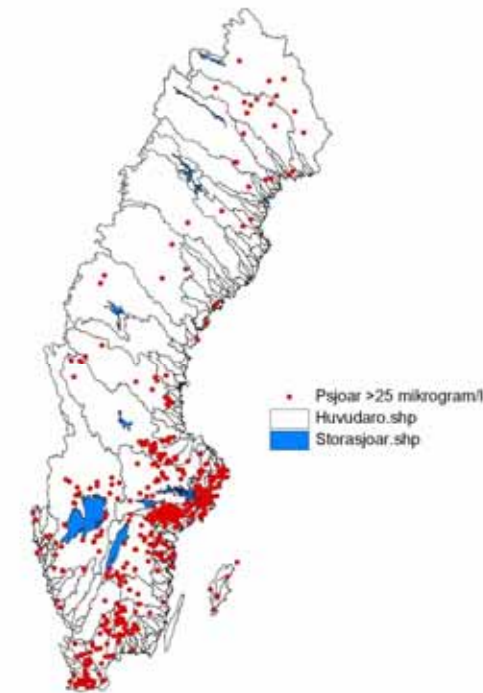


Östersjön, sommaren 2008



Sjöar med höga fosforkoncentrationer

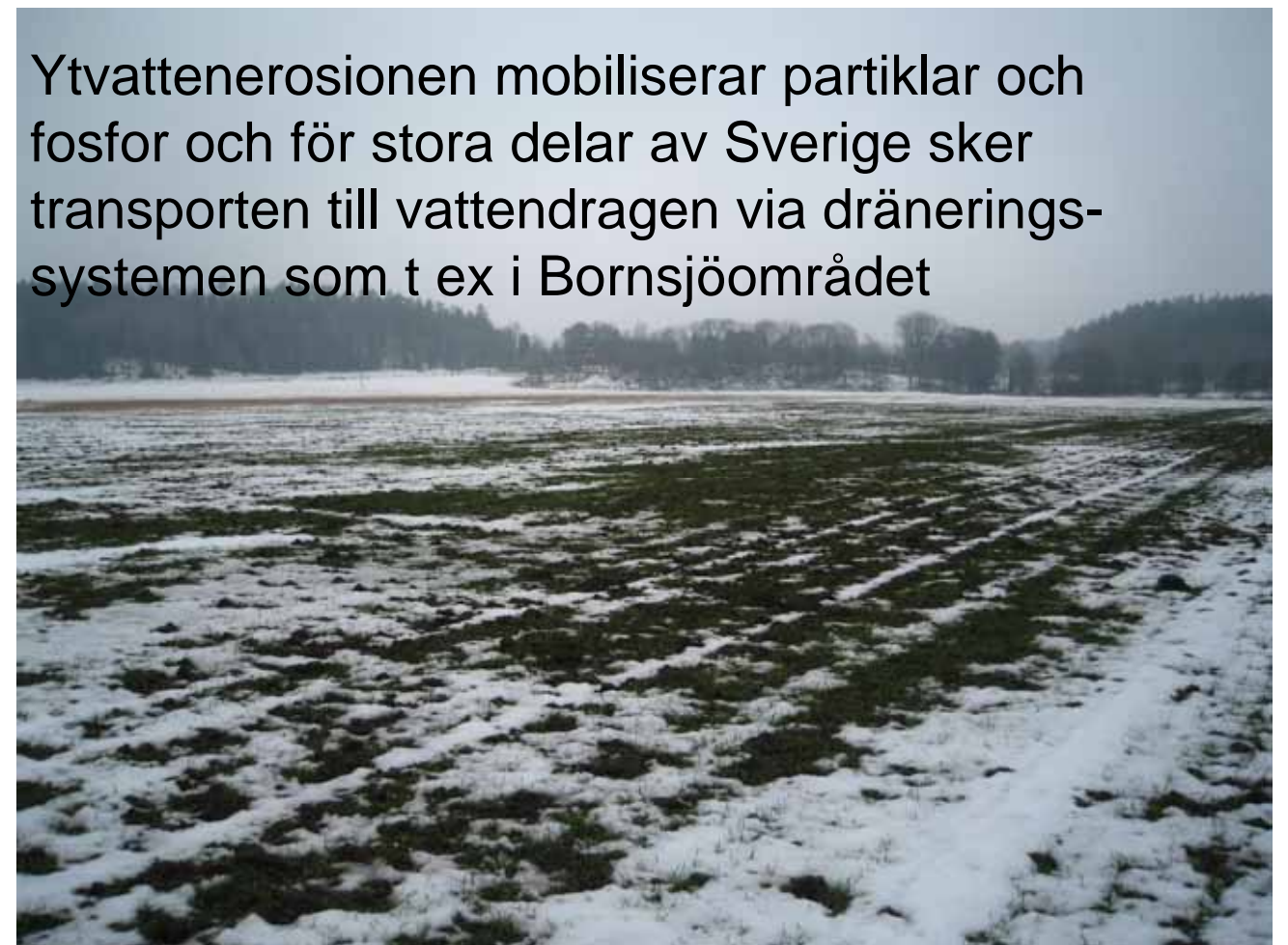


Vattenblomning i Ekoln.

Förlusterna av fosfor från åkermark sker mestadels i kolloidal eller partikulärt bunden form. Det finns dock undantag och löst reaktiv fosfor kan utgöra upp till 93%



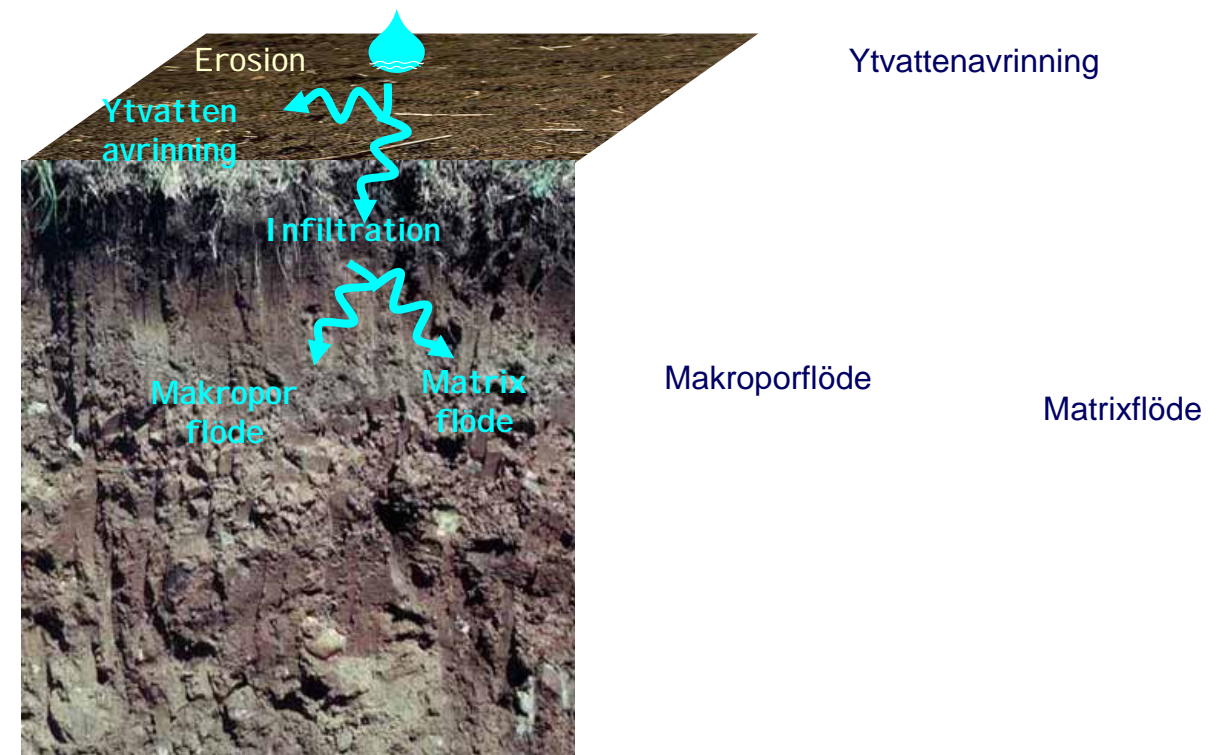
Ytvattenerosionen mobiliserar partiklar och fosfor och för stora delar av Sverige sker transporten till vattendragen via dränerings-systemen som t ex i Bornsjöområdet



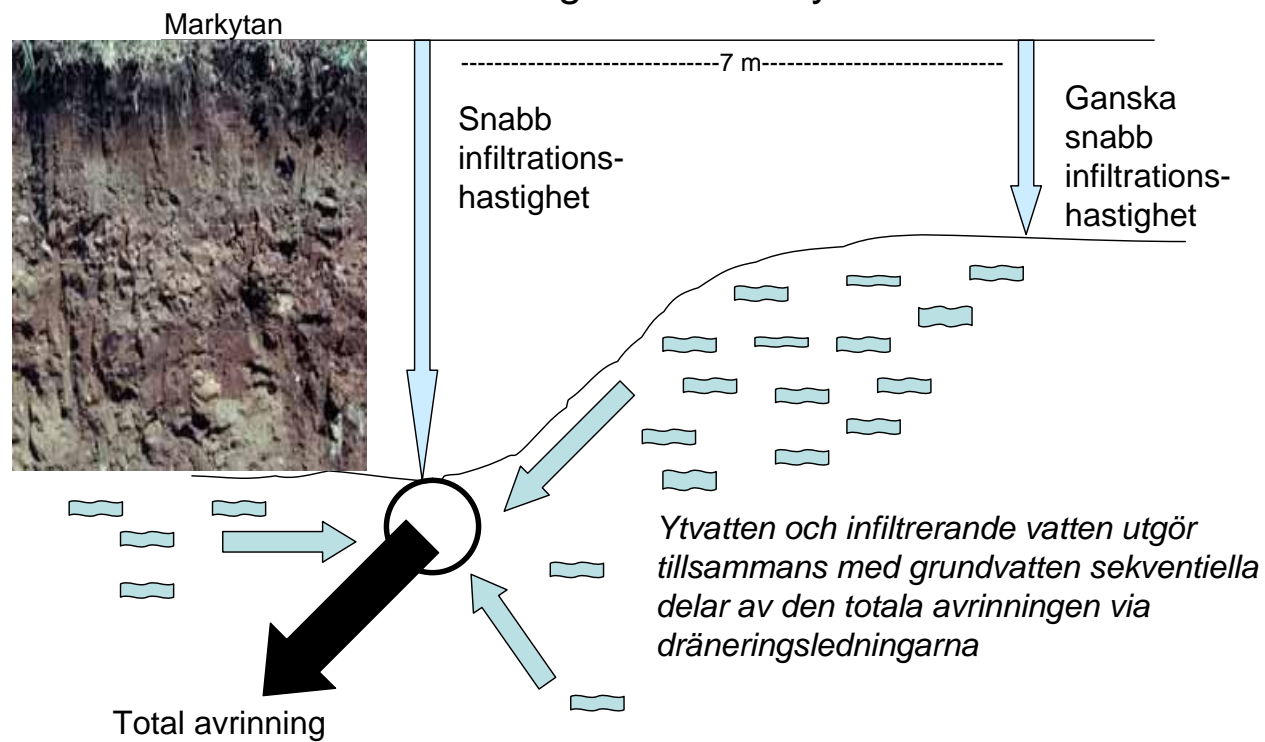
Fosforförluster i ett jordbrukslandskap



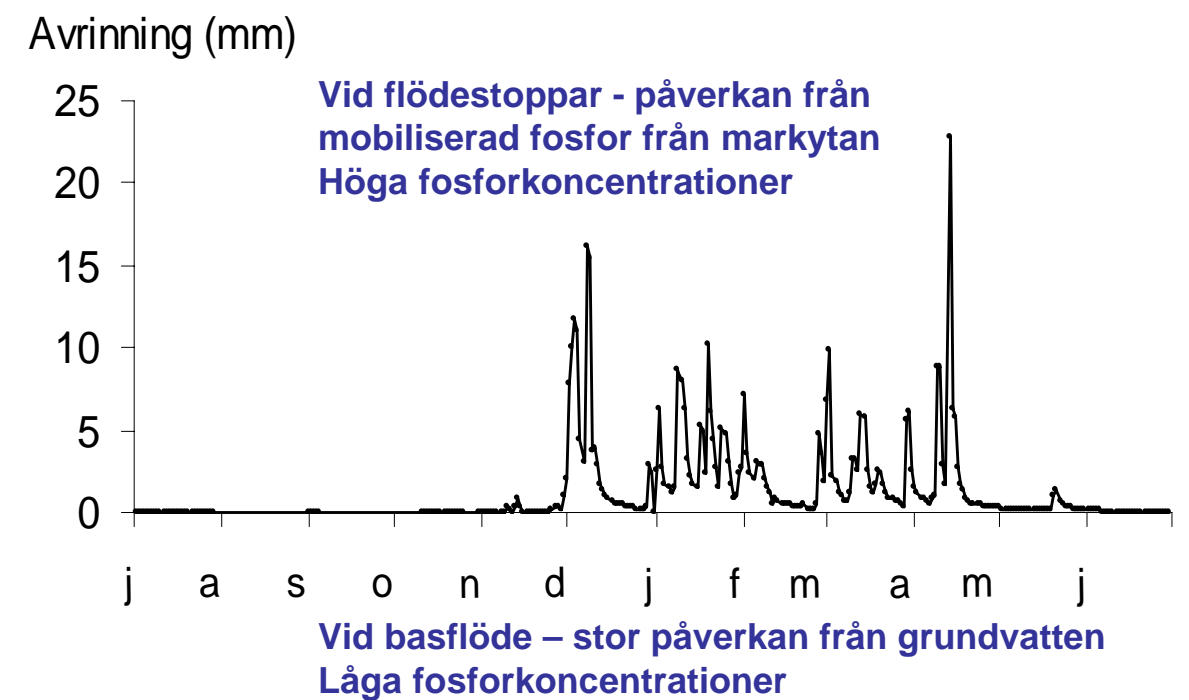
I markprofilen



Ett artificiellt dräneringssystem skapar en ojämn grundvattenyta och en ojämn infiltration som varierar tidsmässigt med stor dynamik



Episodisk avrinning från dräneringssystem



Åtgärds katalog för mindre fosforläckage



Åtgärder mot minskat fosforläckage

Bornsjö-
projektet

- Gödsling
Behovsanpassad gödsling spec. stallgödslingen,
- Gröda
Bra växtföljder
- Jordbearbetning
Minska höstbearbetningen
- Djurhållning
Förbättrad utfodring
- Vattenhushållning och dränering
Underhåll och förbättring av dräneringssystemen
- Markvård
Strukturkalkning

Doktorandproj + Nytt SLF



Experimentfält vid Bornsjön - 28 dränerade rutor



Marin lerjordar med sprickor – inte organogen

Nuvarande försöksplan

- A. Konventionell bearbetning, bredspridning av handelsgödsel fosfor
- B. Konventionell bearbetning, ingen handelsgödsel fosfor
- C. Konventionell bearbetning, bredspridning av handelsgödsel fosfor samt strukturkalkning första året
- D. Grund bearbetning och radmyllning av handelsgödsel fosfor
- E. Grund bearbetning och bredspridning av handelsgödsel fosfor
- F. Ogödslad vall (referens)
- G. Specialanpassad växtföljd

OX 28 E	OX 27 C	OX 26 A	OX 25 F	OX 24 G	OX 23 E	OX 22 B	OX 21 A	OX 20 C	OX 19 D	OX 18 G	OX 17 A	OX 16 G	OX 15 B
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

OX 14 F	OX 13 D	OX 12 B	OX 11 C	OX 10 A	OX 9 G	OX 8 D	OX 7 F	OX 6 E	OX 5 B	OX 4 C	OX 3 E	OX 2 D	OX 1 F
------------	------------	------------	------------	------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Dräneringsvattnet provtas flödesstyrt



Strukturkalkning 5 ton/ha CaO



Kultivering



Kalkad ruta efter kultiveringen



Plöjning

Radmyllning/bredspridning av handelsgödsel



Datum	Åtgärd	A	B	C	D	E	F	G
070925	Strukturkalkning 5 ton CaO/ha				X			
070925	Grund bearbetning				X	X	X	
070925	Vanlig plöjning	X	X	X				X
071008	Sådd höstvet							X
080509	Gödsling med handelsgödsel-fosfor 20 resp. 24 kgP/ha	X		X	X	X		X
080509	Sådd vårkorn (led F med insådd trädesgräs)	X	X	X	X	X	X	
080907	Skörd höstvet (4,2 ton/ha)							X
080908	Skörd korn (4,4-4,7 ton/ha)	X	X	X	X	X	X	
080923	Stubbning + kultivering				X	X		
080923	Stubbning + vanlig plöjning	X	X	X				X
080924	Harvning							X
080925	Sådd av höstvet							X

Skörd som torrsubstans (TS) och halterna kväve (N), kalcium (Ca) och fosfor (P) i kärna år 2008 av vårkorn (Led A-F) och av höstvetete (Led G) samt bortförsel med kärnskörden av kväve (N) och fosfor (P)

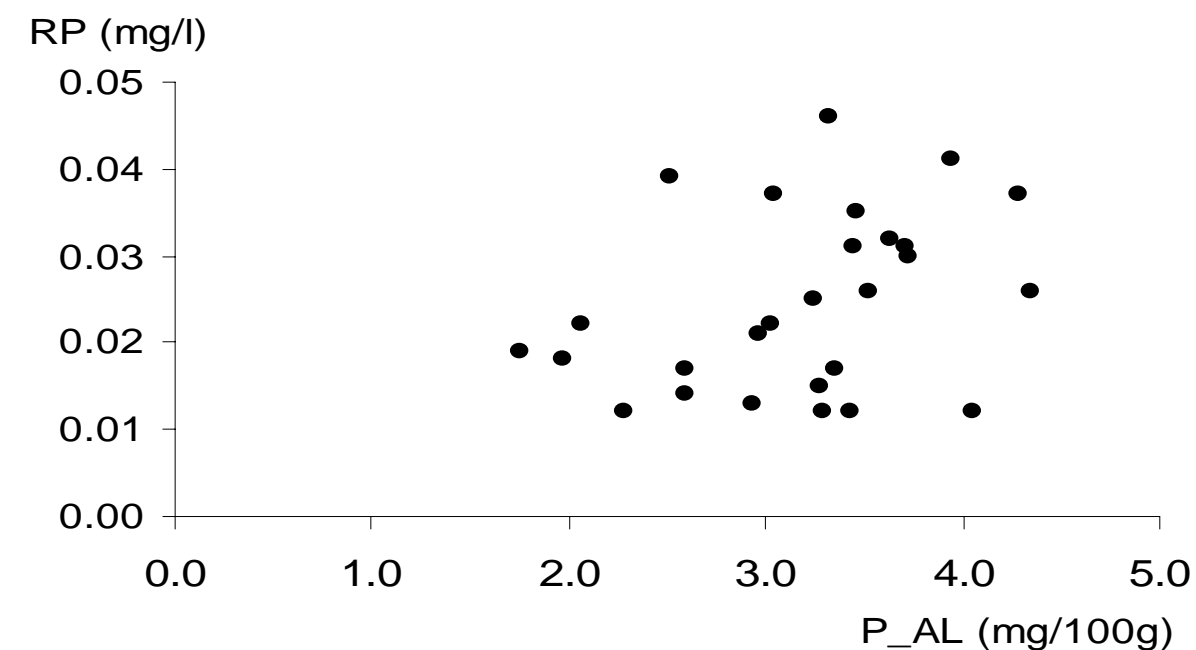
	Skörd ton/ha	Ca (%)	N (%)	P (%)	Skörd (kg/ha)	
					N	P
A Konventionell bearbetning	4,70	0,040	1,89	0,30	88	14
B Konventionell bearbetning ej fosforgödsblad 2008	4,43	0,041	1,86	0,28	82	12
C Strukturkalkad 2007	5,32	0,041	1,80	0,27	98	14
D Grund bearbetning och radmyllning av fosfor 2008	4,46	0,052	1,76	0,31	78	14
E Grund bearbetning och bredspridning av fosfor 2008	4,56	0,038	1,74	0,27	79	12
F Insådd våren 2008	2,45	0,039	1,52	0,30	37	7,4
G Höstvetete	4,22	0,032	1,97	0,35	83	15

Sen sådd av höstvetete 2007 (test av rester från betmedel) kan ha gett lägre skörd

C:a 70% effektivitet av fosforgödslingen

Låga halter i dräneringsvattnet av löst reaktiv fosfor (RP) och ganska lågt fosfortal i matjorden

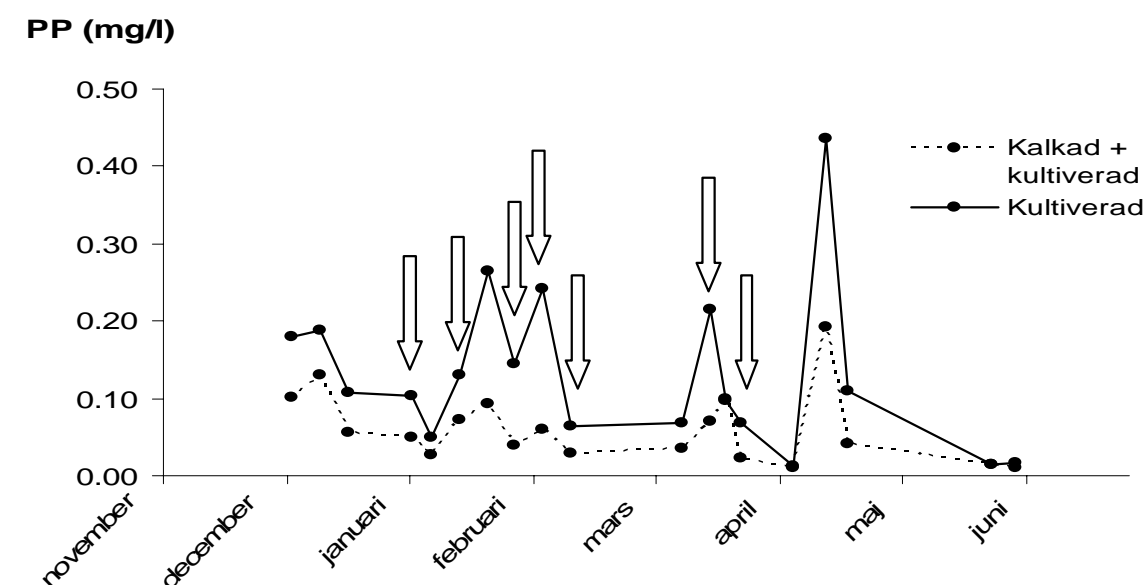
(P-AL)



Antal rutor, behandling hösten 2007, medelvärde av pH och uppmätta halter (mg/l) av reaktiv fosfor (RP) nitratkväve (NO₃-N) samt beräknade halter partikelbunden fosfor (PP) och organiskt kväve (Org. N) vintern 07/08

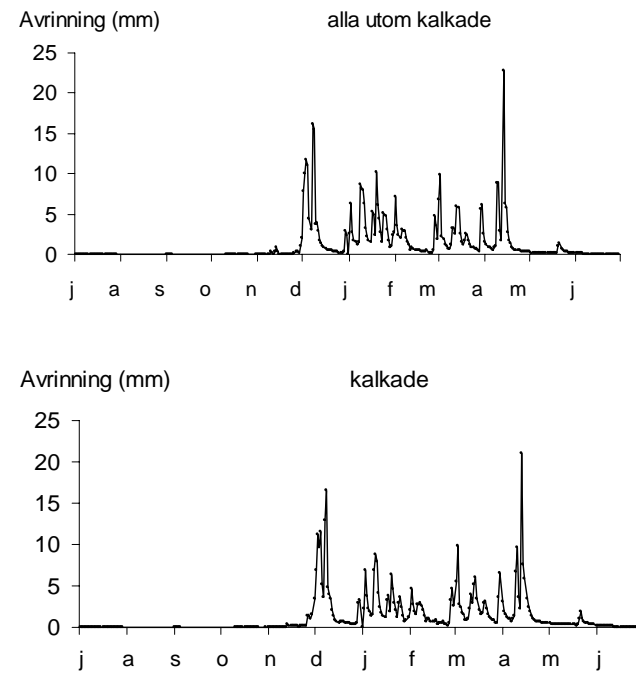
Antal	Behandling hösten	pH	RP	PP	NO ₃ -N	Org. N
12	Vanlig plöjning	7,3	0,031	0,11	4,93	0,73
8	Kultivering	7,0	0,023	0,12	5,03	0,70
4	Strukturkalkning	8,5	0,020	0,06	5,23	0,69
4	Höstvetete	6,8	0,022	0,09	5,63	0,63

Lägsta fosforhalterna från kalkade leden
Högsta mineralkvävehalterna från höstvetete

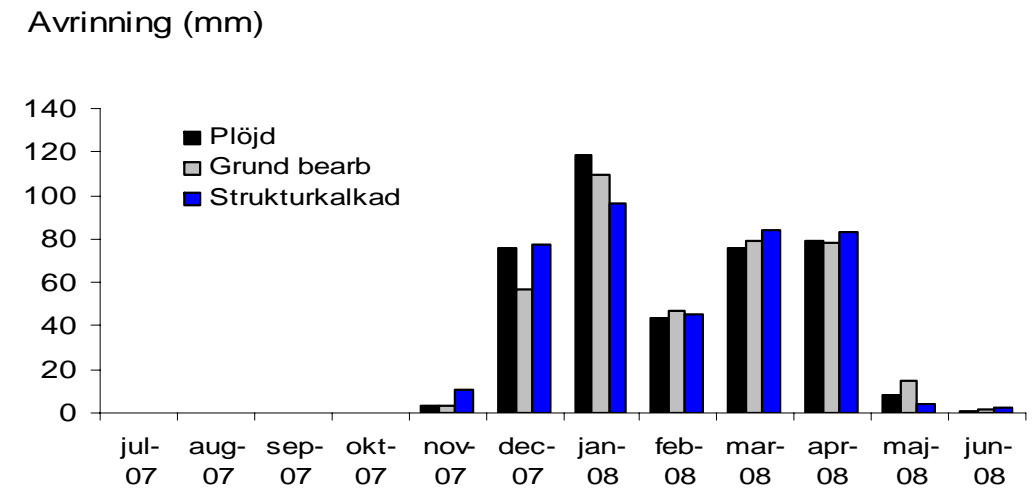


Medelkoncentration av fosfor i partikulär form (PP) från strukturkalkade resp. enbart kultiverade led. Pilarna visar slutdatum för veckoprov då halterna varit signifikant lägre från kalkade led beräknat med variansanalys ANOVA

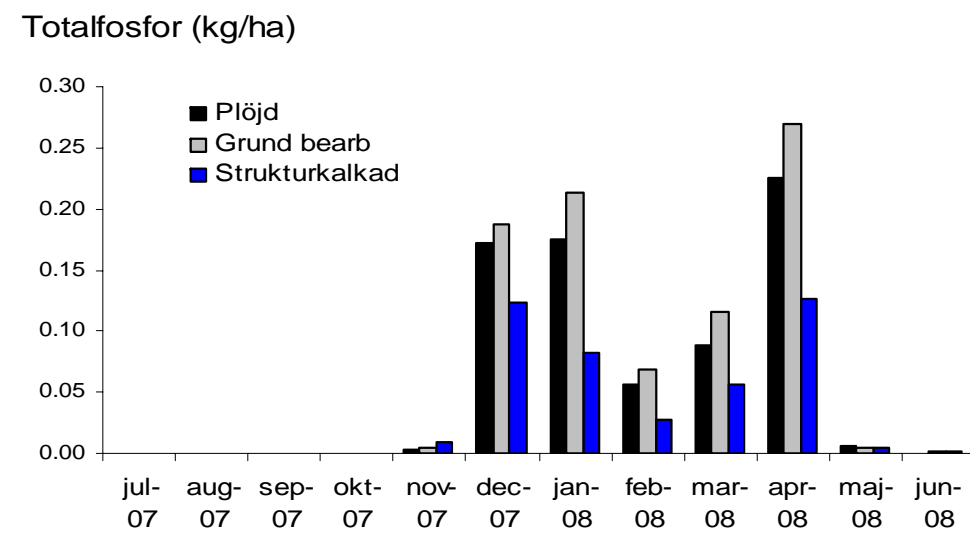
Avrinning 2007/2008



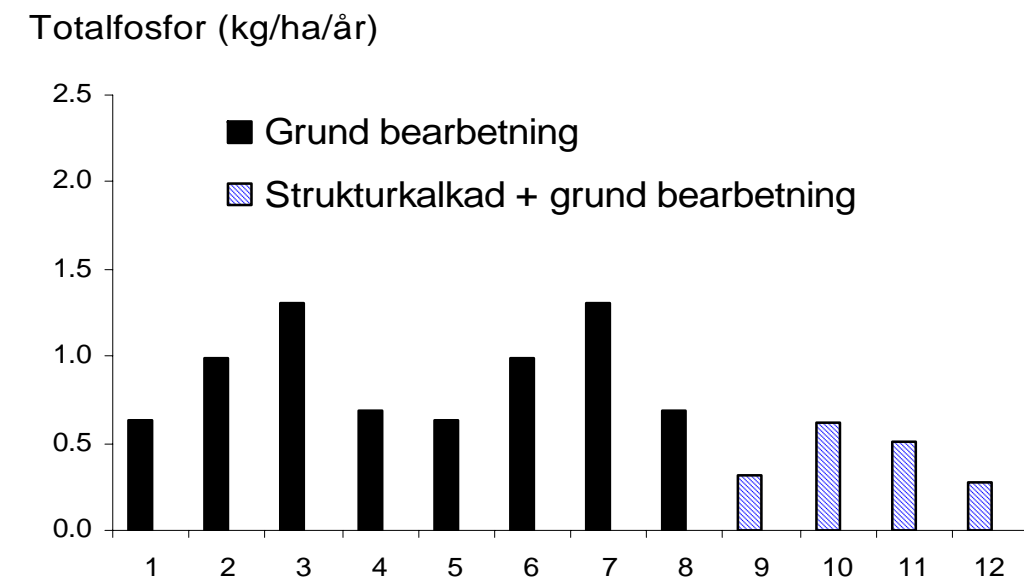
Avrinning per månad



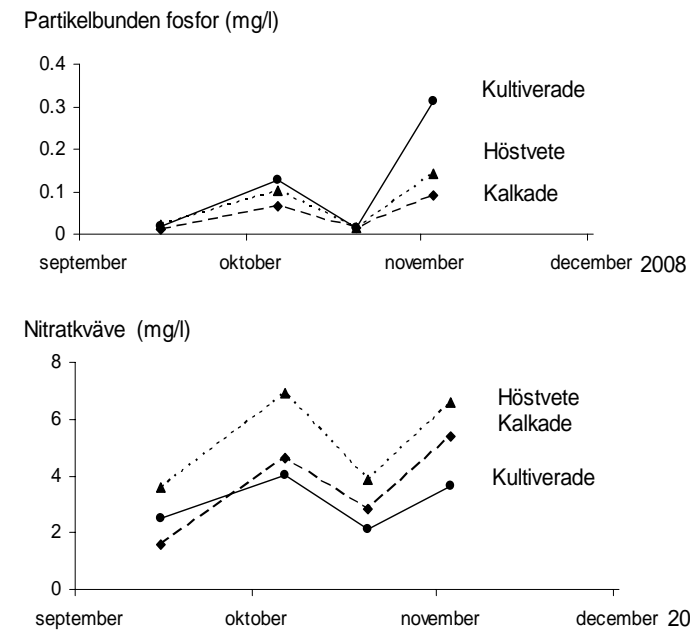
Fosforläckage per månad



Fosforläckage via dräneringen 2007/2008 Efter strukturkalkningen halverat läckage



Uppmätta halter hösten 2008



En miljömålskonflikt?



Minskad jordbearbetning – mer användning av herbicider

Besprutning med bekämpningsmedel

Datum	Åtgärd/Led	A	B	C	D	E	F	G
070925	Grund bearbetning				X	X	X	
070925	Vanlig plöjning	X	X	X				X
080424	Besprutning med Glypro Brio 2 l/ha					X	X	X
080626	Besprutning lågdospreparat (Harmony Plus 50T)	X	X	X	X	X	X	
080916	Besprutning med Glypro Brio 3 l/ha							X
080923	Stubbning + kultivering				X	X		
080923	Stubbning + vanlig plöjning	X	X	X				X
080924	Harvning							X
080925	Sådd av höstvete							X

Veckoavrinning (mm) pH och koncentration av glyfosat (Gly) och AMPA (µg/l), pH och koncentrationer av totalfosfor (TotP), löst reaktiv fosfor (RP), totalkväve (TotN) och nitratkväve (NO₃-N) (mg/l) efter sprutning med Glypro Brio 26/4-08. Detektionsgränsen varierade mellan 0,03 -0,06 µg/l för glyfosat 0,2-0,4 µg/l för AMPA beroende på det aktuella provets karaktär. Ej detekterbara koncentrationer = ed

	AVR (mm)	Gly (µg/l)	AMPA (µg/l)	pH	TotP	RP	TotN (mg/l)	NO ₃ N
<i>12/5-19/5 nederbörd 19 mm</i>								
3E	4,6	ed	ed	5,0	0,056	0,008	5,36	4,91
6E	5,4	ed	ed	7,7	0,064	0,042	5,55	4,82
23E	8,0	ed	ed	7,5	0,039	0,018	5,92	5,00
28E	25,6	ed	ed					
8D	5,8	ed	ed	7,8	0,053	0,026	5,69	5,26
13D	4,2	ed	ed	7,8	0,032	0,014	4,26	3,96
19D	10,4	ed	ed	6,7	0,063	0,019	6,00	4,83
<i>19/5-26/5 nederbörd 10 mm</i>								
3E	6,0	ed	ed	5,6	0,047	0,006	10,5	9,75
6E	6,6	0,024	spår	7,0	0,039	0,016	13,8	12,6
23E	6,9	ed	ed	6,8	0,052	0,020	7,31	6,70
28E	7,7	ed	ed	7,2	0,019	0,012	3,19	2,86
2D	5,5	ed	ed	5,1	0,018	0,008	7,61	7,19
8D	4,6	0,020	ed	7,1	0,033	0,018	11,2	10,9
13D	4,2	ed	ed	7,4	0,025	0,012	3,69	3,38
19D	8,4	ed	ed	6,3	0,043	0,028	5,11	4,62
9G	2,1	ed	ed	7,3	0,030	0,018	4,30	3,86
16G	3,0	ed	ed	5,3	0,029	0,006	6,85	6,66
18G	1,9	ed	ed	5,3	0,012	0,008	5,22	5,14
24G	1,7	ed	ed	7,3	0,039	0,018	6,44	5,97

LÄCKAGE AV FOSFOR OCH KVÄVE FRÅN FÖRSÖKSANLÄGGNINGEN VID BORNSJÖN 2007/2008

Barbro Ulén Inst. Mark & Miljö, SLU

ODLINGSÅTGÄRDER OCH SKÖRD

Vid de dränerade rutförsöken vid Bornsjön studeras följande sju led, vardera med fyra upprepningar:

- Konventionell bearbetning, bredspridning av handelsgödsel fosfor
- Konventionell bearbetning, ingen handelsgödsel fosfor
- Konventionell bearbetning, bredspridning av handelsgödsel fosfor samt strukturkalkning första året
- Grund bearbetning och radmyllning av handelsgödsel fosfor
- Grund bearbetning och bredspridning av handelsgödsel fosfor
- Ogödslad vall (referens)
- Specialanpassad växtföljd

I led A och B jämförs effekten av själva fosforgödslingen. I led C förväntas kalkningen förbättra strukturen så att en bättre infiltration kan ske och dessutom kan kalken binda fosfor i marken. I led D och E undersöks om en mindre mekanisk slitning på aggregaten vid grundare bearbetning påverkar fosforläckaget. I led D och E jämförs även effekterna av radmyllning respektive bredspridning. Vallen i led F används som en referens och gödslas inte. Datum för olika odlingsåtgärder framgår av tabell 1. Sådd av höstvetete 2007 skedde sent eftersom man ville undersöka eventuella rester av bekämpningsmedel från betat utsäde detta år. Detta gjorde att uppskörden blev något gles och skörden följande år blev något lägre än förväntat. Kornet såddes 2008 med en handelsgödselgiva av 20 kg/ha som bredspreddes (led A, C och E) resp. radmyllades (led D). Höstvetete (led G) fick 24 kg P/ha. Led F fick endast kvävegödsel och såddes in med en gräsfröblandning avsedd för vall. Kvävegivan var 108 kg N/ha för led A-E. Höstvetete (led G) fick 120 kg N/ha och dessutom kalium (48 kg/ha).

Den grunda bearbetningen innebar mer användning av bekämpningsmedel (Tabell 1). Våren 2008 besprutades dessa rutor med ett preparat med den aktiva substansen glyfosat. Även höstvetete fick motsvarande dos. Samtliga led med korn besprutades med lågdospreparat i slutet av juni. Förekomst av flyghavre var relativt stor som dock plockades för hand. Efter skörden av höstvetete sprutades led G ånyo med glyfosatpreparat mot ogräs.

Led C strukturkalkades hösten 2007 med en giva som motsvarade 5 kg/ha av CaO. Kalken bearbetades in i matjorden med kultivator. Åtgärden upplevdes som fördelaktig bearbetningsmässigt eftersom den innebar att plöjning efterföljande höst gick lättare än i rutor som inte kalkats. Strukturkalkningen föll också bra ut skördemässigt med 16% högre skörd jämfört med jämförbara led (A, D och E) utan strukturkalkning (Tabell 2).

OX 28 E	OX 27 C	OX 26 A	OX 25 F	OX 24 G	OX 23 E	OX 22 B	OX 21 A	OX 20 C	OX 19 D	OX 18 G	OX 17 A	OX 16 G	OX 15 B
OX 14 F	OX 13 D	OX 12 B	OX 11 C	OX 10 A	OX 9 G	OX 8 D	OX 7 F	OX 6 E	OX 5 B	OX 4 C	OX 3 E	OX 2 D	OX 1 F

Figur 1. Försöksrutornas beteckning och inbördes läge.

Tabell 1. Datum och odlingsåtgärder 2007-2008 för de olika leden; A och B konventionell jordbearbetning normal gödning och användning av pesticider; C Strukturkalkning första året; D,E grund bearbetning med kultivator; F insådd av ogödslad trädesvall; G växtföljd med höstsådda grödor

Datum	Åtgärd	A	B	C	D	E	F	G
070925	Strukturkalkning 5 ton CaO/ha			X				
070925	Grund bearbetning			X	X	X		
070925	Vanlig plöjning	X	X				X	X
071008	Sådd höstvetete							X
080424	Besprutning med Glypho Brio 2 l/ha				X	X		X
080509	Gödning med handelsgödsel fosfor ^a	X		X	X	X		X
080509	Sådd vårkorn (led F med insådd trädesgräs)	X	X	X	X	X	X	
080626	Besprutning lågdosprep. (Harmony Plus 50T)	X	X	X	X	X	X	
080825	Handplockning av flyghavre	X	X	X	X	X	X	
080907	Skörd höstvetete (c:a 5 ton/ha)							X
080908	Skörd korn	X	X	X	X	X	X	
080916	Besprutning med Glypho Brio 3 l/ha					X		X
080923	Stubbning + kultivering				X	X		
080923	Stubbning + vanlig plöjning	X	X	X				X
080924	Harvning							X
080925	Sådd av höstvetete							X

^a A, C, E bredspridning 20 kgP/ha
D radmyllning 20 kgP/ha
G bredspridning 24 kgP/ha

Ingen fosforgödsling (led B) medförde en liten skördenedsättning (4,4 jämfört med 4,6 ton/ha). Den grunda bearbetningen (led D och E) hade också en tendens till lite lägre skörd än de konventionellt plöjda rutorna (4,5 jämfört med 4,7 ton/ha). Ledet med insådd som inte heller kvävegöddslades hade bara halv skörd. Höstvetete hade något lägre skörd jämfört med kornet. Efter kultiveringen hösten 2008 noterades att mycket spillsäd grott i led D och E och detta kan komma att fungera som en fånggröda under hösten. Bortförslut av fosfor med kärnskoroden var omkring 14 kg/ha (Tabell 2).

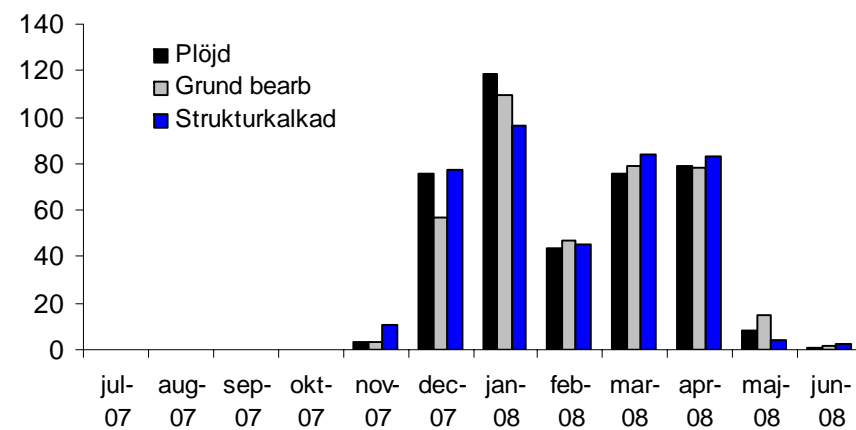
Tabell 2 Skörd som torrsbstans (TS) och halterna kväve (N), kalcium (Ca) och fosfor (P) i kärna år 2008 av vårkorn (Led A-F) och av höstvetete (Led G) samt bortförslut med kärnskoroden av kväve (N) och fosfor (P)

	Skörd ton/ha	Ca (%)	N (%)	P (%)	Skörd (kg/ha)	
					N	P
A Konventionell bearbetning	4,70	0,040	1,89	0,30	88	14
B Konventionell bearbetning ej fosforgödslad 2008	4,43	0,041	1,86	0,28	82	12
C Strukturkalkad 2007	5,32	0,041	1,80	0,27	98	14
D Grund bearbetning och radmyllning av fosfor 2008	4,46	0,052	1,76	0,31	78	14
E Grund bearbetning och bredspridning av fosfor 2008	4,56	0,038	1,74	0,27	79	12
F Insådd våren 2008	2,45	0,039	1,52	0,30	37	7,4
G Höstvetete	4,22	0,032	1,97	0,35	83	15

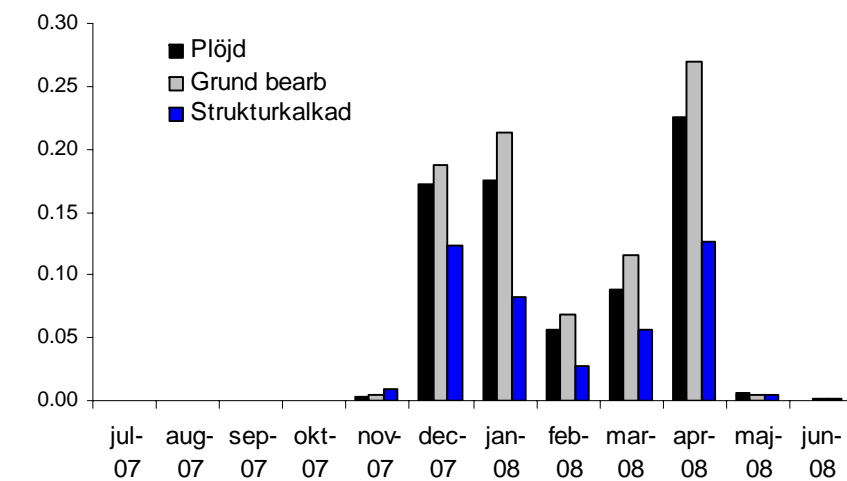
Tabell 3 Raka medelvärden under hösten 2008 av pH och uppmätta halter (mg/l) av löst reaktiv fosfor (RP), övrig fosfor, dvs. till största delen partikulärt bunden (PP), nitratkväve (NO₃-N) och organiskt kväve (org. N). Det senare uppskattades som en differens och är baserat på ett mindre antal analyser än NO₃-N. Sista kolumnen visar kvoten mellan totalkväve och totalfosfor (N/P)

Antal	Behandling hösten 07	pH	RP	PP	NO ₃ -N	(OrgN)	N/P
12	Konventionell plöjning	7,3	0,031	0,111	4,93	(0,74)	40
8	Kultivering (grund bearbetning)	7,0	0,023	0,125	5,03	(0,70)	39
4	Kalkning, kultivering /plöjning	8,5	0,020	0,060	5,23	(0,69)	74
4	Höstvete	6,8	0,022	0,089	5,63	(0,63)	56

Avrinning (mm)



Totalfosfor (kg/ha)



Figur 2a. Avrinning (mm) och b) totalfosfortransport (kg/ha) varje månad som medelvärde från plöjda (12 st), grunt bearbetade (8 st) och strukturkalkade (4 st) rutor vintern 2007/2008. Strukturkalkade led hade signifikant lägre totalfosfortransport under april ($p < 0,05$). Under december-mars var motsvarande skillnader marginellt signifikanta ($p < 0,01$) eller ej signifikanta.

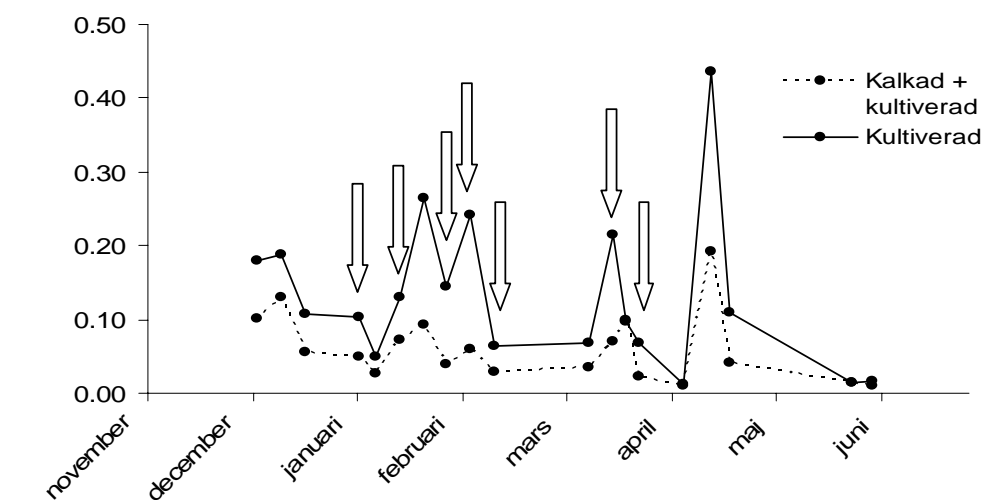
Tabell 4. Behandling, antal rutor, samt medelvärden av avrinning (mm) och årstransporter (kg/ha/år) 2007/2008 av löst reaktiv fosfor (RP), övrig fosfor, dvs. fosfor i huvudsak i partikelform (PP), nitratkväve (NO₃-N) och organiskt kväve (orgN). Det senare uppskattades som en differens mellan totalkväve och nitratkväve och är baserade på ett mindre antal analyser än NO₃-N

Behandling	Antal Rutor	AVR (mm)	RP	PP	NO ₃ -N	(orgN)
			----- (kg/ha/år) -----			
Konventionellt plöjda	12	481	0,24	0,78	22,9	(2,5)
Kultiverade	8	430	0,12	0,75	21,6	(2,3)
Strukturkalkade + kultiverade	4	443	0,10	0,33	23,0	(2,2)
Höstvete	4	336	0,08	0,45	19,4	(2,2)

AVRINNING OCH NÄRSALTSHALTER

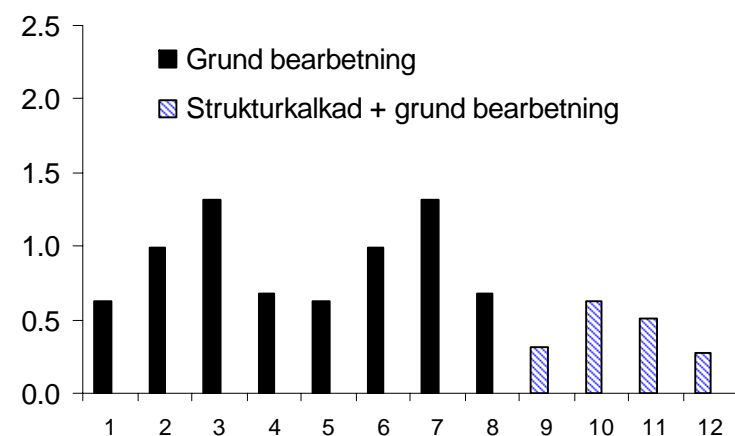
Årsnederbörden 2007/2008 var 590 mm. Dräneringsledningarna har 8 m:s mellanrum för att erhålla en effektiv dränering. På platsen råder också normalt ett visst uppträck av grundvatten och den sammanlagda avrinningen var därför relativt hög, i medeltal 440 mm. Avrinningen från de strukturkalkade rutorna startade något tidigare än övriga rutor och avrinningen var förhållandevis stor i november (Figur 2a) men uppvisade efter sommaren 2008 samma avrinning övriga rutor. En försöksruta (no 10 som plöjdes) hade ovanligt hög avrinning under vintern 2007/2008, men uppvisar en normal avrinning hösten 2008. Vintern 07/08 var ovanligt mild. I mars var temperaturen lägre med en mera sammanhängande snöperiod, följt av en mindre snösmältning. Våren-försommaren var, som normalt är för trakten, torr och avrinningen i dräneringsledningarna var då av grundvattenkaraktär med låga fosforhalter. Den enda större nederbörden föll under perioden 14-24 maj och motsvarade 29 mm. Under denna period var avrinningen omkring 14 mm och med låga fosforhalter i vattnet.

PP (mg/l)



Figur 3. Medelkoncentration övrig fosfor dvs. fosfor huvudsakligen i partikulär form (PP) från strukturkalkade resp. enbart kultiverade led. Pilarna visar slutdatum för veckoprov då halterna varit signifikant lägre från kalkade led beräknat med variansanalys ANOVA jämfört med andra kultiverade led.

Totalfosfor (kg/ha/år)

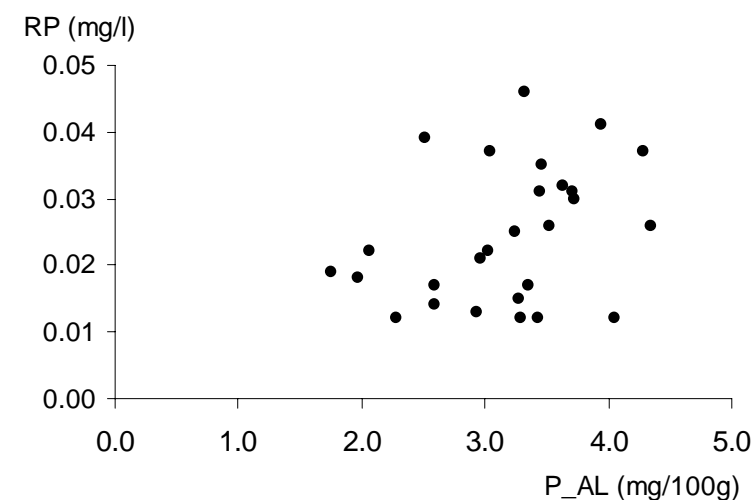


Figur 4. Transport (kg/ha) under 2007/2008 från 8 rutor som bearbetats grunt och från fyra rutor som strukturkalkats före bearbetningen. Medelförlusterna var 0,90 resp. 0,43 kg/ha.

Vattnet i dräneringssystemet på försöksplatsen har i genomsnitt en mindre del (20%) i löst reaktiv form (RP). Resterande fosfor (övrig fosfor) är beräknad som en differens och utgör omkring 80% av totalfosfor. Den allra största delen utgörs av små lerkolloider och benämns i denna rapport för enkelhetens skull som partikulärt bunden fosfor (PP). Nitratkvävet utgör omkring 90% av totalkvävet. Det organiska kvävet utgör därför bara en mindre del. Kväve till fosfor- kvoten är hög (Tabell 3). Haltskillnaderna mellan de olika leden var små vad gäller kväve. De uppmätta halterna RP tenderade att vara lägst från strukturkalkade led och högst från plöjda led. Vad gäller halterna PP uppmättes de högsta halterna från kultiverade led men halterna i de fyra rutor som först strukturkalkats (C-leden) hade endast hälften så höga halter. Dessa skillnader var statistiskt säkra under närmare hälften av avrinningsperioden (Figur 3). Beräknat som transport motsvarar detta att läckaget av den partikelbundna fosfor halverats efter strukturkalkningen (Tabell 4). Även för det årliga läckaget av totalfosforförlusten var den positiva effekten av strukturkalkningen tydlig (Figur 4). Skillnaderna är dock inte helt statistiskt säkra till följd av variationen i avrinningen. En sådan variation brukar alltid uppträda i dränerade fältförsök, speciellt i nyanlagda sådana.

TRANSPORT AV NÄRSALTER

Skillnaderna i transporten av andra fosfor- och kvävefraktioner mellan de olika behandlingarna, förutom för PP, var små (Tabell 4). Förlusterna av fosfor från höstvetet, som fått lite högre fosforgödsel våren 2008, var något lägre än från kornet. Däremot fanns det en tendens till högre kväveläckage från höstvetet, vilket kan bero på att tillväxten på våren var något långsam på grund av en sen såtidpunkt. Kväveförlusterna från strukturkalkade led tenderade också att vara något förhöjd vilket kan bero på att kalken, genom förbättrad markstruktur, gjort att dränerande vatten runnit jämnare genom markprofilen och kommit i förbättrad kontakt med markens mineralkväve. Denna eventuellt negativa bieffekt är dock mycket liten jämfört med de stora fördelarna av den förbättrade skörden och de minskade fosforförlusterna. Halterna av såväl RP i dräneringsvattnet som (P-AL) i matjorden (fosfor extraherad med ammoniumlaktat) var ganska låga i försöket (Figur 5) och utan något klart mönster.



Figur 5. Förhållandet mellan flödesvägda medelhalter i dräneringsvattnet av löst reaktiv fosfor (RP) och fosfortalet i matjorden (P-AL). Medianvärdena var för P-AL 3,3 mg/100g och för RP 0,021 (mg/l). Ruta 10 (konventionellt plöjd) med kraftigt förhöjt flöde och fosforhalter har utelutits.

SAMMANFATTNING

Under det inledande försöksåret från försöksfältet vid Bornsjön har flera positiva effekter konstaterats från strukturkalkning – en delvis statistiskt säker och kvantitativt betydande minskning av fosforläckaget, en förhöjd skörd och en mera lättbearbetad jord. Resultaten från reducerad jordbearbetning (endast grund kultivering) under hösten har däremot inte hittills varit positiv – fosforläckaget från aktuella rutor har inte minskat, skörden har tenderat att vara lägre och besprutning med bekämpningsmedel har behövt tillgripas under våren. Man bör dock vänta och att dra slutsatser till efter flera års studier. Resultaten från odling av höstvet och andra grödor i en specialanpassad växtföljd bör också bedömas först efter flera års fortsatta studier.