

SLUTRAPPORT 2010

Läckage av fosfor och kväve från en marin lerjord med odlingsåtgärder som berör markstruktur, jordbearbetning och spridning av handelsgödsel

Barbro Ulén, Mark & Miljö, SLU

Inledning

I Sverige sker en stor belastning av fosfor till vattendrag, sjöar och hav via dränerade lerjordar (Ulén *et al.*, 2007). Flera studier har visat att från lerjordar med låg till måttlig fosforstatus sker läckaget av fosfor mest i finpartikulär eller kolloidal form (Heathwaite *et al.*, 2005, Ulén 2004) och att denna fosfor till stor del är biotillgänglig (Maynard *et al.*, 2009, Pacini & Gächter, 1999; Uusitalo *et al.*, 2005). Det allra översta markskiktet bidrar, åtminstone potentiellt, med huvuddelen av fosforbelastning till vattendragen (Ulén & Etana, 2010) och den mesta fosfor mobiliseras när marken är vattenmättad. En betydande andel av den fosfor som genererats ytligt (inkl. den s.k. ytavrinningsfosfor) når vanligen täckdikessystemen (Øygarden *et al.*, 1997).

Experimentfältet vid Bornsjön är en ”plattform” för studier av hur man med ändrade odlingsåtgärder skulle kunna minska belastningen av framför allt fosfor till Östersjön från områden med marin lerjord. Projektet avser att studera eventuell förbättrad markkvalité och minskade fosforförluster till vatten tillsammans med skördeeffekter och användning av bekämpningsmedel. Försöksplatsen innefattar 28 dränerade försöksrutor (0,048 ha) och ett intilliggande observationsfält (4,46 ha). Vid Bergaholms gård 1,3 km därifrån, vid stranden av Bornsjön, finns också en specialdesignad ”fosforfångdamm” för att minska belastningen på sjön från bl a intensivt betade och trampade hästhagar.

Metoder

Efter anläggning 2006 och ett utjämningsår studeras följande sju led, vardera med fyra replikat:

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

I led A och B jämförs effekten av själva fosforgödslingen. I led C studeras hur en engångskalkning (5 ton CaO/ha i form av ”snabbkalk” dvs. bränd kalk) kan förbättra strukturen så att fosfor kan hållas kvar i marken. I led D och E undersöks om en förmodad mindre mekanisk slitning på aggregaten vid grundare bearbetning (f. o. m, hösten 2007) påverkar fosforläckaget. Här jämförs också effekter av bredspridning kontra radmyllning av fosfor i form av mineralgödsel f. o. m. våren 2008. Gödslingen med fosfor har varit: 2008 20 kg/ha; 2009 18 kg/ha och 2010 20kg/ha. Den ogödslade trädan i led F används som en referens, och den putsas minst en gång per år. Vid Bornsjön har det också inletts studier av aggregatstabilitet av såväl experimentfältet som närområdet och på försöksrutornas infiltrationsförmåga och genomsläpplighet för vatten.

Tabell 1. Växtföljder i huvudförsöket (led A-F) och i ledet med specialanpassad växtföljd (G). Alla led har fyra upprepningar

Skördeår	A-E	F	G
2007 (utjämningsår)	Höstvete	Höstvete	Höstvete
2008	Vårkorn	Vårkorn + insådd	Höstvete
2009	Vårkorn	Ogödslad träda	Höstvete
2010	Havre	Ogödslad träda	Havre
2011	Ärt	Ogödslad träda	Ärt
2012	Våroljeväxter	Ogödslad träda	Höstvete/höstoljeväxter

Vid reducerad jordbearbetning hösten 2007 och 2008 användes ”modern kultivator”, hösten 2009 användes pinnharv och bearbetningsdjupet minskade (8 cm i stället för 15). Jorden återpackades med ribbvält för att få en mindre lucker ytstruktur än under de inledande försöksåren. Om förhållandena är mycket blöta sker ingen kultivering eller harvning.

Växtföljden har skett och är planerad enligt Tabell 1. Modifieringar kan bli aktuella t. ex. på grund av en besvärlig vår. Eftersom oljeväxter odlades på det intilliggande fältet 2010 undviks oljeväxter 2011. I stället kommer ärt att odlas i alla led (utom F) en gröda som är förfrukt för oljeväxter eller höstvete följande år. Genom handplockning och besprutning har ogräs som flyghavre och tistel hållits nere. Läckage av pesticider redovisas i en särskild rapport.

Resultat

Skördarna fördelar sig enligt tabell 2, där ledet G, med specialanpassad växtföljd, har haft höstvete, medan huvudförsöket har haft vårkorn. Det strukturkalkade ledet har haft påfallande högre skördar än övriga led vid odling av korn. I det specialanpassade ledet har skörden med höstvete varit låg år 2008 till följd av sen sådd hösten 2007, men var god påföljande år. År 2010, var havreskörden dålig och ganska ojämn till följd av värme och torka under juli.

Tabell 2. Skördar (ton/ha) (för år 2010 med ojämn och dålig skörd är denna beräknad från medianer) samt innehåll av fosfor (P) och kväve (N) i kärnan i procent av torrvikten i kärnan

Skördeår	Åtgärd	2008			2009			2010		
		Skörd (ton/ha)	P (%)	N	Skörd (ton/ha)	P (%)	N	Skörd (ton/ha)	P (%)	N
E	Grund kultivering Bredspridning P	4,56	0,27	1,74	4,99	0,28	1,71	3,02	0,44	2,19
D	Grund kultivering Radmyllning P	4,46	0,31	1,76	5,41	0,26	1,72	2,71	0,43	2,23
B	Vanlig plöjning Ingen P gödsling	4,43	0,28	1,86	5,39	0,25	1,79	3,10	0,45	2,30
A	Vanlig plöjning Radmyllning P	4,70	0,30	1,89	5,56	0,26	1,89	3,39	0,44	2,27
G	Specialanpassad Växtföljd	4,22	0,35	1,97	5,32	0,35	2,02	3,14	0,43	2,22
C	Strukturkalkad Radmyllning P	5,32	0,27	1,80	6,23	0,24	1,90	3,42	0,43	2,20

Läckage av fosfor och kväve

Försöksrutorna har 8 m avstånd mellan ledningarna för att få en effektiv dränering. Detta medför att avrinningarna (i genomsnitt 413 mm/år) och därmed de uppmätta läckagen är ganska höga för att vara lerjord. Från det intilliggande observationsfältet med glesare och oregelbundna dräneringsledningarna av olika ålder har avrinningen varit 287 mm dvs. omkring 30% lägre. Det ena ledet med grund kultivering (B) representeras av rutor med förhållandevis hög avrinning, medan den specialanpassade växtföljden (G) odlas på rutor med förhållandevis låg avrinning (Tabell 3). Därför har läckagen räknats om till att motsvara förluster med medelavrinningen varje år. Detta förändrar inte resultaten från signifikanstesterna jämfört med om de baseras på faktiskt uppmätta läckage.

Experimentfältet har måttlig fosforstatus och huvuddelen (88%) av fosforförlusten sker i partikelform. Med använd analysmetod motsvarar det partiklar och lerkolloider som fångas upp på ett membranfilter med porstorleken 0,2 µm.

För fosfor har läckaget från det strukturskalkade ledet varit signifikant lägre än från kultiverade och plöjda led (Tabell 3 och 4). Någon reduktion av läckaget av de (låga) mängderna löst reaktiv fosfor (DRP) har däremot inte kvantifierats efter strukturskalkningen. pH i matjorden var i genomsnitt 6,4 före strukturskalkningen. Efter denna (hösten 2007) var pH i dräneringsvattnet i genomsnitt 7,3 från strukturskalkade rutor och 6,6 från övriga rutor. Tre år efter kalkningen (sommaren 2010) var pH 6,7 i dräneringsvattnet från strukturskalkade rutor och 6,5 från övriga rutor.

Fosforförlusterna från kultiverade led har tenderat att vara högre än från plöjda led. Om radmyllning av mineralgödsel (D) gav lägre totalfosforläckage 88/09 och 09/10 än vid bredspridning (E) kan inte utläsas eftersom de senare försöksrutorna tenderade att uppvisa högre fosforförluster redan vintern 07/08, innan någon vårspridning av mineralgödsel hunnit ske. Det fanns en tendens att läckaget med den partikelbundna fosfor var låg vid träda år 09/10 (0,52 jämfört med 0,67 kg/ha år). Detta var den första vintern med tätare grässvål.

För kvävet har läckaget varit lägre vid grund kultivering jämfört med plöjning (Tabell 4). Det gällde speciellt vintern 08/09 då också kväveläckaget efter höstvetet (led G) varit förhållandevis lågt (Tabell 3). Kvoten mellan kväve och fosfor (Tabell 3) har varit hög (12:1 - 63:1). Endast från ogödslad träda vintern efter insådden (09/10) tangerade kvoten mera kritiska låga värden (8:1). Värden under 8:1 anses gynna blågrönbakterier och alger.

Infiltration Marken vid experimentfältet kännetecknas av snabb infiltration genom stabila porer som har en stor rumslig variation. Den mättade hydrauliska konduktiviteten varierade mellan 0,6 och 6,2 cm/tim i alven (0,25-1,0 m djup) uppmätt våren 2010 med den s.k borrhålsmetoden. Alven är blöt och strukturlös under en stor del av året. Ingen utplanad jämviktinfiltration har uppmätts med permeameter, utan infiltrationen har nästan alltid uppmätts som linjär mot tiden. En vecka efter 80 mm:s nederbörd och hög markfuktighet sommaren 2008 uppmättes följande medianvärdena; vid 1 mm:s tension 190 cm/tim vid 3 mm:s tension 30 cm/tim, vid 6 mm tension 3 cm/tim och vid 10 mm:s tension nästan 0. Detta visar att stora markporer och sprickor dominerar vattentransporten och att igensvällningen av leran sker långsamt.

Tabell 3. Medelvärden varje år mellan fyra parallella försöksrutor som representerar olika åtgärder. Avrinning (AVR) och förlust via dräneringsledningarna av partikelbunden fosfor (PartP), löst reaktiv fosfor (DRP), totalfosfor (TotP), nitratkväve (NO₃N) och totalkväve (TotN). Förlusterna har i tabellen justerats så att de motsvarar årets medelavrinning för samtliga rutor för att underlätta jämförelser. Resultat med olika bokstäver har haft signifikanta skillnader ($p < 0,05$) räknat på faktiskt uppmätta läckage

Led	Åtgärd	År	AVR	PartP	DRP	TotP	NO ₃ N	TotN	N/P
			(mm)	(kg/ha/år)					
E	Grund	07/08	457	0,78	0,12	0,90	23	25	28
E	Kultivering	08/09	390	0,95	0,09	1,05	14 ^a	15 ^a	14
E	Bredspredning P	09/10	488	0,73	0,10	0,82	16 ^a	18 ^a	22
<i>E Medelvärde tre år</i>			455	0,82 ^a	0,10	0,92 ^a	18 ^a	19 ^a	21
D	Grund	07/08	402	0,72	0,10	0,82	22	24	29
D	Kultivering	08/09	341	0,87	0,08	0,95	13 ^a	14 ^a	15
D	Radmyllning P	09/10	423	0,70	0,08	0,78	15 ^a	17 ^a	22
<i>D Medelvärde tre år</i>			388	0,76 ^a	0,08	0,85 ^a	17 ^a	18 ^a	21
B	Vanlig plöjning	07/08	491	0,64	0,12	0,76	22	26	34
B	Ingen gödsling	08/09	444	0,63	0,07	0,70	18 ^b	20 ^b	29
B	av P (bara NoK)	09/10	512	0,68	0,10	0,78	18 ^b	21 ^b	27
<i>B Medelvärde tre år</i>			482	0,65 ^a	0,10	0,75 ^a	19 ^b	22 ^b	29
A	Vanlig plöjning	07/08	400	0,63	0,09	0,75	25	27	36
A	Radmyllning P	08/09	314	0,43	0,08	0,51	25 ^b	26 ^b	51
A		09/10	387	0,49	0,10	0,59	27 ^b	29 ^b	49
<i>A Medelvärde tre år</i>			367	0,52	0,09	0,62	26 ^b	27 ^b	44
G	Specialanpassad	07/08	336	0,57	0,10	0,67	25	27	40
G	Växtföljd	08/09	261	0,71	0,07	0,78	15	16	21
G		09/10	355	0,59	0,10	0,66	21	23	35
<i>G Medelvärde tre år</i>			317	0,62	0,09	0,70	20	22	31
F	Vanlig plöjning	07/08	437	0,64	0,10	0,74	21	22	30
F	Insådd gräsvall	08/09	381	0,64	0,08	0,72	3 ^c	6 ^c	8
F	Ogödslad träda	09/10	469	0,43	0,10	0,52	4 ^c	6 ^c	12
<i>F Medelvärde tre år</i>			429	0,57	0,09	0,77	9 ^c	11 ^c	14
C	Strukturkalkad	07/08	443	0,35	0,09	0,44	23	25	57
C	Vanlig plöjning	08/09	452	0,44	0,07	0,51	20 ^a	21 ^a	41
C	Radmyllning P	09/10	472	0,32	0,09	0,41	24 ^a	26 ^a	63
<i>C Medelvärde tre år</i>			456	0,37 ^b	0,08	0,45 ^b	22 ^a	24 ^a	53

Tabell 4. Relativa minskningar i läckaget av partikelbunden fosfor (PartP), totalfosfor (TotP), nitratkväve (NO₃N) och totalkväve (TotN) som varit signifikanta under treårsperioden. För den ogödslade trädan som etablerades våren 2008 är beräkningen grundad på två år

	PartP	TotP	NO ₃ N	TotN
Strukturkalkning/grund kultivering	-52%	-50%	-	-
Strukturkalkning/vanlig plöjning	-36%	-35%	-	-
Grund kultivering/vanlig plöjning	-	-	-23%	-24%
Ogödslad träda/vanlig plöjning	-	-	-83%	-75%
Ogödslad träda/grund kultivering	-	-	-78%	-68%

Diskussion

Strukturkalkning Bränd kalk CaO ”quick lime” och hydratiserad (Ca(OH)₂) ”slaked lime” är kalkprodukter som används för att stabilisera leran i marken (Janz & Johansson, 2002), förbättra markstrukturen (Berglund, 1977) och förbättra skörden (Kindvall, 1999). I laboratorieförsök har en statistiskt säker ökning av aggregatstabiliteten kunnat verifieras efter tillsats av ”quick lime” till försöksplatsen (Ulén *et al.*, 2010). Med hjälp av en mikroaggregatanalys har god strukturförbättring också påvisats efter tillsats av ”quick lime” till 12 andra lerjordar (21-68% lerhalt) från Mellan- och Sydsverige (Berglund, 1977). Struktureffekter efter tillsats av kalkstensmjöl uteblev däremot nästan helt vid studier av dessa lerjordar (Berglund, 1977). Den s. k. puzzolanreaktionen är nyckeln till en effektiv och varaktig stabilisering av en kalk-jordblandning (Shi & Day, 1993). Genom denna långsamma reaktion sker en fundamental omorientering av kisel-aluminium-mineralens struktur. Den högre temperatur i marken som följer av hydratiseringen av snabbkalken har dock betydelse för puzzolansreaktionens hastighet. (Janz & Johansson, 2002). Om samma mängd snabbkalk eller hydratiserad kalk används på samma plats kan därför strukturförbättringen ske olika effektivt, speciellt vid fuktigare jord (Choquette *et al.*, 1987). Puzzolanreaktionen innebär också att effekten mildras av den pH-höjningen som blir resultatet av att den osläkta kalken hydratiseras i marken. En indikation på detta är att pH i dräneringsvattnet bara varit måttligt förhöjd efter strukturkalkningen med ”quick lime”.

En annan process är att dispergerat ler i marken snabbt kan stabiliseras med såväl släckt som hydratiserad kalk genom att det sker ett jonbyte mellan positiva joner på lerkornens ytor och kalciumjonerna från kalciumhydroxiden. Den nya laddningsbalansen gör att lermineralen omorienteras (”korthuseffekten”). Det beror på att de positivt laddade kanterna kan attraheras starkare (Rodriguez-Navarro *et al.*, 2005). Lerpartiklarna bildar aggregat (Berglund, 1971) som en följd av flockulering och agglomering (Prusinki & Bhattachaja, 1999). Jorden får också en viss motståndskraft mot svällning/krympning.

En rent kemisk bindning av lösta fosfater i vattenfasen till kalciumjonerna är också teoretiskt möjlig. Någon sådan effekt kunde dock inte skönjas på denna plats med förhållandevis låga halter löst fosfor i dräneringsvattnet.

Grund kultivering på hösten Grund bearbetning, vilket ibland också brukar kallas reducerad bearbetning, betyder att jorden inte vänds utan kultiveras med kultivator, tallriksredskap eller liknande. Bearbetningen sker till ett djup av 5-15 cm och lämnar markytan delvis täckt med skörderester. Enligt den amerikanska definitionen för reducerad bearbetning (ASAE, 2006) är minst 15 % av markytan täckt med skörderester under hela året vid reducerad bearbetning. Även om skrymtätheten ofta är högre i jordar som inte plöjts (Schønning & Thomsen, 2006) blir markprofilen ibland effektivare med att transportera vatten beroende på att det då lättare kan utvecklas stora kontinuerliga makroporer (Shipitalo *et al.*, 2000). Om en lerjord kultiveras under blöta förhållanden kan den bli kokig. Detta medför ofta problem med strukturen då jorden packas, varefter erosionen ökar (Fleige & Horn, 2000). Samtidigt ökar fosforerosionen och skördarna minskar i dessa fall (Børresen & Njøs, 1993).

Även om den potentiella risken för fosforerosion minskar vid reducerad bearbetning kan risken öka för förluster av löst fosfor via ytvatten och läckage. Vid Bornsjön, med generellt låga halter av löst fosfor i vattnet, har någon sådan effekt inte syns under treårsperioden. Internationellt har man olika erfarenheter av fosforförluster efter bearbetning till mindre djup än vid plöjning och utan att jorden vänds. En femårig studie på lerjord i södra Finland rapporterade fyra ggr så stor förlust av löst fosfor via ytvatten efter grund jordbearbetning i jämförelse med konventionell plöjning (Koskiahio *et al.*, 2002). Detta förklarades med att fosfor hade ackumulerats i övre matjorden eftersom jorden inte vänts. I en annan finsk studie diskuterades att löst fosfor frigjorts från döda växtceller som ansamlats i markytan vid reducerad jordbearbetning (Puustinen *et al.*, 2005). I en svensk lysimeterstudie förklarades samma resultat som ett resultat av upprepade frysning/tingingscykler som resulterat i söderdelning av jordaggregaten (Djodjic *et al.*, 2002). Enligt denna studie var plöjningen ingen bra åtgärd för att minska stratifieringen av fosfor och bryta kontinuiteten hos makroporer vid plöjningsdjupet. En femårig svensk fältstudie på lerjord visade stor variation i fosforförlusterna olika år, men utan några signifikanta skillnader mellan grund bearbetning och plöjning i september (Aronsson *et al.*, 2006). Sammantaget får reducerad jordbearbetning anses ha en generell potential för att minska jorderosion och partikelbunden fosfor från lerjordar som är känsliga för partikeltransport, speciellt vid stor ytvattentransport (Ulén *et al.*, 2010), men har hittills inte haft någon positiv effekt för transporten från det väl-dränerade experimentfältet vid Bornsjön.

Plöjning och enbart kultivering har utförts med bara någon dags tidsskillnad, under mitten eller slutet av september. Skillnad i kväveläckage kan bero på flera faktorer; olika markfuktighet och kväveemissioner till luften (Liu *et al.*, 2007) eller olika mineralisering och att ogräs tillsammans med spillsäd som grott kan verka som en fånggröda för kväve. En variation i kväveläckage efter enbart kultivering och efter plöjning har också observerats på lerjord i Västergötland (Aronsson & Stenberg, 2010). Skillnaderna mellan plöjning och enbart kultivering var dock inte signifikanta i genomsnitt under fem år i försöken i Västergötland.

Mängd och spridningsätt av mineralgödsel Skördeförändringar av att inte tillföra någon mineralgödsel alls har varit små. Fosforläckaget har inte heller varit lägre om man inte fosforgödslade alls jämfört med om man gödslar normalt med fosfor varje år. Bredspridningen har inte inneburit förändrad skörd jämfört med radmyllning. Under de tre åren har det varit små skillnader i den mängd fosfor som förts bort med skörden mellan de olika gödslingsstrategierna (38-44 kg P/ha). Det är antagligen först på lång tids sikt som man kan förvänta sig tydliga effekter på fosforläckaget av de olika spridningsätten.

Sammanfattning

Det tydligaste resultatet vid Bornsjön har hittills varit en mycket positiva effekt av strukturkalkning med osläckt kalk, både vad gäller fosforläckage och skörd av korn. Reducerad bearbetning i form av grund kultivering på hösten har hittills inneburit en tendens till högre fosforläckage jämfört med konventionell plöjning. Läckaget av kväve har däremot varit statistiskt lägre med enbart kultivering. Effekter av olika strategier vid gödsling med fosfor i form av mineralgödsel har hittills varit små.

Referenser

- Aronsson, H., Lindén, B., Stenberg, M., Torstensson, G., Rydberg, T. & Forkman, J. 2006. *Nutrient Leaching from a Clay Soil with Crop Rotation Including Winter Wheat and Short Fallow after Ley*. Ekohydrologi 93, SLU. 36 pp.
- Aronsson, H. & Stenberg, M. 2010. Leaching of nitrogen from a 3-yr grain crop rotation on a clay soil. *Soil Use and Management* 26, 274-285.
- ASAE. 2006. ASABE Standards. *Terminology and Definitions for Soil Tillage and Soil-Tool Relationships*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, ASAE EP291-3FEB 2005.
- Berglund, G. 1977. Mikroaggregatanalysen som testmetod vid strukturkalkning, Rapport 102, Avd. för Hydroteknik, Inst. Markvetenskap, Uppsala 1977.
- Børresen, T. & Njøs, A. 1993. Ploughing and rotary cultivation for cereal production in a long-term experiment on a clay soil in south-eastern Norway. 1. Soil properties. *Soil and Tillage Research* 28, 97-108.
- Choquette, M., Bérube, M-A. & Locat, J. 1987. Minerological and microtextural changes associated with lime stabilization of marine clays from eastern Canada. *Applied Clay Science* 2, 215-232.
- Djordjic, F., Bergström, L. & Ulén, B. 2002. Phosphorus losses from a structured clay soil in relation to tillage practices. *Soil Use and Management* 18, 79-83.
- Fleige, H. & Horn, R. 2000. Field experiments on the effect of soil compaction on soil properties, runoff, interflow and erosion. *Advances in GeoEcology* 32, 258-268.
- Haynes, R.J. & Naidu, R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, 123-137.
- Heathwaite, L., Haygarth, P., Matthews, R., Preedy, N. & Butler, P. 2005. Evaluating Colloidal Phosphorus Delivery to Surface Waters from Diffuse Agricultural Sources. *Journal of Environmental Quality* 34, 287-298.
- Janz, M. & Johansson, S-E. 2002. *The function of different binding agents in deep stabilization*. Swedish Deep Stabilization Research Centre, Report 9., 47 pp.
- Kindvall, T., 1999. *Strukturkalkning på lerjordar – effekter på markstruktur och sockerbets-skörd*. Avdelningsmeddelande – Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Markvetenskap, Avd för Lantbrukets Hydroteknik, 44 pp.
- Koskiahho, J., Kallio, K. & Puustinen, M. 2002. Reduced tillage: Influence on erosion and nutrient losses in a clayey field in southern Finland. *Agricultural and Food Science of Finland* 11, 37-50.
- Liu, X.J.J., Moister, A.R., Halvorsen, A.D., Reulec, C.A. & Zhang, F.S. 2007. Dinitrogen and N₂O emissions in arable soils: effect of tillage, N source and soil moisture. *Soil Biology & Biochemistry* 39, 2362-2370.
- Maynard, J.J., O'Geen, A.T. & Dahlgren, R.A. 2009. Bioavailability and fate of phosphorus in constructed wetlands receiving agricultural runoff in the San Joaquin Valley, California. *Journal of Environmental Quality* 38, 360-372.
- Muller-Vonmos, M. 1983. Die bedeutung der Tonmineralen für das Bodenmechanische Verhalten. *Mitteilung der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik*, Seminarum 4 Nov 1983, Friburg.

- Pacini, N. & Gächter, R. 1999. Speciation of riverine particulate phosphorus during rain events. *Biogeochemistry* 47, 87-109.
- Prusinski, J.R. & Bhattacharja, S. 2005. Effectiveness of Portland Cement and Lime in Stabilizing Clay Soils. *Transportation Research record* 1652, 215-227.
- Puustinen, M., Koskiaho, J., & Peltonen, K. 2005. Influence of cultivation methods on suspended solids and phosphorus concentrations in surface runoff on clayey sloped fields in boreal climate. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105, 565-579.
- Rodriguez-Navarro, C., Ruiz-Agudo, E., Ortega-Huertas, M. & Hansen, E. 2005. Nanostructure and Irreversible Colloidal Behavior of Ca(OH)₂: Implications in Cultural Heritage Conservation. *Langmuir* 21 (24), 10948–10957.
- Sanger, L.J., M. F. Billett M.F. & Cresser M.S. 1993. Assessment by laboratory simulation of approaches to amelioration of peat acidification. *Environmental Pollution* 81, 21-29.
- Schønning, P. & Thomsen, I.K. 2006. Screening of reduced tillage effects on soil properties for a range of Danish soils. NJF seminar 378. Tillage systems for the benefit of agriculture and the environment. NJF ISSN 1653-2015.
- Shipitalo, M.J., Dick, W.A. & Edwards, W.M. 2000. Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. *Soil and Tillage Research* 53, 167-183.
- Shi, C. & Day, R. 1993. Acceleration of strength gain of lime-pozzolan cements by thermal activation. *Cement and Concrete Research* 23 (4), 824-832.
- Ulén, B. 2004. Size and settling velocities of phosphorus-containing particles in water from agricultural drains. *Water, Air and Soil Pollution* 157, 331-343.
- Ulén, B. & Etana A. 2010. Risk of leaching from low input grassland areas. *Geoderma* 158 (3-4), 359-365.
- Ulén, B., Aronsson, H., Bechmann, M. Krogstad, T., Øygarden, L., & Stenberg, M. 2010. Soil tillage measures against phosphorus erosion and leaching and potential side-effects – a Scandinavian review. *Soil Use and Management* 26 (2) 94-107.
- Ulén, B., Bechmann, M., Etana, A., Lindström J. 2010. Structure liming and omitting ploughing as measures to reduce agricultural nutrient loading to surface waters. In 'Novel methods for reducing agricultural loading and eutrophication'. EU-COST 869 meeting Jokioinen, Finland. 13-16 June 2010.
- Uusitalo, R., Yli-Halla, M. & Turtola, E. 2000. Suspended soil as a source of potentially bioavailable phosphorus in surface runoff waters from clay soils. *Water Research* 34, 2477-2482.
- Øygarden, L., Kværner, J. & Jenssen, P.D. 1997. Soil erosion via preferential flow to drainage system in clay soils. *Geoderma* 76, 65-86.

Kommunikation av resultaten 2009/2010:

- Demonstration Bornsjön 8/10 2009 (målgrupp: finska rådgivare och myndigheter)
- Sveaförsöken vid Brunnby 12/1 2010 (målgrupp: rådgivare och lantbrukare)
- Greppa fosformöte i Skärkind 11/3 2010 (målgrupp: rådgivare och lantbrukare)
- SLU Fältforskmöte 13/4 2010 (målgrupp: forskare)
- Demonstration Bornsjöprojektet 20/4 2010 (målgrupp: finska forskare)
- Demonstration Bornsjöprojektet 11/5 2010 (målgrupp: internationella studenter, SLU)
- Demonstration Bornsjöprojektet 18/5 2010 (målgrupp: lantbrukare och representanter för Länsstyrelsen i Västmanland).
- Möte SLU 12/6 2010 (tillsammans med Karin Brink och andra representanter för "Svärtaå-projektet" och Länsstyrelsen i D län).
- Novel methods for reducing agricultural loading and eutrophication*'. EU-COST 869 meeting Joikoionen, Finland. 13-16 June 2010 (målgrupp: internationella forskare).
- Möte med rådgivare från HS Östergötland, SLU 14/10 2010 (målgrupp rådgivare)
- Nordisk workshop (Mitigation of diffuse phosphorus from agricultural land – today's knowledge and potential for future research) KSLA16/11 2010. (målgrupp myndigheter, rådgivare m fl.).