

# Långtidsförändringar i läckage av växtnäring och kvalitén hos grundvattnet för ett jordbruksfält i södra Halland

Barbro Ulén, Avd Vattenvårdslära, SLU

**Sammandrag** Målet med denna studie var att kvantifiera långtidseffekter (1977-2004) hos dräneringsvatten och grundvatten av nya jordbruksmetoder och av minskad belastning av sur nederbörd. Ett intensivt odlat fält med sandjord i Halland studerades och jämfördes med närbelägna experimentrutor. Trenderna i dräneringsvattnets kemiska sammansättning jämfördes med motsvarande trender i nederbörden och grundvattnet för fältet. Modifierad växtföljd med stort inslag av fånggrödor minskade medelkoncentrationen nitratkväve ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) i dräneringsvattnet signifikant från 13,0 till 7,2 mg/l. Växtföljden befanns också vara en effektiv åtgärd mot höga  $\text{NO}_3\text{-N}$  koncentrationer i det mera ytliga grundvattnet (1,7 m under markytan). Graden av fosformättnad (DPS) i alven, beräknades vara 10 resp. 9 % med två olika laboriemetoder och de motsvarades av en konstant medelkoncentration av löst reaktiv fosfor (DRP) i dräneringsvattnet på 0,006 mg/l. Minskad belastning av sur nederbörd åtföljdes av minskad trend sulfatsvavel,  $\text{SO}_4\text{-S}$  (3 % under 24 år) i dräneringsvattnet. Förändrad odling reducerade effekten av den sura belastningen till marken och alkaliniteten hos dräneringsvattnet visade en långsam men signifikant positiv trend på 0,4 % under 24 år.

## Bakgrund

Åtgärder för att minska näringsläckage till sjöar, vattendrag och till grundvatten har blivit ett allt viktigare ämne för jordbruket. Sedan 1970-talet har man lagt stor vikt vid förlusterna av kväve (N) och fosfor (P) till ytvatten och läckage av nitrat ( $\text{NO}_3$ ) till grundvatten (Gustafson, 1983; Gustafson, 1987). Under 1990-talet kom flera lagar om djurtäthet och stallgödselhantering (Ulén et al., 2004). Dessa är strängare för de känsliga kustområdena i de södra delarna av landet där man också har regler om vintergrön mark. Under 1990-talet gick Sverige med i EU och man introducerade bidrag för fånggrödor i de södra delarna av landet. Responsen hos lantbrukarna var liten tills år 2001, när det tillkom nya och förbättrade bidrag (Ulén & Fölster, 2006). Nyligen såg man över djurtäthetsreglerna och mängden stallgödsel som tillförs svenska jordar är nu de hårdast reglerade i Europa.

Fånggrödor är snabbväxande grödor som används för att minska mängden vattenlöslig växtnäring i jorden vid perioderna utanför den ordinarie växtsäsongen. Vanligast är att så in rajgräs under våren. Många studier har visat att detta gräs har ett växtmönster som är lämpligt för att fånga mineralkvävet i jorden eftersom det växer snabbt under hösten (Torstensson, 1998; Torstensson & Aronsson, 2000), och inte konkurrerar med huvudgrödan (Kvist, 1992; Anderssen & Olsen, 1993; Ohlander et al., 1996; Bergqvist et al., 2002). Upprepad odling med rajgräs under flera år kan bevara, eller t.o.m. förbättra jordens innehåll av organiskt material (Aronsson, 2000).

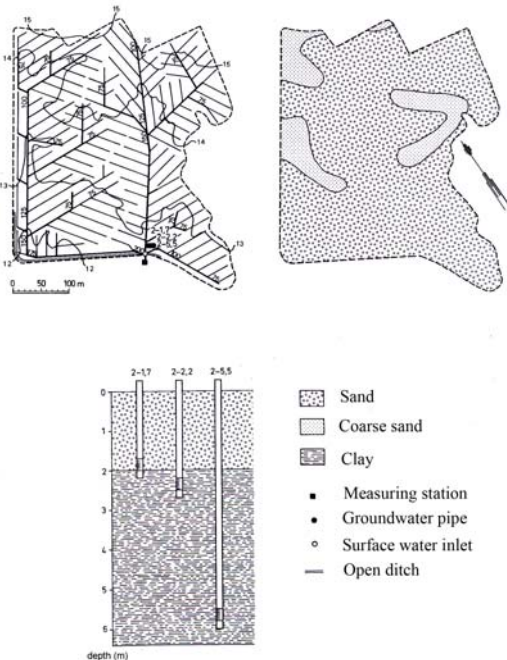
Fosforförluster från enskilda fält har framför allt utvärderats med ett riskindex (Djodjic & Bergström, 2005a) som baserats på fosformätningar från enskilda fält (Djodjic & Bergström, 2005b). Fosfor i vattnet kan antingen bindas till partiklar och kolloider, eller uppträda i löst form. Löst reaktiv fosfor (DRP) kan fixeras till markpartiklar, antingen genom adsorption som anjoner eller bindas till järnmineraller. Därför är sorptionskapaciteten för fosfor i jordprofilen en viktig faktor för fosforindex, som i sin tur är relaterad till bl a graden av fosformättnad (DPS). För denna karakterisering har man föreslagit dels en laboriemetod genom vilken fosforsorptionen för en viss jord härleds från fosforkoncentrationen i lösningen efter tillsats av en större dos fosfor (Börling et al., 2001), och dels en förenklad kemisk metod baserad på förhållandet mellan fosfor och summan av aluminium (Al) och järn (Fe) i det sura extraktet (Ulén, 2006). Dessa båda metoder har emellertid inte utvärderats tillsammans. De har heller inte satts i relation till den rumsliga variationen inom ett fält så att man kan föreslå en lämplig provtagningsstrategi för denna markindikator.

För att vara ett effektivt och miljövänligt gödselmedel ska stallgödsel leverera lösta oorganiska näringsämnen vid den tidpunkt då grödan behöver dem. Om näringsämnena från stallgödseln frigörs för sent under växtsäsongen, eller efter det att grödan skördats, kan de potentiellt läcka genom den omättade zonen och förorsaka stora läckageförluster via dräneringsledningarna (Bergström & Kirchmann, 1999; Kirchmann et al., 2002). Därför bör man undvika stora stallgödselgivor och för att gödsla med precision kan man överväga att kartera fosformättnadsgraden i jorden och hur den varierar inom fältet.

En annan faktor som kan påverka vattenkemin är den sura nederbörden. Under flera decennier har framför allt sydvästra Sverige påverkats av surt nedfall som fört med sig stora mängder svavel (S) och kväveföreningar som kommer från atmosfärsreaktioner med svavel och kväveoxider. Dessa har sitt ursprung från industriell förbränning. En del kväve kommer också från ammonium från djurbesättningar och från stallgödselspridning. När man utvärderar grundvattenresurserna på basis av trender för näringsbelastningen från jordbruket bör man därför också utvärdera förändringar som beror på ändrad belastning av försurande ämnen. Det sura nedfallet har minskat betydligt under senare år och det finns också en tendens till minskad kvävedeposition. I luft- och nederbördsprogrammet (Lövblad et al., 2002) har man registrerat signifikanta minskningar i ammoniumkväve

(NH<sub>4</sub>-N) och sulfatsvavel (SO<sub>4</sub>-S) och ökande pH i nederbörden under perioden 1980-2002. För närvarande befinner sig Sverige i ett tidigt stadium av återhämtning från försurningen (Warfinge & Bertills, 2000), men återhämtningen är relativt måttlig jämfört med i t ex Tjecken (Evans et al., 2001). Framför allt innebär bortförsl av baskatjoner med skörden en försurning såvida man inte kalkar jorden (Bergström & Gustafson, 1985; Debreczeni & Kismányoky, 2005). Förändrad tillförsel av baskatjoner med gödselmedel och aktiva geokemiska processer kan också resultera i trender i dräneringsvatten och grundvatten. Tidsskalan för återhämtningen från försurningen påverkas alltså av flera kemiska processer i marken såsom vittring, katjonbyte och sulfatadsorption. För att följa sådana förändringar är långtidsstudier viktiga. För en djupare förståelse av processerna är det önskvärt att kunna separera de komponenter som kommer från grundvattnet från dem som kommer från markvattnet (Langan & Hirst, 2004), men detta ligger utanför den här studien.

Ett övervakningssystem baserat på studier av enskilda fält och underliggande grundvatten startade omkring 1975 för att göra det möjligt att systematiskt utvärdera långtidstrenderna i vattenkvaliteten. Programmet består för närvarande av 13 dränerade fält varav många har följts i mer än 28 år. De flesta fält är utrustade med grundvattenrör. I den här studien diskuteras näringsförluster för fält N12, som är beläget sju kilometer från Laholmsbukten. Jordbruket i detta område är intensivt med hög djurtäthet. Det övervakade fältet ligger sex kilometer från långtidsstudierna med försöksrutor vid Mellby, där närsaltsförluster följts sedan 1986. Det finns tre mål med den här studien: 1) Att relatera fosforförlusterna till jordprovtagning och markanalytiska strategier; 2) att uppskatta mängder och trender för näringsläckage i relation till jordbruksåtgärdrna och 3) att bestämma allmänna kemiska trender i dräneringsvattnet och grundvattnet.



Figur 1. Fält N12 inom miljöövervakningen av jordbruksmark: dräneringskarta, jordkarta och jordprofil med grundvattenrör.

## Material och metoder

### Mätutrustning och geokemisk beskrivning

Fältet (14,5 ha) är beläget 12-15 m över havsytan, och har en lutning på i genomsnitt 1,4% (Figur 1). De övre 1-2 m lagren av profilen innehåller både finare och grövre vattensorterad sand över en botten av djup ogenomtränglig marin lera. Dräneringssystemet installerades 1975 och dräneringsvattnet leds till ett Thomsonöverfall i en underjordisk mätstation. Parvisa grundvattenrör installerades nära mätstationen samma år. Grundvattenrören har slitsar för intag av vatten på olika djup under markytan (1,7 m, 2,2 m och 5,5 m). De två rören med intaget vid 1,7 m djup är beläget i lager med sand strax ovanför lerlagret, medan intaget i de andra två paren med grundvattenrör är belägna i leran under de dränerade lagren med sand (Figur 1). Det infiltrerande vattnet strömmar i huvudsak i det sandiga jordtäcket till en dalgång söder om fältet. Nästan allt grundvatten i sandlagren härstammar från nederbörd som infiltrerar på fältet. Eftersom detta vatten inte perkolerar ner genom lerlagren rinner det alltid mycket vatten genom dräneringssystemet och den årliga avrinningen är i medeltal så hög som 400 mm. Berggrunden består huvudsakligen av kvarts, kaliumfältspat och plagioklas och möjligen också en del pyrit (Sjöström, 1993).

### *Markparametrar och odlingsmetoder*

Intensiv jordprovtagning genomfördes 1993 och följdes upp extensivt 2005. Texturen i matjorden är 10% lera, 18% mjåla och 72% sand-mo och matjorden har ett innehåll av kol (C) på 3,7% och en kvot C/N på 18. Jorden är lätt sur; pH är 6,3 i matjorden och i alven. Jorden kan inte definieras som en kalkjord eftersom den inte reagerar synligt med syra och eftersom koncentrationen CaO är låg (0,2 %). Den effektiva basmättnaden är hög; 94 % i matjorden och 86 % i alven, beräknad från mängden utbytbara baskatjoner extraherade i 0,1 M bariumklorid och dividerat med effektiva katjonbyteseffektiviteten, CEC, (dvs. summan av utbytbara baskatjoner och aciditeten).

För att utvärdera kapaciteten att sorbera fosfor togs 136 jordprov jämt fördelade över fältet och som representerande 4 djup. Sorptionsindex (PSI) bestämdes med en metod enligt Börlling et al. (2001), vilket innebär att fosforupptaget utvärderas efter en tillsats av löst reaktiv fosfor (DRP) till en blandning av jord och vatten. En sur lösning av ammoniumlaktat användes för extraktionen av jorden enligt Egnér et al. (1960). Dessutom analyserades kalcium (Ca-AL), järn (Fe-AL) och aluminium (Al-AL) i detta extrakt förutom den vanliga bestämningen av fosfor (P-AL). Resultatet räknades om till graden av fosformättnad (DPS) som kvoten mellan P-AL dividerat med summan av Fe-AL och Al-AL på molbasis enligt Ulén (2006). Jämförelse gjordes mellan två oberoende uppsättningar med jordprov. Den ena togs i ett ruttmönster med 77 m avstånd, medan det andra togs längs 3 transekter (120-260 m) med 50 m avstånd, som täckte de största slutningarna på fältet.

Fältet ingår i gårdens normala drift. Information om gödsling, skörd och andra odlingsåtgärder erhöles från brukaren av fältet. Gården hade svinproduktion fram till år 2002 och under perioden 1976-1990 applicerades flytgödsel från svinen relativt ofta. När Sverige gick med i EU var fältet i träda (1991-1992). Därefter har det odlats med en modifierad växtföljd ofta med insädd av rajgräs (*Lolium perenne* L.). Fältet får fortfarande relativt mycket gödsel eftersom man odlar potatis och sockerbetor (Tabell 1). År 2002 fick fältet ny ägare och kom att ingå i en mjölkgård. Under senare år har man därför spridit fast stallgödsel av nöt på fältet.

### *Förändringar i provtagning och analysprogram*

Sedan installationen har vattennivån över Thomsonöverfallet registrerats kontinuerligt med en skrivande pegel. Diagrammen har digitaliserats på timbasis och vattenflödet har beräknats. Under senare år har registreringen kompletterats med en datalogger (Thalimedes). Dräneringsvattnet har provtagits två gånger i månaden under alla år. Grundvattnet provtogs varje månad under de första åren (1977-1982), fyra gånger per år under perioden 1983-1986, och sex gånger per år fram till 1987. Vattenproven sänds omedelbart till laboratoriet vid Avdelningen för Vattenvårdslära, SLU där det har analyserats enligt Europeisk standard (European Committee for Standardisation). Laboratoriet är akrediterat för analys av närsalter som flera andra ämnen i vatten enligt SWEDAC (Swedish Board for Accreditation and Conformity Assessment). Totalkväve analyserades till och med 2002 efter oxidation med persulfat ( $K_2S_2O_8$ ) och därefter tillsammans med organiskt kol med en kol/kväve-analysator (Schimadzu). Nitratkväve och nitritkväve har analyserats tillsammans och kallas här nitratkväve ( $NO_3-N$ ). Organiskt kväve (ON) har beräknats som skillnaden mellan totalkväve och  $NO_3-N$ . Ammoniumkväve ( $NH_4-N$ ) befanns vara en liten andel i både dräneringsvattnet och grundvattnet och har bara analyserats under delar av perioden. Fosfor har analyserats i dräneringsvattnet. I grundvattnet var koncentrationerna låga och har inte bestämts. Totalfosfor har analyserats som löst molybdatreaktiv fosfor efter oxidation med  $K_2S_2O_8$ . Reaktiv fosfor (RP) analyserades efter förcentrifugering fram till år 2001, och därefter efter förfiltrering. För svenska lerjordar har dessa olika förbehandlingar befunnits vara av stor betydelse för bestämningen av RP, eftersom kolloidala lerpartiklar hålls kvar mera effektivt vid filtreringen (filters från Schleicher & Schüll, Tyskland med porer med diameter på 0,2  $\mu m$ ) än vid centrifugering (3000 rpm under 20 minuter). I detta område utan lerjord var dock förbehandlingen av mindre betydelse och motsvarade en skillnad på mindre än 0,002 mg fosfor per liter. Äldre RP resultat räknades ändå om som om man filtrerat före analysen. Icke-reaktiv fosfor (NRP) beräknades som skillnaden mellan totalfosfor och RP och kan bestå av såväl organiskt som oorganiskt bunden fosfor.

Totala jonsammansättningen analyserades från 1980 både i dräneringsvattnet och grundvattnet och alkaliniteten bestämdes med titrering. Analysmetoderna för kalcium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na) och kalium (K) ändrades år 2002 från AAS (Atomic Adsorption Spectrophotometry) till jonkromatografi (IC). Samtidigt ändrades bestämningen av sulfatsvavel ( $SO_4-S$ ) från kolorimetrisk bestämning med autoanalyser till analys med IC, och bestämningen av klorid (Cl) från FIA (flow injection analysis) till IC. Tester visade att dessa förändringar i analysprogram är av mindre betydelse, kvantitativt mindre än den allmänna osäkerheten i analyshantering och bestämning. Denna är i allmänhet 5-10 %.

### *Genomsnittliga koncentrationer och jonsammansättning*

Data för jonsammansättningen i nederbörden erhöles från en övervakningsstation för luft och nederbörd vid kusten 62 kilometer norr om fältet (Lövlund et al., 2002). Medelkoncentrationerna är vägda till mängden nederbörd. På samma sätt är alla koncentrationer i dräneringsvattnet vägda till mängden vatten, dvs. den totala

transporten av ämnet har dividerats med den totala mängden dränerat vatten. Koncentrationerna i grundvattnet beräknades som raka medelvärden. Flödesvägda medelkoncentrationer i dräneringsvattnet jämfördes med odlingsfaktorer genom signifikantstest (T-test). De flödesvägda koncentrationerna för varje år karakteriserades genom en faktor (t ex fånggröda). Dessa adderades och jämfördes med år karakteriserad av en annan faktor (t ex flytgödsling). Motsvarande jämförelser gjordes baserade på resultaten från långtidsstudier med rutförsök vid Mellby (Torstensson et al., 1992; Torstensson et al., 2001; Torstensson & Ekre, 2003; Torstensson, 2003).

Jonsammansättningen hos mineralgödsel erhöles från gödselindustrin och koncentrationerna i stallgödsel och gröda beräknades från standardsammansättningen (Eriksson et al., 1997; Steineck et al., 1999). Koncentrationerna för natrium rapporteras dock inte eftersom dessa varierar så mycket. Alla joner uttrycktes som millimol laddning (milliekvivalenter) för kontroll av jonbalansen i dräneringsvatten och grundvatten. Koncentrationerna från tre dräneringsprov som tagits under snösmältningen exkluderades eftersom det var stor obalans under dessa förhållanden. Resten av tiden var felet i allmänhet litet, 1-3 %, vilket visar de analytiska problemen var försumbara. Nederbörden beräknades med avseende på negativ alkalinitet (-Alk), dvs. som skillnaden mellan summan av baskationer (Ca, Mg, Na, K, och  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) och summan av sura anjoner ( $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4$  och  $\text{NO}_3$ ). Den ungefärliga neutraliserande kapaciteten för alkalinitet bestämdes också i gödselmedel och skördeprodukter, men utan att ta hänsyn till några natrium- och kvävejoner.

#### *Trendberäkningar*

Alla koncentrationer i dräneringsvatten och tre nivåer av grundvatten undersöktes med avseende på säsongberoende med Kruskal-Vallin test. Koncentrationerna i dräneringsvattnet flödesnormaliserades med den icke-linjära metoden LOWESS (Locally Weighted Scatter-plot Smoothing) före trendanalysen (Cleveland, 1979). Den rekommenderade faktorn 0,5 användes för justering. Flödesnormaliserade värden var avstånden från kurvan justerad till LOWESS. Signifikansen för trenden testades enligt Hirsch & Slack (1984) med användande av en icke-parametrisk metod (Mann Kendall) i Visual-Basic programmet MiniTab<sup>®</sup>. Lutningen 'Theil's slope' (Helsel & Hirsch, 1992) beräknades som ett mått på storleken på trenden. Denna metod förutsätter att det inte finns något samband mellan koncentration och avrinning över tiden och att det inte är någon trend i mängden nederbörd och dräneringsvatten under undersökningsperioden, krav som är helt tillgodosedda med aktuella data. Koncentrationerna i grundvattnen normaliserade mot grundvattennivån, vilket vanligen betydde signifikant säsongberoende. I dessa fall rapporteras bara riktningen på den eventuella trenden.

## **Resultat och diskussion**

#### *Graden av fosformättnad*

Matjorden har ett fosfortal (P-AL) på i genomsnitt 9 mg/100 g jord, vilket är typiskt för Sverige. I motsats var både järntalet (Fe-AL) och aluminiumtalet (AL-Al) fyra gånger högre än genomsnittet, baserat på mer än 200 jordar i södra Sverige (Ulén, 2006) dvs. 13 respektive 55. Fe-AL talet varierade på olika delar av fältet och variationen var stor genom hela jordprofilen (Tabell 2). Detta kan bero på tendensen hos järn och järnhydroxider att uppträda som enskilda mineralpartiklar i jorden. Värdet för DPS, beräknat med PSI-metoden, var högre än beräknat från Fe-AL och Al-AL koncentrationerna både i matjorden och i skiktet omedelbart under plöjningsdjupet (0-35 cm). Det kan bero på att kalciumjonerna, som fanns i större koncentrationer i dessa skikt, kan ha bundit en del fosfor i den neutrala lösningen som används för PSI testet, med relativt låga PSI-värden som följd. För den här sand/mo-jorden är emellertid sorptionskapaciteten i alven viktigast eftersom fosfor antagligen sorberar till jordmaterialet då vattnet perkolerar ner genom profilen. Det är också värden från alven som man föreslagit att använda vid beräkningar av risken för fosforläckage i sandjordar i allmänhet (Ulén, 2006). De två beräkningsmetoderna för DPS gav mycket snarlika resultat och korrelerade också väl med varandra. Pearsons korrelationskoefficient var 0,92 ( $p = 0,00$ ). De låga PSI-värdena i skiktet 35-65 cm (5,0 och 5,5 %) och i hela skiktet 35-100 cm (10 and 9 %) överensstämde väl med de låga koncentrationerna reaktiv fosfor (RP) i dräneringsvattnet (medelvärde 0,006 mg/l). Denna jord verkar följaktligen ha en mycket god förmåga att sorbera fosfor i jordprofilen. Odlingsåtgärder, såsom förfinad precisionsgödsling baserat på inomfältvariationer av DPS-värden, är därför av liten betydelse för att minska fosforläckaget via dräneringssystemet från det här fältet.

Jordprovtagningen i transekter längs slutningen av fältet gav något högre DPS-värden i matjorden än frekvent provtagning i ett jämnt fördelat ruttmönster över fältet (Tabell 3). Detta beror på det var högre fosfortal i nedre delarna av slutningarna på de lägre sydostliga partierna av fältet jämfört med resten av fältet. Eftersom de två provtagningsstrategierna gav snarlika resultat i alven är dock provtagningsstrategierna av mindre betydelse för detta fält. Däremot skulle man för lerjordar, där förhållandena i ytjorden är mera betydelsefulla, kunna rekommendera jordprovtagning längs slutningarna.

Tabell 1. Arealer med olika grödor (%) under ursprunglig period (1977-1990) och vid modifierad växtföljd inklusive fånggröda (1991-2004)

Gröda/År	Ursprunglig	Modifierad
	1977-1990	1991-2004
Havre	13	14
Korn	3	11
Vårvede	7	19
Höstvede	25	7
Våroljeväxter	14	0
Fånggröda	0	41
Ärtor	10	0
Potatis	14	21
Sockerbeter	0	13
Vall	13	0
Träda	0	14

Tabell 2. Medelvärde (M) och varians (Var) av kalcium, fosfor, järn och aluminium extraherad i sur laktatlösning (Ca-AL, P-AL, Fe-AL och Al-AL) (mg/100 g torr jord). Fosformättnadsindex (PSI) och beräknad grad av fosformättnad (%) baserad på extraktion (DPS-EXT) och på sorption index (DPS-PSI) på olika djup på 34 provplatser

Djup	Ca-AL		P-AL		Fe-AL		Al-AL		PSI		DPS-EXT		DPS-PSI	
	M	Var	M	Var	M	Var	M	Var	M	Var	M	Var	M	Var
0-23	147	26	8,8	27	12,5	62	54,9	36	9,5	13	13,6	34	30,6	32
23-35	92	73	2,8	57	10,8	120	56,0	57	10,1	33	5,2	89	10,0	75
35-65	36	81	0,9	87	7,4	123	27,0	70	6,6	42	5,0	172	5,5	105
65-100	26	92	1,3	73	3,5	95	11,9	81	4,5	40	15,2	97	12,4	89

#### Karakterisering av nederbörd, dräneringsvatten och grundvatten

Medelkoncentrationen för natrium i nederbörden var hög i denna kusttrakt (0,10 mmol<sub>e</sub>/l). Nederbördsvattnet hade en liknande andel sulfat och nitrat som det ytligare grundvattnet (24-28 %). Nederbördsvattnet kan trots detta beskrivas som ett vatten av Na-SO<sub>4</sub>-Cl-typ, medan dräneringsvattnet och grundvattnet representerar vatten av Ca-NO<sub>3</sub>-typ. Det fanns en svag påverkan från svinflytgödslingen eftersom kvoten K:Na i dräneringsvattnet var något högre än 0,4 (viktbasis), och eftersom det genomsnittliga kloridvärdet var relativt högt (18 mg/l). Svinflytgödseln spreds dock mera sällan under senare år och båda indikatorerna blev svagare med tiden. Kemiska data för det djupa grundvattnet (5,5 m) tydde på ett vatten av Na-Cl-typ, och speglar det marina ursprunget hos leran. Detta salta grundvatten är antagligen reliktvatten som man ofta finner på större djup i detta låglänta område. Efter den sista istiden täckte havet stora delar av landskapet. Då landet höjde sig ur havet, ersattes grundvattnet av nederbörden med olika hastighet beroende på de lokala förhållandena.

Tabell 3. Värden på graden av fosformättnad har beräknats baserade dels på extraktion (DPS-EXT) och dels på sorptionsindex för fosfor (DPS-PSI) i matjorden (0-23 cm) och alven (35-65cm). Differenserna och varianserna för dessa värden med två provtagningsstrategier antingen baserat på ett glest rutnät (Rutor) eller på tre transekter som täcker de större sluttningarna (Linjer), båda jämförda med resultaten från tät provtagning i rutnät

Djup	DPS-EXT				DPS-PSI			
	Rutor		Linjer		Rutor		Linjer	
	Differens (%)	Varians	Differens (%)	Varians	Differens (%)	Varians	Differens (%)	Varians
Matjord (0-23 cm)	-0,7	44	+2,9	26	-6,9	35	+6,9	34
Alv (35-65 cm)	+32	194	+28	108	-5,5	113	-6,8	90

Tabell 4. Medelkoncentrationer (mg/l) av nitratkväve (NO<sub>3</sub>-N), organiskt kväve (ON), löst reaktiv fosfor (RP), icke-reaktiv fosfor (NRP) och kalium (K) i dräneringsvatten under 1976-2005. Jämförelser för fältet gjordes mellan en period (1977-90) med ursprunglig växtföljd och en annan (1991-2004) med modifierad växtföljd; spridning av svinflytgödsel; spannmål med fånggröda; potatis och spannmål/oljevaxter utan fånggrödor (Spannmål mm). Koncentrationer med icke-signifikanta skillnader är angivna inom parentes. Sista kolumnen visar antalet år (År) och antal fält/rutor (N) med olika odlingsåtgärder

Faktor	NO <sub>3</sub> -N	ON	RP	NRP	K	ÅrxN
<i>Jordbruksfält åren 1977-2005</i>						
Ursprunglig växtföljd (1977-1990)	13,0	1,2	(0,005)	(0,014)	5,4	14x1
Modifierad växtföljd (1992-2004)	7,2***	0,9***	(0,006)	(0,015)	4,0***	14x1
Svinflytgödsel	11,8	1,1	(0,007)	(0,018)	5,0	8x1
Fånggröda	6,2***	0,8***	(0,005)	(0,016)	3,9***	7x1
Potatis	13,9	(1,2)	(0,007)	(0,014)	(5,3)	6x1
Spannmål mm	10,3**	(1,1)	(0,005)	(0,014)	(5,1)	9x1
<i>Experimentrutor 1984-1997</i>						
Svinflytgödsel	19,4	(1,7)	(0,032)	0,047	15,0	4x4
Fånggröda	3,6***	(1,5)	(0,040)	0,028***	8,0***	7x2
Fånggröda	17,6	(1,8)	(0,038)	(0,044)	(6,1)	6x3
Spannmål mm	11,1**	(1,8)	(0,032)	(0,053)	(9,4)	10x2

\*\*\* Högst signifikant ( $p \leq 0,01$ )

\*\* Signifikant ( $0,01 < p \leq 0,05$ )

#### *Närsaltstrender i dräneringsvatten och grundvatten*

En minskning av kväveläckaget vid direkt odling av fånggröda var mycket tydlig (Tabell 4) liksom vid modifierad växtföljd med stort inslag av fånggröda på fältet (Tabell 5 och Figur 2). Växtföljd med fånggröda jämfört med växtföljd både utan flytgödsel men med flytgödsel gav också en reduktion av NO<sub>3</sub>-N koncentrationen i dräneringsvattnet. Trendanalysen visade dessutom att minskningen i huvudsak ägde rum under september-november när fånggrödan är mest effektiv. På motsvarande sätt visade sig potatis vara en riskgröda jämfört med spannmål i rutförsöken (Tabell 4). Dessutom fanns en tendens till mindre läckage av organiskt kväve (ON) under perioden när det odlats mycket fånggröda från fältet, men detta var inte tydligt från försöksrutorna. Trenden för minskande NO<sub>3</sub>-N i dräneringsvattnet motsvarade 5,3 mg/l och trenden var också tydlig jämfört med den mera konstanta parametern natrium (Figur 2a). Jämförbara tidsserier indikerade en ännu snabbare NO<sub>3</sub>-N-minskning för grundvattnet vid 1,7 m djup (Figur 2b). Det är möjligt att det skedde en viss kemisk reduktion med NO<sub>3</sub>-N i grundvattnet nära lerskiktet. I det ytliga grundvattnet minskade kalium på liknande sätt som NO<sub>3</sub>-N i dräneringsvattnet. Dessa likheter indikerar att uppehållstiden i det ytliga grundvattnet är kort, liknande den i dräneringsvattnet.

Olika odlingsmetoder hade ingen påverkan på fosforkoncentrationerna. Detta är inte förvånande mot bakgrunden av jordens goda sorptionsförmåga, speciellt i alven (Tabell 2). I experimentrutorna vid Mellby kan dessutom det mera långtransporterade grundvattnet med mycket järn antagligen binda fosfor. Baserat på resultaten från experimentrutorna med fånggröda verkar gräset kunna reducera koncentrationen av icke-reaktiv fosfor (NRP) i dräneringsvattnet. Det fanns emellertid ingen sådan indikation från observationsfältet, inte heller beräknades någon trend för fosfor i dräneringsvattnet under hela tidsperioden. Fånggrödors effekter på fosforläckaget är därmed oklar.

#### *Akkumulering av näringsämnen i jorden*

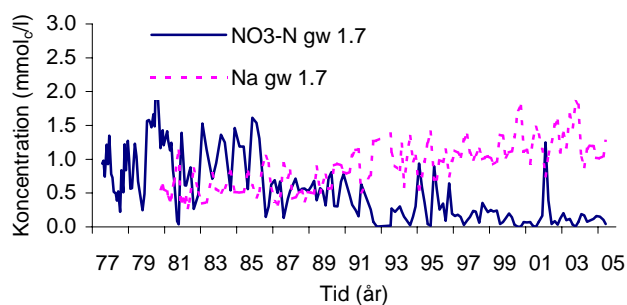
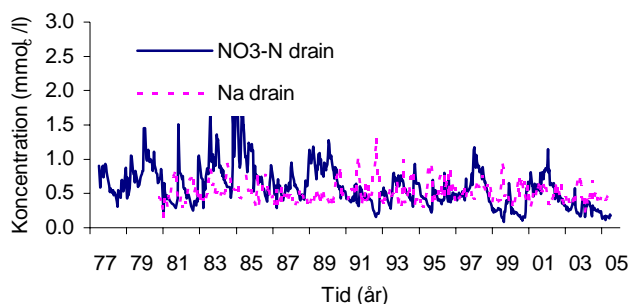
Gödslingen genererade en fosforackumulation till jorden med hastigheten 0,4 kg/(ha \* år), vilket är ett lågt värde för en gård med djur. Matjordens P-AL tal var oförändrat under tolv år (1993-2005) med modifierad odling. Kalium bortfördes något snabbare med skörden än genom tillskott med gödslingen under den första perioden med ursprunglig växtföljd (1977-1990) men inte under den andra (Tabell 6). Detta kan vara ett resultat av att mer kalium-krävande vallar odlades under den tidigare perioden (Tabell 1). Sammansättningen av mineralgödseln förändrades. Under den första perioden, med ursprunglig växtföljd, tillförde man mer baskationer i form av kalcium, medan det var mer nettotillskott av magnesium under senare år. För en lerjord som är känslig för erosion kan detta påverka den framtida förmågan att binda fosfor i matjorden eftersom bildning av Ca-P komplex har visat sig viktig för retentionen av kolloidal fosfor även i icke-kalkjordar (Ulén & Snäll, 2006). För det aktuella fältet, med dokumenterat mycket låga förluster av kolloidala partiklar, borde denna förändring vara av mindre betydelse.

Tabell 5. Medelkoncentration i nederbörd, dräneringsvatten och i grundvatten på 1,7, 2,2 och 5,5 m:s djup för kalcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), kalium ( $\text{K}^+$ ), natrium ( $\text{Na}^+$ ), nitratkväve ( $\text{NO}_3\text{-N}^-$ ), klorid ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatsvavel ( $\text{SO}_4\text{-S}^{2-}$ ) och alkalinitet (Alk) i millimoler laddning per liter ( $\text{mmol}_e/\text{l}$ ) under 1981-2004. Beräknade signifikanta ( $z > 1.78$ ) trender i dräneringsvattnet (icke-signifikanta trender inom parentes) och riktningen för signifikanta trender i nederbörd och grundvatten. Signifikant säsongsberoende (ssb) enligt Kruskal-Vallin test är indikerad inom parentes i grundvattnet

Period	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{NO}_3\text{-N}^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4\text{-S}^{2-}$	Alk
<i>Nederbörd</i>								
Koncentration*	0,008	0,012	0,003	0,050	0,043	0,060	0,052	-0,035**
Trend + riktning	0	0	0	0	0	0	-	+
<i>Dräneringsvatten</i>								
Koncentration	1,79	0,28	0,13	0,52	0,55	0,50	0,72	0,88
Trend + riktning	-0,025	(-0,001)	-0,001	(-0,001)	-0,38	-0,005	-0,022	+0,004
<i>Grundvatten (1,7 m)</i>								
Koncentration	1,65	0,40	0,12	0,91	0,42	0,63	1,30	0,73
Trend + riktning	-	+	-	+(ssb)	-(ssb)	(ssb)	(ssb)	0
<i>Grundvatten (2,2 m)</i>								
Koncentration	2,76	0,77	0,12	2,45	0,054	1,10	1,42	3,41
Trend + riktning	-	+	0	+	-(ssb)	+	0 (ssb)	+
<i>Grundvatten (5,5 m)</i>								
Koncentration	1,66	1,30	0,31	11,91	0,026	5,85	1,47	7,72
Trend + riktning	-(ssb)	+	-(ssb)	+(ssb)	-	+(ssb)	0	+

\* Dessutom  $\text{H}^+$  (0,035  $\text{mmol}_e/\text{l}$ ) och  $\text{NH}_4^+$  (0,046  $\text{mmol}_e/\text{l}$ )

\*\* Negativ alkalinitet beräknad från jonsammansställningen



Figur 2 a) Koncentrationer ( $\text{mmol}_e/\text{l}$ ) av nitratkväve ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) och natrium (Na) i dräneringsvattnet (drain). b) Koncentrationer ( $\text{mmol}_e/\text{l}$ ) av nitratkväve ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) och natrium (Na) i det grunda ytvattnet vid 1,7 m djup (gw 1.7 m).

Tabell 6. Tillskott genom nederbörd och genom gödselmedel (handels- och stallgödsel), bortförel med skörd och förlust med dräneringsvattnet av kalcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), kalium ( $\text{K}^+$ ), ammoniumkväve ( $\text{N}^+$ ), nitratkväve ( $\text{N}^-$ ), ortofosfater ( $\text{P}^-$ ), klorid ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatsvavel ( $\text{S}^{2-}$ ) och alkalinitet (Alk) i kilomoler laddning per hektar ( $\text{kmol}_c/\text{ha}$ ) under två 14-årsperioder med olika växtföljder, ursprunglig (1977-1990) och modifierad (1991-2004)

Växtföljd	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{N}^+$	$\text{N}^-$	$\text{P}^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{S}^{2-}$	Alk
<i>+Nederbörd*</i>									
Ursprunglig	1,2	2,6	0,3	4,9	4,6	-	15,2	8,5	-5,0**
Modifierad	1,0	2,0	0,3	3,8	4,1	-	9,8	5,2	-2,3**
<i>+Gödsling</i>									
Ursprunglig	33,9	11,6	21,6	48,6	49,9	10,8	7,5	17,6	(31)**
Modifierad	25,6	23,8	31,1	67,8	44,4	11,6	6,6	27,0	(35)**
<i>-Skörd</i>									
Ursprunglig	8,6	10,0	23,9	-	-	6,3	2,0	4,2	(36)**
Modifierad	9,5	10,0	22,2	-	-	6,9	2,5	2,1	(37)**
<i>-Dräneringsvatten*</i>									
Ursprunglig	104,3	14,0	7,4	0,1	43,5	0,1	28,6	43,4	34,5
Modifierad	89,6	15,1	6,0	0,1	31,5	0,1	24,4	36,8	42,1

\* Beräknad från data från perioden 1980-2002 för nederbördsvattnet och 1980-2004 för dräneringsvattnet

\*\* Beräknad från jonsammansställningen. Den beräknade alkaliniteten är negativ i nederbördsvattnet.

#### Trender för joner i nederbörd, dräneringsvatten och grundvatten

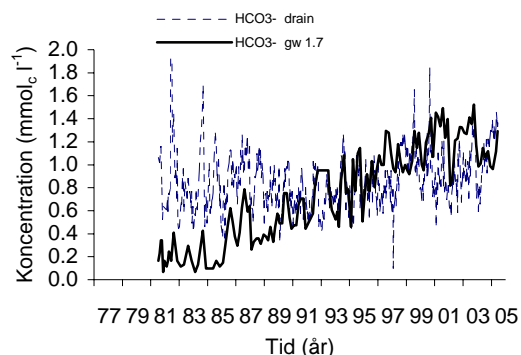
Sammanställningen hos den använda mineralgödseln förändrades så att man tillförde mer svavel under senare år med modifierad växtföljd (Tabell 6). Vissa handelsgödselmedel är nu anrikade med svavel för att kompensera för den mindre tillförelsen av svavel från luften. Belastningen av svavel via nederbörden minskade under den studerade perioden, liksom koncentrationen i dräneringsvattnet (Tabell 6). Däremot förblev koncentrationerna  $\text{SO}_4\text{-S}$  konstanta både i det ytliga och djupare grundvattnet (Tabell 5).

Jonerna  $\text{Na}^+$  och  $\text{Cl}^-$  brukar inte bindas i jorden, eftersom de rör sig snabbt ner till grundvattnet.

Koncentrationerna av dessa joner är däremot kända att kunna vara förhöjda efter stormar med mycket havssalt i nederbörden, en effekt som kan kvarstå en längre tid (Langan & Hirst, 2004). Sådana stormar indikerades ofta under den första delen av denna studie nämligen under år 1984 och under åren 1989-1992. Dessa episoder följdes av öknningar av kloridkoncentrationerna i dräneringsvattnet. Ökningarna var vanligast i början av undersökningsperioden. Detta är antagligen huvudorsaken till den beräknade nedåtgående trenden av klorid i dräneringsvattnet (Tabell 5).

Baserat på det svaga sambandet mellan koncentrationerna natrium i dräneringsvattnet och i det ytliga grundvattnet verkade det inte ha skett något utbyte av denna konservativa jon mellan dessa vatten (Figur 2). Däremot verkade koncentrationen natrium att ackumulera i det ytliga grundvattnet. Den ökande koncentrationen av natrium i det ytliga grundvattnet (Figur 2b) var antagligen ett resultat av utbytet mellan det ytliga och det djupare grundvattnet där det senare var rikt på natrium. Detta skulle kunna förklara att relationen mellan koncentrationerna nitrat och natrium i det ytliga grundvattnet var negativ och hade en Pearson's korrelationskoefficient på  $-0,77$  ( $p = 0,00$ ). Under sensommaren (juli-september), när grundvattennivån var relativt låg, var detta negativa samband ännu starkare (Pearson's korrelationskoefficient  $-0,87$ ). Bidraget från

Figur 3. Koncentrationer ( $\text{mmol}_c/\text{l}$ ) av vätekarbonatjoner ( $\text{HCO}_3^-$ ) i dräneringsvattnet (drain) och i det ytliga grundvattnet (gw 1.7 m).





djupare grundvatten med en annan kemisk karaktär kan också förklara den snabbare minskningen av nitrat i det ytliga grundvattnet jämfört med i dräneringsvattnet.

I det djupare grundvattnet (5,5 m), ökade antagligen koncentrationen natrium eftersom mera vatten pumpades ut från grundvattenrören vid provtagningen. Svagt minskande koncentrationer av kalcium indikerade relativt gammalt vatten utan kontakt med de kalkrikare lagren, men det skedde antagligen jonutbyte med leran i det djupa grundvattnet.

#### *Sur belastning till marken*

Stort läckage av kalcium via dräneringsvattnet kan öka försurningen av vattnet, men den aktuella jorden hade en dokumenterat effektiv mättnad av baskatjoner. Därmed fanns en god förmåga att buffra mot försurningen, och i genomsnitt var pH tillfredsställande; 6,6 i dräneringsvatten och 6,5 i det ytliga grundvattnet (Tabell 6). Växtupptaget av baskatjoner och bortförselelsen med skördeprodukter skulle också kunna påverka markförsurningen men motverkades av den tillförda gödseln. Detta har beräknats baserat på en uppskattning av negativ eller positiv alkalinitet (Tabell 6). Storleken på bortförselelsen av överskottet av baskatjoner med skördeprodukterna var ungefär tio gånger högre än tillskottet av den negativa alkaliniteten med nederbörden. Den senare beräknades att minska med 2,6 kmol<sub>e</sub>/ha under den modifierade växtodlingen i jämförelse med odlingen under den tidigare perioden, dvs. med mer än 50 %. I motsats till detta var det försurande växtupptaget av baskatjoner konstant högt. En signifikant ökning av HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> joner indikerades att ske i dräneringsvattnet och framför allt i det ytliga grundvattnet (Figur 3). Ökningen i dräneringsvattnet motsvarade 0,4 % beräknad för hela perioden 1977-2004. Under tiden hade fånggrödorna effektivt tagit upp NO<sub>3</sub><sup>-</sup> joner, medan jorden i stället levererade mer HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> joner. Intensiv odling av fånggröda under den modifierade perioden reducerade NO<sub>3</sub>-N läckaget från 44 till 32 kmol<sub>e</sub>/ha i jämförelse med den tidigare perioden. Minskade mängder av NO<sub>3</sub><sup>-</sup> joner i jorden och markvattnet, minskade effekten av försurningen i vattnet där alkaliniteten ökade från 35 till 42 kmol<sub>e</sub>/ha. Baserat på dessa beräkningar hade den ändrade odlingen större betydelse för att lindra försurningen av vattnet än den minskade sura nederbörden. Detta indikerades också av den negativa korrelationen mellan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> och NO<sub>3</sub><sup>-</sup> joner i dräneringsvattnet under perioder med fånggrödor (Pearson's korrelations koefficient = -0,60, och p = 0,00).

### **Sammanfattning**

- Även vid intensiv odling kan förändrade odlingsmetoder snabbt minska kvävet i ytvatten och grundvatten genom minskat läckage.
- Fosforgödsling bör ske beroende på förhållandena vid platsen. Vid flytgödsling och annan gödsling bör man ta hänsyn till förmåga att kvarhålla fosfor men betydelsen är mindre för det aktuella fältet eftersom alven har ovanligt god förmåga att sorbera fosfor. För lerjordar är linjekartering som följer sluttningarna en lämplig provtagningsstrategi.
- Förändrad odling, dvs. att införliva fånggrödor, minskade effekten av försurningen av dräneringsvattnet; alkaliniteten i vattnet ökade samtidigt som nitratkoncentrationerna minskade. I jämförelse med detta var minskat surt regn av liten betydelse.

### **Referenser**

Får jag inte plats med Jag kan skicka en snyggare rapport på 14 sidor.