

Studier av aggregatstabilitet och risker för fosforförluster från åkermark nära vattendrag

Slutrapport över FOU projekt inom Jordbruksverkets ramprogram "växtnäringens miljöeffekter",
Dnr 25-8474/05

Ararso Etana, Thomas Keller och Barbro Ulén
Institutionen för Mark & Miljö, SLU



Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Bakgrund	3
Material och metoder	5
Resultat och diskussion	7
Slutsatser	16
Litteraturförteckning.....	17

SAMMANFATTNING

Syftet med detta projekt var att studera aggregatstabilitet och risker för fosforförluster från åkermark som ligger nära, eller i direkt anslutning till, vattendrag. Jämförande studier utfördes mellan bevuxen och obevuxen åkermark inklusive ängsmark betesmark och kantzonen, då dessa representerade olika jordtyper. Projektet har pågått i tre år och sammanlagt studerades 18 platser i syd- och Mellansverige. Jordarna domineras av mjäla, moig morän, moränlättilera, mellanlera, styv lera och mycket styv lera. Provtagningen skedde i september och oktober månad. Vid provtagningstidpunkterna var marken så pass fuktig att det gick att ta ut praktiskt taget ostörda jordprover. För att täcka in olika jordarter optimalt, och för att kunna koppla resultaten till andra studier som pågår, gjordes vissa förändringar i valet av provtagningsplatser under projektets gång. Detta ger oss möjligheter att i framtiden kunna relatera olika markegenskaper till varandra för att bättre förstå och kunna åtgärda fosforförluster från mark till vattendrag.

Partikelförlusten från obevuxen åkermark var genomgående betydligt högre än från närliggande permanent bevuxen mark. Det fanns inget generellt samband mellan växttillgänglig fosfor (P-AL tal) i matjorden och urlakad mängd totalfosfor men ett kraftigt förhöjt P-AL tal i jorden ledde till en hög förlust av löst reaktiv fosfor.

Av totalfosfor från perkolerat vatten var andelen löst reaktiv fosfor betydligt högre än partikulär fosfor oavsett jordart. Skillnaden var tydligast i södra Sverige där fosfortalet generellt var högt. Från en kantzonen som var minst 10 år gammal uppmättes nästan sex gånger så stort läckage av löst reaktiv fosfor jämfört med läckaget från den intilliggande åkermarken. Detta skulle kunna bero på en ackumulering av fosfor i kantzonen, som därmed riskerar att bli en källa för läckage av löst reaktiv fosfor i framtiden. Även om bevuxen mark kan fungera som en fosforfälla, kan det dessutom periodvis uppstå infiltrationsproblem till följd av s.k. hydrofobi. I denna laboratoriestudie dokumenterades detta problem för ett flertal jordar. Vi hoppas att ett pågående pilotprojekt och ett kommande projekt för studier av kantzonenas funktion kommer att ge mer upplysning om infiltrationen i permanent bevuxen mark.

BAKGRUND

Fosfor reglerar tillsammans med kväve uppkomsten av algblomning i sjöar och hav. En låg kvot N/P i vattnet gynnar algblomningen. Ca 60 % av fosforutsläpp till vattendrag härrör från diffusa källor, framför allt från åkermark. Att upprätthålla och förbättra landskapets retentionsförmåga för fosfor är därför en viktig del av den långsiktiga strategin för förbättrade förhållandena i Östersjön (Boesch m fl., 2005).

Intensiv gödsling av åkermark under flera decennier på 1900talet har gjort att det finns ett stort förråd av fosfor i marken. I genomsnitt var den årliga fosforgödselgivan 20 kg/ha under 1970-talet, som framför allt tillfördes i form som mineralfosfor. Därefter har gödslingen minskat, framför allt mineralgödseln.

Markfysikaliska och markkemiska egenskaper är viktiga faktorer som påverkar transporten av fosfor liksom dess omsättning. Bland markfysikaliska egenskaper räknas markstrukturen och aggregatstabiliteten som den mest avgörande eftersom fosforförluster i första hand sker genom partikeltransport, d.v.s. fosfor är bunden till jordpartiklar som eroderar via ytvattenavrinning eller dränering. Transporten kan ske via kolloidala lerpartiklar som är mycket små (Sharpley & Syres, 1979; Ulén 2004). Aggregatstabiliteten är en grundläggande markfysikalisk egenskap som är nödvändig för att bedöma markens tillstånd. Med aggregatstabilitet menar man jordens förmåga att motstå en yttre belastning t. ex. kraften från t ex regndroppar. Vid god aggregatstabilitet behåller jorden sin grundläggande struktur utan att lösas upp av regnvatten eller smältvatten. Denna egenskap är starkt beroende av jordens ler- och mullinnehåll samt av tidigare mekaniska behandling genom jordbearbetning och körningar med jordbruksredskap. Fosforförlusterna från åkermark är starkt kopplade till aggregatstabiliteten (Catt m.fl. 1998).

Syfte

Syftet med detta projekt var att studera och dokumentera risker för jord- och fosforförluster i åkermark i olika delar av landet. Insamlad data kan utnyttjas för beräkning av partikel- och fosforförluster från olika jordar. Ett syfte var också att jämföra risken för jord- och fosforförluster från odlad åkermark med motsvarande risk från permanent bevuxen mark såsom kantzoner och äng.

MATERIAL OCH METODER

Provtagningsplatser och provtagning

Jämförande studierna utfördes mellan åkermark och permanent bevuxen mark (betesmark, fleråriga vallar eller kantzoner) samt mellan olika jordar. I Tabell 1 anges provtagningsplatserna och jordarnas textursammansättning. Sammanlagt undersöktes jordar från 18 platser (fyra platser i Skåne, tre platser i Västergötland, en plats i Västmanland, två platser i Östergötland, fyra platser i Sörmland, en plats i Uppland, en plats i Dalarna och två platser på Gotland). Jordarna hade varierande lerhalt och representerade mindre lerinslag (3 st.), lättleror (2 st.), mellanleror (5 st.), styva leror (5 st.) och mycket styva leror (2 st.). En mulljord från Gotland undersöktes också. Studien startades år 2006 och pågick i tre år, med sex platser per år. Avgörande för val av provplatserna har varit närheten till vattendrag och om fältet var ett observationsfält eller låg i ett typområde som ingår i Naturvårdsverkets övervakningsprogram för jordbruksmark. Provtagning av jord skedde i de flesta fall en månad efter skörd på hösten och då marken var tillräckligt fuktig för att det skulle gå att ta ut jordprover med minsta möjliga störning.

I projektet studerades risken för förlusterna av jordpartiklar via den övre markprofilen eller ytavrinning. För att studera förluster via perkolerande vatten togs kolonnprover i matjorden med plastcylindrar (PVC) med måtten 20 cm i diameter och 20 cm höjd. Kolonnerna pressades ned i jorden med hydraulisk press (Figur 1). I relativt jämn åkermark togs fyra kolonner alternativt åtta kolonner om det förekom större jordartsvariation inom fältet. Vid samma provpunkter togs också lösa jordprover (aggregatprover) för att simulera partikelförluster från en lucker jord.

Laboratorietest

Jordproverna transporterades till Ultuna och bevarades i kylrum vid 2°C tills laboratoriearbetet påbörjades. Bestämningen av aggregatstabiliteten skedde i form av lättlösligt ler (readily dispersible clay) efter det att aggregaten försiktigt blandats med vatten. Det åstadkoms genom att varligt blanda 250 ml avjoniserat vatten och aggregatprover av storleken 8 -11,3 mm i diameter.

Lerkoncentrationen i vattnet bestämdes genom att mäta turbiditeten (grumligheten) efter att suspenderade jordpartiklar, som var < 2 µm i ekvivalentdiameter (ler) sedimenterats enligt Stokes lag (Sheldrick & Wang, 1993). Turbiditet eller grumlighet är en optisk egenskap som uppstår när ljus bryts vid passage i en vätska. För att uppskatta vätskans grumlighet bestämmer man ljusbrytning i 90° med en turbidimeter. Ju grumligare vätskan är desto mer kraftigare är ljusbrytningen. Sambandet mellan grumlighet och lerkoncentration i en vätska har visat sig vara linjärt (Czyz m. fl, 2002). Ju lägre värde på turbiditeten, ju stabilare är jordens aggregat.

Kolonnproverna preparerades och placerades under en anläggning anpassad för regnsimulering och uppsamling av dräneringsvatten (Roulier and Jarvis, 2002). Bevattning och uppsamling av dräneringsvatten gjordes tre gånger med två dygns mellanrum. Bevattning med en intensitet av 8-10 mm/timme med droppar av mycket liten storlek pågick i tre timmar vid första tillfället och i två timmar vid andra respektive tredje tillfällena. Volymen av perkolerande vatten mättes och analyserades därefter med avseende på turbiditet. Totalfosfor och löst reaktiv fosfor från varje jordkolonn analyserades i generalprover, dvs. i ett blandprov från de tre bevattningstillfällena. Partikulär fosfor beräknades som skillnaden mellan totalfosfor och löst reaktiv fosfor. I jordmaterialet från de lösa matjordsproverna bestämdes också kalcium, natrium, totalfosfor, växttillgänglig fosfor (P-AL) samt pH.

Tabell 1. Provtagningsfält och matjordens textur

Plats	Kornstorleksfördelning					Andra pågående studier
	Ler	Mjäla	Mo	Sand	Mull	
Gärsnäs, Skåne	15	17	40	28	2,5	Markövervakning
Jorberga, Skåne	30	27	28	15	1,8	Markövervakning
Pugerup, Skåne	17	17	44	22	3,9	Markövervakning
Obsfält 11M, Skåne	36	41	17	6	2,8	Observationsfält
Obsfält 4O, Västergötland	31	44	19	6	2,6	Observationsfält, markövervakning
Lanna, Västergötland	43	34	17	6	2,0	Försöksstation
Moholm, Västergötland	68	18	10	4	3,9	Observationsfält, markövervakning
Typområde U 8 Västmanland	53	29	17	1	3,8	Typområde
Obsfält 6E, Östergötland	14	13	72	1	5,0	Observationsfält, markövervakning
Kuddby, Östergötland	56	30	12	2	3,0	Markövervakning
Obsfält 1D, Sörmland	29	31	32	8	2,0	Observationsfält
Bornsjö, Sörmland	64	27	8	1	4,0	Observationsfält, markövervakning
Sjösa, Sörmland	30	20	38	12	3,0	Markövervakning
Viad, Sörmland	43	27	24	6	3,0	Observationsfält
Typområde C6 Uppland	55	25	16	4	2,5	Typområde
Milsbo, Dalarna	14	56	28	2	2,4	Erosionsstudier
Visby (mineraljord), Gotland	18	17	22	43	3,0	Försöksstation
Visby (mulljord), Gotland					60	Långliggande försök

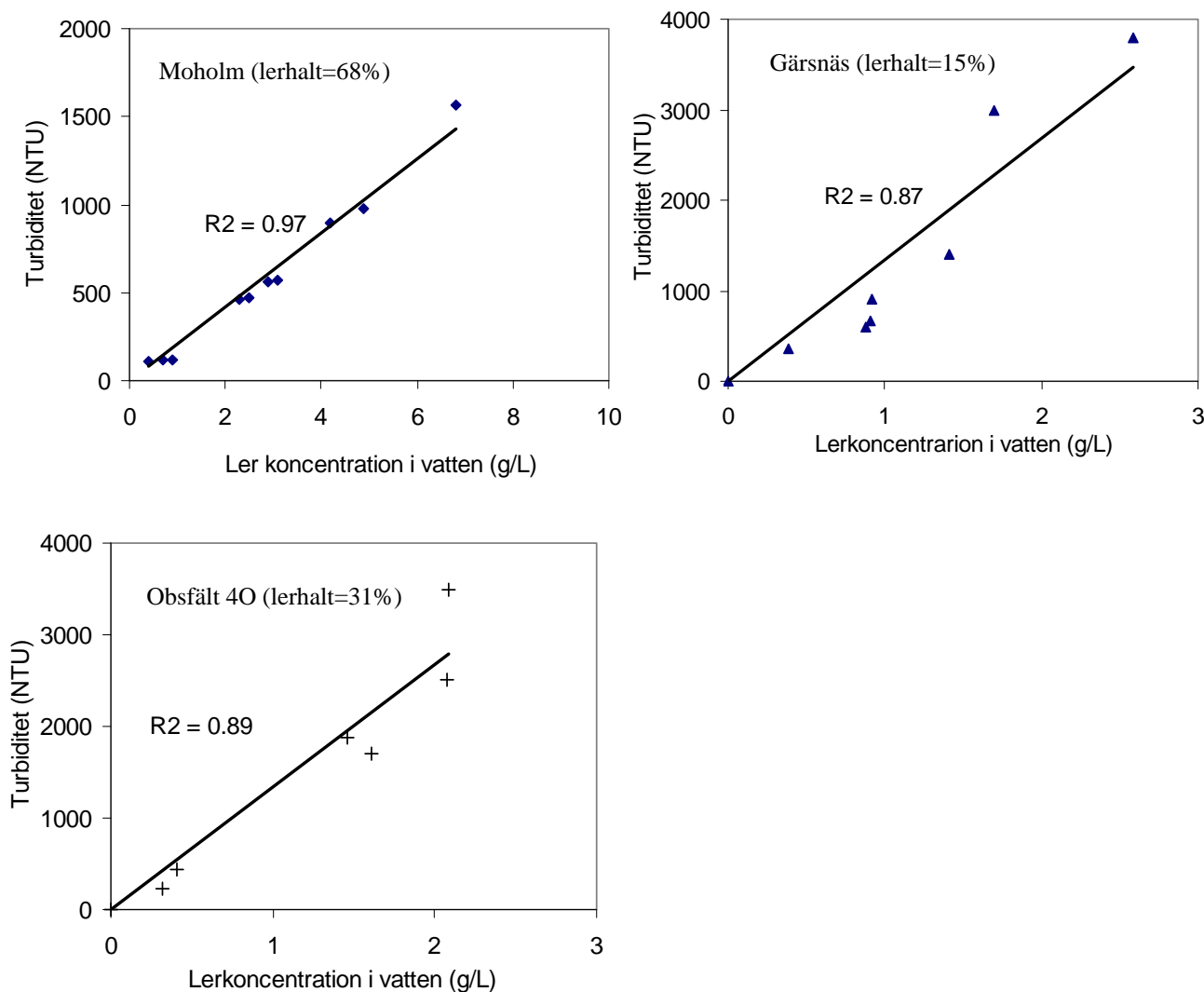


Figur 1. Provtagning av jord i kolonn med hjälp av hydraulisk press (vänsterbild) och preparerad kolonn före regnsimulering (högerbild).

RESULTAT OCH DISKUSSION

Samband mellan koncentration suspenderat ler och grumlighet (turbiditet)

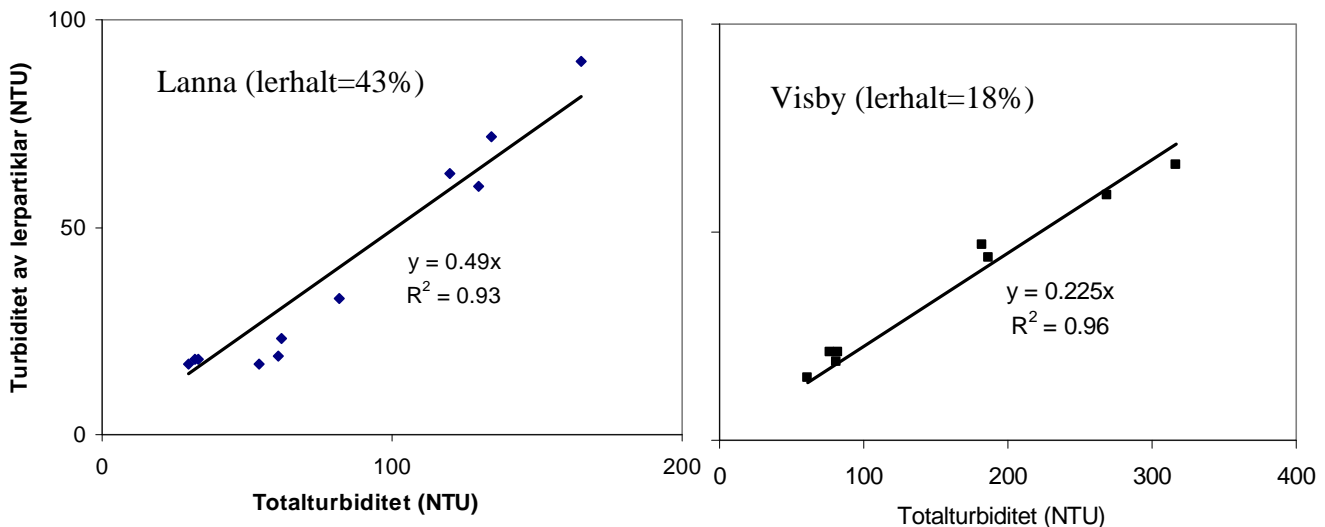
I Figur 2 redovisas sambandet mellan grumlighet och koncentrationen ler i vatten(turbiditet) för jord som representerar tre olika lerklasser. Sambandet är linjärt oavsett jordarnas lerhalt. Att mäta turbiditet är alltså en enkel och ganska säker metod för att bestämma partikelförluster, både via perkolerande vatten och som yterosion. Genom att komplettera mätningarna med bestämningen av fosfor i representativa prover uppskattades risken för förluster av partikulär fosfor från mark till vattendrag. För att få säkrare resultat mätte vi också den totala koncentrationen av suspenderat material i utvalda prover. Detta gjordes genom att mäta turbiditeten före sedimentering och korrelera den till turbiditeten som orsakas av lerpartiklar som inte sedimenterar (Figur 3).



Figur 2. Turbiditet som funktion av lerkoncentration i vatten för tre jordar.

Perkolation genom matjorden

Mängden partiklar som transporterades ner genom matjorden via perkolerande vatten varierade mellan de tre bevattningsmomenten samt i vad mån markytan var täckt med vegetation. Mängden partiklar från åkerjordar utan gräs var större än den från permanent bevuxen mark för 14 av de 18 platserna. En trolig orsak till skillnaderna var förekomsten av s.k. hydrofobi. Denna uppkommer då attraktionskrafterna mellan vatten och jordpartiklar (adhesionen), är lägre än mellan vattenmolekylerna (kohesionen). Mineraljordar har i regel mycket hög ytspänningsenergi varför de är hydrofila. Organiska substanser däremot har låg ytspänningsenergi och har därför hydrofoba egenskaper. Substanser från både levande och döda växter och mikroorganismer kan orsaka hög halt av organisk substans och därmed bidra till hydrofobi. Denna inträffar oftast i samband med torrperioder och varar från några sekunder upp till flera veckor, och dess förekomst är mer sannolik i mark med permanent vegetation än i plöjd mark (Doerr m fl., 2000; Doerr m fl., 2006). I figur 4 jämförs vattenföring i prover med och utan permanent vall. Skillnader i utflöde mellan åkermark och permanent bevuxen mark blev allt mindre efter ökat antal bevattningstillfällen men var fortfarande tydlig för åkermark efter det sista bevattningstillfället.



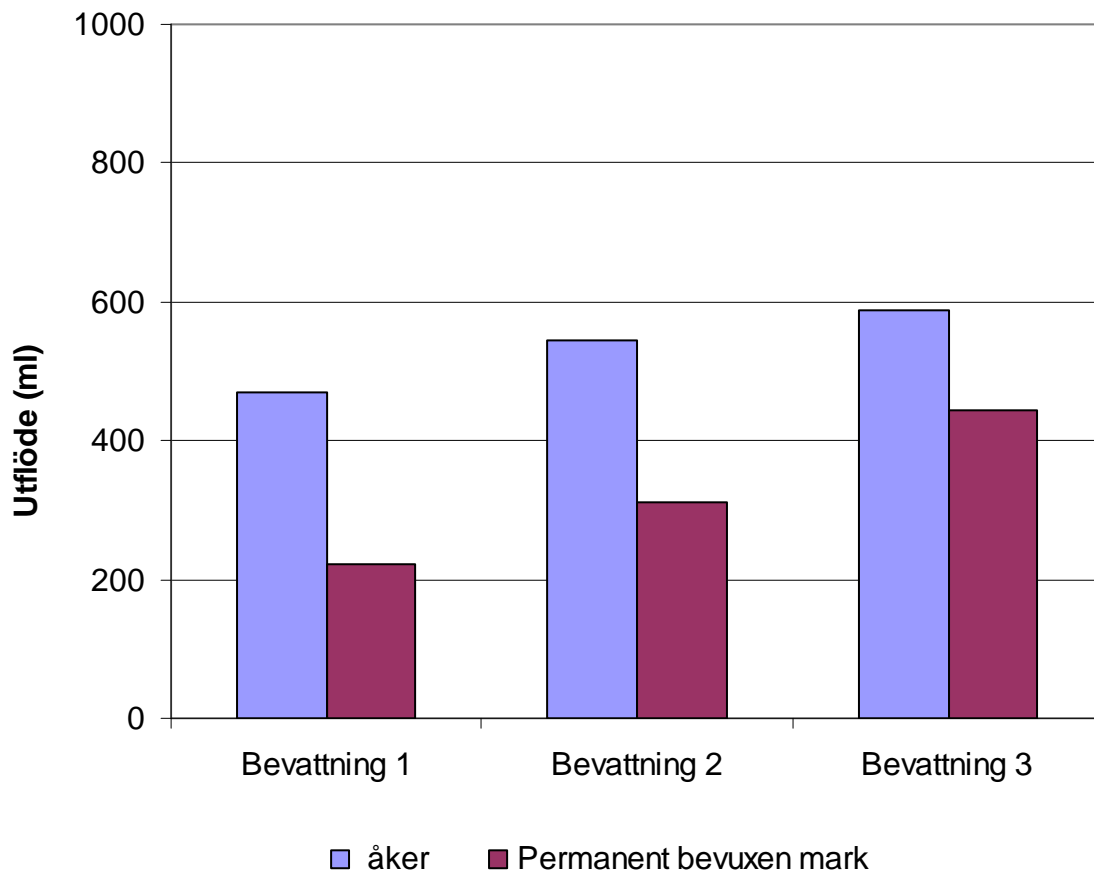
Figur 3. Samband mellan turbiditet förorsakad av lerpartiklar i perkolerande vatten och av jord uppslammad i vatten för två jordar (Lanna och Visby).

Tabell 2. Mängden perkolerande vatten och dess turbiditet efter regnsimulering

	Mängd vatten (ml)				Turbiditet av dräneringsvatten (NTU)			
	Bevattning 1	Bevattning 2	Bevattning 3	medeltal	Bevattning 1	Bevattning 2	Bevattning 3	medeltal
Gärnsås:								
åker	611	524	539	558	10	13	14	12
vall	542	425	436	468	19	23	12	18
Jordberga:								
åker	459	276	283	339	24	24	16	21
kantzön	450	395	407	417	13	19	16	16
Pugerup:								
åker	525	473	558	519	8	9	7	8
vall	464	444	507	472	3	3	2	3
Obsfält 11M								
åker	774	448	471	564	58	69	62	63
kantzön	421	446	463	443	9	46	50	35
(vall)	602	318	333	417	7	20	25	17
Onsfält 40:								
åker	560	333	375.2	423	44	55	59	52
vall	187	267	217	223	43	48	35	42
Kantzön	436	459	503	466	24	32	24	27
Lanna:								
åker	802	875	987	888	72	144	151	122
vall	798	882	990	890	16	64	77	52
Moholm:								
åker	656	578	569	601	87	103	94	94
kantzön	690	431	395	505	46	93.25	58	66
Typområde U8:								
åker	483	453	452	463	149	145	220	171
kantzön	151	259	227	212	123	139	152	138
Obsfält 6E:								
åker	386	522	421	443	13	24	19	19
kantzön	206	260	551	339	8	8	29	15
Typområdet E24:								
åker	390	239	735	454	71	214	130	139
betesmark	319	226	733	426	102	70	83	85
Obsfält 1D:								
åker	525	631	704	620	184	135	245	188
betesmark	264	434	536	411	69	143	247	153
Bornsjö:								
åker	443	534	575	510	85	133	172	130
vall	62	90	146	99	22	50	41	38
Sjösa:								
åker	433	508	667	536	88	142	189	140
betesmark	328	338	737	467	99	122	60	94
Viad:								
åker	617	595	694	635	274	267	329	290
vall	318	336	205	286	37	87	107	77
kantzön	322	430	255	335	26	65	78	56
Typområde C6:								
åker	489	528	472	496	165	59	83	102
kantzön	308	425	398	377	70	28	26	41
Milsbo:								
åker	488	654	571	571	14	15	16	15
betesmark	0	0	56	19	-	-	10	9
Visby, mineraljord:								
(åker)	491	349	514	451	10	15	27	17
kantzön	762	701	619	694	6	16	28	16
Visby, mulljord:								
åker	601	845	692	713	6	7	5	6
vall	364	782	618	588	6	5	5	5

Partikelförlust med perkolerat vatten

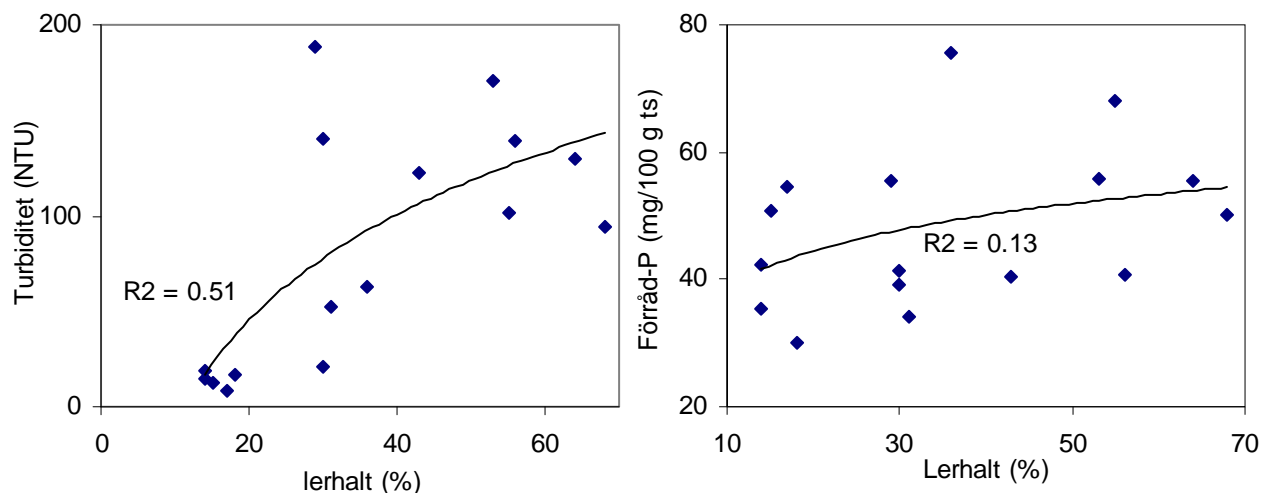
Turbiditeten eller partikelkoncentrationen i dräneringsvatten redovisas i Tabell 2. Som väntat var turbiditeten större vid ökad lerhalt, men sambandet mellan de två parametrarna var inte linjärt (Figur 5). För tio av åkermarksprover mättes stigande turbiditet vid upprepade bevattningstillfällen. Detta kan bero på att mycket av vattentransporten skedde via makroporer i början av försöket men att det med fortsatt bevattning uppslammades allt mer jordpartiklar. För 17 av de 18 jordarna var partikelförlusterna lägre eller mycket lägre i prover från permanent bevuxen mark än i åkermark. Detta visar att skydds-zoner har en stor potential att minska förlusterna av jordpartiklar och därmed också av ett ämne som fosfor som adsorberar på jordpartiklarna. Samtidigt bör man beakta att en nedsatt förmåga för vattnet att perkolera genom marken kan leda till ökad erosion.



Figur 4. Mängd perkolerande vatten vid upprepade bevattning från 9 platser med obevuxen åker och permanent bevuxen mark. .

Uppslamning av ler från aggregat

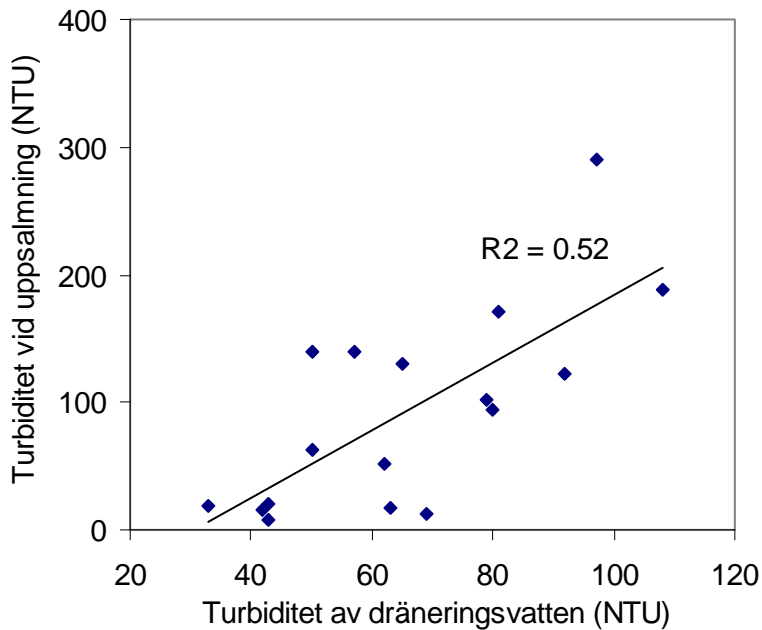
I Tabell 3 redovisas turbiditet av upplöst ler från jordaggregaten. Turbiditeten från lerpartiklar i perkolerande och uppslammat vatten var svagt korrelerade till varandra för åkermark men utan någon som helst motsvarande korrelation för permanent bevuxen mark (Figur 6). För 15 av de 18 platserna noterades lägre partikelförluster i prover från permanent bevuxen mark än från åkermark. Motsvarande siffra för turbiditeten i perkolerande vatten var 17 provplatser.



Figur 5. Samband mellan lerhalt och turbiditet (vänster) samt mellan lerhalt och förrådsfosfor (höger).

Tabell 3. Turbiditet av upplöst ler från aggregat

Plats	Åker	Permanent bevuxen mark
Gärsnäs	69	54
Jordberga	43	74
Pugerup	43	27
Obsfält 11M	50	47
Obsfält 4O	62	42
Lanna	92	53
Moholm	80	60
Typområde U8	81	43
Obsfält 6E	33	21
Typområdet E24	50	46
Obsfält 1D	108	41
Bornsjö	65	71
Sjösa	57	25
Viad	97	30
Typområde C6	79	56
Milsbo	42	25
Visby 1	63	41
Visby 2	12	3



Figur 6. Korrelation mellan turbiditet för kolonner och aggregat från åkermark.

Markkemiska egenskaper

I Tabell 4 redovisas markkemiska data för matjorden. Den totala ytan av jordmassa (specifika ytan) ökar med avtagande partikelstorlek. Till följd av detta har lerjordar en stor förmåga att binda fosfor (Brady, 1991). Totalfosforhalten i vattnet var i föreliggande studien inte korrelerad till lerhalten. Det fanns inte heller något direkt samband mellan förrådsfosfor i marken (P-HCl) och växttillgänglig fosfor (P-AL). Stor mängd fosforförråd (88 mg/100g torr jord) samvarierade dock med ett högt P-AL-värde för Viad och typområde C6 (18 resp. 20 mg). Det fanns också en svag positiv korrelation mellan kalcium och lerhalt framför allt i den mullrika jorden på Gotland som är kalkrik.

Tabell 4. Matjordens innehåll av olika katjoner och fosfor (mg/100 g torr jord) och pH

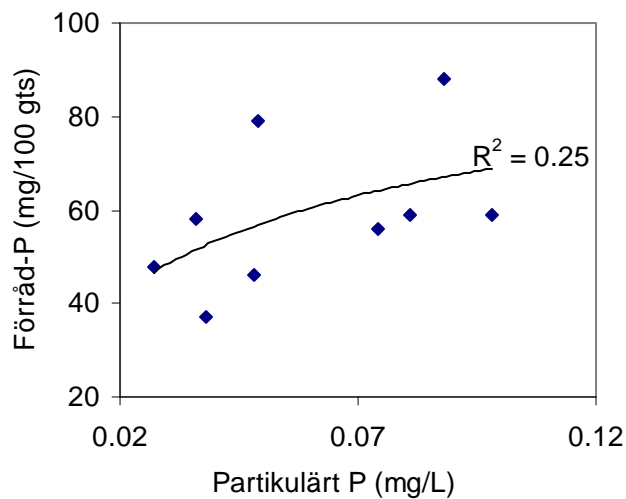
Plats	Ca-AL	Na-AL	P-AL	P-HCl	pH
Gärsnäs	285	3,6	5,1	56	7,1
Jordberga	383	3,3	8,8	48	7,0
Pugerup	260	2,2	3,3	58	6,1
Obsfält 4O	468	3,1	3,3	79	6,4
Obsfält 4O	177	2,8	2,9	37	6,6
Lanna	259	2,8	3,5	44	6,7
Moholm	372	5,5	2,9	53	6,8
Typområde U8	267	4,3	3,3	59	6,0
Obsfält 6E	77	1,4	8,7	45	5,3
Typområdet E24:	359	4,8	8,3	49	6,8
Obsfält 1D	158	3,0	3,6	59	5,8
Bornsjön	373	3,2	3,6	59	6,1
Sjösa	232	1,7	4,8	46	6,4
Viad	163	1,3	18,2	88	5,9
Typområde C6	406	1,9	20,0	88	6,4
Milsbo	113	3,9	6,6	49	6,0
Visby 1	620	1,7	8,9	39	7,0
Visby 2	3100	7,2	6,6	63	7,2

Fosforförluster med perkolerande vatten

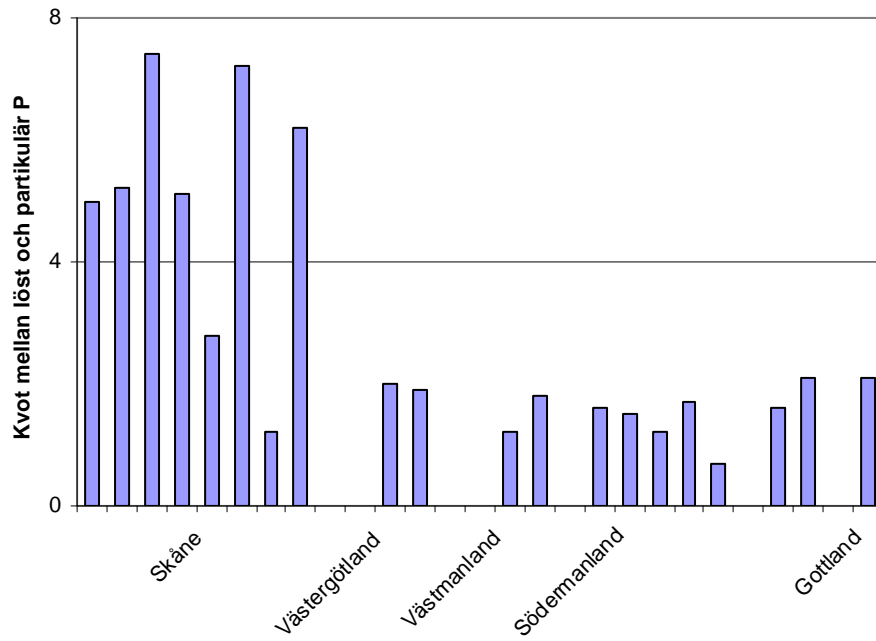
Det var en stor variation i förlusten av partikulär och löst reaktiv P i de undersökta proverna (Tabell 5). Det fanns en tendens att koncentration partikulär fosfor i dräneringsvatten ökade med stigande lerhalt (Figur 7) men korrelationen var ej statistiskt signifikant. En stor del av totalfosfor i dräneringsvatten var i löst form, endast i en av 20 platser var koncentrationen löst reaktiv fosfor lägre än koncentrationen partikulär P. På en plats (Obsfält 11M) var halten löst P i perkolerande vatten från kantzon fem gånger så stor som från den övriga åkermark som odlades, men det var nästan lika stor mängd partikulär P i båda. Detta visar hur ansamling av fosfor i skyddszonen kan leda till stora fosforläckage på sikt. Kvot mellan löst reaktiv och partikulärt bundna fosfor visade att det fanns en stor risk för utlakning för många av platserna i södra Sverige (Figur 8). Det generellt högre P-AL-talet är ett tecken på att jordarna här är mer mättade med fosfor än i norra Sverige. Att halten löst reaktiv fosfor var högre än halten partikulärt bunden fosfor skulle också kunna bero på att nedbrytande växtmaterial släppt från sig fosfor och vid högre P-AL tal i marken är också fosforhalten i vegetationen högre. Partikelförlusterna var relativt låga jämfört om proverna tagits i början av växtsäsong då en nyligen bearbetad jord med outvecklat växttäckte ofta medför en svag struktur.

Tabell 5. Partikulärt bunden fosfor (P P) och löst reaktiv fosfor (DRP) och kvoten DRP/PP i vatten som perkolerat genom jordkolonner som representerar odlad åker, flerårsvall eller kantzon (KZ)

Beteckning	Partikulärt P	PO4-P F	Kvot- DRP/ PP*
Gärnsnäs åker	0,074	0,374	5,0
Gärnsnäs vall	0,193	1,003	5,2
Jordberga åker	0,027	0,199	7,4
Jordberga kz	0,104	0,532	5,1
Pugerup åker	0,036	0,100	2,8
Pugerup vall	0,023	0,166	7,2
Obsfält 11M åker	0,049	0,059	1,2
Obsfält 11M KZ	0,052	0,322	6,2
Obsfält 40 åker	0,038	0,074	2,0
Obsfält 40 KZ	0,062	0,119	1,9
Typområde U8 åker	0,081	0,097	1,2
Typområde U8 KZ	0,094	0,173	1,8
Obsfält 1D	0,149	0,244	1,6
Bornsjö åker	0,050	0,076	1,5
Bornsjö KZ	0,098	0,114	1,2
Sjösa åker	0,051	0,088	1,7
Sjösa KZ	0,048	0,033	0,7
Typområde C6 åker	0,088	0,512	5,8
Typområde C6 vall	0,042	0,199	4,7
Visby, mineraljord	0,043	0,091	2,1



Figur 7. Partikulärt bunden fosfor som en funktion av markens förråd av fosfor (P-HCl).



Figur 8. Kvot mellan löst reaktiv och partikulär fosfor (för detalj se Tabell 5).

Slutsatser

- Efter en jordprovtagning i åkermark då jorden var förhållandevis stabil, var partikel-förlusterna efter regnsimulering betydligt högre från denna än från närliggande permanent bevuxen mark.
- Det fanns inget generellt samband mellan växttillgänglig fosfor och urlakad fosfor i allmänhet, men ett kraftigt förhöjt hög P-AL tal i jorden visade sig medföra en ökad risk för hög förlust av löst reaktiv fosfor.
- I det perkolerande vattnet var andelen löst reaktiv fosfor i förhållande till totalfosfor var högre än andelen partikulär fosfor oavsett jordart. Skillnaden var tydligast i södra Sverige där fosfortalet generellt var högt för de undersökta platserna.
- I perkolerande vatten från ett fält med en över 10 år gammal kantzon uppmättes nästan sex gånger så stort läckage av löst reaktiv fosfor jämfört i vatten från en vanlig åkermark. Detta skulle kunna bero på en ackumulering av fosfor i kantzoner, som därmed kan bli källa för fosfor i framtiden.
- Även om bevuxen mark tycks kunna fungera som en fosforfälla, kan det uppstå infiltrationsproblem. I denna laboratoriestudie dokumenterades detta för ett flertal jordar.

LITERATURFÖRTECKNING

Boesch, D. F., Hechky, R., Schindler, D. & Seitzinger, S. 2005. Expert evaluation of the eutrophication of the seas surrounding Sweden. <http://www.internat.naturvardsverket.se>

Brady, N.C. 1991. The Nature and Properties of Soils. Macmillan Pub. Comp. (10th ed.). 621 s.

Catt, J.A, [Howse, K.R](#), [Farina, R](#), [Brockie, D .](#), [Todd, A](#), [Chambers, B.J](#), [Hodgkinson, R](#), [Harris, G.L](#) & [Quinton, J.N](#). 1998. Phosphorus losses from arable land in England. [Soil Use and Management](#),14:168-174.

Czyz, E. A., Dexter, A.R, & Terelak, H. 2002. Content of readily- dispersible clay in the arable layer of some Polish soils. I: Marcello Pagliai & Robert Jones "Sustainable Land Management – Enviromental Protection". Advances in Geology, Catena Verlag, Germany. 115-124.

Doerr, S.H, Shakesby, R.A. & Walsh, R.P.D. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. Earth Science Reviews 51, 33-65.

Doerr, S.H, Shakesby, R.A., Dekker, L.W. & Ritsmea, C.J. 2006. Occurrence, prediction and hydrological effects of water repellency amongst major soil and land-use types in a humid temperate climate. European J Soil Sci, 57, 741-754.

Jaramillo, D.F., Dekker, L.W., Ritsema, C.J., Hendrivkx, J.M.H. 2000. Occurence of soil water repellency in arid and humid climates. J. Hydrology, 232 (105-111).

[Roule, S.](#) & Jarvis, N., 2003. Modeling macropore flow effects on pesticide leaching: inverse parameter estimation using microlysimeters. J. environ. Qual. 32, 2341-2353.

Sharpley, A.N. & Syres, J.K. 1979. Water, Air and Soil Pollution 11: 417-428.

Sheldrick, B.H. & Wang, C. 1993. Particle size distribution, 499-511 I: Martin R. Carter (redactor), Soil Sampling and Methods of Analysis, Canadian Soc. Soil Sci., Lewis Publishers, 823 s.

Ulén, B. 2004. Size and settling velocities of phosphorus-containing particles in water from agricultural drains. Water, Air and Soil pollution, 157: 331-343.