totalfosfor (TotP) och d) organiskt kol (OC). För stallgödselled 12 ökade fosforläckaget snabbast 2006 då fast stallgödsel tillförts vallbrott medan kväveläcket ökade snabbast året därpå. För led 13, 14 och 17 tenderade läckagetakten av både kväve och organiskt kol att minska efter år 2007/2008.

## Läckage efter stallgödsel med och utan vallbrott

Fosforläckaget ökade snabbt under hela perioden i led 12 åren 2000/2001 och 2006/2007 under läckageår då fast stallgödsel tillfördes i månadsskiftet oktober/november i samband med vallbrott. Ökningen skedde både i form av DRP (Figur 3a) och som totalfosfor (Figur 3c). Tillförseln och nedbrukningen skedde under blöta förhållanden och efterföljande två månader var den sammanlagda avrinningen omkring 200 mm. Efterföljande år med tillförsel av flytgödsel skedde detta antingen utan vallbrott eller under mera torra förhållanden. Det största kväveläckaget inträffade i led 12 år 2007/2008 (Figur 3b) dvs. året efter brytningen av luservallen och med odling av vårraps. Läckaget av organiskt kol tycks efter 2007/2008 ha skett långsammare i alla led (Figur 3d). I led 13 och 17 sammanföll detta med etableringen av gröngödslingstrådor och ett något långsammare kväveläckage under de närmaste följande fem åren efter trädorna. Dessa år var det konsekvent fånggröda varje år i led 17.

## Olika åtgärdernas typhalter på försöksplatsen

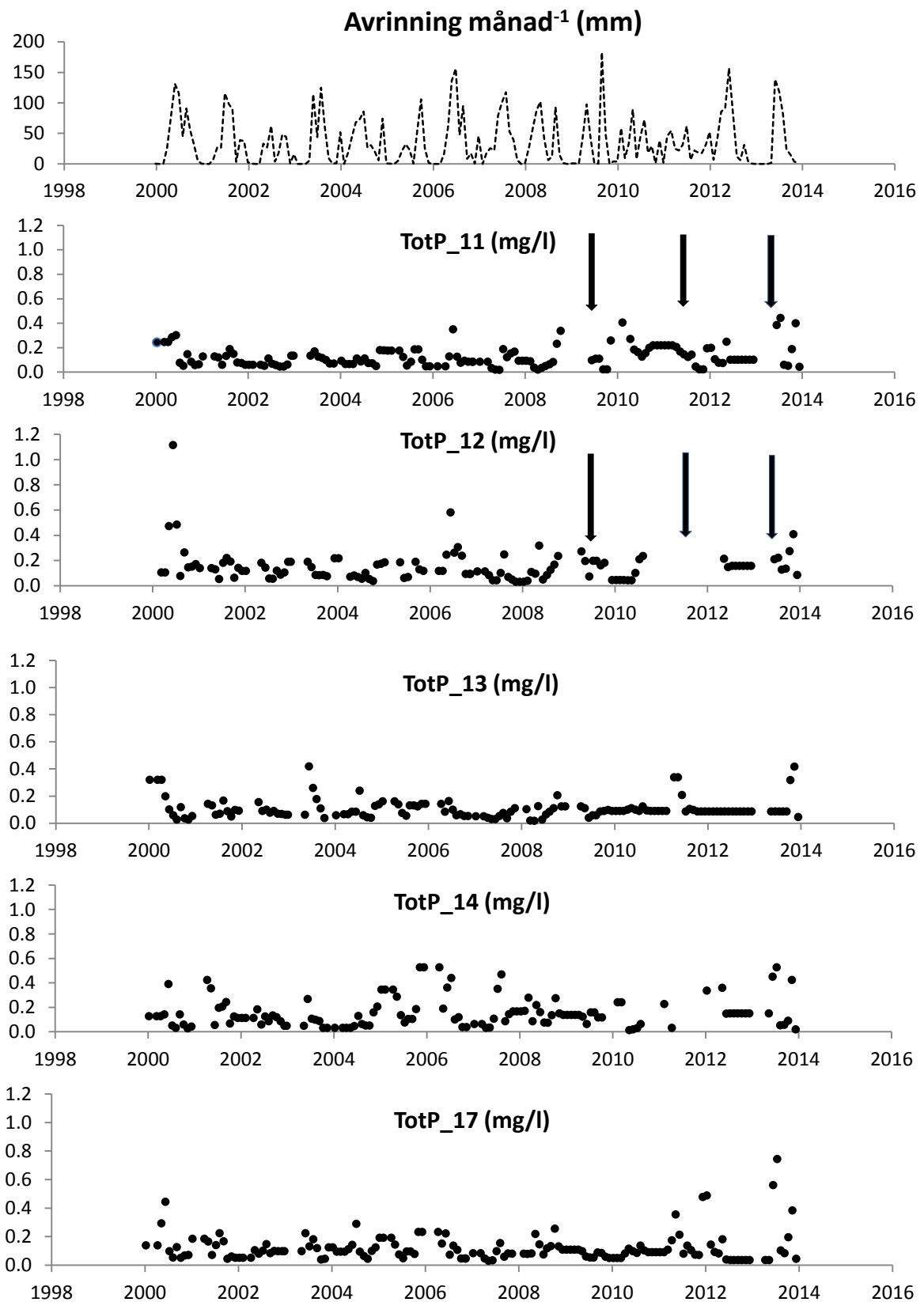
År då stallgödsel tillförts på hösten i samband med vallbrott hade den högsta avrinningen och den högsta kvoten D/N men ett genomsnittlig flödesindex på 0,44 (Tabell 3). Avrinningen kännetecknades därför av höga men relativt konstanta flöden under vinterperioden. Totalfosforhalterna var de högsta uppmätta men skillnaden var inte signifikant i jämförelse med leden med växtodlingssystemen (14 och 17). Den enda signifikanta skillnaden vad gäller fosfor var för halten icke-reaktiva fosfor (UP) och mellan grön mark och led 14+17. Kvävehalterna var i genomsnitt signifikant högre året efter vallbrott med stallgödsel i jämförelse med led 13 och 17 (Tabell 3). Årskoncentrationerna av organiskt kol följde samma mönster som kvävehalterna och både totalkväve och organiskt kväve (beräknad som skillnaden mellan totalkväve och nitratkväve) var väl korrelerade med halterna organiskt kol ( $p < 0,001$ ).

I Tabell 4 har halterna jämförts vid fast- och flytgödselspridningen men endast inom led 11 och 12. År med fast eller flytgödsel på hösten hade nästan dubbelt (och signifikant) högre totalfosforhalter än år utan, men samtidigt var de hydrologiska förhållandena ganska olika. De avrinningår som följt efter flytgödselspridning på våren hade däremot en mera genomsnittlig avrinning, en nederbörd som fördelat sig mera jämnt under året (lägre D/N) och samtidigt med ett flöde med högre dygns- till dygnsvariation (F-index). Fosforhalterna var snarlika och det tycktes inte finnas några minneseffekter efter vårspridningen av flytgödsel. Då var däremot skillnaderna i kvävehalter signifikanta delvis beroende på ett större läckaget från vårraps och korn jämfört med gräs och luservallar. Totalt har halterna DRP och TotN, NO<sub>3</sub>N och OC varit något högre i två de stallgödselade systemen (Tabell 4) jämfört med jämförbara rena växtodlingssystem (Tabell 3). Dessa skillnader kan framför allt skyllas på led 12 (Figur 3).

På grund av väderomständigheterna var hösten 'kort' under ett år då flytgödseln spreds och tidskillnaderna mellan tidig och sen flytgödselspridning var 20, 0 resp. 38 dagar Figur 4. De år då stallgödsel spreds både tidigt och sent på hösten innebar detta ingen skillnad i fosforhalter eller läckage.

## Slutsatser

De största riskerna för höga fosforläckage har varit om stallgödsel tillförts i samband med vallbrott och under ogynnsamma väderförhållanden. Med den aktuella växtföljden har det också inneburit en risk för förhöjda kväveläckage året efter vallbrottet. Om stallgödseln tillförts som fast- eller flytgödsel har spelat en mindre roll för växtnäringsläckaget, liksom den exakta tidpunkten när stallgödseln tillförts på hösten. Vallåren har inneburit lägre läckage av den icke-reaktiva fosfor (UP) samtidigt med en tendens till högre andel av den reaktiva fosfor (DRP). Totalt har läckaget av DRP och totalkväve (TotN) och nitrat kväve (NO<sub>3</sub>N) organiskt kol (OC) varit något högre i två de stallgödselade systemen jämfört med jämförbara rena växtodlingssystem.



Figur 4. Månadsavrinning och flödesvägda totalfosforhalter varje månad med avrinningsregistrering. Pilarna indikerar flytgödseltillförsel på hösten. Fosforhalter saknas under en period i led 12 med endast manuella prov.

## Referenser

- Baker, D.B., Richard, P., Loftis, T.T. & Kramer J. 2004. A new flashiness index: characteristics and applications to Midwestern rivers and streams,
- Stenberg, M., Ulén, B., Söderström, M., Roland, B., Delin, K. & Helander, C-A. 2012. Tile drain losses of nitrogen and phosphorus from fields under integrated and organic crop rotations. A four-year study on a clay soil in southwest Sweden. *Science of the Total Environment* 434, 79-89.
- Svanbäck A., Ulén, B., Etana A. 2014. Mitigation of phosphorus leaching losses via subsurface drains from a cracking marine clay soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 184, 124-134.
- Ulén, B. & Mattsson, L. 2003. Transport of phosphorus forms and nitrate through a clay soil under grass and cereal production. *Nutrient Cycling Agroecosys.* 65, 129-140.
- Ulén, B., Aronsson, H., Torstensson, G. & Mattsson, L. 2005. Phosphorus and nitrogen turnover and risk of waterborne phosphorus emissions in crop rotations on a clay soil in south-west Sweden. *Soil Use and Management* 21, 221-230.