



Börje Lindén, Helena Aronsson, Lena Engström, Gunnar
Torstensson och Tomas Rydberg

Kvävemineralisering och utlakning av kväve och fosfor på en lerjord vid Lanna i Västergötland

Inverkan av kvävegödslingsintensitet, jordbearbetning på hösten och engelskt rajgräs som insådd fånggröda



Ekohydrologi 91

Uppsala 2006

Avdelningen för vattenvårdslära

**Swedish University of Agricultural Sciences
Division of Water Quality Management**

ISRN SLU-VV-EKOHYD--91—SE
ISSN 0347-9307

Bild på framsidan: Flygbild över Lanna försöksstation (2000) med det i rapporten beskrivna försöket R2-8401 alldeles till höger om och snett nedanför fyrvägs korsningen. De ettåriga, ogödslade parcellerna framträder som ljusare rektanglar inne i de ordinarie försöksrutorna.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
1. SAMMANFATTNING	3
2. INLEDNING	7
2.1. Utlakningsbegränsande åtgärder på lerjordar	7
2.2. Undersökningarnas syfte	8
3. UNDERSÖKNINGAR PÅ FÖRSÖKSPLATSEN 1988-92	9
4. MATERIAL OCH METODER	10
4.1. Försöksplats och växtföljd	10
4.2. Försöksplan och odlingsåtgärder	11
4.3. Dräneringssystem samt provtagning och analys av dräneringsvatten	14
4.4. Provtagningar och analyser av växtmaterial och jord i led A-F	14
4.5. Växttillgängligt jordkväve samt kväveminalisering i led A-F	16
4.6. Vallträda (led G)	17
4.7. Väderförhållanden	17
5. RESULTAT OCH DISKUSSION	19
5.1. Skördar av stråsäd och vårraps	19
5.2. Kväve i kärn- och fröskördarna samt kväveutbyte av gödslingen	21
5.3. Fosfor i kärn- och fröskördarna samt fosforutbyte av gödslingen	23
5.4. Grödornas samlade kväveupptag	25
5.5. Gödselkvävet utnyttjandegrad	27
5.6. Fånggrödornas och annan grön vegetations tillväxt, kväveinnehåll och C/N-kvoter	27
5.7. Växtrester vid nedbrukning: mängder, kväveinnehåll och kol-kvävekoter	31
5.8. Torrsubstansproduktion och totalkväveinnehåll i grönmassan på vallträdan	35
5.9. Mineralkvävedynamiken i marken	36
5.10. Kväveminalisering under olika årtider i led A-F med ettåriga grödor	42
5.11. Årlig kväveefterverkan av odlingsåtgärderna	44
5.12. Avrinning och utlakning av kväve och fosfor	46
5.13. Kväve- och fosforbalanser	57
5.14. Inverkan av odlingsåtgärderna på mullhalt och totalkvävehalt i jorden	58
5.15. Inverkan av odlingsåtgärderna på de markkemiska egenskaperna	59
6. ÖVERGRIPANDE DISKUSSION OCH SLUTSATSER	60
6.1. Skördenivåer, kväve- och fosforupptag samt kväveutnyttjandegrader i relation till ledvisa odlingsåtgärder och ledvis varierande avkastningspotentialer i marken	60
6.2. Fånggrödor och växtrester	61
6.3. Vallträdans tillväxt	62
6.4. Mineralkväve i marken under olika årtider	62
6.5. Årlig kväveminalisering och årlig kväveefterverkan	64
6.6. Utlakning av kväve och fosfor	64
6.7. Kväve- och fosforbalanser samt inverkan av odlingsåtgärderna på mullhalt och totalkvävehalt i jorden	66
6.8. Slutsatser	67
7. TILLKÄNNAGIVANDEN	68
8. LITTERATUR	68

1. SAMMANFATTNING

I en permanent utlakningsförsöksanläggning på Lanna försöksstation undersöktes 1992-2000, hur utlakningen av nitratkväve påverkades av 1) stigande mängder mineralgödselkväve, olika jordbearbetningssystem och av engelskt rajgräs som årligen insådd fånggröda vid odling av vårsådda huvudgrödor (korn och havre samt ett år med vårraps) och 2) av permanent blandvall (vallträda) som en form av uttagen areal. Dessutom studerades utlakning av fosfatfosfor och totalfosfor. Jorden på försöksplatsen utgörs av styv lera. I försöket ingår sju rutor med separata dräneringssystem. Det avrinnande vattnet leds till rutvisa uppsamlingsbrunnar, där vattenflödet mäts och prov tas ut för analys. I två av rutorna (försöksled A och B, båda utan fånggröda) stubbearbetades marken i september, varefter den plöjdes i början av november. I tre av rutorna (försöksled C, D och E) såddes engelskt rajgräs som fånggröda in på våren, i medeltal 6 dagar efter sådden av huvudgrödan. I en ruta (led F) etablerades grödan genom direktsådd, och all jordbearbetning under året uteslöts. Led A, C och F tillfördes "normala" mängder mineralgödselkväve (1N) efter huvudgrödans uppkomst, medan stigande N-givor tillämpades i led B och D (båda 1,25N) samt E (1,50N). I den sjunde rutan (led G) såddes en fröblandning med vitklöver och fyra gräsarter in 1992 för etablering av vallträdan. Den permanenta vallen, som ej gödslades, putsades normalt fyra gånger per år. För studier år 2000 av efterverkan av odlingsåtgärderna 1992-99 plöjdes alla led A-F hösten 1999, fånggrödan uteslöts år 2000 och alla led tillfördes 90 kg N/ha till grödan (havre).

I led A-F bestämdes mineralkväve inom 0-30, 30-60 och 60-90 cm djup fem gånger per år: 1) tidigt på våren, 2) vid uppkomsten, 3) vid avslutad N-upptagning på sensommaren, 4) vid tiden för stubbearbetning i september och 5) i samband med plöjning i början av november. På vallträdan (led G) togs sådana jordprover ut vid tidpunkt 1, 3 och 5. Huvudgrödan provtogs inom småtor om 0,25 m² vid avslutad N-upptagning dels i de "ordinarie" rutorna och dels i årligen flyttade "0N-parceller" (tre per ruta), placerade inne i de ordinarie rutorna och utan N-gödsling under det aktuella året. Vidare provtogs fånggröda och ogräs vid avslutad kväveupptagning hos huvudgrödan och före höstplöjning för bestämning av tsmängd och N-innehåll. Dessutom togs prov av växtresterna före jordbearbetningstillfällena på hösten.

Avkastningen av grödorna under åren 1992-99 (vårsäd utom 1995, då vårraps odlades) blev störst i led A och B, utan fånggröda och med "normal" N-giva (1N) respektive 25 % över "normal" giva (1,25N). Skördarna i led B låg dock något under nivån i led A, och den större N-givan gav således mot förväntan ingen ökat utbyte. I de tre leden C (1N), D (1,25N) och E (1,50) med fånggröda blev avkastningen i medeltal 4, 5 respektive 14 % mindre än i led A under åren med stråsäd och ännu sämre, om året med vårraps inräknas. I led F med direktsådd och normal N-giva (1N) uppgick skördarna av stråsäd i medeltal till ca 80 % av dem i led A. Direktsådden medförde stark uppförökning av kvickrot, som bekämpades med glyfosat med ett par eller några års mellanrum. De lägre skördarna i led B-F tycks emellertid huvudsakligen bero på någon bördighetsfaktor i marken, som varierade och som bestämde avkastningspotential och delvis även N-mineraliseringsförmåga i de skilda rutorna. Med åren uppkom en viss kompensande N-efterverkan i leden med stigande N-givor: B, D och E. De generellt nedsatta skördarna i led B-F visar behovet av att i praktiken anpassa N-gödslingen till avkastningsförmågan, inte bara skiftesvis utan även platsspecifikt inom enskilda fält.

Kärn- och fröskördarna i leden med ökade N-givor (1,25N och 1,50N) hade högre totalkvävehalter än i leden med normal N-gödsling (1N). Genom bättre avkastning i A (1N) än i B-F gav emellertid detta led det bästa kväveutbytet med avseende på bortförselein av kväve med skör-

den i relation till gödslings storlek. Även halmens kvävehalt vid avslutad N-upptagning tilltog med stigande gödsling. Därmed kom dock mer kväve, som var bundet i halm, att plöjas ned på hösten i led B och D (båda 1,25N) och E (1,50N) än i led A, C och F (alla 1N).

Fram till dess att huvudgrödornas N-upptagning upphört på sensommaren hade fånggrödan i led C (1N), D (1,25N) och E (1,50N) under stråsådesåren producerat en ovanjordisk biomassemängd på omkring 300 kg ts/ha med ett totalkväveinnehåll på ca 5 kg N/ha. I början av november hade rajgräset och annan förekommande växtlighet (ogräs och grodd spillsäd) i led C, D och E en biomassa under stråsådesåren på ca 400-700 kg ts/ha med ett N-innehåll på i medeltal 12, 16 respektive 21 kg N/ha. Kväveupptaget under hösten gynnades således av stigande N-givor till huvudgrödan, vilket bör ha bidragit till att minska N-utlakningsrisken. Den nedplöjda halmen hade C/N-kvoter på i storleksordningen 55-75, vilket bör ha medfört kväveimmobilisering vid nedbrytningen i jorden.

I led A och B (1N respektive 1,25N, båda utan fånggröda) ökade mineralkvävemängderna under hösten, främst före stubbearbetningen i september (med inarbetning av halmen i jorden) och därefter ganska lite, medan de tenderade att minska och slutligen blev minst på senhösten i led C (1N) och D (1,25N) med fånggröda. I led E (1,25N), också med fånggröda, fanns stora mängder outnyttjat gödselkväve efter grödorna, vilket rajgräset inte helt kunde ta tillvara på hösten. I led F med direktsådd blev N-mineraliseringen något nedsatt under hösten, med mindre mineralkvävemängder i marken som följd. Generellt ökade mineralkväveförråden i led A, B och F under hösten och steg ytterligare fram till tidig vår, varefter de genom grödornas tillväxt minskade till ett lägsta värde vid avslutad N-upptagning på sensommaren, då det 0N-rutorna i alla led normalt återstod 12-17 kg N/ha inom 0-90 cm markdjup. I de N-gödslade "ordinarie" rutorna i led A (1N), B (1,25N) och F (1N) återfanns 5-6 kg N/ha mer inom detta djup, vilket visar inverkan av det enskilda årets kvävegödsling. I led E (1,50N) blev som antyts restmängderna betydligt större.

Den totala nettomineraliseringen av kväve per år uppgick i led A och B (1N respektive 1,25N, båda utan fånggröda) till 80 respektive 85 kg N/ha som medeltal för åren 1993-99. Någon positiv kväveeffekt av fånggrödan kan inte ses i led C. De stigande N-givorna i fånggrödeleden D och E medförde med åren ökad årlig kväveefterverkan med omkring 10 respektive 20 kg N/ha i jämförelse med led C. Under tiden från avslutad N-upptagning på sensommaren till tidig vår uppgick nettomineraliseringen av kväve till ca 40 % av årsmineraliseringen i flertalet led. Detta motsvarar i storleksordningen 30-35 kg N/ha, varav en del torde ha kunna utlakas under vinterhalvåret.

I medeltal för alla år blev nitratkväveutlakningen 13 kg N/ha och år i led A-F med vårsådda grödor. Detta kan jämföras med i medeltal endast ca 1 kg N/ha och år i led G med permanent vitklöver-gräsvall (vallträda). I led A (1N, utan fånggröda) uppgick utlakningsförlusterna till ca 9 kg NO₃-N per ha och år och i led C (1N, med lägre skördepotential och med fånggröda) till omkring 7 kg. Det blev en fördubbling av förlusterna från led C (1N) till D (1,25N) och en tredubbling från C till E (1,50N). I led D och E kunde således rajgräset inte påtagligt förhindra tilltagande förluster. En bidragande orsak synes vara, att huvudgrödan i fånggrödeleden knappast alls svarade på större N-givor med bättre avkastning p.g.a. nämnda sämre markegenskaper. Det var alltså frågan om överdosering av kväve i dessa led. Under tiden från avslutad N-upptagning på sensommaren till i början av november blev N-utlakningen i alla led obetydlig, medan den under tiden från början av november till tidigt vår utgjorde ca 60 % av den årligen utlakade N-mängden. Under perioden tidig vår - avslutad N-upptagning på sensommaren blev andelen omkring 30 % av årsutlakningen av nitratkväve. Fånggrödan och

de stigande kvävegivorna medförde under åren 1992-99 inte någon förbättring av kväve- och mullhalterna i matjorden trots att N-balansberäkningar tydde på ett N-överskott i marken. Det är troligt att det skulle ha behövts längre tid för att de större mängderna producerat organiskt material och organiskt kväve, som plöjdes ned i marken i dessa led, skulle bidra till bättre mullbalans. Troligen förlorades en hel del kväve genom denitrifikation.

Fosforbalanserna var positiva i alla led utom i led A, där mer fosfor fördes bort med skörd än som tillfördes med gödsel. Utlakningen av fosfor utgjorde en mycket liten del av den totala bortförsele. Fosforutlakningen blev minst i led A (0,07 kg/ha och år), vilket troligen delvis berodde på balanserad gödsling och bra utnyttjande av tillförd fosforgödsel. Förrådsgödslingen med fosfor vid tre tillfällen gav tydliga utslag genom förhöjda fosfatfosforkoncentrationer i dräneringsvattnet under efterföljande vinter. Skillnaderna i fosforutlakning mellan rutorna berodde troligen också på variationer i markegenskaperna mellan rutorna. Den permanenta vallträdan hade ungefär lika stora förluster som medelutlakningen av fosfor i de andra försöksrutorna. Medelutlakningen av totalfosfor blev 0,16 kg /ha och år.

Slutsatserna kan sammanfattas enligt följande:

Överdoseringen med kväve överskuggade till stor del den utlakningsbegränsande effekten av fånggrödan och de olika jordbearbetningsstrategierna. N-gödslingen bör därför anpassas till grödornas avkastningsförmåga och dess variationer platsspecifikt inom ett fält.

Insådda fånggrödor ökade sitt kväveupptag efter överdosering med kväve, vilket till viss del begränsade ansamlingen av mineralkväve i marken under senhösten. Odling av fånggröda ökade inte kvävetillgången för den efterföljande grödan och ingen ökning av mullhalten kunde observeras.

Senarelagd jordbearbetning på hösten (enbart plöjning på senhösten) ledde till minskad nettomineralisering av kväve under hösten, men till ökad mineralisering från senhöst till tidig vår jämfört med leden med stubbearbetning i september följt av höstplöjning på senhösten. Utlakningen av kväve minskade något vid senarelagd bearbetning och odling av fånggröda. I ledet med direktsådd blev kvävemineraliseringen mindre under både höst och vinter, men utlakningen minskade inte.

Kvävemineraliseringen från avslutad N-upptagning på sensommaren till tidigt på våren uppgick i flertalet led till 30-35 kg N/ha, motsvarande ca 40 % av årsmineraliseringen. En del av detta kväve kan ha utlakats under vinterhalvåret.

Kväveutlakningen var tämligen liten i jämförelse med ett försök på lätt jord i samma region. Tydligast utslag på utlakningen gav överdoseringen med kväve. N-balansberäkningar visade på ett överskott av kväve i alla led, men eftersom ingen tendens fanns till ökade mullhalter, är tolkningen att förlusterna av kväve via denitrifikation kan vara betydliga från denna jord.

Fosforutlakningen blev måttlig, men förrådsgödsling med fosfor gav tydligt utslag på koncentrationerna av fosfatfosfor i dräneringsvattnet under efterföljande vinter.

Permanent vallträda gav mycket liten kväveutlakning, medan fosforutlakningen var i samma storleksordning som vid odling av ettåriga grödor.

2. INLEDNING

I jämförelse med Sydsverige är kväveutlakningen från åker på leriga jordar och lerjordar i norra Götaland måttlig. Den brukar vara i storleksordningen 5-20 kg N/ha vid normalt förekommande gödsling, i de västligaste delarna dock ofta mer (Bergström & Brink, 1987; Lindén et al., 1993b; Haak et al., 1993; Kyllmar & Johnsson, 1998; Mårtensson & Kyllmar, 1998; Johansson et al., 1999). Det tycks finnas en viss tendens till att de minsta värdena förekommer på gårdar utan animalieproduktion eller på fält utan tillförsel av stallgödsel.

I odlingsituationer som de senare och vid normalt rekommenderad kvävegödsling betingas N-utlakningen, som ju huvudsakligen äger rum under senhöst, vinter och tidig vår, till största delen av den kväveminalisering som sker under dessa delar av året, då det dessutom inte finns någon aktivt växande och kväveupptagande växtlighet (Lindén et al., 1994). Vid odling av vårsäd och andra ettåriga jordbruksgrödor omfattar dessa "vegetationslösa" årstider så mycket som 8-9 månader i norra Götaland. Utlakningen synes endast till en mindre del direkt bero på gödselkväve som lämnats outnyttjat av sommarens gröda och återfinns som mineralkväverester vid avslutad N-upptagning (se t.ex. Macdonald et al., 1989; Lindén et al., 1993b och 1994). Härutöver förstoras kväveutlakningen av överoptimala mängder gödselkväve (Kjellerup & Kofoed, 1979; Bergström & Brink, 1987; Burt & Haycock, 1993; Gustafson, 1995). Även om N-gödslingen ligger inom det optimala området, kan ogynnsamma förhållanden såsom torka under växtsäsongen (Lindén et al., 1993b) och sjukdomsangrepp (Haak et al., 1993) försämra grödornas tillväxt och gödselkväveutnyttjande och därmed leda till ökad N-utlakning. Målet bör vara, att även sådan "oavsiktligt" ökad utlakning motverkas.

2.1. Utlakningsbegränsande åtgärder på lerjordar

Utöver anpassning av kvävetillförseln i största möjliga utsträckning till grödornas aktuella kvävebehov kan kväveutlakningen minskas genom åtgärder som på hösten motverkar anhopningen av utlakningsbart kväve, både kväve som lämnats kvar outnyttjat av grödan och sådant som mineraliserats under de vegetationslösa årstiderna. Genom odling av rajgräs som insådd fånggröda erhålls en växtlighet på hösten som binder utlakningsbart kväve i organisk form (se t.ex. Lewan, 1990; Andersen & Olsen, 1992; Lindén et al., 1993a och b; Hansen, 1994; Wallgren & Lindén, 1994; Breland, 1996; Lyngstad & Børresen, 1996; Ohlander et al., 1996; Torstensson, 1998). Rajgräs som fånggröda tycks också minska kväveutlakningen effektivare än höstsådda grödor (Torstensson et al., 1995; Aronsson & Torstensson, 2003).

En annan åtgärd är jordbearbetningssystem som verkar konserverande på det organiskt bundna kvävet i marken under vinterhalvåret. Stubbearbetning efter skörden och höstplöjning stimulerar uppenbarligen kväveminaliseringen i marken under hösten och vintern samt ökar därigenom kväveutlakningen (Andersen & Olsen, 1992; Hansen & Djurhuus, 1997; Lindén et al., 1993a och b; Stenberg et al., 1999). Förutom att en insådd fånggröda tar upp kväve under hösten beror rajgräsens utlakningsbegränsande verkan följaktligen även på att stubbearbetning inte ägt rum efter skörden. Även utan fånggröda brukar utlakningen minska, om marken ligger obearbetad fram till våren, vilket bl.a. belysts i försök på lätt jord vid Mellby i Halland (Stenberg et al., 1999) och på Fotegården i Västergötland (Lindén et al., 1999; Aronsson et al., 2003). Försöksresultat som de här rapporterade har bidragit till att man i tillägg till höstsådda grödor, fånggrödor m.m. i Sverige godkänner obearbetad mark på hösten efter spannmåls- och oljeväxtodling som "grön mark" i bestämmelserna om höst- eller vinterbevuxen mark (SJVFS 1999:79).

Är plöjning på hösten nödvändig såsom på lerjordar, kan utebliven stubbearbetning efter skörden reducera N-förlusterna i viss utsträckning genom nedsatt höstmineralisering. För att ytterligare minska kvävefrigörelse och utlakning under vinterhalvåret kan dessutom plöjningen i princip utelämnas. Men eftersom vårplöjning normalt är oftast utesluten på lerjord, blir då direktsådd på våren (Phillips & Phillips, 1984; Arvidsson et al., 1994 och 1999) ett av de återstående, möjliga jordbehandlingsalternativen. Minskad N-mineralisering under hösten och vintern i ett odlingssystem med direktsådd på lerjord vid Lanna försöksstation i Västergötland har redovisats av Lindén et al. (1993b).

2.2. Undersökningarnas syfte

Inverkan av kvävegödslingsintensiteten, olika jordbearbetningssystem och insådd av engelskt rajgräs som fånggröda på kväve-mineraliseringen i marken och -utlakningen under olika årstider samt på grödornas kvävetillgång och -utnyttjande studerades 1992/93 – 1999/2000 i ett fältförsök (R2-8401) på styv lera vid Lanna försöksstation. Denna undersökning utgjorde en fortsättning på ett utlakningsförsök 1998-91 (R3-2194), där bl.a. inverkan av engelskt rajgräs och rödklöver som fånggrödor samt även direktsådd (se ovan) studerades (Lindén et al., 1993b). År 1993 ändrades försöksplanen i vissa av leden (se avsnitt 3 och 4.2).

Sedan Sveriges EU-inträde har de åkerarealer som tagit ur växtodlingen och definieras som "träda" ökat från ca 60.000-100.000 ha i början av 1990-talet till i storleksordningen 270.000 ha år 2004 (Statistiska Centralbyrån 1996-2005). En del av den stödberättigade, uttagna arealen utgörs enligt gällande regler av vallträda (flerårig träda med vall som "fånggröda"), som ej gödslas och i övrigt endast slås av eller putsats eller i praktiken bara ligger orörd. Genom att marken i sådana fall är bevuxen året runt och inte tillförs växtnäring, har det bedömts att kväveutlakningen blir mycket mindre än annars. För att belysa dessa förhållanden utökades försöket R2-8401 på Lanna med ett led med vallträda, där blandvall (vitklöver och gräs) såddes in i korn 1992. Vallträdan har sedan behandlats enligt gällande regler för s.k. uttagen areal.

Undersökningarnas mål har sammanfattningsvis tagit sikte på att på lerjord klarlägga följande:

- Hur kväve-mineralisering, kväve- och fosforutlakning samt vårsådda grödors avkastning och kväveutnyttjande påverkas av stigande kvävegivor, i kombination med rajgräs som insådd fånggröda, samt av direktsådd i jämförelse med konventionell jordbearbetning (stubbearbetning efter skörd och plöjning på senhösten).
- Hur en vallträda (ogödslad blandvall), som sommartid endast slås av, påverkar kväve- och fosforutlakningen i jämförelse med ettåriga grödor.

Undersökningarna utfördes av Avdelningarna för vattenvårdslära, precisionsodling och jordbearbetning vid Institutionen för markvetenskap, SLU i samarbete med SLU:s försöksstation Lanna. Föreliggande rapport omfattar åren 1992/1993 – 1999/2000 med avseende på kväveomsättningar i jord och växtlighet samt utlakningsdata.

3. UNDERSÖKNINGAR PÅ FÖRSÖKSPLATSEN 1988-92 (FÖRSÖK R3-2194)

Fältförsöket R2-8401 startade 1992. Det utgör som nämnts till viss del en fortsättning på tidigare studier av bl.a. efterverkan av fånggrödor (försök R3-2194), som genomfördes 1988-91 på samma odlingslokal (Lindén et al., 1993b). Försöksplanen ändrades fr.o.m. växtsäsongen 1992. Försöket R3-2194 hade följande försöksled 1988-91:

Led Ruta	Jordbearbetning	Fånggrödor	N-gödsling (1N = normal N-giva)
A-1	Konventionell med sen höstplöjning*	Utan	1N
B-2	Konventionell med sen höstplöjning*	Utan	1N (tvådelad N-giva)
C-3	Konventionell med sen höstpöjning	Engelskt rajgräs	1N
D-4	Konventionell med sen höstpöjning	Rödklöver	1N 1988, 0,75N 1989-91
E-5	Konventionell med sen höstpöjning	Utan 1988, Rödklöver 1989-91	1N
F-6	Direktsådd (ingen jordbearbetning)**	Utan	1N

*) Marken stubbearbetades i september varje höst, utom 1988. **) Dock stubbearbetning hösten 1989.

Grödorna utgjordes av vårkorn 1988, vårkorn 1989, vårraps 1990 och havre 1991 (Lindén et al., 1993b). Som fånggrödor odlades 1988-91 engelskt rajgräs och rödklöver, vilka plöjdes ned på senhösten. Medan rajgräset visade sig minska N-utlakningen efter vårsäd och våroljevaxter med ca 25 % i jämförelse med bar, stubbearbetad mark, medförde rödklöver ökade kväveförluster med dräneringsvattnet. Detta överensstämmer med de tilltagande kväveutlakningsrisker som fastställts i andra undersökningar med klöverarter (Beck-Friis et al., 1994; Wallgren & Lindén, 1994; Känkänen, 1995; Lyngstad & Breland, 1995).

I den plan som infördes 1992, då vårkorn odlades, behölls led A, C och F oförändrade. Därför kan långsiktiga resultat från en period om 13 år (1988-2000) nu redovisas bl.a. med avseende på effekterna av engelskt rajgräs som fånggröda. I den ändrade försöksplanen avsågs emellertid även att belysa, i vilken utsträckning förstörd N-utlakning till följd av överoptimal tillförsel av handelsgödselkväve kan motverkas genom odling av engelskt rajgräs, som sått in i vårsådda grödor.

År 1992 har redovisats av Lindén et al. (1993b) men tas ändå med i föreliggande rapport. Förutom att den nya försöksplanen infördes 1992 är orsaken, att det rådde torka särskilt under försommaren detta år (se nedan). Ovanligt stora, outnyttjade mineralkvävemängder återstod sedan vid avslutad kväveupptagning på sensommaren, särskilt i led F med direktsådd, där det hade blivit dålig uppkomst och stark missväxt (Lindén et al., 1993b), liksom vissa andra år. Följderna av dessa förhållanden för bl.a. N-utlakningen belyses i den föreliggande rapporten.

Av resultaten från led F, med direktsådd av vårsådda grödor, drogs slutsatsen att den uteblivna jordbearbetningen minskade kväve mineraliseringen under vinterhalvåret (Lindén et al., 1993b). Då N-frigörelsen under vinterhalvåret är en viktig orsak till kväveutlakningen (Lindén et al., 1994), syntes direktsådd kunna vara en av flera åtgärder, som kan vidtas för att minska N-förlusterna till grund- och ytvatten. Det ansågs angeläget att studera direktsåddens långsiktiga inverkan på kvävedynamiken i marken och andra jordförhållanden samt på N-utlakningen, om skördarna kunde förbättras, varför detta led behölls i den nya försöksplanen.

4. MATERIAL OCH METODER

4.1. Försöksplats och växtföljd

Lanna försöksstation ligger på Varaslätten i Västergötland, ca 20 km väster om Skara (figur 1). Försöksfältet iordningställdes 1935 för rutvis uppsamling av dräneringsvatten (se avsnitt 4.3). Sedan 1961 har fältet utnyttjats för utlakningsstudier, i början med undersökningar av effekterna av bl.a. kalkning. Försöket omfattar sju rutor om vardera 3990 m². Följande växtföljd tillämpades sedan 1992, dvs. det år då den ändrade försöksplanen infördes:

1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Korn	Korn	Havre	Vårraps	Korn	Havre	Korn	Havre	Havre

Matjorden utgörs av måttligt mullhaltig styv lera (tabell 1a). Alven består av styv lera ned till ca 0,5 m djup och därunder av mycket styv lera. Under 2,2 m djup är leran vattenmättad och flytande.



*Figur 1.
Lanna
försöksstations
geografiska
läge.*

Matjordslagret hade vid provtagning år 1992 neutralt pH-värde samt fosfor- och kaliumtillstånd som motsvarade P-AL- respektive K-AL-klass III (tabell 1b). Matjordens innehåll av förrädsfosfor och -kalium, som inkluderar de mer svårtillgängliga fraktionerna av fosfor och kalium, motsvarade P-HCl-klass 3 respektive K-HCl-klass 4, dvs. medelmåttigt och gott tillstånd. Hösten 1996, då ny provtagning gjordes, var pH-värdena ett par tiondelar högre (tabell 1b). Vid detta tillfälle bestämdes även basmättnadsgraden (enligt Nömmik, 1974). Det visade sig att ruta 1 hade 100 % basmättnadsgrad jämfört med 88-91 % i ruta 2-6. Det höga värdet i ruta 1 synes vara en kvardröjande verkan från kalkningsstudier på 1960-talet med

mycket stor kalktillförsel (32 ton CaO per ha) i denna ruta 1962. I ruta 2 och 3 tillfördes då 16 respektive 8 ton CaO per ha, medan de övriga rutorna utnyttjades för gödslingsstudier utan någon kalkning.

Tabell 1. Markegenskaper på försöksplatsen vid Lanna.

a. Jordartssammansättning i matjord och alv, medeltal för alla rutor

Markdjup (cm)	Texturell sammansättning (%), partikelstorlek (mm)				Mullhalt (%)*
	Ler <0,002	Mjåla 0,002-0,02	Mo 0,02-0,2	Sand 0,2-2	
0-20	45,2	27,5	20,2	7,1	3,3*
20-40	54,5	28,3	13,4	3,8	
40-60	59,5	26,1	13,0	1,2	
60-80	61,5	24,7	12,7	1,0	
80-100	64,1	25,3	10,0	0,6	

*) Provtagning den 26/10 1992, beräknat på basis av totalkolbestämning (omräkningsfaktor: 1,724).

b. Kemiska egenskaper i matjorden (0-20 cm) vid provtagning efter skörden 1992, medeltal av dubbelbestämningar. Hösten 1996 gjordes en kompletterande provtagning med bestämning av pH-värden och basmättnadsgrader i matjorden.

Led	pH(H ₂ O)	Basmättnadsgrad, %, enligt Nömmik (1974)	P-AL	K-AL	Mg-AL	P-HCl	K-HCl	Total-C	Total-N
Ruta			mg/100 g jord				% av ts	% av ts	
A-1	7,4 (7,6)*	100,0*	5,5	8,0	25,6	52	235	1,86	0,19
B-2	7,3 (7,5)*	91,1*	6,8	9,0	27,1	50	260	1,95	0,20
C-3	7,1 (7,3)*	90,2*	5,0	9,5	27,6	44	270	1,81	0,17
D-4	7,1 (7,3)*	88,4*	5,0	9,5	25,0	44	285	2,03	0,19
E-5	6,9 (7,3)*	91,4*	5,7	12,8	22,4	46	320	1,98	0,18
F-6	7,0 (7,2)*	89,1*	4,6	12,0	27,7	40	345	1,85	0,17
G-7	(6,9)*	83,2*						2,10**	0,18**

*) Provtagning den 23/10 1996, enkelbestämningar. **) Provtagning den 11/11 1993.

4.2. Försöksplan och odlingsåtgärder

I den ändrade försöksplan som infördes 1992 (tabell 2) ingår sju led med behandlingar med avseende på kvävegödsling, jordbearbetningssystem, förekomst av fånggröda (led A-F) samt vallträda som en form av uttagen areal i led G. På grund av antalet tillgängliga rutor (sju) kunde upprepningar inte införas i de olika leden. År 1992, då grödan utgjordes av korn, gjordes i led G (ruta 7) en insådd med en fröblandning (23 kg/ha) innehållande 3 kg vitklöver, 8 kg timotej, 6 kg ängssvingel, 4 kg ängsgröe och 2 kg rödsvingel per ha. Under försöksperioden 1988-1991 ingick inte ruta 7 i försöksplanen, men samma grödor odlades under dessa år i alla sju försöksrutorna (jmf. Lindén et al., 1993b). Vegetationen på vallträdan putsades fr.o.m. 1993 normalt fyra gånger sommartid dels för att motverka fleråriga ogräs och dels för att i ett tänkt landskapsvårdande syfte hålla marken öppen. Den följande redovisningen av odlingsåtgärderna i försöket avser de agrohydrologiska åren 1992/93-1999/2000. År 2000 ändrades planen något för att studera efterverkningarna av åtgärderna under tidigare år (se tabell 2 och 3 samt nedan). Därför plöjdes alla led A-F hösten 1999, ingen fånggröda såddes 2000 och alla led gavs en enhetlig N-giva detta år. Försöket avslutades efter skörden år 2000, då en helt ny plan infördes. Led G med vallträda kom däremot att skötas som tidigare.

Tabell 2. Försöksplan för utlakningsförsök R2-8401 på Lanna försöksstation 1992-1999 samt för efterverkansåret 2000

Led Ruta	Huvudgröda/gröda	Jordbearbetning		Fånggröda (eng. rajgräs)	Kvävegödsling*			
		Stubbearbetning	Plöjning		(1 N = = normal riktgiva)	kg N/ha		
					Havre, korn	Havre 2000	Vår- raps	
A-1	Ettårig, vårsådd	Tidig höst**	Senhöst	Utan	1 N	110	90	114
B-2	Ettårig, vårsådd	Tidig höst**	Senhöst	Utan	1,25 N****	138	90	143
C-3	Ettårig, vårsådd	Ingen	Senhöst	Med***	1 N	110	90	114
D-4	Ettårig, vårsådd	Ingen	Senhöst	Med***	1,25 N****	138	90	143
E-5	Ettårig, vårsådd	Ingen	Senhöst	Med***	1,50 N****	165	90	171
F-6	Ettårig, vårsådd	Ingen	(Direktsådd)	Utan	1 N	110	90	114
G-7	Flerårig vallträda som "uttagen areal"	Ingen	Ingen	-	Ingen	-	-	-

*) Som kalksalpeter, fr.o.m. 1998 kalksalpeter med svavel. **) Stubbearbetning utfördes även 1988-91.
) Ingen fånggröda år 2000. **) Gödsling med 1N till havren i alla led år 2000.

Tabell 3. Grödor, datum för gödsling och andra odlingsåtgärder samt tidpunkter för vissa utvecklingsstadier hos grödorna i led A-F

Åtgärd, tidpunkt m.m.	År	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
		Gröda	Korn	Korn	Havre	Vår- raps	Korn	Havre	Korn	Havre
<u>Gödsling</u>										
Mineralgödsel-N		27/5	5/5	16/5	22/5	3/6	21/5	26/5	28/5	16/5
Mineralgödsel-P			23/9			30/9			21/10	
P-giva, kg/ha			80			60			60	
<u>Huvudgröda</u>										
Sort		Golf	Golf	Vital	Sponsor	Etna	Adamo	Henni	Freja	Belinda
Sådatum*		12/5	14/4	24/4	6/5	2/5	7/4	13/5	30/4	5/5
Uppkomst		21/5	29/4	8/5	20/5	19/5	2/5	22/5	20/5	15/5
Gulmognad (st. 87) o.l.		13/8	12/8	8/8	23/8**	30/8	16/8	20/8	14/8	25/8
Skörd		10/9	6/9	10/8	8/9	19/9	29/8	30/9	24/8	11/9
<u>Fånggröda (eng. rajgräs)</u>										
Sort		Tove	Tove	Tove	Tove	Gunne	Helmer	Helmer	Helmer	-
Utsädesmängd, kg/ha		10	10	10	10	10	10	10	10	-
Sådatum		19/5	24/4	29/4	10/5	10/5	16/4	14/5	6/5	-
Stubbearbetning, tidig höst, 1-2 ggr: led A och B		19/9	19/9	22/8 9/9	25/9 16/10	3/10	11/9 2/10	9/10	17/9 7/10	
Höstplöjning: led A, B, C, D och E		4/11	4/11	2/11	7/11	11/11	17/11	11/11	11/11	
Ogräsbekämpning: Datum (vid behov) Preparat		17/6 MCPA		9/6 Act- ril P	26/6 Matrigon	16/6 Dupli- can S	12/6 Express	12/6 Express	7/6 Basa- gran MCPA	5/6 Express
Kvicksrotsbekämpning, gly- fosat, led F		14/5	29/9				26/9		7/10	

*) Led F besåddes 8/5 1991, 13/4 1993, 11/4 1994, 6/5 1995, 30/4 1996, 7/4 1997, 4/5 1998, 29/4 1999 och 5/9 2000.

***) Stadium 80 enligt BBCH-skalan (Sturesson & Djurle, 1994).

Sådden av huvudgrödorna 1992-2000 ägde i medeltal rum den 29 april, med variationer från den 7 april år (1997) till den 13 maj (1998), se tabell 3. Fånggrödan (led C, D och E) utgjordes som nämnts av engelskt rajgräs, som såddes in i huvudgrödan i genomsnitt den 5 maj, dvs. 6 dagar efter sådden av den sistnämnda. Utsädesmängden motsvarade 10 kg utsäde per ha. Som nämnts såddes ingen fånggröda år 2000 i syfte att renodlat studera efterverkningar.

I led A och B stubbearbetades marken till 8-10 cm djup vid ett tillfälle efter skörden alltsedan 1988 (medeldatum 1992-99: 19 sept., se tabell 3). År 1994, 1995, 1997 och 1999 upprepades dock denna bearbetning en gång senare på hösten. Fr.o.m. 1993 utfördes stubbearbetningen med Väderstads stubbkultivator. Under åren 1988-92 stubbkultiverades led A och B till 8-10 cm djup med en Wibergs Grubber. Led A-E plöjdes på senhösten (medeldatum: 8 nov.), då fånggrödan i led C, D och E således också brukades ned.

I led F med direktsådd på våren bearbetades marken ej alls under något av åren, varken under hösten eller våren, ända sedan 1988 med undantag av hösten 1990. Direktsådden utfördes med olika direktsåmaskiner med skivbillar: Bettison (Massey-Ferguson) 1988, Väderstad DS 1989-96 och Väderstad Rapid fr.o.m. 1997. Hösten 1999 plöjdes som nämnts även led F, så att alla led skulle kunna anses lika behandlade under det avslutande året 2000, då efterverkan studerades.

Halmen i led F med direktsådd bortfördes efter skörden i den mån större halmmängder fanns. Sålunda bärgades halmen höstarna 1995 (1.580 kg ts/ha), 1996 (1.900 kg ts/ha, 1997 (1.870 kg ts/ha), 1998 (3.420 kg ts/ha) och 1999 (1.460 kg ts/ha). År 1992-94 blev halmmängderna små, varför ingen halmbärgning gjordes. Däremot lämnades all halm kvar i led A-E. Den hackades vid tröskningen och myllades ned vid den efterföljande jordbearbetningen. P.g.a. uppförkning av kvickrot i led F bekämpades denna genom besprutning med glyfosat i detta led i slutet av september 1993 och 1997 samt i början av oktober 1999 (tabell 3).

Kvävegödslingens storlek till de olika grödorna framgår av försöksplanen (tabell 2). Med rikt-givan 1 N avsågs en tilldelning av kväve enligt de allmänna rekommendationerna i området. År 1992 ändrades N-gödslingsnivåerna jämfört med perioden 1988-91, så att effekterna av stigande kvävegivor med och utan insådd av rajgräs kunde studeras. Kvävet spreds som engångsgivor (medeldatum: 22 maj) i form av kalksalpeter, som övergödslades i genomsnitt åtta dagar efter huvudgrödans uppkomst (medeldatum: 14 maj), se tabell 3. Fr.o.m. 1998 infördes kalksalpeter med svavel. Som nämnts gavs år 2000 alla leden A-F en enhetlig N-giva (90 kg N/ha till havre) för att studera efterverkan av tidigare odlingsåtgärder. Under försöksperioden 1988-91 förrådsgödslades led A-G och under perioden 1992-2000 led A-F med fosfor, som spreds på hösten vart tredje år (1987, 1990, 1993, 1996 och 1999), först i form av superfosfat P9 och fr.o.m. 1993 som P20. Mängderna motsvarade först 80 kg P/ha, men höstarna 1996 och 1999 spreds 60 kg P/ha, som avsågs att täcka fosforbehovet under tre år. Inget kalium tillfördes under dessa år.

Vad gäller kvävegödslingen 1988-91 hänvisas till Lindén et al. (1993b). N-givorna motsvarade normalt anbefallda mängder till vårsäd och vårraps. I led A, C och F tillämpades emellertid i närmast alla avseenden samma behandlingar under perioden 1992-1999 som under åren 1988-91, dvs. i sammanlagt 12 år. I led B tillfördes samma kvävemängd 1988-91 som i led A men i form av delade N-givor. I led D och E odlades som nämnts rödklöver som fånggröda t.o.m. 1991, varefter klövern ersattes av engelskt rajgräs, som redan utgjort fånggröda i

led C. Någon positiv efterverkan av rödklövern med avseende på skörderesultatet i led D och E år 1992 i jämförelse med övriga led kunde inte fastställas (Lindén et al., 1993b).

År 1992, då vallträdan i led G såddes in i vårkornet, gödslades detta led med 83 kg N/ha. Under de efterföljande åren tillfördes ingen växtnäring i form av handelsgödsel till den permanenta vallen. Denna putsades med en s.k. slagklippare, som i likhet med en slaghack delvis river sönder växtmaterialet. Avslagning gjordes normalt fyra gånger under varje växtsäsong, varefter vallmaterialet lämnades kvar på marken.

4.3. Dräneringssystem samt provtagning och analys av dräneringsvatten

De sju försöksrutorna (figur 2) har alla separata dräneringssystem, vilket möjliggör rutvis mätning och uppsamling av vatten. Dräneringsdjupet är ca 1 m. I varje ruta (40 * 100 m) ligger tre rörledningar med 14 m mellanrum vilka samlar upp det avrinnande vattnet och leder det till en mätbrunn med en dräneringspump. Under försöksperioden 1992-2000 användes pumpens gångtid för att bestämma vattenflödet. Timvärden för vattenflödet lagrades i en datalogger. Vattenprover togs för analys av nitratkväve, fosfatfosfor och totalfosfor. Provtagningen var flödesproportionell med en automatisk vattenprovtagare av modell ISCO kopplad till dataloggern som användes för flödesregistreringen. För varje avrinningsmängd motsvarande 0,25 mm gav loggern en signal som aktiverade en peristaltisk pump att ta ett vattenprov om ca 15 ml. Tio sådana vattenprover samlades i en provflaska, vilket betydde att varje vattenprov som skickades för analys representerade ungefär 2,5 mm avrinning. Vattenanalyserna genomfördes vid Avdelningen för vattenvårdslära, SLU, Uppsala. Mängden nitratkväve analyserades enligt kadmiumreduktionsmetoden (APHA, 1985). Fosforanalyserna genomfördes enligt Europeisk Standard (ECS, 1996).

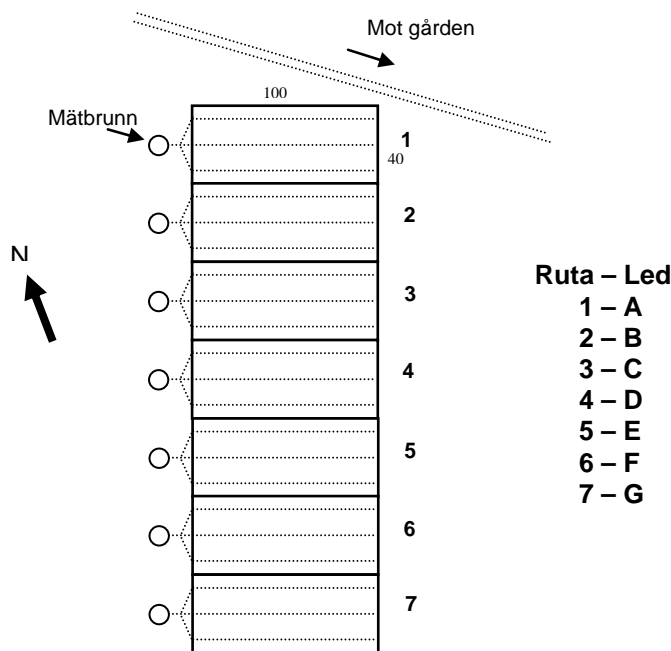
4.3.1. Beräkning av periodvisa medelkoncentrationer och växtnäringsutlakning

Årliga medelkoncentrationer och årlig utlakning beräknades och användes för jämförelser av de olika försöksleden. För kväve beräknades även utlakningen under delperioder under året, vilket bland annat användes för beräkning av nettomineraliseringen av kväve under olika perioder. För att beräkna utlakning multiplicerades den analyserade koncentrationen i varje prov med alla dygnsavrinningar sedan föregående provtagningstillfälle. Utlakningen under delperioderna kunde sedan summeras till önskvärd period. Utlakningen, t.ex. som årsvärden, redovisas på detta sätt baserad helt på avrinningen för varje ruta. Årsmedelkoncentrationer av kväve och fosfor togs fram genom att dividera beräknad årsutlakning med årsavrinning från aktuell ruta.

4.4. Provtagningar och analyser av växtmaterial och jord i led A-F

4.4.1. Skördar samt bestämning av växtnäringsinnehåll i skördeprodukterna

Vårsädens och vårrapsens avkastning bestämdes genom parcellvis skördetröskning med 10 drag per ruta (6 drag år 2000). Vid tröskningen uttogs ledvisa kärn- respektive fröprover (tre per led). Utöver vattenhalt och renhet vid skörden fastställdes innehållet av totalkväve genom reguljär Kjeldahl-analys och totalfosfor genom ICP-analys. Fr.o.m. 1995 bestämdes dock totalkväve med en Leco CNS 2000 (Leco, S:t Joseph, Michigan, USA) och år 2000 genom nära infraröd transmittans (NIT-N), det senare vid Provcentralen, SLU. Kväve- och fosforanalyserna i skördeprodukterna användes bl.a. till beräkning av bortförseln av dessa växtnäringsämnen med skördarna.



Figur 2. Försöksfältet med dräneringssystem.

4.4.2. Torrsubstansproduktion och kväveupptag hos huvud- och fånggrödor samt hos annan vegetation

Ovanjordiskt växtmaterial provtogs i följande avseenden:

- Växtrester på våren i led F omedelbart före direktsådd.
- Förekommande levande ogräs och annan grön vegetation på våren i led F omedelbart före direktsådd.
- Stråsådesgrödor på sensommaren när deras kväveupptagning beräknades ha avslutats: vid gulmognad, stadium DC87 (Tottman, 1987). År 1995, då vårraps odlades, utfördes provtagningen under den senare delen av frötvecklingen, motsvarande stadium 80 enligt BBCH-skalan (Sturesson & Djurle, 1994).
- Fånggröda och ogräs i huvudgrödan på sensommaren, när huvudgrödans kväveupptagning beräknades ha avslutats: stadium DC87 hos stråsådd och stadium BBCH-80 hos vårraps (se ovan).
- Grodd spillsäd och ogräs i led A och B före den första stubbearbetningen efter skörd.
- Växtrester i led A och B före den första stubbearbetningen efter skörd.
- Fånggröda, ogräs och grodd spillsäd på senhösten i led C-E före höstplöjningen. Samtidigt provtogs förekommande ogräs och grodd spillsäd i led F.
- Växtrester på senhösten i led C-E före höstplöjningen.

Tre rutvisa prover av ovanjordiskt växtmaterial av dessa olika slag togs ut i varje ruta genom avklippning av plantorna vid markytan inom tre skilda delområden. Vid provtagning av växtresterna uppsamlades också löst liggande material på markytan. Varje delprov innehöll växtmaterial från tre slumpmässigt fördelade, kvadratiska ytor om $0,25 \text{ m}^2$. På detta sätt provtogs en total yta om $2,25 \text{ m}^2$ per led. Vid provtagning av fånggrödorna togs förekommande ogräs med i proverna, och på hösten även spillsådesgrönska. Provtagningsdatum framgår av de tabeller nedan där resultaten redovisas.

Växtproverna torkades och vägdes vid högst 60°C, varefter totalkväveinnehållet bestämdes genom reguljär Kjeldahl-analys (Kjeltec från Tecator). Fr.o.m. 1995 gjordes denna analys med en Leco CNS 2000 (Leco, S:t Joseph, Michigan, USA). Vidare bestämdes ts-halten för beräkning av torrsubstansproduktionen. För beräkning av huvudgrödornas (vårsädens och vårrapsens) samlade N-upptag antogs att kväveinnehållet i rötterna utgjorde 25 % av grödornas totala kväveinnehåll (jmf. Jansson, 1966; Hansson et al., 1987). Samma antagande gjordes för rajgrässets rötter. För beräkning av kol-kväveknoten i det ovanjordiska växtmaterialet från växtresterna, fånggrödorna, ogräset och spillsädesgrönskan, som stubb-bearbetades ned eller plöjdes ned i jorden vid de olika jordbearbetningstillfällena, bestämdes även innehållet av totalkol. Detta gjordes med samma Leco CNS 2000 (Leco, S:t Joseph, Michigan, USA) som för totalkvävebestämningen.

4.4.3. Mineralkväve i marken

Markprofilens innehåll av mineralkväve (ammonium- och nitratkväve) inom 90 cm djup i led A-F bestämdes genom provtagningar vid följande tidpunkter:

1. Tidigt på våren när eventuell tjäle gått ur jorden och förekommande ytvatten försvunnit.
2. Vid huvudgrödornas uppkomst (före N-gödslingen).
3. Vid avslutad N-upptagning på sensommaren (stadium DC87 hos stråsåd och stadium 80 enligt BBCH-skalan hos vårraps), samtidigt med att prov togs av huvud- och fånggrödorna.
4. Vid tidpunkten för den första stubbearbetningen i led A och B efter skörden.
5. Vid tidpunkten för plöjning på senhösten i led A-E.

Rutvisa jordprover togs härvid ut med indelning i tre skikt: 0-30, 30-60 och 60-90 cm djup. I matjorden gjordes 24 borrhstick per ruta med Trekanten-borr (Lindén, 1977) och i alven 12 stick med Ultuna-borr (Lindén, 1979). Delproverna slogs ihop till skiktvisa samlingsprov. Dessa förvarades djupfrysta, varefter de homogeniserades genom frysmalning. Proverna extraherades med 2 M KCl i jord-vätskeförhållandet 100 g:250 ml (jmf. Bremner & Keeney, 1966), varefter ammonium- och nitratkväve bestämdes kolorimetriskt med en autoanalysator (TRAACS 800, metod nr. ST9002-NH₄D och ST9002-NO₃D). Analysvärdena omräknades skiktvis till kilogram kväve per hektar med beaktande av aktuella vattenhalter och under antagande att volymvikten i matjorden (0-20 cm) var 1,25 kg/dm³ och 1,50 kg/dm³ i skikten därunder.

4.5. Växttillgängligt jordkväve samt kvävemineralisering i led A-F

I syfte att bestämma odlingssystemens fleråriga inverkan på huvudgrödornas kväveförsörjning i led A-F utlades årligen ettåriga smårutor, "0N-parceller", som ej tillfördes gödselkväve under året i fråga. Grödornas N-upptag i 0N-parcellerna utgör i försöket den samlade effekten dels av kväveefterverkan av fånggrödorna, huvudgrödorna och tidigare års gödslingar samt dels av jordbearbetningsåtgärdernas inverkan på kvävetillgången i marken, utan att dessa påverkningar överskuggas av årets kvävegivor.

Tre 0N-parceller om vardera ca 36-40 m² lades ut på våren i varje "ordinarie" ruta. De tre årliga 0N-parcellerna utgjorde således högst 3 % av varje rutas yta (3990 m²). Inget gödselkväve tillfördes inom 0N-parcellerna, och fånggröda såddes ej heller in. 0N-parcellerna flyttades varje år. Härigenom kom de alltid att ha samma odlingsbakgrund som de ordinarie rutorna. Jordprover enligt ovan för mineralkvävebestämning togs ut vid avslutad kväveupptagning (stadium DC87 hos stråsåd och stadium BBCH-80 hos vårraps) under

sensommaren. Omedelbart före denna jordprovtagning provtogs också huvudgrödorna i 0N-parcellerna för bestämning av kväveupptaget. Detta utfördes samtidigt med att gröd- och jordprover på motsvarande sätt togs ut i de ordinarie rutorna. Provtagningarna i 0N-parcellerna utnyttjades bl.a. för beräkning av kvävemineraliseringen under växtsäsongen enligt följande formel:

$$N_{\text{net}} = N_{\text{växt}} + N_{\text{ms}} - N_{\text{mb}} + N_{\text{u}}$$

där N_{net} = Beräknad nettomineralisering av kväve under perioden
 $N_{\text{växt}}$ = Kväve upptaget i gröda och ogräs under perioden
 N_{ms} = Mineralkväve i marken vid periodens slut
 N_{mb} = Mineralkväve i marken vid periodens början
 N_{u} = Beräknad nitratkväveutlakning under perioden

Formeln användes även för beräkning av kvävemineraliseringen under andra årstider, då motsvarande provtagningar i de ordinarie rutorna utnyttjades. Faktorn $N_{\text{växt}}$ avser i dessa fall kväve i fånggröda, ogräs och spillsädesgrönka. Den beräknade nettomineraliseringen av kväve kan tolkas som ett nettomineraliseringstillskott minskat med förekommande förluster genom denitrifikation och annan gasformig avgång av kväve från systemet mark-växter.

Även under det avslutande året 2000 bestämdes N-efterverkan av de olika odlingsåtgärderna dittills genom provtagning av grödan i 0N-parcellerna. Dessutom tröskades dessa försöksmäsigt med tre tröskdrag per ruta detta år för bestämning av kärnskorde, medan sex drag samtidigt gjordes för skördebestämning i de ordinarie rutorna.

4.6. Vallträda (led G)

Den permanenta vallen slogs som antytts normalt av fyra gånger per år: i juni, juli, augusti och september. Torrsubstansproduktionen bestämdes vid dessa tillfällen med hjälp av vallskördemaskin. Ett generalprov av växtmaterialet togs samtidigt ut, i vilket torrsubstanshalten bestämdes. Vidare fastställdes totalkvävehalten 1993 och 1994 genom reguljär kjeldahlanalys (Kjeltec från Tecator) och fr.o.m. 1995 genom analys med en Leco CNS 2000 (se ovan).

Markprofilens innehåll av mineralkväve inom 90 cm djup bestämdes genom provtagningar på ovan beskrivet sätt vid följande tidpunkter:

- Tidig vår, samtidigt med motsvarande provtagning i led A-F.
- Samtidigt med provtagning i led A-F vid avslutad kväveupptagning hos grödan (stadium DC87 hos stråsäd och BBCH-80 hos vårraps, se ovan).
- Vid tidpunkten för plöjning på senhösten i led A-E.

4.7. Väderförhållanden

Uppgifter om temperatur och nederbörd under försöksåren 1992-2000 har hämtats från SMHI:s meteorologiska station vid Lanna. Temperaturen under vintrarna var i medeltal något högre än under jämförelseåren 1961-90 (tabell 4a). Medeltemperaturen under perioden december-mars var under fem av de nio vintrarna normal eller över det normala (tabell 4a).

Mildvädersperioder under vintrarna medförde emellertid, att snötäcke ofta bara förekom kortvarigt. Jorden torde under blidvädersvintrarna generellt ha varit frusen under kortare perioder än vanligt, vilket kan ha ökat både N-mineraliseringen och N-förlusterna. Åren 1995 och 1997-2000 var fuktigare än vanligt (tabell 4b). Från 1992 till 2000 visade dessutom årsnederbörden en tendens att öka. Den uppgick under dessa år i medeltal till 589 mm jämfört med normalvärdet 558 mm för perioden 1961-1990. Nederbördsökningen med åren gäller i stort sett även vintermånaderna november-mars, då utlakningen oftast är som störst. Det fanns vidare en tendens till ökad vårnederbörd. Sommarvädret 1998 blev svalt. Nederbörden var mycket hög under sommaren och hösten detta år. I maj och juni 1992 var det mycket torrt, och led F med direktsådd drabbades av starkt försämrad uppkomst, som ledde till missväxt med kraftigt nedsatt kärnskörd (se nedan). Hög- och sensomrarna 1994-97 och 1999 var torrare än normalt.

Tabell 4. Temperatur och nederbörd vid SMHI:s meteorologiska station Lanna 1992-2000.

a) Månadsmedeltemperatur (°C)

År	Jan.	Febr.	Mars	April	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.
1992	-0,2	-0,2	2,0	2,8	11,8	16,2	15,6	14,1	10,4	3,0	1,5	-0,1
1993	-1,0	-1,7	-0,2	5,1	12,5	11,9	13,3	11,9	8,0	4,7	-0,1	-1,4
1994	-2,1	-7,6	0,0	4,8	9,8	12,0	18,4	15,8	10,4	5,0	2,5	0,9
1995	-3,6	0,0	0,7	3,3	8,3	13,2	15,1	16,3	11,0	8,9	-0,5	-5,1
1996	-4,9	-7,5	-1,5	4,6	7,0	13,1	13,5	17,0	8,7	7,4	2,2	-5,6
1997	-4,7	-1,1	0,9	2,9	8,1	14,2	16,3	18,4	11,4	4,1	1,1	-1,4
1998	-0,8	1,4	-0,3	3,4	9,9	12,1	13,5	12,6	11,5	5,3	-1,9	-2,4
1999	-1,1	-1,3	0,0	5,9	8,5	13,0	15,7	14,5	13,8	6,5	2,2	-5,6
2000	-0,5	0,2	0,2	6,3	11,7	12,7	14,2	14,0	10,2	9,8	5,9	2,6
Medeltal	-2,1	-2,0	0,2	4,3	9,7	13,2	15,1	15,0	10,6	6,1	1,4	-2,0
Normal månadstemperatur*												
	-3,1	-3,4	-0,3	4,4	10,6	14,7	15,7	14,9	11,0	7,1	2,1	-1,4

*) Avser s.k. referensnormaler för perioden 1961-1990 (Alexandersson & Eggertsson Karlström, 2001).

b) Månadsnederbörd (mm)

År	Jan	Febr	Mars	April	Maj	Jun	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec	Hela året
1992	32	36	31	85	17	3	62	77	31	75	52	27	528
1993	64	32	5	13	22	50	91	100	20	78	9	55	539
1994	64	14	32	24	7	58	5	64	111	53	60	41	533
1995	38	49	53	60	27	134	30	9	131	51	49	15	646
1996	6	19	10	16	84	27	30	57	59	26	108	30	472
1997	9	54	21	29	92	84	30	92	50	48	39	59	607
1998	54	41	15	41	25	106	63	99	84	97	22	52	699
1999	67	26	46	60	45	81	34	39	79	39	6	71	593
2000	36	40	32	76	60	54	72	33	26	105	66	87	687
Medeltal	41	35	27	45	42	66	46	63	66	64	46	49	589
Normalnederbörd*													
	37	24	29	30	41	51	63	62	65	61	56	39	558

*) Avser s.k. referensnormaler för perioden 1961-1990 (Alexandersson & Eggertsson Karlström, 2001).

5. RESULTAT OCH DISKUSSION

5.1. Skördar av stråsäd och vårraps

5.1.1. Avkastning 1992-99

Avkastningen av grödorna under åren 1992-99 (vårsäd utom 1995, då vårraps odlades) blev störst i led A och B, utan fånggröda och med ”normal” N-giva (1N) resp. 25 % över ”normal” giva (1,25N), se tabell 5. Skördarna i led B låg dock något under nivån i led A, och den större kvävegivan gav således mot förväntan ingen ökat utbyte. I de tre leden C (1N), D (1,25N) och E (1,50) med rajgräs som insådd fånggröda blev avkastningen i medeltal 4, 5 resp. 14 % mindre än i led A under åren med stråsäd och ännu sämre, om året med vårraps inräknas. Kraftig liggsäd uppkom under åren 1996-98 särskilt i leden med ökad N-gödsling (tabell 5), vilket kan ha bidragit till de sänkta skördarna. Led A (1N, utan fånggröda) och C (1N, med fånggröda) kan jämföras fr.o.m. 1988. Skörderesultaten för hela perioden 1988-99 visar på ett likartat sätt sämre avkastning i led C.

Under året med vårraps (1995) blev skörden starkt nedsatt i led C-E, uppenbarligen genom rajgräsets konkurrens gentemot huvudgrödan. Rajgräset utvecklades alldeles för kraftigt i vårrapsen (se avsnitt 5.6).

I led F med direktsådd och normal N-giva (1N) uppgick skördarna av stråsäd i medeltal till ca 80 % av dem i led A, men under vårrapsåret blev skördeutbytet betydligt sämre än så (tabell 5). Starkt bidragande till den i medeltal lägre avkastningen var 1992, då svår missväxt som nämnts uppkom i led F till följd av nedsatt groning. Även åren 1993-96 blev skördarna i led F sämre: 900-3200 kg/ha lägre än i led A. Under åren 1997-99 blev avkastningen omvänt större än i led A. Det sämre skördeutbytet 1992-96 sammanhänger främst med nederbörden under månaden efter sådden (tabell 4b). Torrare väderlek försämrade uppkomsten efter direktsådd. Ett annat förhållande som medverkade till lägre skörd var uppförökning av kvickrot, i hög grad till följd av somrar med svag gröda och genom att marken låg obearbetad under höstarna. För att motverka kvickroten behandlades led F med glyfosat våren 1992 samt höstarna 1993, 1997 och 1999 (tabell 3). För att underlätta sådden bärgades halmen i led F med direktsådd fr.o.m. 1995, vilket kan ha bidragit till de högre skördarna fr.o.m. 1996.

De lägre skördarna 1988-1991 i led C (1N, med fånggröda) och F (1N, direktsådd) samt i flertalet fall i alla led B-F 1992-99 än i led A (1N, utan fånggröda) tycks huvudsakligen bero på någon bördighetsfaktor, som varierar mellan leden. Det är troligt, att ett tidigare kalkförsök under 1960-talet (avsnitt 4.1) haft efterverkningar som påverkat skördarna i de olika rutorna. Detta belyses i tabell 1b, där det framgår att pH-värdet vid provtagning 1992 var högst i led A, samtidigt som basmättnadsgraden där var 100 % jämfört med 88-91 % i led B-F. Skillnaderna i fosfor- och kaliumtillstånd mellan leden (tabell 1b) var däremot små och torde inte ha haft någon påtaglig betydelse.

Skördenivåerna i försöket kan jämföras med de bärgade skördar som redovisas i Jordbruksstatistisk Årsbok (Statistiska Centralbyrån, 1993-2001) för Götalands norra slättbygder (GNS) åren 1992-2000. För vårkorn anges i medeltal 4350 kg kärna per ha (minsta värde: 3160, högsta värde: 5100), havre 3930 kg/ha (min: 2300, max: 4650) och vårraps 1920 kg frö per ha (min: 1570, max: 2200). Avkastningen i led A (1N, utan fånggröda) var samtliga år, även under efterverkansåret 2000, större än de angivna genomsnittsskördarna i GNS för 1992-2000.

Tabell 5. Skördar och stråstyrka hos stråsåd och vårraps. Skördarna åren 1988-91 har tagits med i form av relativtals för att belysa hela försöksperioden 1988-2000 i led A, C och F, som varit oförändrade. År 2000 avser efterverkansår

Led		A	B	C	D	E	F
Fånggröda		-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Jordbearbetning		Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd
Kvävegiva		1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N

Skördar, kg/ha (stråsådeskärna och vårrapsfrö: 15 % vattenhalt) och relativtals (led A = 100)

1992	Korn	4610	4090	4530	4190	3360	890
1993	Korn	6970	7110	6700	6600	5250	5310
1994	Havre	6160	6070	5590	5430	5290	3780
1995	Vårraps	2580	2650	1450	1450	1680	1570
1996	Korn	7940	7280	7750	7900	7420	7190
1997	Havre	5900	6180	5800	6020	6040	6930
1998	Korn	6530	6290	6510	6310	5290	6750
1999	Havre	6190	6150	5470	5730	5610	5450
2000, 90 kg N/ha	Havre	5600	5590	4670	4890	4860	5620
2000, 0 kg N/ha	Havre	3060	2830	2120	2380	2740	2580
Medeltal av relativtals:							
Medeltal 1988-1991		100		93			83
Medeltal 1992-1999		100	98	91	90	83	77
Medeltal, stråsåd 1992-1999		100	97	96	95	86	79
Stråsåd, A+B, C+D, 1992-1999			99		95		
Stråstyrka, 100 = helt upprättstående gröda, 0 = fullständig liggsåd							
1992	Korn	100	100	95	95	95	95
1993	Korn	87	75	83	85	90	78
1994	Havre	100	100	100	100	100	100
1995	Vårraps	100	100	100	100	100	100
1996	Korn	46	13	58	8	15	93
1997	Havre	30	15	35	15	10	40
1998	Korn	40	30	40	25	10	30
1999	Havre	100	95	100	93	81	100
2000, 90 kg N/ha	Havre	83	83	89	82	86	80
2000, 0 kg N/ha	Havre	100	100	100	100	100	100
Medeltal 1992-1999*		72	61	73	60	57	77

*) Avser stråsåd.

5.1.2. Efterverkan år 2000 av odlingsåtgärderna 1992-99

Efterverkan av de ledvisa behandlingarna studerades som nämnts 2000 dels genom att samma N-giva (90 kg N/ha) tillfördes till grödan (havre) i alla led och dels genom att 0N-rutor (utan gödsel-N 2000) lades ut i alla led A-F. För att även i andra avseenden likställa led A-F år 2000 såddes som nämnts inga fånggrödor in detta år, och jorden i led F hade plöjts hösten 1999 (tabell 3). Dessutom fosforgödslades led A-F hösten 1999 (tabell 3).

Skörden av havren blev ungefär densamma i led A (tidigare: 1N, utan fånggröda), B (tidigare: 1,25N, utan fånggröda) och F (tidigare: 1N, direktsådd), se tabell 5. I led C (tidigare: 1N, med fånggröda) blev avkastningen nästa 1000 kg/ha lägre än i led A. I led D (tidigare: 1,25N, med fånggröda) och E (tidigare: 1,50N, med fånggröda) var skörden ca 200 kg/ha större än i C, vilket kan vara en efterverkan av de dessförinnan högre N-givorna. Tidigare hade led D och E sämre avkastning än C, men med åren tycktes en viss utjämning ha ägt rum. I 0N-rutorna, där grödans N-försörjning helt baserades på jordens kväveleverans, bekräftades den sämre avkastningen i led C, D och E än i led A år 2000. En viss kväveefterverkan av de stigande N-givorna i led C, D och E under de tidigare åren avspeglas dock i respektive 0N-rutor.

Man kunde ha förväntat, att fånggrödorna i led C, D och E skulle ha gett en skönjbar efterverkan, så att skördarna år 2000 hade ökat i jämförelse med led A och B utan fånggröda. Någon sådan inverkan kan inte urskiljas, men effekterna kan ha dolts av skillnaderna i avkastningspotentialer.

5.2. Kväve i kärn- och fröskördarna samt kväveutbyte av gödslingen

Totalkvävehalterna i kärn- och fröskördarna 1992-99 steg med ökande kvävegödsling (tabell 6). Lägst totalkvävehalt erhöles i led C med normal N-giva (1N) och med fånggröda. Det finns emellertid en tendens till att ökningen av totalkvävehalterna i jämförelse med ”normalgödsling” (1N) blev större i led B (1,25N) utan fånggröda än i det motsvarande led där fånggröda såtts in (D: 1,25N). Möjliga förklaringar är dels mindre mineralkväveförråd på våren (avsnitt 5.9.4) och dels att rajgräsinsådden i viss mån konkurrerade om det växttillgängliga kvävet i marken (avsnitt 5.6.1). I led F, med direktsådd och utan fånggröda, blev totalkvävehalterna lägre än i led A, som hade samma gödsling. Mindre mineralkväveförråd på våren (avsnitt 5.9.4) och nedsatt kväveminerisering under växtsäsongen (avsnitt 5.10.3) till följd av frånvaron av jordbearbetning genom direktsådden är troliga, bidragande förklaringar.

Som framgått av tabell 5 ökade inte avkastningen med stigande N-givor 1992-99. Tilltagande totalkvävehalter i kärna och frö genom ökande kvävegödsling ledde dock i allmänhet till att större kväveinnehåll i skördeprodukterna och därmed större kvävebortförel med dem, dvs. tilltagande kväveskörd (tabell 6). Av tabell 8 framgår, att de N-mängder som bortfördes med skördarna i led A motsvarade i storleksordningen 90 % av gödselkvävemängden. Det motsvarande kväveutbytet för stråsäd i leden med stigande N-givor sjönk till som lägst 60 % i led E (1,50N).

Under efterverkansåret 2000, då havre odlades med enhetlig N-gödsling (90 kg N/ha), blev som nämnts kärnskördarna mindre i led C, D och E än i led A, medan led A, B och F hade samma avkastningsnivå. Den enhetliga N-gödslingen 2000 (90 kg N/ha) medförde lägre totalkvävehalter i kärnan i led C-F än i led A (tidigare: 1N) och även i jämförelse med B (tidigare: 1,25N), se tabell 6. De lägre skördarna och kvävehalterna ledde sammantaget till att bortförelsen av kväve med skördeprodukterna (kväveskördarna) särskilt i led C, D och E (tidigare: med fånggröda och stigande N-givor) också blev mindre under efterverkansåret (tabell 6). Detta medförde sämre kväveutbyte av N-gödslingen (tabell 8).

Tabell 6. Halter av totalkväve i spannmålskärna och rapsfrö samt totalkväveinnehåll i dessa skördeprodukter (kväveskördar). År 2000 avser efterverkansår

Led		A	B	C	D	E	F
Fånggröda		-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Jordbearbetning		Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd
Kvävegiva		1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N

Halter av totalkväve i kärn- och fröskördarna (% N av ts)

1992	Korn	2,38	2,48	2,40	2,43	2,45	2,45
1993	Korn	2,26	2,35	2,18	2,29	2,48	2,26
1994	Havre	1,96	1,99	1,85	2,10	2,21	2,14
1995	Vårraps	3,40	3,72	3,48	3,62	3,76	3,56
1996	Korn	1,49	1,65	1,35	1,51	1,84	1,41
1997	Havre	1,92	2,02	1,81	2,04	2,05	1,90
1998	Korn	1,73	1,96	1,56	1,95	2,07	1,72
1999	Havre	1,76	1,80	1,67	1,88	1,98	1,68
2000, 90 kg N/ha	Havre	1,81	1,75	1,49	1,66	1,67	1,66
2000, 0 kg N/ha	Havre	1,46	1,61	1,62	1,62	1,65	1,60
Medeltal 1992-1999		2,11	2,25	2,04	2,23	2,35	2,14
Medeltal, stråsäd 1992-1999		1,93	2,04	1,83	2,03	2,15	1,94
Stråsäd, A+B, C+D, 1992-1999		1,98		1,93			

Kväve i kärn- och fröskördarna (kväveskördar, kg N/ha)

1992	Korn	93	86	92	86	70	19
1993	Korn	134	142	124	128	111	102
1994	Havre	103	103	88	97	99	69
1995	Vårraps	75	84	43	45	54	48
1996	Korn	101	102	89	101	116	86
1997	Havre	96	106	89	104	105	112
1998	Korn	96	105	86	105	93	99
1999	Havre	93	94	78	92	94	78
2000, 90 kg N/ha	Havre	86	83	59	69	69	79
2000, 0 kg N/ha	Havre	38	39	29	33	38	35
Medeltal 1992-1999		99	103	86	95	93	76
Medeltal, stråsäd 1992-1999		102	105	92	102	98	81
Stråsäd, A+B, C+D, 1992-1999		104		97			

Dessa förhållanden antyder, att det som nämnts fanns markfaktorer som begränsade tillväxt och skörd och som därmed också ledde till sämre kväveutnyttjande. Kväveskördarna i de icke N-gödslade 0N-rutorna 2000 (tabell 6) tyder vidare på att markens kväveleverans i led C och D var mindre än i A och B (jmf. avsnitt 5.11). Detta gäller även åren dessförinnan i 0N-rutorna (avsnitt 5.11). Odlingen av rajgräs som fånggröda tycks ej heller ha gett upphov till någon tydlig N-efterverkan 2000, att döma av kväveskörden i 0N-rutorna i led C och D jämfört med de på motsvarande sätt gödslade leden A respektive B (tabell 6). En jämförelse av kväveinnehållet i havrekärnan både i 0N-rutorna och efter tillförsel av 90 kg N/ha till havre antyder emellertid att de stigande N-givorna (t.o.m. 1999) medfört ökande kväveleverans från marken med åren. Kväveutbytet med kärnskorde i led C, D och E år 2000 (tabell 8) steg med de tidigare tilltagande N-givorna, vilket också tyder på ökad kväveleverans från marken.

Tabell 7. Halter av totalfosfor i spannmålskärna och rapsfrö samt fosforinnehåll (kg P/ha) i dessa skördeprodukter. År 2000 avser efterverkansår. Ingen fosforbestämning gjordes 1999

Led		A	B	C	D	E	F
Fånggröda		-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Jordbearbetning		Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd
Kvävegiva		1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N

Halter av totalfosfor i kärn- och fröskördarna (% P av ts)							
1992	Korn	0,40	0,44	0,41	0,40	0,37	0,42
1993	Korn	0,38	0,38	0,38	0,39	0,42	0,41
1994	Havre	0,45	0,47	0,45	0,45	0,47	0,45
1995	Vårraps	0,78	0,79	0,73	0,79	0,73	0,75
1996	Korn	0,44	0,44	0,46	0,45	0,49	0,44
1997	Havre	0,47	0,50	0,52	0,52	0,47	0,51
1998	Korn	0,43	0,44	0,41	0,40	0,42	0,41
1999	Havre	-	-	-	-	-	-
2000, 90 kg N/ha	Havre	0,45	0,40	0,38	0,40	0,32	0,32
Medeltal 1992-1999		0,48	0,49	0,48	0,49	0,48	0,48
Medeltal, stråsäd 1992-1999		0,43	0,45	0,44	0,44	0,44	0,44
Stråsäd, A+B, C+D, 1992-1999			0,44		0,44		

Fosfor i kärn- och fröskördarna (kg P/ha)							
1992	Korn	16	15	16	14	11	3
1993	Korn	23	23	22	22	19	19
1994	Havre	24	24	21	21	21	14
1995	Vårraps	17	18	9	10	10	10
1996	Korn	30	27	30	30	31	27
1997	Havre	24	26	26	27	24	30
1998	Korn	24	24	23	21	19	24
1999	Havre	-	-	-	-	-	-
2000, 90 kg N/ha	Havre	21	19	15	17	13	15
Medeltal 1992-1999		22	23	21	21	19	18
Medeltal, stråsäd 1992-1999		23	23	23	23	21	19
Medeltal, A+B, C+D 1992-1999			23		23		

5.3. Fosfor i kärn- och fröskördarna samt fosforutbyte av gödslingen

Fosforhalterna i spannmålskärna och vårrapsfrö var i medeltal i stort sett lika i alla led (tabell 7). Därigenom kom avkastningsnivåerna i de olika leden under de enskilda åren att bestämma bortförslen av fosfor med skördeprodukterna (tabell 7). Detta var exempelvis ganska tydligt under efterverkansåret 2000. I genomsnitt för stråsådesåren blev emellertid mängderna i de olika leden i stort sett lika: 21-23 kg P/ha och år (tabell 7). De i genomsnitt lägre skördarna i led F med direktsådd, särskilt under de tidigare åren, medförde dock i medeltal mindre P-bortförslen i detta led: 18-19 kg P/ha och år.

Tabell 8. Kväve- och fosforutbyte beräknat som det procentuella förhållandet mellan kväve respektive fosfor bortfört med skördeprodukterna (spannmålskärna och vårrapsfrö, tabell 6 och 7) och kväve eller fosfor tillfört med mineralgödsel (tabell 2). Kväveutbytet 1988-91 har tagits med i form av relativtal för att belysa hela försöksperioden 1988-2000 i led A, C och F, som varit oförändrade. År 2000 avser efterverkansår

Led		A	B	C	D	E	F
Fånggröda		-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Jordbearbetning		Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd
Kvävegiva		1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N
Kväveutbyte, %							
1992	Korn	85	63	84	63	42	17
1993	Korn	122	103	113	93	67	93
1994	Havre	93	75	80	71	60	63
1995	Vårraps	65	59	38	31	31	42
1996	Korn	91	74	81	74	70	78
1997	Havre	88	77	81	76	64	102
1998	Korn	87	76	78	76	56	90
1999	Havre	84	68	71	67	57	71
2000, 90 kg N/ha	Havre	96	92	66	77	77	88
Medeltal 1988-91		86		72			68
Medeltal 1992-99		89	74	78	69	56	69
Medeltal, stråsäd, 1992-99		93	77	84	74	60	73
Stråsäd, A+B, C+D, 1992-1999			85		79		
Fosforutbyte, %							
1992	Korn	59	57	59	53	40	12
1993	Korn	84	86	81	82	70	69
1994	Havre	88	91	80	78	79	54
1995	Vårraps	64	67	34	37	39	38
1996	Korn	111	102	114	113	116	101
1997	Havre	118	131	128	133	121	150
1998	Korn	119	118	113	107	94	118
1999	Havre*	-	-	-	-	-	-
2000, 90 kg N/ha	Havre	107	95	75	83	66	76
Medeltal 1992-98		92	93	87	86	80	77
Medeltal, stråsäd, 1992-98		97	98	96	94	87	84
Stråsäd, A+B, C+D, 1992-1999			97		95		

*) Ingen fosforbestämning gjordes 1999.

Fram till 1996 uppgick fosforgödslingen till ca 27 kg P/ha och år, tillfört som förrådsgödsling på 80 kg P/ha för tre år i taget. Fr.o.m. 1997 minskades P-tillförseln till 20 kg P/ha och år, baserat på en förrådsgödsling om 60 kg P/ha för en treårsperiod. För beräkning av fosforutbytet med kärn- och fröskördarna (tabell 8) användes av dessa skäl årliga P-givor om 27 kg P/ha under åren 1992-96 och 20 kg P/ha fr.o.m. 1997. Genom de större skördarna i led A och B (utan fånggröda) blev fosforutbytet i medeltal 97 % i dessa led under stråsådesåren (tabell 8). I övriga led blev fosforutbytet sämre, uppenbarligen genom lägre skördar, och sämst (84 %) i led F med direktsådd. I led E (1,50N och fånggröda) blev P-utbytet också förhållandevis litet: 87 %, vilket måste sammanhånga med den svagare tillväxtpotentialen i detta led, trots kraftig N-gödsling. Genom relativt sett låg avkastning av vårrapsen 1995 och därigenom små P-mängder i fröskörden blev det beräknade P-utbytet litet för denna gröda (tabell 8).

5.4. Grödornas samlade kväveupptag

Gödslingens, fånggrödornas och jordbearbetningens inverkan på huvudgrödornas samlade kväveupptag bestämdes genom provtagning i de ”ordinarie” rutorna vid avslutad kväveupptagning under sensommaren eller förhösten (tabell 9). I beräkningarna ingår skattade N-mängder i rötterna under antagande att rotsystemet innehöll 20 % av grödornas totala N-innehåll (se ovan).

Tabell 9. Huvudgrödornas totala kväveinnehåll (kg N/ha) i de kvävegödslade ordinarie rutorna vid avslutad kväveupptagning under sensommaren eller förhösten (stråsäd: vid gulmognad) samt gödselkvävet utnyttjandegrad (% av tillförd kvävemängd). Kväveutnyttjandegraden har beräknats som grödornas totala kväveupptag i ordinarie ruta minskat med kväveupptaget i motsvarande ON-parcell och i relation till tillförd kvävemängd. I grödans kväveinnehåll ingår beräknad kvävemängd i rötterna

Led		A	B	C	D	E	F
Fånggröda		-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Jordbearbetning		Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd
Kvävegiva		1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N

Grödornas N-innehåll, inkl. rötter (kg N/ha)							
1992	Korn	117	140	135	130	102	96
1993	Korn	199	222	169	199	206	184
1994	Havre	168	188	155	169	193	135
1995	Vårraps	122	132	67	97	110	127
1996	Korn	166	167	137	143	182	124
1997	Havre	132	158	126	166	213	131
1998	Korn	180	199	148	192	217	174
1999	Havre	155	172	142	173	159	148
Medeltal 1992-99		155	172	135	159	173	140
Medeltal, stråsäd, 1992-99		160	178	145	168	182	142
Stråsäd, A+B, C+D, 1992-1999			169		156		

Gödselkvävet utnyttjandegrad (%)							
1992	Korn	16	38	31	30	8	21
1993	Korn	72	79	76	74	53	84
1994	Havre	71	75	78	63	62	64
1995	Vårraps	21	17	2	10	20	40
1996	Korn	83	55	81	65	65	51
1997	Havre	69	71	65	73	82	64
1998	Korn	88	91	82	82	81	101
1999	Havre	83	77	84	77	60	87
Medeltal 1992-99		63	63	62	59	54	64
Medeltal, stråsäd, 1992-99		69	70	71	66	59	67
Stråsäd, A+B, C+D, 1992-1999			69		69		

Det samlade kväveinnehållet i grödorna ökade tydligt med stigande N-gödsling (tabell 9), vilket som nämnts dock inte avspeglades i tilltagande skördar (tabell 5). Med större N-givor tog uppenbarligen grödorna upp mer kväve, men detta ledde bara i ringa mån till bättre kärn- och fröskördar. Förklaringen synes vara, att kväve istället stannat kvar i halmen (inkl. agnar och stubb) och fanns lagrat i denna vid provtagningen vid gulmognad, som motsvarar avslutad N-

upptagning. Detta avspeglas i tabell 10 som stigande totalkvävehalter och -mängder i halmen vid tilltagande N-givor. I leden med N-givan 1N (led A, C och F) innehöll halmen i medeltal ca 30-33 kg N/ha och med 1,25N (B och D) 35-42 kg N/ha. Efter tillförsel av 1,50N (led E) uppgick N-innehållet till 41-44 kg N/ha.

Grödorna i led A (1N) och B (1,25N), båda utan fånggröda, innehöll mer kväve (i medeltal 169 kg N/ha för stråsäd) än i de motsvarande fånggrödeleden C (1N) och D (1,25N), där det genomsnittliga kväveupptaget uppgick till 156 kg N/ha. En orsak kan vara fånggrödornas konkurrens med huvudgrödorna (se nedan). Speciellt 1995, då vårraps odlades, blev rajgräset kraftigt utvecklat redan under huvudgrödans växtsäsong och konkurrerade därmed starkt med denna. Detta minskade uppenbarligen rapsens tillväxt och skörd (tabell 5) samt kväveupptag (tabell 9).

Tabell 10. Totalkvävehalter (% av lufttorrt material) och kvävemängder (kg N/ha) i halm (inkl. agnar och stubb) i de kvävegödslade, ordinarie rutorna vid avslutad kväveupptagning under sensommaren eller förhösten (stråsäd: vid gultmognad)

Led		A	B	C	D	E	F
Fånggröda		-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Jordbearbetning		Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd
Kvävegiva		1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N

Halter av total-N i halm (lufttorrt material)							
1992	Korn	0,86	0,95	1,03	0,96	0,95	1,67
1993	Korn	0,76	0,91	0,70	0,89	1,06	0,80
1994	Havre	0,63	0,81	0,65	0,79	0,91	0,74
1995	Vårraps	0,55	0,59	0,52	0,47	0,58	0,52
1996	Korn	0,45	0,46	0,38	0,42	0,65	0,39
1997	Havre	0,51	0,57	0,51	0,74	1,03	0,45
1998	Korn	0,66	0,83	0,55	0,78	0,83	0,65
1999	Havre	0,47	0,65	0,42	0,71	0,67	0,49
Medeltal 1992-1999		0,61	0,72	0,60	0,72	0,84	0,71
Medeltal, stråsäd 1992-1999		0,62	0,74	0,61	0,76	0,87	0,74
Stråsäd, A+B, C+D, 1992-1999		0,68		0,68			

Kväve i halm, kg N/ha							
1992	Korn	25	35	36	29	23	43
1993	Korn	48	62	40	43	53	41
1994	Havre	29	38	26	31	37	21
1995	Vårraps	22	27	13	17	21	22
1996	Korn	30	30	22	24	39	18
1997	Havre	26	33	25	38	58	21
1998	Korn	46	59	34	55	63	45
1999	Havre	28	39	23	42	33	30
Medeltal 1992-1999		32	40	28	35	41	30
Medeltal, stråsäd 1992-1999		33	42	30	38	44	31
Stråsäd, A+B, C+D, 1992-1999		38		34			

5.5. Gödselkvävet utnyttjandegrad

Det kväveutbyte som redovisats i tabell 8 avser de N-mängder som bortfördes med kärn- och fröskördarna i förhållande till kvävegivornas storlek. Frågan är emellertid även, i hur hög grad gödselkvävet bidragit till grödornas N-försörjning. Detta kan uttryckas med hjälp av gödselkvävet del av grödornas samlade N-upptag. Det senare har i tabell 9 redovisats på basis av bestämningar av grödornas totalkväveinnehåll i de ordinarie rutorna vid avslutad N-upptagning under sensommaren eller förhösten. Samtidigt fastställdes grödornas tillgång på utnyttjbart jordkväve genom grödprovtagningar i 0N-parcellerna. Med hjälp härav beräknades på följande sätt gödselkvävet utnyttjandegrad som dess andel av grödans totala N-upptag i relation till kvävegivans storlek (jmf. Lindén et al., 1993b):

$$U = \frac{100(N_{cg} - N_{co})}{N_g}$$

där U = gödselkvävet utnyttjandegrad (%)
N_{cg} = totalkväve i grödan i ordinarie ruta (med gödselkväve)
N_{co} = totalkväve i grödan i 0N-parceller (utan gödselkväve under året i fråga)
N_g = tillfört gödselkväve.

Resultaten tyder på att de odlingsförhållanden som medförde det bästa kväveutbytet med skördarna (tabell 8) också gav den bästa kväveutnyttjandegraden (tabell 9). I medeltal för åren med stråsådd uppgick gödselkvävet utnyttjandegrad till ca 70 % i led A och C (båda 1N) samt B (1,25N) men avtog med de stigande N-givorna i led D och E (tabell 9). Utnyttjandegraden blev dessutom lägre i led F med direktsådd, uppenbarligen genom sämre avkastning under vissa av åren. År 1992 var det som nämnts stark torka under för- och högsommaren (tabell 4), vilket gav lägre skörd i alla led (särskilt i led F) än under de efterföljande spannmålsåren. Detta medförde uppenbarligen försämrad kväveutnyttjandegrad. Detta gäller även kväveutnyttjandet 1995, då vårraps odlades. Månaderna juli och augusti var mycket torra, vilket kan ha påverkat en relativt sent mognande gröda som vårraps mer än tidigare grödor.

5.6. Fånggrödornas och annan grön vegetations tillväxt, kväveinnehåll och C/N-kvoter

I tabell 11 och 12 redovisas fånggrödornas ovanjordiska biomassa (ts, kg/ha) respektive totalkväveinnehåll (kg N/ha) dels vid den tidpunkt under sensommaren eller förhösten, då huvudgrödans N-upptagning kan anses vara avslutad (provtagning vid stråsådens gulmognad, stadium DC87, och under vårrapsens frötveckling, stadium BBCH-80, se ovan) och dels under senhösten (en kort tid före höstplöjningen).

5.6.1. Fånggrödornas tillväxt och kväveupptag

Fram till dessa att huvudgrödornas N-upptagning upphört (medeldatum för provtagning: 17/8) hade fånggrödan i led C (1N), D (1,25N) och E (1,50N) under stråsådesåren producerat en ovanjordisk biomassemängd på omkring 300 kg ts/ha (tabell 11), med ett totalkväveinnehåll på ca 5 kg N/ha (tabell 12). Både tillväxten och N-innehållet ökade med stigande N-givor till huvudgrödan, men N-innehållet i fånggrödan i led E översteg mängden i led C endast med i medeltal 2 kg N/ha. I led A (1N) och B (1,25N), båda utan fånggröda, fanns samtidigt en obetydligare ogräsmängd med en biomassa på i medeltal 20-30 kg ts/ha under stråsådesåren, vilken innehöll något enda kg kväve per ha. År 1995, då vårraps odlades, utvecklades

fånggrödan mycket kraftigt. Dess biomassa uppgick till 2-3 ton ts per ha och kväveinnehållet till omkring 30 kg N/ha vid den tidpunkt då rapsen avslutat sin N-upptagning, se tabell 11 och 12. En av orsakerna tycks vara att vårrapsen har långsammare tillväxt under våren och försommaren än stråsäd. Konkurrensen från fånggrödan försvagade rapsgrödan mycket påtagligt i fånggrödeleden, där fröskörden blev betydligt sämre än i leden utan fånggröda (tabell 5). I led F med direktsådd blev ogrästtillväxten stor under vårrapsåret, med en biomasseproduktion på ca 2,5 ton ts/ha, vilket likaså satte ned rapsskörden kraftigt (tabell 5). År 1996, då huvudgrödan (korn) växte mycket kraftigt och gav mycket hög skörd (tabell 5), blev fånggrödan däremot påfallande svagt utvecklad (tabell 11), och dess N-upptag blev försumbart (tabell 12). Den viktigaste orsaken synes dock vara stor nederbörd mellan kornsådden och sådden av fånggrödan. Härigenom blev ytjorden så pass hård, att rajgräsfröet uppenbarligen kom att myllas otillräckligt, med försämrad uppkomst som följd.

Under senhösten (medeldatum för provtagning: 2/11) hade rajgräset och annan förekommande växtlighet (ogräs och grodd spillsäd) i led C, D och E en biomassa under stråsådesåren på ca 400-700 kg ts/ha, vilket innebär en nettotillväxt med ca 150-400 kg ts/ha under hösten. Att nettotillväxten inte blev större beror troligen delvis på att rajgräset i viss mån klipptes av vid skördetröskningen. Däremot ökade dess N-innehåll betydligt under hösten och uppgick i led C (1N), D (1,25N) och E (1,50N) till 12, 16 respektive 21 kg N/ha som medeltal för åren med stråsäd. Kväveupptaget under hösten gynnades således av stigande N-givor till huvudgrödan, vilket bör ha bidragit till att minska N-utlakningsrisken. I led A och B, som stubbearbetades huvudsakligen i september, förekom inte någon nämnvärd växtlighet på senhösten.

På grund av den med åren tilltagande ogräsförekomsten sprutades som nämnts led F (direktsådd) med glyfosat höstarna 1993, 1997 och 1999 (tabell 3), vilket i allmänhet minskade kvickrotsförekomsten. Åren efter genomförd bekämpning ökade kvickroten igen, så att ny sprutning såsmåningom blev nödvändig. När kvickrotsförekomsten var som störst uppgick dess biomassa till 1,2-1,8 ton/ha på senhösten (tabell 11), vilket även innefattar annat ogräs och förekommande grodd spillsäd. Det i denna växtmassa upptagna kvävet bör dock ha haft en påtaglig fånggrödeeffekt.

5.6.2. Kol-kvävekvoter i fånggrödornas och annan grön vegetations ovanjordiska växtdelar

Fånggrödorna, ogräset och förekommande spillsädesgrönska provtogs som nämnts omedelbart före jordbearbetning på förhösten. Vid stubbearbetningarna i september i led A och B bedömdes i allmänhet mängden grön vegetation vara obetydlig, varför ingen provtagning utfördes annat än 1997. I led C, D och E med engelskt rajgräs som fånggröda utfördes som framgått av tabell 11 och 12 provtagning före höstplöjning på senhösten (medeldatum för provtagning: 2/11). Samtidigt togs prov av ogräs och grodd spillsäd i led F med direktsådd.

Fånggrödorna, inkl. annan grön vegetation, hade kol-kvävekvoter i storleksordningen 15-20 och i några fall något högre. Det anses att C/N-kvoter under 20-25 ger upphov till nettomineralisering av kväve inom en kortare tid efter nedbrukning i jord och begynnande nedbrytning (jmf. Persson, 2003). Detta innebär att en del av det kväve som fånggrödorna och annan grön vegetation (såsom kvickroten i led F) tagit upp såsmåningom kan ha börjat frigöras efter nedplöjningen, möjligen redan under senhösten. Eftersom den gröna vegetationen (ogräs och grodd spillsäd) i led A och B bedömdes vara mycket obetydlig vid tidpunkten för stubbearbetning under förhösten, kan emellertid nedbrytning av sådant växtmaterial inte ha påverkat kväve-mineraliseringen nämnvärt under det efterföljande vinterhalvåret.

Tabell 11. Fånggrödornas och ogräsets tillväxt mätt som torrsubstans i ovanjordiskt växtmaterial (kg/ha) vid två tidpunkter: (I) då huvudgrödans kväveupptag avslutats under sensommaren eller förhösten (gulmognad hos stråsäd) och (II) före plöjning på senhösten. I fånggrödeleden C, D, och E ingår ogräs och förekommande spillsädesgrönka i växtmaterialet. I led A, B, och F ingår förutom ogräs även spillsädesgrönka vid provtagningen före höstplöjningen

Led	A	B	C	D	E	F
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Jordbearbetning	Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning		Direktsådd	
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N
1992, Korn						
Gulmognad, 13/8	30	30	160	110	60	240
Före höstplöjning, 3/11			980	1200	1660	1830
1993, Korn						
Gulmognad, 9/8	100	80	790	990	1130	370
Före höstplöjning, 3/11			530	680	860	0
1994, Havre						
Gulmognad, 9/8	20	20	170	110	270	110
Före höstplöjning, 28/10			630	860	1030	0
1995, Våraps						
Stadium 6.5, 29/8	740	570	3060	2640	2030	2470
Före höstplöjning, 26/10	200	170	880	790	800	160
1996, Korn						
Gulmognad, 27/8	0	0	100	80	100	170
Före höstplöjning, 7/11			10	20	4	20
1997, Havre						
Gulmognad, 18/8	30	10	290	170	80	60
Före höstplöjning, 10/11	40	10	50	580	770	1290
1998, Korn						
Gulmognad, 19/8	10	30	140	290	50	140
Före höstplöjning, 5/11			300	90	20	1160
1999, Havre						
Gulmognad, 10/8	10	10	350	360	880	200
Före höstplöjning, 1/11			390	670	760	0
Medeltal 1992-99						
Gulmognad, medeldatum: 17/8	120	90	630	590	570	470
Gulmognad, stråsäd	30	20	290	300	370	180
Före höstplöjning, medeldatum: 2/11			470	610	740	560
Före höstplöjning, stråsäd			410	580	730	620

Tabell 12. Fånggrödornas och ogräsets kväveinnehåll mätt som totalkväve i ovanjordiskt växtmaterial (kg N/ha) vid två tidpunkter: (I) då huvudgrödans kväveupptag avslutades under sensommaren eller förhösten (gulmognad hos stråsäd) och (II) före plöjning på senhösten. I fånggrödeleden C, D, och E ingår ogräs och förekommande spillsädesgrönka i växtmaterialet. I led A, B, och F ingår förutom ogräs även spillsädesgrönka vid provtagningen före höstplöjningen

Led	A	B	C	D	E	F
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
jordbearbetning	Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning		Direktsådd	
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N
1992, Korn						
Gulmognad, 13/8	1	1	3	3	1	7
Före höstplöjning, 3/11			34	43	62	69
1993, Korn						
Gulmognad, 9/8	2	2	9	15	18	6
Före höstplöjning, 3/11			13	16	22	0
1994, Havre						
Gulmognad, 9/8	1	0	3	3	7	3
Före höstplöjning, 28/10			15	21	28	0
1995, Våraps						
Gulmognad, 29/8	12	9	35	31	27	44
Före höstplöjning, 26/10	4	3	13	13	15	5
1996, Korn						
Gulmognad, 27/8	0	0	1	1	1	3
Före höstplöjning, 7/11			0	1	0	1
1997, Havre						
Gulmognad, 18/8	0	0	4	3	2	1
Före höstplöjning, 10/11	1	0	7	13	19	10
1998, Korn						
Gulmognad, 19/8	0	0	2	3	1	2
Före höstplöjning, 5/11			6	2	0	9
1999, Havre						
Gulmognad, 10/8	0	0	5	7	12	2
Före höstplöjning, 1/11			7	15	17	
Medeltal 1992-99						
Gulmognad, medeldatum: 17/8	2	2	8	8	9	8
Gulmognad, stråsäd	1	0	4	5	6	3
Före höstplöjning, medeldatum: 2/11			12	15	20	12
Före höstplöjning, stråsäd			12	16	21	13

Tabell 13. Kol-kvävekvoter (C/N) i fånggrödor, ogräs och förekommande spillsädesgrönka vid två tidpunkter: (I) före stubbearbetning i led A och B (provtaget bara 1997) samt (II) före plöjning på senhösten i led C-E och samtidigt i led F. I fånggrödeleden C, D, och E ingår ogräs och förekommande spillsädesgrönka i växtmaterialet. I led A, B, och F ingår förutom ogräs även spillsädesgrönka vid provtagningen vid tidpunkten för höstplöjningen

Led	A	B	C	D	E	F
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Jordbearbetning	Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N
1992, Korn						
Före höstplöjning, 3/11			17	15	13	15
1993, Korn						
Före höstplöjning, 3/11			16	17	16	
1994, Havre						
Före höstplöjning, 28/10			18	17	16	
1995, Våraps						
Före höstplöjning, 26/10			29	26	23	12
1996, Korn						
Före höstplöjning, 7/11			15	14	12	11
1997, Havre						
Före stubbearbetning 8/9	19	15				
Före höstplöjning, 10/11			21	19	17	
1998, Korn						
Före höstplöjning, 5/11			21	17	17	55
1999, Havre						
Före höstplöjning, 1/11			23	19	19	
Medeltal 1992-99						
Före stubbearb., datum: 8/9	19	15				
Före höstplöjning, medeldatum: 2/11			20	18	16	23
Före höstplöjning, stråsäd			19	17	15	27

5.7. Växtrester vid nedbrukning: mängder, kväveinnehåll och kol-kvävekvoter

Mängderna växtrester (halm, stubb, agnar m.m.) uppgick vid provtagningen före stubbearbetning (medeldatum: 15/9) i led A och B (båda utan fånggröda) till i storleksordningen 1,5-3,5 ton ts/ha med i medeltal ca 2,6 ton/ha (tabell 14). Vid provtagningen före plöjning på senhösten (medeldatum: 2/11) fastställdes i fånggrödeleden led C (1N), D (1,25N) och E (1,50N) växtrestmängder på i genomsnitt ca 1,6 ton ts/ha. De mindre mängderna vid denna tidpunkt torde främst bero på minskning genom nedbrytning under hösten. Kvävegödslingen tycktes inte ha påverkat mängderna växtrester, att döma av resultaten vid dessa båda tidpunkter. På våren (medeldatum: 18/4), då växtresterna i led F provtogs en tid före direktsådden, fanns i medeltal i detta led knappt 1,4 ton ts/ha i form av växtrester. De växtrester som arbetades in i

marken på förhösten vid stubbearbetningen i led A och B (utan fånggröda) innehöll 10-20 kg N/ha (tabell 15). I led C, D och E (med stigande N-givor och med fånggröda) fanns i storleksordningen 8-13 kg N/ha före nedplöjningen på senhösten. Kvävemängderna ökade något med de stigande N-givorna. Kol-kvävekvoterna i dessa växtrester var i storleksordningen 55-75 (tabell 16). C/N-kvoterna minskade emellertid något med stigande kvävegivor, både i led B (i jämförelse med A) och i led D samt E (jämfört med C). Vårrapshalmen 1995 hade C/N-kvoter i samma storleksordning som stråsädshalmen under de andra åren.

Tabell 14. Ovanjordiska växtrester, kg ts/ha, vid tre tidpunkter: (I) före stubbearbetning i led A och B (fr.o.m. 1993), (II) före plöjning på senhösten (provtagning i led C-E) och (III) före direktsådd på våren i led F (fr.o.m. 1993). Dött ogräs ingår i växtmaterialet

Led	A	B	C	D	E	F
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Jordbearbetning	Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N
1992, Korn						
Före höstplöjning, 3/11			760	820	640	1040
1993, Korn						
Före sådd, 1/4						2150
Före stubbearbetning, 15/9	2490	2300				
Före höstplöjning, 3/11			1650	1090	1040	
1994, Havre						
Före sådd, 11/4						640
Före stubbearbetning, 23/8	2860	2630				
Före höstplöjning, 27/10			950	720	680	
1995, Vårraps						
Före sådd, 7/4						750
Före stubbearbetning, 4/9	3580	3420				
Före höstplöjning, 26/10			640	840	800	
1996, Korn						
Före sådd						-
Före stubbearbetning, 3/10	2980	3170				
Före höstplöjning, 7/11			4580	3770	3520	
1997, Havre						
Före sådd, 1/5						1240
Före stubbearbetning, 9/9	2110	1790				
Före höstplöjning, 12/11			870	1060	1110	
1998, Korn						
Före sådd, 4/5						2300
Före stubbearbetning, 12/10	3160	3190				
Före höstplöjning, 5/11			1850	2560	2680	1160
1999, Havre						
Före sådd, 21/4						1020
Före stubbearbetning, 8/9	1810	1570				
Före höstplöjning, 1/11			1270	1220	1650	
Medeltal 1992-99						
Före sådd, medeldatum: 18/4						1350
Före stubb., medeldatum: 15/9	2710	2580				
Före stubb., stråsäd	2570	2440				
Före höstplöjning, medeldatum: 2/11			1570	1510	1520	
Före höstplöjning, stråsäd			1700	1600	1620	

Tabell 15. Totalkväve (kg N/ha) i ovanjordiska växtrester provtagna vid tre tidpunkter: (I) före stubbearbetning i led A och B (fr.o.m. 1993), (II) före plöjning på senhösten (provtagning i led C-E) och (III) före direktsådd på våren i led F (fr.o.m. 1993). Dött ogräs ingår i växtmaterialet

Led	A	B	C	D	E	F
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Jordbearbetning	Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning		Direktsådd	
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N
1992, Korn						
Före höstplöjning, 3/11			8	9	9	14
1993, Korn						
Före sådd, 1/4						34
Före stubbearbetning, 15/9	21	20				
Före höstplöjning, 3/11			12	9	12	
1994, Havre						
Före sådd, 11/4						5
Före stubbearbetning, 23/8	13	14				
Före höstplöjning, 27/10			4	1	4	
1995, Våraps						
Före sådd, 7/4						5
Före stubbearbetning, 4/9	21	21				
Före höstplöjning, 30/10			3	6	5	
1996, Korn						
Före sådd						
Före stubbearbetning, 4/9	15	16				
Före höstplöjning			17	17	21	
1997, Havre						
Före sådd, 1/5						7
Före stubbearbetning, 9/9	13	14				
Före höstplöjning, 12/11			6	9	11	
1998, Korn						
Före sådd, 4/5						18
Före stubbearbetning, 12/10	20	25				
Före höstplöjning, 5/11			12	17	22	
1999, Havre						
Före sådd, 21/4						8
Före stubbearbetning, 8/9	10	7				
Före höstplöjning, 1/11			6	7	10	
Medeltal 1992-99						
Före sådd, medeldatum: 18/4						13
Före stubb., medeldatum: 15/9	16	17				
Före stubb., stråsäd	15	16				
Före höstplöjning, medeldatum: 2/11			8	9	12	
Före höstplöjning, stråsäd			9	10	13	

Tabell 16. Kol-kvävekvoter (C/N) i ovanjordiska växtrester provtagna vid tre tidpunkter: (I) före stubbearbetning i led A och B (fr.o.m. 1993), (II) före plöjning på senhösten (provtagning i led C-E) och (III) före direktsådd på våren i led F (fr.o.m. 1993). Dött ogräs ingår i växtmaterialet

Led	A	B	C	D	E	F
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Jordbearbetning	Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning		Direktsådd	
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N
1992, Korn						
Före höstplöjning, 3/11			41	42	34	35
1993, Korn						
Före sådd, 1/4						22
Före stubbearbetning, 15/9	48	49				
Före höstplöjning, 3/11			48	48	34	
1994, Havre						
Före sådd, 11/4						62
Före stubbearbetning, 23/8	103	84				
Före höstplöjning, 27/10			101	91	76	
1995, Våraps						
Före sådd, 7/4						59
Före stubbearbetning, 4/9	75	72				
Före höstplöjning, 30/10			100	68	75	
1996, Korn						
Före sådd						-
Före stubbearbetning, 4/9	86	82				
Före höstplöjning			109	96	74	
1997, Havre						
Före sådd, 1/5						83
Före stubbearbetning, 9/9	72	58				
Före höstplöjning, 12/11			68	52	47	
1998, Korn						
Före sådd, 4/5						53
Före stubbearbetning, 12/10	66	54				
Före höstplöjning, 5/11			69	64	53	
1999, Havre						
Före sådd, 21/4						51
Före stubbearbetning, 8/9	78	93				
Före höstplöjning, 1/11			94	72	64	
Medeltal 1992-99						
Före sådd, medeldatum: 18/4						55
Före stubb., medeldatum: 15/9	75	70				
Före stubb., stråsäd	75	70				
Före höstplöjning, medeldatum: 2/11			79	67	57	
Före höstplöjning, stråsäd			76	66	55	

5.8. Torrsubstansproduktion och totalkväveinnehåll i grönmassan på vallträdan

I led G med vallträda varierade den samlade torrsubstansproduktionen i form av avslagen grönmassa från 2 ton torrsubstans per ha under det första vallåret 1993 till 5-9 ton per ha 1994-2000 (tabell 17a). Detta avser summan av de avslagna mängderna vid de normalt fyra avslagningstillfällena. Som framgår av tabell 17b putsades vallträdan normalt fyra gånger per år (medeldatum för avslagningarna: 1/6, 4/7, 12/8 och 28/9). Den samlade tillväxten kan jämföras med skördar på slättervallar, för vilka summan av förstaskörd och återväxt uppgick till 6-7 ton ts/ha under åren 1980-1992 enligt Jordbruksstatistisk årsbok (Statistiska Centralbyrån, SCB, 1993). För därefter följande år anges dock bara förstaskördar av SCB.

Torrsubstansmängden i den avslagna grönmassan vid var och en av de olika putsningstidpunkterna uppgick i medeltal för åren 1993-2000 till 1,2-2,5 ton per ha med ett totalkväveinnehåll på 33-53 kg N/ha (tabell 17b). Den totalt årligen upptagna och omsatta kvävemängden i det avslagna växtmaterialet utgjorde i genomsnitt 152 kg N/ha (tabell 17a). Detta liksom den goda valltillväxten synes delvis vara ett resultat av den ingående vitklövernens kvävefixering.

Botanisk analys 1993, 1994, 1996 och 1998 visade att vallvegetationen vanligen innehöll 30-60 % vitklöver, som uppenbarligen utgjorde en uthållig andel av vallens artsammansättning. Ogräsandelen var liten (vanligen 1-6 %), uppenbarligen genom att den goda valltillväxten, de regelbundna putsningarna och täckningen av marken med den avslagna växtmassan hållit tillbaka ogrästtillväxten.

Tabell 17. Avslagen årlig valltillväxt på vallträdan (led G) och grönmassans innehåll av totalkväve

<i>a. Årligen avslagen grönmassa och dess totalkväveinnehåll. Summa för normalt fyra putsningar per år.</i>									
År	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Medeltal
Avslagen grönmassa, kg ts/ha	1950	4870	6570	5550	8630	8750	5670	8660	6330
Kvävemängd, kg N/ha	62	122	147	129	214	200	131	209	152

<i>b. Avslagen grönmassa samt kvävehalt och totalkväveinnehåll i denna vid de olika putsningstillfällena under växtsäsongen.</i>										
Putsning, nr	Medeldatum	Grönmassa, kg ts/ha			Kvävehalt, % av ts			Kväveinnehåll, kg N/ha		
		Medeltal	Min.	Max.	Medeltal	Min.	Max.	Medeltal	Min.	Max.
1	1/6	2510	1670	3770	2,13	1,99	2,36	53	39	75
2	4/7	1780	490	2540	2,19	1,43	2,31	40	7	58
3	12/8	1290	310	2700	2,64	2,23	3,33	33	9	60
4	28/9	1220	530	2240	3,12	2,19	4,04	37	12	69

Vallvegetationen måste ha försörjts med dels mineraliserat kväve härstammande från mull och växtrester och dels genom klövernens kvävefixering. En del av det mineraliserade kvävet torde ha frigjorts i samband med nedbrytning av det avslagna växtmaterialet. Att kväve därvid lätt frigjorts kan uttydas av totalkvävehalten i grönmassan, som i medeltal för de skilda putsningstillfällena uppgick till 2,13-3,12 % av ts. Det kväve som frigjorts under växtsäsongen torde emellertid snart ha tagits upp av växtligheten, så att utlakningsrisken förblev liten. Detta blev uppenbarligen också fallet (se avsnitt 5.12.2).

5.9. Mineralkvävedynamiken i marken

5.9.1. Mineralkväverester då huvudgrödornas kväveupptagning avslutats på sensommaren i led A-F (med ettåriga grödor)

Stråsädesgrödornas kväveupptagning kan anses avslutad vid gulmognad (sen degmognad, stadium 87) och vörrapsens under fröutvecklingen. De mineralkvävemängder som i dessa skeden (medeldatum för provtagning: 18 aug.) fanns inom det undersökta markdjupet (0-90 cm) kan därför betraktas som outnyttjbara rester, vilka huvudgrödorna inte kunnat ta tillvara.

År 1993 och 1995-1999 kan anses ha haft så pass god nederbörd under växtsäsongen, att grödornas tillväxt inte hämmades av torka (tabell 4) och att kvävet i marken (gödselkväve och växttillgängligt jordkväve) väl kunde utnyttjas av växterna. Under dessa år blev de kvarvarande mineralkvävemängderna förhållandevis små och uppgick till 14-19 kg N/ha som ledvisa medeltal i led A-F, utom i led E (1,50N), se tabell 18 och figur 3. Restmängderna påverkades inte av en måttlig höjning av N-givan (från 1N i led A och C till 1,25N i led B respektive D), medan ökningen till 1,50N i led E medförde större outnyttjade mineralkvävemängder. Efter havren 2000, som gödslades och i övrigt behandlades lika i alla led A-F för att studera efterverkans effekter, blev mineralkväveresterna vid avslutad kväveupptagning små och mycket lika i alla led: 16-19 kg N/ha inom 0-90 cm djup. Detta tyder på havren detta år utnyttjat det tillgängliga kvävet effektivt, och inga kvarstående inverknings av de tidigare årens behandlingar kunde skönjas.

Under år 1992 och 1994 var somrarna förhållandevis torra (tabell 4), uppenbarligen med sämre kväveutnyttjande som följd. Mineralkväveresterna vid avslutad kväveupptagning blev då betydligt större än normalt (tabell 18 och figur 3), särskilt i led E (1,50N) och F (1N, direktsådd). I led E synes en bidragande orsak vara, att grödan inte "svarade" på större N-tillgång med ökad skörd (tabell 5). I led F medförde uppenbarligen vädret i kombination med direktsådden kraftiga skördenedsättningar 1992 och 1994 (tabell 5) och grödans kväveupptag blev nedsatt (tabell 9).

Inverkan av kvävegödslingen på mineralkväveresterna vid avslutad N-upptagning belyses även i tabell 19, där de jämförs med mineralkvävemängderna i de ettåriga 0N-parcellerna, som inte N-gödslades under året ifråga och ej heller besåddes med fånggröda. I 0N-rutorna återfanns under somrar med någorlunda normal nederbörd (1993 och 1995-99) outnyttjade mineralkvävemängder på 12-17 kg N/ha inom 0-90 cm markdjup (tabell 18). Detta åskådliggör huvudgrödornas potential att "tömma" marken på mineralkväve under växtsäsongen i denna jord. I de "ordinarie" rutorna i led A (1N), B (1,25N) och F (1N) återfanns 5-6 kg N/ha mer inom 0-90 cm djup, vilket visar inverkan av det enskilda årets N-gödsling.

5.9.2. Mineralkväve i september, vid tidpunkten för stubbearbetning i led A och B

Kväveprofilprovtagning utfördes i led A-F omedelbart före den stubbearbetning som gjordes i led A och B. Från avslutad N-upptagning (vid gulmognad) och fram till denna tidpunkt (medeldatum för provtagning: 19 sept.) tilltog mineralkväveförråden i alla led, uppenbarligen genom kväve mineraliseringsstillskott. Ökningarna i led C, D och E hölls dock tillbaka något, uppenbarligen genom fånggrödornas N-upptagning.

5.9.3. Mineralkväve i marken vid tidpunkten för plöjning på senhösten i led A-F

Kväveprofilprovtagning (medeldatum: 2 nov.) utfördes i alla led A-G omedelbart före höstplöjningen i led A-E. I allmänhet fastställdes i led A, B och F (alla utan fånggröda) smärre ökning i mineralkväveförråden från september till provtagningen på senhösten. Det är troligt att förekommande kvävemineriseringstillskott, som orsakat ökningarna, motverkats av kväveförluster genom denitrifikation. Däremot tycks N-förlusterna genom utlakning under hösten dessförinnan ha varit liten (se avsnitt 5.12.3 nedan). I led A, B och F (utan fånggröda) återfanns i storleksordningen 30-40 kg mineral-N per ha inom 0-90 cm djup vid denna tidpunkt på senhösten, om 1992 och 1994 (med torrsomrar) inte beaktas. I fånggrödeleden C (1N) och D (1,25N) blev mineralkvävemängderna på senhösten mindre än i övriga led. I led E (1,50N) kunde dock fånggrödan bara delvis ta tillvara de förhållandevis stora mängderna outnyttjat gödselkväve, med oönskat stora mineralkväveförråd på senhösten som följd.

Jämförs förändringarna i mineralkväveförråden från avslutad kväveupptagning till senhösten, kan man konstatera att mängderna i led A (1N) och B (1,25N), båda utan fånggröda, ökade med 10 respektive 15 kg N/ha under höstarna 1993 och 1995-99 (höstarna efter torrsomrarna 1992 och 1994 således undantagna). Motsvarande ökning i led F (1N, direktsådd på våren, ingen jordbearbetning under hösten) blev 7 kg N/ha. Liknande skillnader mellan de bearbetade och icke bearbetade leden A respektive F fastställdes under den tidigare försöksperioden 1988-1991 (Lindén et al., 1993b). Resultaten tyder på att jordbearbetning under hösten stimulerar kvävemineriseringen i marken, vilket i princip ökar kväveutlakningsrisken (jmf. Stenberg et al., 1999).

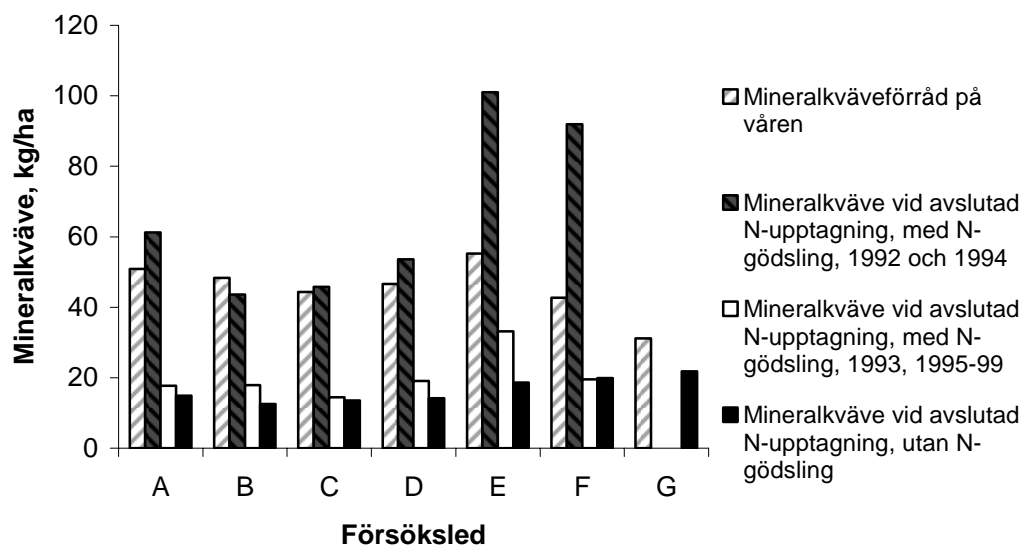
Höstarna efter torrsomrarna 1992 och 1994 avvek från den allmänna bilden genom betydligt större mineralkväveförråd på senhösten. Även här höll fånggrödorna tillbaka N-mängderna i marken, men de kunde inte motverka att mineralkväveförråden på hösten tilltog med de stigande N-givorna. Detta innebär att engelskt rajgräs som fånggröda inte i alla situationer kan motverka ökad kväveutlakningsrisk till följd av överoptimal N-gödsling.

5.9.4. Mineralkväve i marken tidigt på våren i led A-F

Mineralkväveförråden tidigt på våren, när marken börjat torka upp något, utgör ett nettoresultat av skeenden som å ena sidan bidragit till N-tillskott (såsom outnyttjat kväve efter grödornas mognad samt N-mineraliseringstillskott under höst och vinter) och å den andra orsakat minskningar (förekommande fånggrödors eller annan vegetations N-upptagning under hösten och N-förluster under vinterhalvåret genom t.ex. utlakning).

Vid provtagningarna tidigt under vårarna 1993-2000 (medeldatum: 8 april) fanns i storleksordning 50 kg mineralkväve per ha inom 0-90 cm djup. Våren 1992, som också tagits med i tabell 18, beaktas ej här, eftersom tre av leden (B, D och E) ju hade annan behandling under åren 1988-91. En jämförelse med höstarna 1992-1999 visar, att mineralkväveförråden tilltog från senhöst till tidig vår, vilket tyder på att kvävemineriseringstillskotten under denna tid blev större än N-förlusterna. Mineralkvävemängderna ökade under vintern mer i led C och D (1N respektive 1,25N, båda med fånggröda) än i led A och B (1N respektive 1,25N, båda med stubbearbetning i september och utan fånggröda). En orsak kan vara att led C och D bearbetades (genom plöjning) först på senhösten, och att jordbearbetningens stimulering av kvävemineriseringen då blev större än i led A och B, där marken ju stubbearbetats i september. En annan förklaring är, att C/N-kvoten i fånggrödorna i led C och D var låga (20 eller mindre i de ovanjordiska växtdelarna, se tabell 13), vilket bör ha inneburit att nettofrigörelse av kväve uppstod efter en tids nedbrytning av växtmaterialet. Nettoökningarna av mineral-

kväveförråden från senhösten till tidigt på våren tyder på att kvävemineraliseringstillskotten uppkom relativt sent under vintern, varför kväveutlakningen måste ha påverkats ganska lite.



Försöksled	A	B	C	D	E	F	G
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-	Vallträda
Jordbearbetning	Stubbearb.+ sen höstplöjn.			Sen höstplöjning		Direktsådd	-
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N	-

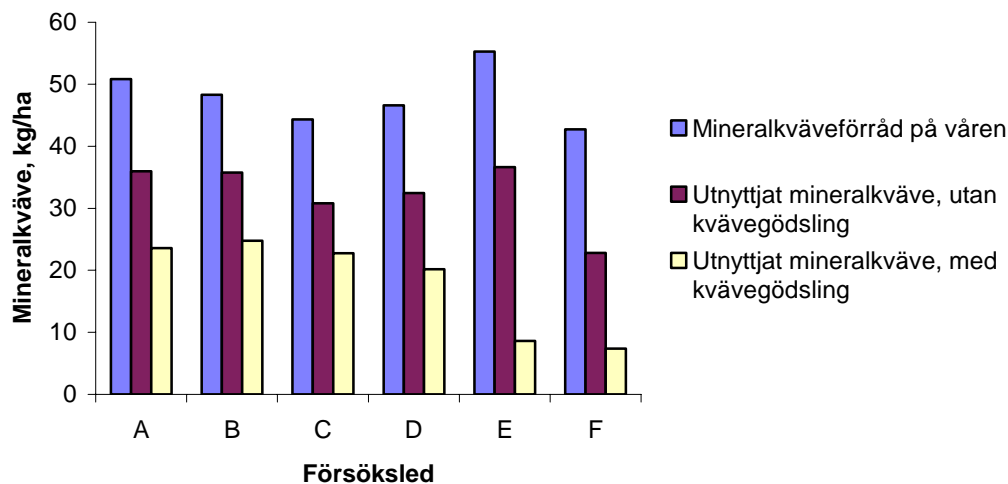
Figur 3. Mineralkväve (kg N/ha) inom 0-90 cm markdjup tidigt på våren (medeltal för 1992-2000, medeldatum: 8/4) och utnyttjade mineralkväverester vid avslutad kväveupptagning (medeldatum för provtagning: 18/8) dels efter N-gödsling (ordinarie rutor) och dels utan N-gödsling under året i fråga (0N-parceller, medeltal för 1992-2000). Mineralkväveresterna efter kvävegödsling i de ordinarie rutorna redovisas dels som medeltal efter de torra somrarna 1992 och 1994 samt dels i genomsnitt för åren med normal eller större nederbörd under växtsäsongen (1993 och 1995-99).

5.9.5. Vårfförrådets betydelse för grödornas N-försörjning i led A-F

Det mineralkväve som finns kvar inom rotzonen tidigt på våren bidrar till grödornas N-försörjning under den efterföljande växtsäsongen (Scharpf, 1977). Kväveförråden vid vårprovtagningen (medeldatum: 8 april, dvs. före vårgödslingen) var större än vid de andra undersökta tidpunkterna under året. Jämförs vårfförråden 1992-2000 med de mängder som fanns kvar efter avslutad N-upptagning under sensommaren dessa år (tabell 17), kan man konstatera en minskning under växtsäsongen på i medeltal 23 kg N/ha inom 0-90 cm djup i led A och C (båda med gödslingen 1N), 22 kg N/ha i led B och D (1,25N) och 9 kg N/ha i led E (1,50N). Samtidigt var kväveutlakningen måttlig (avsnitt 5.12.3). Grödornas kväveupptagning under växtsäsongen "tömde" uppenbarligen markprofilen bättre efter måttlig N-gödsling (1N och i viss mån 1,25N) än efter den största N-givan (1,50N), se tabell 18 samt figur 3 och 4. Som också framgår av tabell 19 och figur 4 blev tömningen av markprofilen effektivast i 0N-parcellerna, vilket tydligare än efter N-gödsling visar grödornas förmåga att utnyttja mineralkväve i marken.

Beräkningar av minskningarna av mineralkväveförråden från tidig vår (medeldatum: 8/4) till avslutad kväveupptagning (medeldatum: 18/8) visar, att av mängderna mineralkväve på våren

utnyttjade grödorna genomsnittligt 34 kg N/ha i led A-D i de icke N-gödslade 0N-parcellerna (figur 4), där det i medeltal fanns 48 kg N/ha inom 0-90 cm djup år 1992-2000. I de motsvarande kvävegödslade, ordinarie rutorna blev N-utnyttjandet sämre: i genomsnitt 23 kg N/ha. I led E (1,50N) och F (1N, direktsådd) utnyttjade grödorna kvävet i marken allra sämst.



Försöksled	A	B	C	D	E	F
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Jordbearbetning	Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N

Figur 4. Mineralkväveförråd tidigt på våren (medeldatum: 8/4) och mineralkväve inom 0-90 cm djup som utnyttjats av grödorna under växtsäsongen, beräknat som minskning av mineralkväveförråden från tidigt på våren till avslutad kväveupptagning på sensommaren (medeldatum: 18/8) under antagande att inga förluster av kväve från mineralkväveförråden förekommit under växtsäsongen. Medeltal för åren 1992-2000. De utnyttjade N-mängderna avser förhållandena dels i 0N-parcellerna (utan kvävegödsling under växtsäsongen i fråga) och dels i de ordinarie rutorna, med kvävegödsling även under den aktuella växtsäsongen.

5.9.5. Mineralkväve i marken på vallträdan

Marken i led G med vallträda provtogs samtidigt med övriga led A-F tidigt på våren, i augusti (vid tidpunkten för avslutad kväveupptagning i leden med de ettåriga grödorna) och på senhösten. De mineralkväveförråd (0-90 cm djup) på vallträdan som vid dessa tillfällen fastställdes var klart mindre än i leden med de ettåriga växtslagen (tabell 18). Mängderna var i storleksordningen 20 kg N/ha i augusti och på senhösten ännu mindre (15-17 kg N/ha). Orsaken är uppenbarligen att marken låg bevuxen året runt och att vallväxternas kväveupptagning fortgick långt in på höstarna, vilket givetvis måste ha bidragit till att hålla kväveutlakningen på en mycket låg nivå (se nedan). På våren visade sig mineralkväveförråden vara större än vid de andra tidpunkterna även på vallträdan, med i medeltal 31 kg N/ha. Orsaken torde vara anhopning av mineraliserat kväve i jorden under vintern och även under våren fram till dess att vallen började växa.

Tabell 18. Mineralkväve (kg N/ha) inom 0-90 cm djup i de ordinarie rutorna vid olika tidpunkter under året. Torrsmorror rådde 1992 och 1994. Våren 1992 påverkades värdena av de tidigare årens plan

Led		A	B	C	D	E	F	G
Fånggröda		-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-	Vallträda
Jordbearbetning		Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd	-
Kvävegiva		1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N	-
Tidig vår, medeldatum: 8/4								
1992	Korn	52	38	59	63	65	43	-
1993	Korn	68	66	50	50	71	59	27
1994	Havre	42	41	33	36	59	35	18
1995	Vårraps	51	53	42	43	57	36	15
1996	Korn	70	62	65	61	52	72	75
1997	Havre	41	39	42	43	50	35	19
1998	Korn	42	45	41	42	52	34	34
1999	Havre	41	37	34	43	46	31	29
2000	Havre	50	55	33	38	46	40	33
Medeltal 1993-2000 (1994-2000)		51 (51)	48 (49)	44 (43)	47 (45)	55 (54)	43 (43)	31 (31)
Vid gultmognad, medeldatum: 18/8 (1992-99)								
1992	Korn	88	41	61	63	94	121	14
1993	Korn	20	24	14	19	60	23	19
1994	Havre	35	46	28	44	108	63	19
1995	Vårraps	22	16	14	20	20	23	25
1996	Korn	14	15	17	19	39	23	27
1997	Havre	16	15	12	15	30	13	24
1998	Korn	20	19	19	20	24	16	24
1999	Havre	14	20	11	20	26	19	21
2000 (15/9)	Havre	17	17	16	16	19	17	-
Medeltal 1992-99 (1993, 1995-99)		29 (18)	24 (18)	22 (14)	28 (19)	50 (33)	38 (19)	22 (24)
Torrsmorror: 1992 och 1994		61	44	46	54	101	92	16
Före stubbearbetning, medeldatum: 19/9								
1992 (torrsmorror)	Korn	78	68	114	119	143	-	
1993	Korn	23	25	14	15	52	22	
1994	Havre	-	-	-	-	-	-	
1995	Vårraps	21	20	11	17	17	23	
1996	Korn	-	-	-	-	-	-	
1997	Havre	15	15	13	17	49	15	
1998	Korn	66	64	40	40	45	29	
1999	Havre	13	21	12	20	36	18	
Medeltal 1992-99 (1993-99)		36 (28)	36 (29)	34 (18)	38 (22)	57 (40)	- (21)	
Före höstplöjning, medeldatum: 2/11								
1992	Korn	50	51	18	51	91	43	17
1993	Korn	32	37	17	18	51	27	15
1994	Havre	53	64	27	33	80	56	17
1995	Vårraps	29	31	14	14	17	31	15
1996	Korn	30	33	31	32	33	24	13
1997	Havre	27	28	11	13	25	24	14
1998	Korn	28	37	20	39	38	27	19
1999	Havre	30	31	15	19	25	23	16
Medeltal 1992-99 (1993, 1995-99)		35 (29)	39 (33)	19 (18)	27 (22)	45 (31)	32 (26)	16 (15)
Torrsmorror: 1992 och 1994		52	57	23	42	85	50	17

Tabell 19. Mineralkväve (kg/ha) inom 0-90 cm markdjup i 0N-parcellerna (utan N-gödsling och utan insådd fånggröda under året i fråga) vid avslutad kväveupptagning under sensommaren eller förhösten. Mineralkvävemängderna jämförs med motsvarande värden i de ordinarie, N-gödslade rutorna (tabell 17). Medeldatum för provtagningarna var den 22/8

Led	A	B	C	D	E	F
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Jordbearbetning	Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N
1992, Korn, provtagning 14/8						
Utan gödsel-N	25	12	16	18	24	63
Med gödsel-N	+64	+29	+45	+45	+70	+58
1993, Korn, provtagning 10/8						
Utan gödsel-N	11	9	15	10	30	12
Med gödsel-N	+9	+14	+0	+9	+31	+11
1994, Havre, provtagning 11/8						
Utan gödsel-N	18	18	18	18	23	20
Med gödsel-N	+17	+28	+13	+26	+85	+43
1995, Våraps, provtagning 29/8						
Utan gödsel-N	11	10	11	13	18	14
Med gödsel-N	+11	+5	+3	+8	+2	+9
1996, Korn, provtagning 28/8						
Utan gödsel-N	12	10	12	13	13	15
Med gödsel-N	+2	+5	+5	+6	+26	+8
1997, Havre, provtagning 19/8						
Utan gödsel-N	17	15	13	14	16	16
Med gödsel-N	+3	+3	0	+1	0	2
1998, Korn, provtagning 24/8						
Utan gödsel-N	17	16	14	14	17	15
Med gödsel-N	+0	+0	-1	+2	+14	-2
1999, Havre, provtagning 11/8						
Utan gödsel-N	11	9	9	11	10	10
Med gödsel-N	+3	+11	2	+9	+16	9
2000, Havre, provtagning 18/9						
Utan gödsel-N	13	13	14	17	16	15
Medeltal 1992-2000						
Utan gödsel-N	15	13	14	14	19	20
Med gödsel-N (utom 2000)	+13	+12	+8	+13	+30	+17
Medeltal för torrsomrar (1992 och 1994)						
Utan gödsel-N	21	15	17	18	24	42
Med gödsel-N	+40	+28	+29	+36	+77	+50
Medeltal för somrar med mer normal nederbörd (1993, 1995-99)						
Utan gödsel-N	13	12	12	12	17	13
Med gödsel-N	+5	+6	+1	+6	+15	+6

5.10. Kvävemineralisering under olika årstider i led A-F med ettåriga grödor

I tabell 20 visas nettomineraliseringen av kväve under olika perioder:

- I. Under växtsäsongen räknat från kväveprofilprovtagningen tidigt på våren (medeldatum: 8/4) till dess att huvudgrödans kväveupptagning kan anses ha upphört (medeldatum för provtagning av jord och gröda: 18/8). Perioden avser den säsong, under vilken övervintrande mineralkväve och kväve, som då mineraliserats, kan tas tillvara av grödan.
- II. Från kväveupptagningens avslutning under sensommaren till senhösten (medeldatum för perioden: 18/8 - 2/11). Perioden avser tiden fram till tidpunkten för plöjningen på senhösten. Den levande vegetation i detta försök som kunde förekomma och ta upp kväve under denna tid var fånggröda, ogräs och grodd spillsäd.
- III. Från senhösten till tidig vår (medeldatum för perioden: 2/11 - 8/4). Detta skede avser den tid då det i allmänhet inte pågår någon nämnvärd tillväxt eller ingen tillväxt alls hos förekommande vegetation.

Det använda sättet att beräkna kvävemineraliseringen (se avsnitt 4 "Material och metoder"), beaktar dels tillskott av kväve till och dels uppmätta kväveutlakningsförluster från mark-växtsystemet i fråga. Förluster från systemet uppkommer även genom processer som inte har undersökts och bestämts, t.ex. denitrifikation och N-immobilisering. Den beräknade mineraliseringen av kväve utgör därför ett nettobelopp, i vilket sådana okända kväveavgångar ingår. Nettomineraliseringen av kväve kan därför betraktas som den nettomängd kväve som under ett givet skede tillkommit och då bidragit till växtlighetens N-försörjning och/eller till förekommande kväveutlakning. Är talet negativt, har okända kväveavgångar övervägt.

5.10.1. N-mineralisering från avslutad kväveupptagning under sensommaren till senhösten

Under åren 1993-1999 uppgick nettomineraliseringstillskotten under hösten fram till plöjning i början av november till omkring 15 kg N/ha i led A och B (båda med stubbearbetning under förhösten), se tabell 20. I övriga led (C, D och D med fånggröda samt F med direktsådd på våren) blev den beräknade N-mineraliseringen mindre. Orsaken till skillnaderna borde vara, att den tidiga höstbearbetningen stimulerat N-frigörelsen i led A och B.

Under hösten 1992 avvek de beräknade nettomineraliseringstalen i led D och E från det nämnda mönstret. Orsaken synes vara, att det under den föregående försöksperioden 1988-91 odlades rödklöver som fånggröda i dessa båda led (Lindén et al., 1993b). De uppkomna kväveanhopningarna i led D och E hösten 1992 måste ha medfört risk för ökad kväveutlakning, vilket också fastställdes med rödklöver som fånggröda under försöksperioden 1988-91. Under det efterföljande året 1993 tycktes dock denna inverkan på kvävefrigörelsen ha ebbat ut, och den var således förhållandevis kortvarig.

5.10.2. N-mineralisering från senhöst till tidig vår

Som framgår av tabell 20 avlöstes den nämnda, mindre nettomineraliseringen av kväve under hösten i led C, D och E (med fånggröda och plöjning på senhösten) av ökad kvävefrigörelse efter det att marken plöjts. Här blev dessa kvävetillskott 5-10 kg N/ha större än i led A och B med stubbearbetning i september, följt av plöjning på senhösten. I led F, utan höstbearbetning och med direktsådd på våren, höll sig N-mineraliseringen också på en lägre nivå, vilket även var fallet under försöksåren 1988-91 (Lindén et al., 1993b).

Tabell 20. Nettomineralisering av kväve (kg/ha) under olika perioder: I) avslutad kväveupptagning (vid gulmognad) – senhöst (medeldatum: 18/8 - 2/11), II) senhöst – tidig vår (medeldatum: 2/11 – 8/4) och III) tidig vår – avslutad kväveupptagning (medeldatum: 8/4 – 18/8)

Led		A	B	C	D	E	F
Fånggröda		-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Jordbearbetning		Stubb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd
Kvävegiva		1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N
1992/93, korn/ korn	Gulmog. - senhöst	9	9	-3	42	77	5
	Senhöst - tidig vår	23	19	34	5	-9	24
	Tidig vår – gulmog.	63	57	51	57	78	46
1993/94, korn/havre	Gulmog. - senhöst	13	14	10	1	-3	6
	Senhöst - tidig vår	15	9	20	24	20	14
	Tidig vår – gulmog.	66	63	54	66	57	51
1994/95, havre/våraps	Gulmog. - senhöst	19	18	5	5	-10	-6
	Senhöst - tidig vår	6	1	22	24	4	4
	Tidig vår – gulmog.	66	75	40	62	55	71
1995/96, våraps/korn	Gulmog. - senhöst	7	15	1	-7	-3	8
	Senhöst - tidig vår	42	33	38	40	39	46
	Tidig vår – gulmog.	21	45	12	21	44	14
1996/97, korn/havre	Gulmog. - senhöst	16	18	14	13	-6	1
	Senhöst - tidig vår	16	13	15	19	27	17
	Tidig vår – gulmog.	34	39	28	39	50	44
1997/98, havre/korn	Gulmog. - senhöst	10	14	6	10	18	24
	Senhöst - tidig vår	20	25	33	37	41	16
	Tidig vår – gulmog.	60	47	32	55	51	46
1998/99, korn/havre	Gulmog. - senhöst	11	25	9	24	27	22
	Senhöst - tidig vår	21	13	20	19	32	12
	Tidig vår – gulmog.	37	42	28	41	31	34
1999/2000, havre/havre	Gulmog. - senhöst	17	13	7	12	9	5
	Senhöst - tidig vår	26	34	23	30	36	23
	Tidig vår – gulmog.	35	31	30	40	42	32
Medeltal 1993/94 - 1998/99							
	Gulmognad - senhöst	13	17	7	8	4	9
	Senhöst - tidig vår	20	16	25	27	27	18
	Tidig vår - gulmognad	47	52	32	47	48	43
	Totalt för hela året	80	85	64	82	79	70
	<i>Gulmognad - tidig vår, % av hela året</i>	41	39	50	43	39	39
Medeltal 1992/93 - 1999/2000							
	Gulmognad - senhöst	13	16	6	12	14	8
	Senhöst - tidig vår	21	18	26	25	24	19
	Tidig vår - gulmognad	48	50	34	48	51	42
	Totalt för hela året	82	84	66	85	88	70
	<i>Gulmognad - tidig vår, % av hela året</i>	42	41	48	44	42	40

Det märkliga är att den beräknade nettomineraliseringen av kväve under vinterperioden under alla försöksåren 1992-2000 blev så stor som 20-25 kg N/ha. Detta måste bero på att vintrarna var förhållandevis milda och korta samt att kväveomsättningar kan ha fortgått i matjordens centralare delar och djupare ned, när ytjorden var frusen och/eller var täckt av snö. Mängderna var av samma storlek som under försöksperioden 1988-91.

5.10.3. N-mineralisering under växtsäsongen: från tidig vår till avslutad kväveupptagning under sensommaren

Under försöksåren 1988-91 (Lindén et al., 1993b) uppkom i ruta 4 och 5 (led D och E) med åren större kvävemineralisering genom att rödklöver då odlades som fånggröda (t.o.m. 1991). Den större kvävemineraliseringen i led D och E även under växtsäsongen 1992 (tabell 20), efter det att den nya planen införts, tyder på kvardröjande N-efterverkan av klövern.

Under åren 1993-99 fastställdes i led C (1N), D (1,25N) och E (1,50N) ökande nettomineralisering av kväve från i medeltal som minst 32 kg N/ha i C till som mest 47 och 48 kg N/ha i D respektive E. Den tilltagande N-frigörelsen torde bero på att den stigande kvävegödslingen gett upphov till ökande mängder organiskt bundet kväve i växtrester och mikrobiomassa samt med åren troligen även en större andel lättnedbrytbar humus i marken. Den förstörade kvävemineraliseringsförmågan kvarstod under efterverkansåret 2000, då havre odlades, med lika behandling i alla led.

Under försöksperioden 1988-91 fanns det en tydlig tendens till att kvävemineraliseringen i ruta 1 (led A) var större än ruta 2 (led B), se Lindén et al., 1993b. Orsaken synes ha varit inneboende egenskaper i jorden och inte enskilda försöksåtgärder. Under åren 1992-2000 skedde emellertid en förändring liknande den i led C, D och E, i det att kvävefrigörelsen i led B (1,25N) ökade i förhållande till led A (1N). I medeltal för åren 1993-99 fastställdes årliga nettomineraliseringstillskott på 52 kg N/ha i led B jämfört med 47 kg N/ha i led A. Även denna förändring torde bero på tilltagande mängder lättnedbrytbart organiskt material i marken genom större N-gödsling.

5.11. Årlig kväveefterverkan av odlingsåtgärderna

De samlade effekterna av hur odlingsåtgärderna i de skilda leden (årlig gröda, fånggröda, jordbearbetning och kvävegödsling) inverkar på grödornas tillgång till utnyttjbart jord- och förfruktskväve under växtsäsongen undersöktes i de ettåriga 0N-parcellerna (utan kvävegödsling och utan fånggröda under året i fråga). De kvävemängder som grödorna utnyttjade i dessa parceller härstammar nästan uteslutande från de övervintrande mineralkväveförråden tidigt på våren (avsnitt 5.9.4 och 5.9.5) och från kvävemineraliseringstillskott (avsnitt 5.10.3) under den efterföljande växtperioden fram till kväveupptagningens avslutning (vid gulmognad för stråsäd).

I led A (1N, utan fånggröda) och B (1,25N, utan fånggröda) kunde huvudgrödorna i medeltal för alla försöksåren utnyttja omkring 85 kg jord- och förfruktskväve per ha (tabell 21). Den större N-gödslingen i led B gav under de tre första åren 1992-94 synbarligen inte någon ökad N-efterverkan. Med åren tilltog emellertid i viss mån den årliga N-frigörelsen och N-efterverkan i detta led i förhållande till led A. Förändringen kan delvis ses mot bakgrund av att det i denna försöksruta (ruta 2) fastställdes mindre kvävemineralisering under försöksperioden

1988-91 än i ruta 1 (led A) (Lindén et al., 1993b), så att den större N-gödslingen fr.o.m. 1992 ändå medförde förstärkt N-efterverkan.

I led C (1N, med fånggröda) blev kväveefterverkan ca 20 kg N/ha sämre än i led A med samma N-gödsling (tabell 20). Även här kan en av förklaringarna vara en effekt knuten till själva försöksrutan. Kväveleveransen från marken under försöksåren 1988-1991 var även här mindre än i led A med samma kvävegödsling (Lindén et al., 1993b). Fånggrödan (engelskt rajgräs under båda försöksperioderna) medförde mindre mineralkväveförråd på våren, se Lindén et al. (1993b) och avsnitt 5.9.4 och 5.9.5. Detta invercade också på N-efterverkan.

Däremot medförde de stigande N-givorna i fånggrödeleden (1,25N) och E (1,50N) ökad kväveefterverkan med omkring 10 respektive 20 kg N/ha i jämförelse med led C (tabell 21). Detta synes vara ett resultat av dels större mängder utnyttjat mineralkväve på sensommaren, vilka sedan delvis övervintrat inom rotzonen (tabell 18), och dels ökad nettomineralisering under växtsäsongen i jämförelse med led C (tabell 20).

I led F (1N, direktsådd) blev kväveefterverkan sämre än i led A med samma N-gödsling (tabell 21). En förklaring kan även här vara ”inneboende”, rutspecifika markegenskaper, men den helt utelämnade jordbearbetningen kan också ha medverkat till resultatet genom utebliven stimulering av kväve mineraliseringen (Stenberg et al., 1999).

Tabell 21. Årlig kväveefterverkan (kg N/ha) av de ledvisa odlingsåtgärderna bestämd som huvudgrödornas N-innehåll vid avslutad kväveupptagning (summan av kväveinnehållet i de ovanjordiska växt-delarna och skattad N-mängd i rötterna) i de ettåriga 0N-parcellerna, utan kvävegödsling under året i fråga

Led		A	B	C	D	E	F
Fånggröda		-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Bearbetning		Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning		Direktsådd	
Kvävegiva		1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N
1992	Korn	106	87	104	93	96	73
1993	Korn	120	114	86	98	123	93
1994	Havre	89	85	70	83	92	64
1995	Vårraps	98	108	64	82	77	81
1996	Korn	74	91	49	53	74	67
1997	Havre	56	60	55	65	78	60
1998	Korn	84	74	57	79	84	63
1999	Havre	64	65	50	67	60	52
2000	Havre	69	68	47	56	65	53
Medeltal 1992-2000		85	84	65	75	83	67
Medeltal 1993-1999		84	85	62	75	84	69

5.12. Avrinning och utlakning av kväve och fosfor

5.12.1. Årlig avrinning

Avrinningen från försöksfältet varierade kraftigt mellan försöksåren, från drygt 100 upp till 550 mm (tabell 22). De agrohydrologiska åren 1994/95 och 1998/99 var de mest nederbördsrika med avrinningar på ca 340 respektive 550 mm. Under åren 1992/93, 1993/94, 1995/96 och 1996/97 var nederbörden under det normala, vilket också medförde minskad avrinning, med högst ca 200 mm per agrohydrologiskt år. Medeltalet för de åtta åren utgjorde omkring 250 mm, vilket motsvarade drygt 40% av medelnederbörden under samma period.

Avrinningen varierade en del mellan olika rutor, men skillnaderna var inte statistiskt signifikanta ($P > 0,05$). Variationen berodde med största sannolikhet på varierande hydrologiska egenskaper snarare än på behandlingarnas inverkan. Passage av vatten förbi dräneringsledningarna eller grundvatteninflöde underifrån uppstod förmodligen under vissa perioder i olika rutor. Det är osäkerheter som hör till den här typen av försök. Flera studier har emellertid visat att dränerade försöksrutor är den metod för utlakningsmätning som lämpar sig bäst för lerjordar (Goulding & Webster, 1992; Hatch et al., 1997).

Tabell 22. Årlig avrinning (mm) via dräneringsledningarna från de olika försöksrutorna under de agrohydrologiska åren 1992/1993 - 1999/2000 (1/7 – 30/6)

Led	A	B	C	D	E	F	G	A-G
Ruta	1	2	3	4	5	6	7	
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-	Vallträda	Medel-
Jordbearbetning	Stubb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd	-	tal
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N	0N	
1992/1993	147	146	139	147	130	172	-	147
1993/1994	224	181	234	188	156	221	165	201
1994/1995	309	310	357	318	291	458	323	341
1995/1996	96	100	131	122	122	142	154	119
1996/1997	173	174	197	180	145	234	247	184
1997/1998	203	214	226	212	172	233	308	210
1998/1999	541	573	584	501	562	523	460	547
1999/2000	245	269	259	247	233	346	225	267
Medel	242	246	266	239	226	291	269	252

5.12.2. Årlig nitratkväveutlakning

Nitratkvävekoncentrationer. De genomsnittliga nitratkvävehalterna i det avrinnande vattnet (tabell 23) i försöksled A-F med vårsådda grödor uppvisade de lägsta värdena i led C (1N, med fånggröda), där i medeltal 2,7 mg NO₃-N per liter fastställdes, vilket kan betraktas som lågt både med tanke på dricksvattenkvalitet och ur limnologisk synpunkt. Även i led A (1N, stubbearbetning i september) och F (1N, direktsådd) var halterna så låga att de understeg NO₃-N-halten 5 mg/l. I led G med vallträda (permanent vall) blev NO₃-N-koncentrationerna i det avrinnande vattnet högst obetydliga, med i medeltal 0,3 mg/l.

Koncentrationerna ökade med stigande N-gödning (led B: 1,25N, D: 1,25N och E: 1,50N), trots fånggrödorna i led D och E. Dessa N-givor medförde NO₃-N-halter över den nämnda gränsen 5 mg/l. Med tanke på att skördarna inte alls svarade på de ökade kvävegivorna handlade det om en kraftig överdosering av kväve i dessa led. Fånggrödorna i led D och E

ökade visserligen flera år sitt kväveupptag till det dubbla under hösten jämfört med i led C, men hade inte tillräckligt stor upptagskapacitet för att tömma markprofilen på kväve under hösten. De generellt högsta medelkoncentrationerna fastställdes 1994/95. Till orsakerna hör större mängder outnyttjat mineralkväve i marken på hösten 1994 efter den torra sommaren detta år.

Tabell 23. Årsmedelkoncentrationer (mg/l) och uttransporterad mängd nitratkväve (kg/ha) under de agrohydrologiska åren 1992/1993 - 1999/2000 (1/7 – 30/6)

Led	A	B	C	D	E	F	G	A-F
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-	Vallträda	Medel-
Jordbearbetning	Stubb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd	-	tal
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N	0N	
1992/1993								
NO ₃ -N (mg/l)	3,0	2,9	2,0	4,4	9,3	4,7	-	4,4
NO ₃ -N (kg/ha)	4,4	4,2	2,8	6,5	12,1	8,1		6,3
1993/1994								
NO ₃ -N (mg/l)	3,2	3,5	2,3	4,5	9,5	4,0	0,5	4,5
NO ₃ -N (kg/ha)	7,2	6,3	5,3	8,5	14,9	8,9	0,8	8,6
1994/1995								
NO ₃ -N (mg/l)	5,2	6,9	3,8	7,6	14,9	8,1	0,5	7,7
NO ₃ -N (kg/ha)	16,2	21,3	13,7	24,0	43,2	37,0	1,6	25,9
1995/1996								
NO ₃ -N (mg/l)	6,1	8,3	3,4	7,4	10,7	5,7	0,6	6,9
NO ₃ -N (kg/ha)	5,9	8,3	4,4	9,0	13,0	8,1	0,8	8,1
1996/1997								
NO ₃ -N (mg/l)	4,1	5,8	3,1	6,3	10,8	4,1	0,2	5,7
NO ₃ -N (kg/ha)	7,0	10,1	6,1	11,3	15,7	9,5	0,5	10,0
1997/1998								
NO ₃ -N (mg/l)	2,8	4,6	2,1	5,1	9,1	3,5	0,3	4,5
NO ₃ -N (kg/ha)	5,7	9,9	4,8	10,8	15,6	8,1	0,8	9,2
1998/1999								
NO ₃ -N (mg/l)	2,9	4,7	1,9	5,4	8,2	2,7	0,2	4,3
NO ₃ -N (kg/ha)	15,5	26,8	11,2	27,0	45,8	13,9	1,1	23,4
1999/2000								
NO ₃ -N (mg/l)	3,6	6,1	2,9	6,1	8,2	3,8	0,2	5,1
NO ₃ -N (kg/ha)	8,8	16,3	7,5	15,0	19,0	13,0	0,4	13,3
Medeltal								
NO ₃ -N (mg/l)	3,9	5,3	2,7	5,8	10,1	4,6	0,3	5,4
NO ₃ -N (kg/ha)	8,8	12,9	7,0	14,0	22,4	13,4	0,9	13,3

Den årliga nitratkväveutlakningens storlek. Medelutlakningen (kg N/ha och år) av nitratkväve i led A-F med vårsådda grödor varierade mycket mellan åren (tabell 23), från som minst knappt 3 kg i led C under det nederbördsfattiga året 1992/93 till 46 kg i det överdoserade led E under det regniga 1998/99. Avrinningen hade stor inverkan på utlakningsnivån. I led G med permanent träda blev utlakningen av kväve mindre än 1 kg under de flesta åren. I medeltal för alla försöksår i led A-F uppgick utlakningen av nitratkväve till i medeltal 13 kg N/ha. Om den totala kväveutlakningen, dvs. om även ammoniumkväve och organiskt kväve inkluderats, skulle mängden antagligen ha blivit 10-20 % större. Utlakningen var betydligt mindre än i ett försök på lätt jord i samma område (vid Fotegården), där dessa förluster i medeltal uppgått till 30-40 kg kväve per ha och år (Aronsson et al., 2003).

De stigande N-givorna i leden med fånggröda (C, D och E) medförde ökande NO₃-N-utlakning, med en fördubbling från led C (1N) till D (1,25N) och en tredubbling från C till E (1,50N). Fånggrödorna i led D och E kunde således inte förhindra tilltagande förluster. År 1992/93 (tabell 24a) kan de större utlakningsförlusterna i led D och E än i A i viss mån hänga samman med odlingen av rödklöver som fånggröda t.o.m. 1991 (Lindén et al., 1993b), som medförde större kväveminerisering 1992/93 i led D och E än i led C (tabell 20). För att i någon mån bedöma skillnaderna mellan leden rent statistiskt gjordes en variansanalys med åren som upprepningar. Eftersom skillnaderna mellan åren var så stora blev också standardavvikelseerna mycket stora, och med denna metod var det endast led G som avvek med statistisk säkerhet ($P < 0,05$) från led C-F.

Led A och C (med respektive utan fånggröda) erhöll samma N-giva (1N), men fånggrödan medförde uppenbarligen att NO₃-N-utlakningen blev nedsatt i led C, med i medeltal en minskning på knappt 2 kg N/ha (tabell 23). Däremot uppkom samma eller något större utlakning i led D (1,25N, med fånggröda) i jämförelse med B (1,25N, utan fånggröda). Orsaken måste vara den sämre avkastningen i led D.

NO₃-N-utlakningens storlek i de olika leden A-E är en tydlig avspegling av mineralkväveförrådets storlek under senhösten (tabell 18) och i viss mån även av nettomineraliseringen av kväve under höst och vinter (tabell 20). Detta gäller emellertid inte i led F (1N, direktsådd). Trots nedsatt höstmineralisering genom utebliven jordbearbetning på hösten och måttligt stora mineralkväveförråd vid vinterns ankomst blev kväveutlakningen i F större än i led A och C med samma N-gödsling. Detta gäller samtliga år, även åren med lika god avkastning som i andra led (1993, 1996-2000) och således inte bara under åren med svag skörd i led F (1992, 1994 och 1995). En förklaring synes vara att avrinningen i denna ruta (nr 6) var större än i de övriga (tabell 22). Därför kan inte den slutsatsen dras, att det var direktsådden som sådan som orsakade den ökade N-utlakningen.

5.12.3. Nitratkväveutlakning under olika perioder under året

Utlakningen av nitratkväve beräknades för tre perioder, som är desamma som för beräkningarna av kvävemineriseringen under olika delar av året: I) avslutad kväveupptagning (vid gulmognad) – senhöst (medeldatum: 18/8 - 2/11), II) senhöst – tidig vår (medeldatum: 2/11 – 8/4) och III) tidig vår – avslutad kväveupptagning (medeldatum: 8/4 – 18/8). I tabell 24a och b visas utlakningen av nitratkväve under dessa perioder.

Tabell 24a. Utlakning av nitratkväve (kg/ha) under olika perioder: I) avslutad kväveupptagning (vid gulmognad) – senhöst (medeldatum: 18/8 - 2/11), II) senhöst – tidig vår (medeldatum: 2/11 – 8/4) och III) tidig vår – avslutad kväveupptagning (medeldatum: 8/4 – 18/8). Resultat från de enskilda åren. Kommentar: Att årssumman inte blir identisk med årslakningen i tabell 23 beror på att de summerade perioderna inte överensstämmer tidsmässigt

Led	A	B	C	D	E	F	G
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-	Vallträda
Jordbearbetning	Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd	-
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N	-
1992/93, korn/korn							
gulmognad - senhöst	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	-
senhöst - tidig vår	4,4	4,2	2,6	6,3	11,9	7,8	0,0
tidig vår - gulmognad	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,0
Hela året	4,5	4,3	2,7	6,5	12,1	8,3	-
1993/94, korn/havre							
gulmognad - senhöst	0,9	0,9	0,8	1,3	2,1	1,3	0,9
senhöst - tidig vår	6,1	5,2	4,3	6,7	12,0	6,7	0,4
tidig vår - gulmognad	0,3	0,3	0,4	0,6	0,7	1,0	0,1
Hela året	7,2	6,3	5,5	8,6	14,8	9,0	1,3
1994/95, havre/våraps							
gulmognad - senhöst	0,0	0,0	0,0	0,4	0,3	0,5	0,0
senhöst - tidig vår	8,7	11,7	6,6	13,3	26,9	24,0	1,5
tidig vår - gulmognad	7,6	10,0	7,1	10,5	16,4	12,9	0,7
Hela året	16,3	21,6	13,8	24,2	43,6	37,3	2,2
1995/96, våraps/korn							
gulmognad - senhöst	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
senhöst - tidig vår	1,4	2,2	0,9	2,1	3,9	4,0	0,2
tidig vår - gulmognad	4,4	6,1	3,5	6,8	8,9	3,9	0,7
Hela året	5,8	8,3	4,4	8,9	12,8	7,9	0,8
1996/97, korn/havre							
gulmognad - senhöst	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
senhöst - tidig vår	5,0	7,2	4,1	7,8	10,7	6,2	0,3
tidig vår - gulmognad	2,0	2,9	1,9	3,5	5,1	2,4	0,1
Hela året	7,0	10,1	6,1	11,3	15,8	8,7	0,5
1997/98, havre/korn							
gulmognad - senhöst	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
senhöst - tidig vår	4,6	8,1	3,8	8,6	12,9	6,6	0,7
tidig vår - gulmognad	1,3	2,0	1,1	2,4	2,7	1,6	0,2
Hela året	5,9	10,1	4,9	11,0	15,6	8,2	0,9
1998/99, korn/havre							
gulmognad - senhöst	3,7	6,3	2,6	6,3	10,7	2,4	0,2
senhöst - tidig vår	7,2	13,3	5,9	14,3	24,3	8,3	0,7
tidig vår - gulmognad	4,3	6,5	2,8	7,9	10,2	4,0	0,3
Hela året	15,2	26,1	11,3	28,4	45,2	14,6	1,2
1999/2000, havre/havre							
gulmognad - senhöst	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
senhöst - tidig vår	6,1	10,5	4,8	10,5	14,5	6,2	0,3
tidig vår - gulmognad	3,2	5,2	2,6	5,2	6,8	3,7	0,3
Hela året	9,3	15,7	7,5	15,7	21,3	9,8	0,6

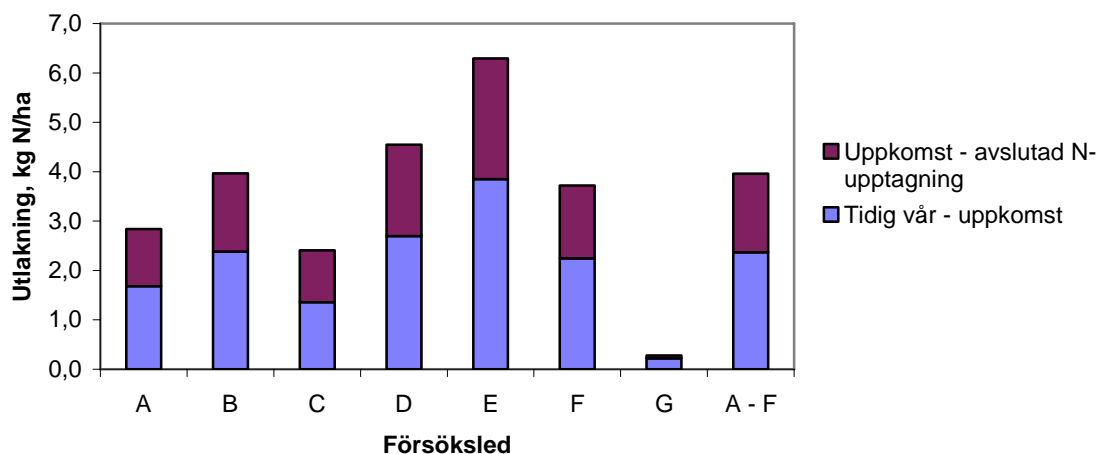
Tabell 24b. Utlakning av nitratkväve (kg/ha) under olika perioder: I) avslutad kväveupptagning (vid gultmognad) – senhöst (medeldatum: 18/8 - 2/11), II) senhöst – tidig vår (medeldatum: 2/11 – 8/4) och III) tidig vår – avslutad kväveupptagning (medeldatum: 8/4 – 18/8). Medeltal för åren 1993/94 – 1998/99 och för 1992/93 – 1999/2000. Kommentar: Att årssumman inte blir identisk med årsutlakningen i tabell 23 beror på att de summerade perioderna inte överensstämmer tidsmässigt

Led	A	B	C	D	E	F	G
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-	Vallträda
Jordbearbetning	Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning		Direktsådd		
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N	-
Medeltal 1993/94-1998/99							
gultmognad-senhöst	0,8	1,2	0,6	1,3	2,2	0,7	0,2
senhöst-tidig vår	5,5	7,9	4,3	8,8	15,1	9,3	0,6
tidig vår-gultmognad	3,3	4,6	2,8	5,3	7,3	4,3	0,3
Totalt för hela året	9,6	13,7	7,7	15,4	24,6	14,3	1,1
Medeltal 1992/93-1999/2000							
gultmognad-senhöst	0,6	0,9	0,4	1,0	1,7	0,5	0,2
senhöst-tidig vår	5,4	7,8	4,2	8,7	14,6	8,7	0,5
tidig vår-gultmognad	2,9	4,1	2,4	4,6	6,4	3,7	0,3
Totalt för hela året	8,9	12,8	7,0	14,3	22,6	13,0	1,0

Under perioden från avslutad kväveupptagning på sensommaren till senhösten blev NO₃-N-utlakningen jämförelsevis liten och under vissa år praktiskt taget ingen alls (tabell 24a). De största förlusterna ägde rum höstarna 1993 och 1998, men bara 1998 kan detta entydigt förklaras med förhållandevis stor höstnederbörd (tabell 4). Härtill var sommaren mycket regnig detta år. Det rådde torrsomrar 1992 och 1994 med större anhopningar av icke utnyttjat mineralkväve i jorden på försöksplatsen (tabell 18), men trots detta blev utlakningen närmast försumbar fram till senhösten, trots en hel del regn under höstmånaderna.

Från senhöst till tidig vår uppmättes störst utlakning, med omkring 60 % av de årliga NO₃-N-utlakningsförlusterna (tabell 24a och b). Till orsakerna hör anhopning av mineraliserat kväve under hösten och vintern samt återkommande perioder under vintrarna med perkolation av nederbördsvatten ned genom marken. Under den kalla vinterperioden 1995-96 (tabell 4) blev emellertid nitrutlakningen starkt nedsatt.

Från tidig vår till avslutad kväveupptagning på sensommaren uppkom det under åren 1994-2000 måttligt stora utlakningsförluster (tabell 24a), medan 1992 och 1993 karakteriserades av i stort sett försumbar kväveutlakning under denna period. I genomsnitt för alla åren uppgick utlakningsförlusterna under denna period till drygt 30 % av den årliga NO₃-N-utlakningen (figur 5). I medeltal för 1993-99 och för alla leden A-F uppmättes utlakningsförluster på 4,0 kg N/ha under denna period. Härav utlakades 2,4 kg/ha från tidig vår (medeldatum: 9 april) till grödornas uppkomst (medeldatum: 18 maj) och 1,6 kg/ha därefter fram till avslutad kväveupptagning.



Försöksled	A	B	C	D	E	F
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-
Jordbearbetning	Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N

Figur 5. Utlakning av nitratkväve under växtsäsongen, beräknat från tidig vår (medeldatum: 9/4) till avslutad kväveupptagning hos huvudgrödan (medeldatum 18/8). Växtsäsongen är uppdelad på två delperioder: tidig vår – huvudgrödans uppkomst (9/4 – 18/5) och huvudgrödans uppkomst – avslutad kväveupptagning (18/5 – 18/8). A–F avser medeltal för leden A–F.

5.12.4. Inverkan av mineralkväveförrådets årstidsvariationer på nitratkväveutlakningen

Mineralkväveförrådets förändringar med årstiderna exemplifieras i figur 6 av kväveprofiler uttagna i led A (1N, stubbearbetning i september) och C (1N, fånggröda) från provtagningen vid avslutad kväveupptagning i augusti 1994 till motsvarande tidpunkt i augusti 1996.

Vid provtagningen vid avslutad kväveupptagning i augusti 1994, då grödan utgjordes av havre återfanns i led A totalt 35 kg mineralkväve inom 90 cm djup, jämfört med 28 kg i led C. Orsaker till de mindre mängderna i led C kan vara att fånggrödan börjat ta upp något kväve redan under sommaren men även att N-mineraliseringen under växtsäsongen var mindre i C än i A (tabell 20).

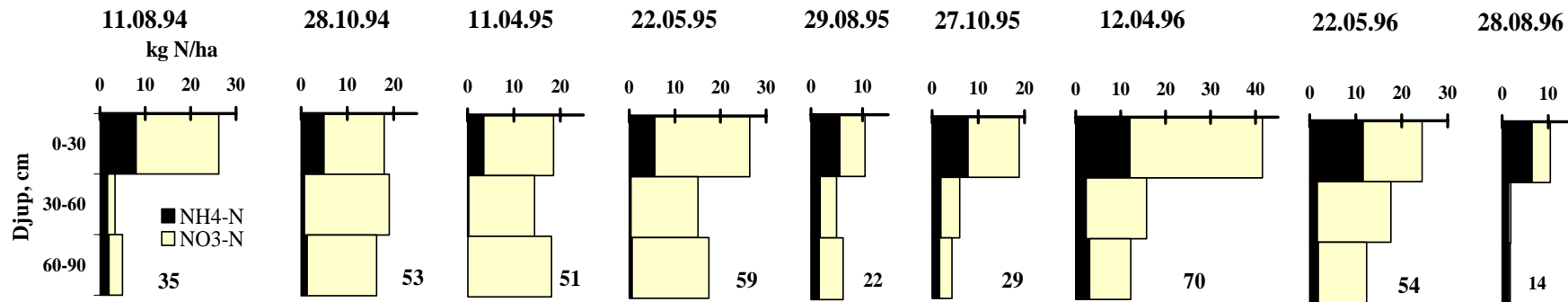
Under hösten detta år (1994) anhopades i led A (stubbearbetning efter skörden, utan fånggröda) betydande mängder mineraliserat kväve i marken, till vilket stubbearbetningens stimulerande inverkan på N-mineraliseringen kan ha bidragit. Genom den rikliga höstnederbörden (tabell 4) vaskades det mineraliserade kvävet ned i marken under hösten, åtminstone till skiktet 60-90 cm. Trots detta blev kväveutlakningen under denna tid (avslutad N-upptagning – plöjning på senhösten) försumbart liten, vilket även gäller övriga försöksled (tabell 24a). Orsaken synes vara den torra sommaren 1994. I led C med fånggröda anhopades uppenbarligen inget mineraliserat kväve i marken under hösten (figur 6), vilket måste bero på fånggrödans N-upptag (15 kg N/ha i dess ovanjordiska växtdelar, se tabell 12).

Under vinterperioden (räknad från plöjningen i slutet av oktober 1994 till kväveprofilprovtagning den 11/4 1995) förändrades inte mineralkväveförrådet nämnvärt i led A (figur 6), uppenbarligen genom att kvävemineraliseringstillskott motverkades av kväveförluster. NO₃-N-utlakningen i led A motsvarade 9 kg N/ha under denna tid (tabell 24a). Detta kan jämföras med

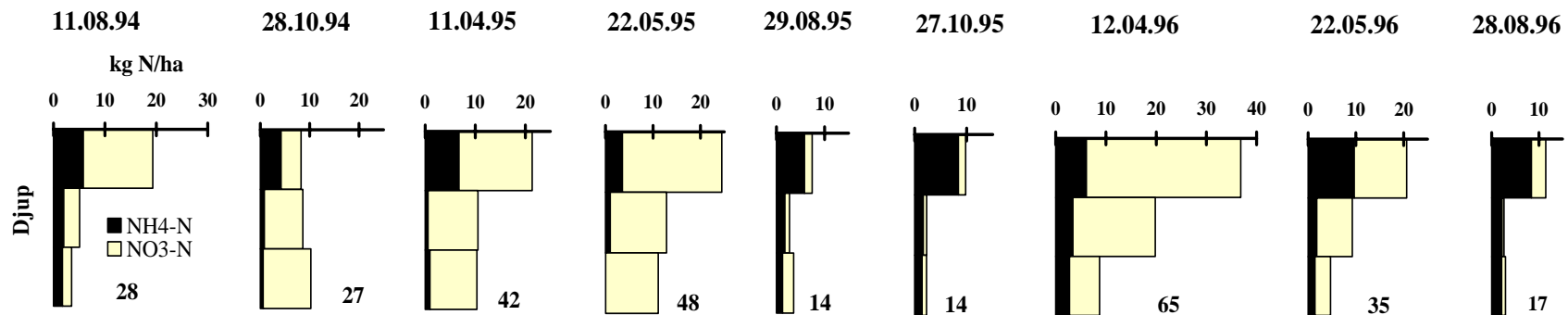
7 kg N/ha i led C med fånggröda, trots en ökning av mineralkväveförrådet med 15 kg N/ha under perioden. Orsaken till skillnaden i N-utlakning synes vara att betydligt mer mineralkväve fanns på större markdjup på senhösten i led A än i C. Fram till provtagningen den 22 maj (vid grödans uppkomst) anhopades ytterligare mineraliserat kväve i marken (figur 6). Därefter satte så småningom grödans (vårapsens) N-upptagning in, och vid avslutad N-upptagning i slutet av augusti återstod bara 22 kg mineralkväve per ha i led A och 18 kg i led C. Skillnaden synes bero på fånggrödans N-upptagning (tabell 12). Trots detta utlakades drygt 7 kg N/ha i både led A och C från tidig vår till avslutad kväveupptagning på sensommaren. Orsaken tycks vara hög nederbörd i april och framför allt i juni (134 mm), se tabell 4. De ganska stora mineralkvävemängderna i alven under våren och grödans relativt sena utnyttjande av kväve på större markdjup (Scharpf, 1977) bör ha bidragit till förlusterna.

Även under hösten 1995 (fram till plöjning den 27 oktober) uteblev kväveutlakningen (tabell 24a), trots periodvis stor nederbörd. Den efterföljande vintern var kall och nederbördsfattig (tabell 4). N-utlakningen under perioden blev som en följd därav mycket liten: drygt 1 kg N/ha i led A och knappt 1 kg i C (tabell 24a). Istället anhopades betydande mängder mineraliserat kväve i marken fram till våren 1996, vilket till skillnad från den föregående vintern stannade kvar relativt ytligt i marken och således inte bör ha varit nämnvärt utsatt för utlakningsförluster. Trots detta läge i markprofilen på våren uppkom utlakningsförluster på drygt 4 kg N/ha i led A och närmare 4 kg i led C under den efterföljande växtsäsongen. Orsaken torde vara stor nederbörd i maj 1996 (84 mm, se tabell 4), då marken ännu var ganska vattenmättad efter vintern.

Led A (1N, stubbearbetning i september, ingen fånggröda)



Led C (1N, ingen stubbearbetning, med fånggröda)



Figur 6. Mineralkväveförrådets förändringar med årstiderna i led A och C, båda med kvävegivan 1N, från provtagning vid avslutad kväveupptagning i augusti 1994 till motsvarande tidpunkt i augusti 1996. Talen till höger om kväveprofilernas nedersta del avser summa ammonium- och nitratkväve inom 0-90 cm djup.

5.12.5. Fosforutlakning

Årsmedelkoncentrationer av totalfosfor och fosfatfosfor, liksom beräknad utlakning, framgår av tabell 25. Utlakningen av fosfor varierade mellan åren, och var störst i alla led under det nederbördsrika året 1998/99. I några av leden (D-G) blev förlusten av fosfor via dräneringsledningarna detta år omkring 0,5 kg/ha eller ännu mer. Utlakningen var minst i led A, där den i medeltal endast uppgick till 0,07 kg tot-P/ha. Led B, C och G utgjorde ett mellansteg med 0,12-0,14 kg tot-P/ha och år, medan leden D-F hade en totalfosforutlakning på 0,20-0,25 kg/ha. Andelen fosfatfosfor utgjorde mellan ca 30 och 50%, där det högsta värdet återfanns i det direktsådda ledet (F).

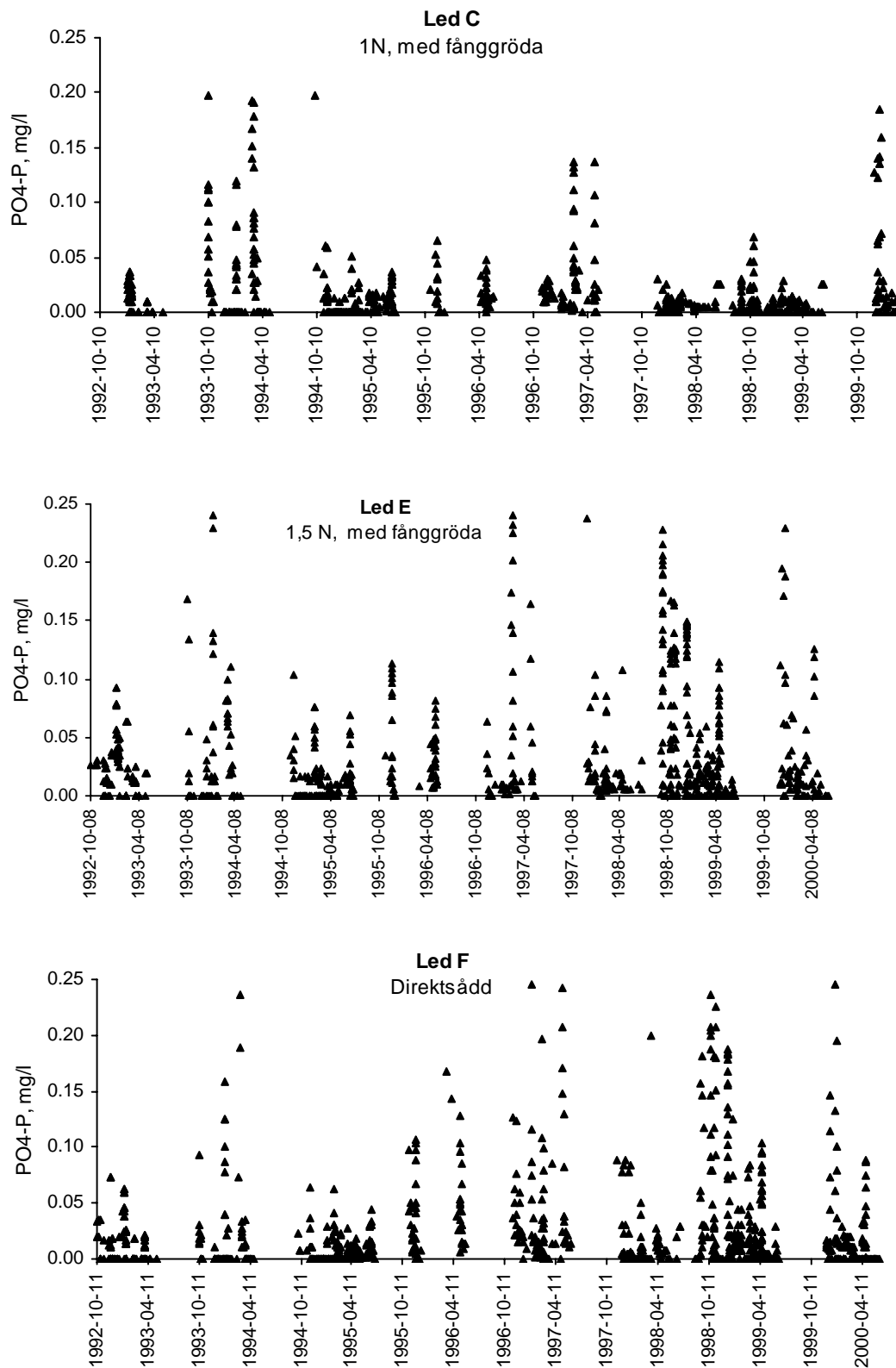
En variansanalys som gjordes med åren som upprepningar visade att det egentligen endast var mellan leden med lägst (led A) och högst utlakning (led D, E och F) som det fanns en skillnad som kunde bedömas som statistiskt signifikant. Förlusterna av fosfatfosfor var störst i led F, medan E låg högst när det gällde totalfosfor.

Den odlingsåtgärd som gav tydligt utslag på fosforkoncentrationerna i dräneringsvattnet var förrådgödslingen med fosfor som gjordes 1993, 1996 och 1999. Det illustreras av det översta exemplet i figur 7, där fosfatkoncentrationerna i led C visas under hela försöksperioden och där man kan se kraftiga koncentrationsökningar under hösten-vintern efter fosforgödsling. I övrigt är det svårt att utreda de specifika behandlingarnas effekt på fosforkoncentrationer och fosforutlakning. I de två nedre exemplen i figur 7 visas fosfatfosforkoncentrationer i led E respektive led F, där ett mycket otydligare mönster uppträder jämfört med i led C, med upprepade koncentrationstoppar av fosfor i dräneringsvattnet. Det är tänkbart att direktsådden i led F under åren bidragit till att det utvecklats ett stabilt porsystem i marken vilket kan leda till annorlunda nedtransport av fosfor genom markprofilen jämfört med led C där marken plöjdes varje år. I jämförelse med led E som även det plöjdes varje år syntes emellertid ingen direkt skillnad i koncentrationsdynamiken för fosfor i dräneringsvattnet. Att nedbrukning av fånggrödmaterial med lättillgänglig fosfor skulle kunna öka risken för utlakning av fosfatfosfor kan också vara tänkbart i vissa situationer, men fånggröda odlades i både led C och led D och kan rimligtvis inte vara den faktor som orsakat skillnaderna mellan dessa led.

Förklaringen till skillnaderna i fosforutlakning mellan de olika leden finns troligen till stor del i inneboende markegenskaper i rutorna, liksom dessa förhållanden påverkat grödornas avkastningsförmåga i större utsträckning än vad de olika kvävegivorna gjort. Detta är intressant i sig, eftersom det skulle kunna antyda att det är markens beskaffenhet snarare än själva odlingsåtgärderna som har betydelse för fosfors transport genom marken och utlakning.

I led A (ruta 1) som hade den minsta uppmätta fosforutlakningen, var odlingsförutsättningarna bra och skörden blev större än i de andra rutorna. En del av den lägre fosforutlakningen kan visserligen kanske förklaras av en större fosforbortförsel (ca 5 kg/ha) med skörden, men troligen inte helt. Balansberäkningarna, se nedan, visar ett svagt överskott av fosfor. Markens fosforstatus var likartad i de olika försöksrutorna och kan därför inte vara en faktor som gett skillnader i fosforutlakning. God markstruktur, som ger en jämn och snabb infiltration av vatten, anses vara viktig för att minska fosforförlusterna (Ulén, 2005). Det är möjligt att den kraftiga kalkning som gjordes av ruta 1 (led A) i början av 1960-talet fortfarande hade en positiv inverkan under försöksperioden 1992-2000. Även ruta 2 och 3 (led B och C) gavs kalk vid detta tillfälle, men i mindre givor. Det finns inga uppgifter på hur spricksystemet, som kan utgöra transportvägar för fosfor, ser ut i alven i de olika rutorna. Led

G med den långliggande vallen hade en fosforutlakning av samma storleksordning som medelutlakningen i försöket.



Figur 7. Uppmätta koncentrationer av fosfatfosfor (mg/l) i dräneringsvattnet i led C (överst), led E (mitten) och led F (nederst) från hösten 1992 till våren 2000.

Tabell 25. Årsmedelkoncentrationer (mg/l) och uttransporterad mängd fosfatfosfor och totalfosfor (kg/ha) under de agrohydrologiska åren 1992/1993 - 1999/2000 (1/7 - 30/6)

Led	A	B	C	D	E	F	G	A-F
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-	Vallträda	Medel-
Jordbearbetning	Stubb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning			Direktsådd	-	tal
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N	0N	
1992/1993								
PO ₄ -P (mg/l)	0,009	0,008	0,010	0,019	0,021	0,009	-	0,013
Tot-P (mg/l)	0,029	0,024	0,028	0,050	0,053	0,022	-	0,034
PO ₄ -P (kg/ha)	0,013	0,012	0,014	0,028	0,027	0,015	-	0,018
Tot-P (kg/ha)	0,043	0,035	0,039	0,074	0,069	0,038	-	0,047
1993/1994								
PO ₄ -P (mg/l)	0,034	0,026	0,036	0,047	0,056	0,064	0,015	0,044
Tot-P (mg/l)	0,050	0,053	0,064	0,087	0,108	0,093	0,020	0,076
PO ₄ -P (kg/ha)	0,077	0,047	0,085	0,089	0,087	0,141	0,025	0,088
Tot-P (kg/ha)	0,111	0,097	0,151	0,163	0,169	0,205	0,033	0,149
1994/1995								
PO ₄ -P (mg/l)	0,003	0,004	0,007	0,012	0,015	0,006	0,015	0,008
Tot-P (mg/l)	0,021	0,029	0,042	0,062	0,081	0,030	0,020	0,044
PO ₄ -P (kg/ha)	0,010	0,014	0,026	0,039	0,045	0,029	0,048	0,027
Tot-P (kg/ha)	0,065	0,090	0,149	0,196	0,237	0,138	0,065	0,146
1995/1996								
PO ₄ -P (mg/l)	0,014	0,017	0,015	0,022	0,039	0,043	0,022	0,025
Tot-P (mg/l)	0,042	0,056	0,066	0,103	0,139	0,104	0,063	0,085
PO ₄ -P (kg/ha)	0,014	0,017	0,019	0,026	0,047	0,062	0,034	0,031
Tot-P (kg/ha)	0,041	0,056	0,087	0,125	0,169	0,147	0,097	0,104
1996/1997								
PO ₄ -P (mg/l)	0,011	0,017	0,027	0,049	0,091	0,057	0,011	0,042
Tot-P (mg/l)	0,035	0,049	0,065	0,116	0,175	0,104	0,042	0,091
PO ₄ -P (kg/ha)	0,019	0,030	0,053	0,089	0,132	0,132	0,027	0,076
Tot-P (kg/ha)	0,060	0,085	0,128	0,209	0,254	0,243	0,104	0,163
1997/1998								
PO ₄ -P (mg/l)	0,002	0,010	0,006	0,012	0,019	0,043	0,014	0,015
Tot-P (mg/l)	0,021	0,032	0,032	0,058	0,079	0,059	0,038	0,047
PO ₄ -P (kg/ha)	0,005	0,021	0,012	0,026	0,033	0,099	0,044	0,033
Tot-P (kg/ha)	0,043	0,070	0,072	0,124	0,137	0,138	0,117	0,097
1998/1999								
PO ₄ -P (mg/l)	0,005	0,024	0,006	0,026	0,043	0,052	0,052	0,026
Tot-P (mg/l)	0,028	0,069	0,036	0,097	0,116	0,096	0,102	0,074
PO ₄ -P (kg/ha)	0,028	0,139	0,033	0,129	0,243	0,274	0,240	0,141
Tot-P (kg/ha)	0,152	0,394	0,213	0,487	0,649	0,501	0,471	0,399
1999/2000								
PO ₄ -P (mg/l)	0,005	0,013	0,020	0,011	0,047	0,017	0,007	0,019
Tot-P (mg/l)	0,027	0,044	0,080	0,091	0,123	0,061	0,046	0,071
PO ₄ -P (kg/ha)	0,013	0,034	0,051	0,026	0,109	0,060	0,016	0,049
Tot-P (kg/ha)	0,066	0,118	0,208	0,226	0,287	0,212	0,102	0,186
Medel								
PO ₄ -P (mg/l)	0,011	0,016	0,017	0,026	0,044	0,040	0,020	0,026
Tot-P (mg/l)	0,032	0,048	0,055	0,088	0,117	0,078	0,047	0,070
PO ₄ -P (kg/ha)	0,022	0,039	0,037	0,057	0,090	0,102	0,062	0,058
Tot-P (kg/ha)	0,073	0,118	0,131	0,200	0,246	0,203	0,141	0,162

5.13. Kväve- och fosforbalanser

Årliga kväve- och fosforbalanser beräknades ledvis på basis av 1) kväve och fosfor som tillförts mark-växsystemet i form av mineralgödselkväve och kvävenedfall (det senare uppskattat enligt STANK, Jordbruksverket) och 2) kväve- och fosforbortförelse dels med skördeprodukterna (spannmålskärna och vårrapsfrö) och dels genom utlakning. Ledvisa medeltal för åren 1992/93 – 1998/99 redovisas i tabell 26.

I jämförelse med kvävegivans storlek bortfördes störst andel kväve i led A (1N, utan fånggröda). Eftersom avkastningen i de övriga leden inte blev lika god som i led A (tabell 5), blev kväveutbytet med skörden sämre (jmf. tabell 8). Särskilt i fånggrödeleden D (1,25N) och E (1,50N) var kvävemängden i den bortförda skörden liten i förhållande till givans storlek, samtidigt som kväveutlakningen steg med den tilltagande N-gödslingen. I led A fastställdes ett balansvärde (kväveöverskott) på i medeltal +10 kg N/ha och år, vilket motsvarar 9 % av N-givan (tabell 26). Överskotten blev större i de övriga leden, särskilt D och E, med i genomsnitt 36 respektive 55 kg N/ha och år. Detta utgör 26 respektive 33 % av den tillförda gödselkvävemängden.

Tabell 26. Medeltal av kvävebalanser (kg N/ha) för åren 1992/93 – 1998/99 räknat från avslutad kväveupptagning på sensommaren (medeldatum: 18/8) till samma tidpunkt under året därpå

Led	A		B		C		D		E		F	
Fånggröda	-		-		Rajgräs		Rajgräs		Rajgräs		-	
Bearbetning	Stubbearbet.+ sen höstplöjn.				Sen höstplöjning				Direktsådd			
Kvävegiva	1N		1,25N		1N		1,25N		1,50N		1N	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
Tillförelse												
Mineralgödsel	111	20	138	20	111	20	138	20	166	20	111	20
Kvävenedfall*	8	-	8	-	8	-	8	-	8	-	8	-
Summa	119	20	146	20	119	20	146	20	174	20	119	20
Bortförelse												
Skörd	99	23	105	19	85	15	96	17	96	13	85	15
Utlakning	9	0,1	12	0,1	7	0,1	14	0,2	23	0,2	13	0,2
Summa	108	23,1	117	19,1	92	15,1	110	17,2	119	13,2	98	15,2
Balans:												
Tillfört-bortfört	10	-3,1	29	0,9	26	4,9	36	2,8	55	6,8	20	4,8
% av tillförd giva	9	-16	21	5	23	25	26	14	33	34	18	24

*) Källa: STANK 3.0, Jordbruksverket.

Frågan är vart detta överskottskväve tagit vägen. Det är troligt att det delvis gett upphov till kväveförluster, som ej kunnat bestämmas i undersökningen. Mindre N-mängder kan ha utlakats ned förbi dräneringsledningarnas nivå och nått grundvattnet och är således inte redovisade som utlakat kväve. En del organiskt bundet kväve utlakades sannolikt också, vilket inte inkluderats i denna studie där endast nitratkväveutlakning bestämts. Totalkväveutlakningen var sannolikt 10-20 % (2-4 kg/ha) större än den nitratkväveutlakning som redovisas i tabell 26. Till förlustvägarna hör också denitrifikation, vilken vi ännu inte vet så mycket om på denna försöksplats. I jord av detta slag (styv lera) kan man anta att denitrifikationsförlusterna periodvis kan bli omfattande (Bouwman, 1996). Nedbrukning av fånggrödor kan särskilt gynna denitrifikationsaktiviteten genom att denitrifikationsbakterierna får ökad tillgång till energirikt substrat. Det kan också tänkas, att överskottskväve till en del

byggts in i organiskt material, dels som N upptaget i fånggrödorna och dels genom N-immobilisering i samband med växtresternas nedbrytning (avsnitt 5.7), vilket sedan införlivats i bildad mull. Möjligheterna till belägg för sådan inlagring av kväve i humus beskrivs nedan (avsnitt 5.14).

Fosforbalansen blev svagt negativ i led A, där bortförselelsen av fosfor med skörden var något större än tillförselelsen genom gödning. I övriga led blev bortförselelsen något mindre än tillförselelsen och fosforbalanserna för dessa led var alltså positiva. Utlakningen av fosfor var mycket liten jämfört med övriga fosforflöden och hade därför nästan ingen inverkan alls på fosforbalansen.

5.14. Inverkan av odlingsåtgärderna på mullhalt och totalkvävehalt i jorden

För att undersöka förändringarna i totalkol- och totalkvävehalterna under åren 1992-99 utnyttjades jordprover (0-30 cm djup) som tagits ut för mineralkvävebestämning den 8 april 1992 och den 10 november 1999. Bestämning av total-C och total-N gjordes med en Leco CNS 2000 (Leco, S:t Joseph, Michigan, USA) och skedde vid ett och samma tillfälle för att undgå metodfel orsakade av skilda analystillfällen.

Resultaten av provtagningarna under det första undersökningsåret 1992 visar, att totalkolhalterna som medeltal för led A-F uppgick till 2,03 % av ts, vilket motsvarar 3,5 % mull (tabell 27). Kolhalterna minskade sedan till 1,97 %, dvs. 3,4 % mull, den 10.11.1999, utan tydliga skillnader mellan leden. Likaså hade totalkvävet i marken vidlåtit en mindre minskning, i medeltal med 0,01 % av ts. Även här är det omöjligt att finna någon tydlig inverkan av de ledvisa odlingsåtgärderna. Antagandet ovan att en del av överskottskvävet i kvävebalanserna skulle ha byggts in i bildad humus (avsnitt 5.13) motsägs av de minskande total-N-halterna. Odlingsystemet i försökled A-F, med enbart vårsådda, ettåriga grödor, verkar tvärtom ha varit tärande på mullhalten och på det organiska kväveförrådet i jorden. Minskningarna kunde uppenbarligen inte motverkas av fånggrödorna. Att omfattande kväveförluster skett från marken genom denitrifikation kan vara en sannolik förklaring till att ingen uppbyggnad av organiskt bundet kväve i marken hade ägt rum.

Tabell 27. Halter av totalkol och totalkväve samt mullhalter (% av ts) i matjorden (0-30 cm) den 08.04.1992 och 10.11.1999. Medeltal av två parallella analyser av prover sammansatta av 24 borrhstick per led. Kolhalterna har räknats om till mullhalter med faktorn 1,724

Led	A	B	C	D	E	F	G
Fånggröda	-	-	Rajgräs	Rajgräs	Rajgräs	-	-
Bearbetning	Stubbearb.+ sen höstplöjn.		Sen höstplöjning		Direktsådd		-
Kvävegiva	1N	1,25N	1N	1,25N	1,50N	1N	-
<hr/>							
Totalkol 08.04.1992	2,08	2,04	2,14	2,08	1,98	1,87	
Mullhalt	3,6	3,5	3,7	3,6	3,4	3,2	
Totalkol 10.11.1999	2,01	1,99	2,06	2,09	1,86	1,82	2,04
Mullhalt	3,5	3,4	3,6	3,6	3,2	3,1	3,5
Förändring i totalkolhalt	-0,06	-0,05	-0,08	+0,01	-0,12	-0,05	
<hr/>							
Totalkväve 08.04.1992	0,16	0,16	0,17	0,16	0,15	0,14	
Totalkväve 10.11.1999	0,15	0,15	0,16	0,16	0,14	0,14	0,16
Förändring	-0,01	-0,01	-0,01	±0,00	-0,01	±0,00	

Dessvärre fanns jordprov från vallträdan (den permanenta vallen) i led G bara från provtagningen den 10.11.1999. Förändringen från 1992 kan således inte bestämmas. Det kan likväl antas, att den permanenta vallen medfört ökade total-C- och total-N-halter i matjorden. Totalkolhalten i november 1999 var 2,03 % av ts i led G jämfört med 1,97 % som medeltal för led A-F. Totalkvävehalten uppgick i led G till 0,16 % av ts och i led A-F 0,15 %.

5.15. Inverkan av odlingsåtgärderna på de markkemiska egenskaperna

En jämförelse mellan tabell 1 och 28 visar förändringarna i de kemiska egenskaperna i matjorden (0-20 cm) från tiden efter skörden 1992 till november 1999. Markens pH-värden uppvisade inte några större förändringar, vilket kan bero på att de använda gödselmedlen (kalksalpeter, senare kalksalpeter med svavel) motverkat den naturliga försurningen. Däremot tycktes K-AL öka något, vilket är svårt att förklara, eftersom ingen kaliumgödsling ägt rum. Det är ej heller möjligt att dra några slutsatser om förändringar P-AL-tillståndet, eftersom led A-F fosforgödslades i oktober 1999, dvs. före jordprovtagningen för markkarteringsanalyser. Mg-AL, P-HCl och K-HCl ändrades ganska obetydligt, och det är ganska troligt att dessa och andra skillnader ligger inom ramen för den osäkerhet som vidlåter både provtagning och analys vid två olika tillfällen.

Tabell 28. Kemiska egenskaper i matjorden (0-20 cm). Provtagning den 10.11.1999, medeltal av dubbelbestämningar av jordprov bestående av 30 borrhstick per led. I led F, som avser direktsådd, uppdelades matjorden i två delskikt (0-10 och 11-20 cm. Försöksled A-F hade emellertid tillförts fosforgödsel (P20) motsvarande 60 kg P/ha den 21 oktober 1999

Led och ruta	pH (H ₂ O)	P-AL	K-AL	Mg-AL	Ca-AL	P-HCl	K-HCl	Total-C % av ts	Total-N % av ts
mg/100 g jord									
A-1	7,5	7,5	10,8	22,4	495	53	205	2,10	0,18
B-2	7,2	8,7	11,3	25,6	394	52	210	2,08	0,18
C-3	7,1	7,1	11,8	23,2	364	50	230	2,09	0,18
D-4	7,2	6,3	13,5	24,4	344	49	270	2,08	0,17
E-5	7,2	6,0	13,8	23,3	339	44	290	1,94	0,16
F-6 (0-10 cm)	6,9	9,9	20,3	20,7	333	55	315	2,25	0,20
F-6 (11-20 cm)	7,1	5,7	13,0	24,0	342	43	270	1,93	0,16
G-7	6,7	3,7	18,3	27,7	312	40	305	2,13	0,18

I led F, som avser direktsådd, gjordes en uppdelning på två delskikt: 0-10 och 11-20 cm djup. Av tabell 28 framgår, att värdena för P-AL, K-AL, P-HCl och K-HCl vid provtagningen 1999 var högre inom 0-10 cm djup än i matjordsdelen därunder. Även total-C- och total-N-värdena var högre ytligt i marken, medan pH-värdet var obetydligt lägre inom 0-10 än inom 11-20 cm. Orsaken till denna differentiering med djupet är uppenbarligen att finna i den utelämnade jordbearbetningen, även om P-AL-halterna kan ha påverkats av P-gödslingen tidigare under hösten 1999. Nedbrytningen av växtresterna efter grödorna påverkade troligen jorden i ytskiktet mer än i matjordens undre delar, så att mer organiskt material anhopades ytligt än längre ned. Med detta följde uppenbarligen även att mer organiskt kväve samt P och K från växtresterna ansamlades ytligt. Samtidigt torde grödornas växtnäringssupptagning i underliggande skikt ha tärt på P- och K-mängderna (tabell 28), som via växtrester kom att

omlokaliseras till den övre delen av matjorden. Vidare torde den gödsel fosfor som tillförts 1993, 1996 och 1999 inte ha rört sig nämnvärt ned i jorden utan anrikats i matjordens övre del. Att pH-värdet tycktes ha sjunkit något inom 0-10 cm i jämförelse med 11-20 cm djup, sammanhänger troligen med nedbrytningen av de ytligt belägna växtresterna och därigenom ökad mineralisering av organiskt C, N och S i ytjorden. Detta bör ha medfört större vätejonsproduktion (jmf. Mengel & Kirkby, 1982).

6. ÖVERGRIPANDE DISKUSSION OCH SLUTSATSER

6.1. Skördenivåer, kväve- och fosforupptag samt kväveutnyttjandegrader i relation till ledvisa odlingsåtgärder och ledvis varierande avkastningspotentialer i marken

Rajgräs som insådd fånggröda kan sänka skörden av huvudgrödan något: 2,5 % enligt Kvist (1992) och 0-10 % enligt Breland (1991). Detta kan vara en av orsakerna till den generellt lägre avkastningen i fånggrödeleden C (1N), D (1,25N) och E (1,50N) i jämförelse med led A (1N) och B (1,25), båda utan rajgräsfånggröda (tabell 5). I ett flertal studier har emellertid insådda fånggrödor inte medfört nedsatta skördar i spannmålsgrödor (Aronsson et al., 2003; Ohlander et al., 1996). Vårapsen 1995 konkurrerade uppenbarligen sämre gentemot rajgräset, med sänkt fröskörd som följd och istället överdrivet kraftig tillväxt hos rajgräset. Dess biomassa uppgick till 2-3 ton/ha och kväveinnehållet till omkring 30 kg N/ha vid den tidpunkt då rapsen avslutat sin N-upptagning (tabell 11 och 12). En orsak synes vara att vårapsen börjar växa till relativt sent, vilket gynnat rajgräset redan tidigt. Efter blomningen glesnar dessutom oljeväxtgrödor som raps genom fullständig bladfällning, och med bättre ljusbetingelser får då rajgräset möjlighet till större tillväxt en tid före skörden.

Stigande N-givor gav mot förmodan inte något ökat skördeutbyte. Vidare blev skörden i led F (1N, direktsådd) nedsatt vissa år genom svagare etablering av grödan till följd av försämrad uppkomst eller ökad ogräsförekomst. De lägre skördarna redan 1988-1991 i led C (1N, med fånggröda) och F (1N, direktsådd) samt i flertalet fall i alla led B-F även 1992-99 än i led A (1N, utan fånggröda) tycks emellertid huvudsakligen bero på någon bördighetsfaktor, som varierar mellan leden. Det är som nämnts troligt, att ett tidigare kalkförsök under 1960-talet haft efterverkningar som påverkat skördarna i de olika rutorna. Vid provtagning 1992 var pH-värdet högst i led A, samtidigt som basmättnadsgraden där var 100 % jämfört med 88-91 % i led B-F.

Bördighetsskillnaderna mellan leden synes ha påverkat de uppnåbara skördenivåerna och satt varierande gränser för dem. Med de uppenbarligen lägre avkastningspotentialerna i led B (1,25N), D (1,25N) och E (1,50N) än i led A gav stegrad kvävegödsling inte något merutbyte. Hade det gällt förhållanden i praktiskt jordbruk, borde N-gödslingen ha anpassats till skördenivån såsom vid precisionsodling, således med lägre kvävegivor där avkastningsförmågan är sämre (jmf. Delin et al., 2005). Även skördarna i led C och F med normal N-giva torde ha påverkats av markbetingade, lägre avkastningspotentialer. Vidare tycktes N-mineraliseringsförmågan till en början vara nedsatt i led C-F i jämförelse med A.

Genom de större och generellt goda skördarna i led A och även i B (1N respektive 1,25N, båda utan fånggröda) motsvarade fosforinnehållet i kärnskördarna i medeltal 97 % av den tillförda P-gödselmängden under stråsädesåren (tabell 8). I övriga led blev fosforutbytet sämre, uppenbarligen genom lägre skördar, och sämst (84 %) i led F med direktsådd. Det goda P-ut-

bytet i led A och B, med en fosfortillförsel som i det närmaste motsvarar P-bortförselein med skördarna, innebär att fosforgödslingen där i stort sett skett enligt ersättningsprincipen. Skulle denna princip ha tillämpats vid P-gödslingen i led C-F, borde emellertid fosforgivorna där i praktiken ha minskats något.

Tilltagande totalkvävehalter i kärna och frö genom stigande kvävegödsling ledde i allmänhet till ökat kväveinnehåll i skördeprodukterna och därmed större kvävebortförselein med dem, dvs. tilltagande kväveskörd (tabell 6). En viss kväveefterverkan av de stigande N-givorna under åren 1992-99 i led B (1,25N) i jämförelse med A (1N) samt i D (1,25N) och E (1,50N) jämfört med C (1N) avspeglas i havreskördarna och kväveinnehållet i havrekärnan under efterverkansåret 2000, med lika N-gödsling i alla led. Stigande N-gödsling medförde ökande kväveleverans från marken med åren (tabell 21), bl.a. genom förstärkt N-mineralisering (tabell 20). Man kunde också ha förväntat, att fånggrödorna i led C, D och E skulle ha gett en skönjbar efterverkan, så att skördarna år 2000 hade ökat i jämförelse med led A och B utan fånggröda. Någon sådan inverkan kan inte urskiljas, men effekterna kan ha dolts av de rutvisa skillnaderna i avkastningspotentialer.

Som framgår av tabell 9 i jämförelse med tabell 5 blev det i led A och B (1N respektive 1,25N, båda utan fånggröda) kväveupptag hos grödan på i storleksordningen 160-200 kg N/ha, vilket medgav spannmålsskördar på ungefär 6-7,5 ton/ha. I fånggrödeleden C (1N), D (1,25N) och E (1,50N) samt i F (1N, direktsådd) gav dock kväveupptag i denna storlek sämre kärnskördar, troligen till följd av den nämnda, lägre avkastningspotentialen i jorden. Storleken av grödans kväveupptag påverkade således kärn- och fröskördarna på ett varierande sätt i de olika leden till följd av skillnaderna i avkastningspotential. Med större N-givor utöver 1N tog visserligen grödorna upp mer kväve, men detta ledde bara i ringa mån till bättre kärn- och fröskördar. Förklaringen synes vara, att kväve istället stannat kvar i halmen. Eftersom denna lämnades kvar och arbetades in i marken, kan den med stigande N-givor tilltagande kvävemängden i halmen betraktas som en på sätt och vis outnyttjad N-pool.

Resultaten tyder på att de odlingsförhållanden som gav de högsta skördarna också medgav det bästa kväveutbytet med avseende N-innehållet i kärnskördarna i relation till det tillförda gödselkvävet (tabell 8). Med sämre tillväxt och avkastning måste en större andel av gödselkvävet ha blivit kvar i marken i en eller annan form. Vare sig sådant kväve återfinns i organisk eller oorganisk form, innebär den sämre gödselkväveutnyttjandegraden ökade förlustrisker. Har kvävet bundits i organiskt material, som inte skördats och därmed bortförts, kommer det förr eller senare att remineraliseras. Eftersom N-mineraliseringen under höst, vinter och tidig vår kan utgöra upp emot hälften av årsmineraliseringen (Lindén et al., 1994), finns risk att en del av det mineraliserade kvävet sedan förloras bl.a. genom utlakning.

6.2. Fånggrödor och växtrester

Fram till dessa att huvudgrödornas N-upptagning upphört under sensommaren-förhösten hade fånggrödan i led C (1N), D (1,25N) och E (1,50N) under stråsådesåren producerat en ovanjordisk biomassemängd på omkring 300 kg ts/ha (tabell 11), som då endast innehöll ca 5 kg N/ha (tabell 12). Detta innebär att fånggrödan vid denna tidpunkt ännu inte hade någon större förmåga att påtagligt minska risken för tilltagande N-utlakning efter stigande N-givor. Där emot ökade dess N-innehåll betydligt under hösten och uppgick i led C (1N), D (1,25N) och E (1,50N) till 12, 16 respektive 21 kg N/ha som medeltal för åren med stråsådd. Ju mer kväve som fanns i marken under hösten, desto mer växte fånggrödan, med ökat N-upptag som följd.

Sommaren 1992 var torr, vilket medförde att större mängder outnyttjat, utlakningsbart kväve fanns kvar i marken på sensommaren (se även Lindén et al., 1993b). Genom fånggrödans kraftiga tillväxt i led C, D och E samt ogrästillväxten i led F med direktsådd (tabell 12) bands dock ovanligt stora N-mängder (30-60 respektive 70 kg N/ha) i växtmaterial hösten detta år, vilket måste ha minskat N-utlakningsrisken påtagligt. Man kan därför se odling av fånggrödor som en försäkringsåtgärd för den händelse att huvudgrödans N-utnyttjande blir nedsatt.

Före nedplöjningen på senhösten hade fånggrödorna, tillsammans med annan grön vegetation, kol-kvävekvor av i storleksordningen 15-20 och i några fall något högre (tabell 13). Eftersom C/N-kvoter under 20-25 anses ge upphov till nettomineralisering av kväve inom en kortare tid efter nedbrukning i jord och begynnande nedbrytning (jmf. Persson, 2003), kan en del av kvävet i fånggrödorna och annan grön vegetation (såsom kvickroten i led F) såsmåningom ha börjat frigöras efter nedplöjningen, möjligen redan under senhösten.

Kol-kvävekvorerna i halmen och övriga ovanjordiska växtrester efter både stråsäd och vårraps var i storleksordningen 55-75 (tabell 16) vid nedbrukningen i jorden, och de minskade något med stigande kvävegivor. De jämförelsevis höga kolkvävekvorerna innebär, att kväveimmobilisering bör ha ägt rum efter nedbrukningen i marken (jmf. Persson, 2003). Halmens nedbrytning måste således teoretiskt sett ha bidragit till att minska kväveutlakningen under det efterföljande vinterhalvåret. Detta gäller även vårrapshalmen. Trots detta ökade mineralkvävemängderna i marken på hösten under alla åren, men mest före stubbearbetningen och föga därefter.

6.3. Vallträdans tillväxt

Vallträdan putsades som regel fyra gånger per år. Torrsubstansmängden i den avslagna grönmassan vid dessa tidpunkter uppgick i medeltal för åren 1993-2000 till 1,2-2,5 ton per ha med totalkvävehalter på 2,13-3,12 % av ts och totalkväveinnehåll på 33-53 kg N/ha (tabell 17). Efter varje avslagning måste nedbrytningen av växtmassan snabbt ha kommit i gång. Antas att kolhalten i det avslagna, färskva materialet uppgick till 42 %, erhålls kol-kvävekvor i grönmassan vid putsning nr 1 (medeldatum för avslagning: 1/6), nr 2 (4/7), nr 3 (12/8) och nr 4 (28/9) på 21, 18, 14 respektive 12. Dessa värden innebär, att nettomineralisering av kväve efter en kort tid bör ha uppkommit vid nedbrytningen (jmf. Persson, 2003). Detta kväve bör till stor del ha utnyttjats av vallåterväxten. Det jämförelsevis kväverika materialet torde dock även ha medfört stor risk för ammoniakavgång i samband med nedbrytningen, och betydande kväveförluster kan vissa år tänkas ha skett på detta vis (jmf. Malgeryd & Torstensson, 2005).

6.4. Mineralkväve i marken under olika årstider

De mineralkvävemängder som vid *avslutad kväveupptagning* på sensommaren eller förhösten fanns inom det undersökta markdjupet (0-90 cm) kan betraktas som outnyttjbara rester, vilka huvudgrödan inte kunnat ta tillvara. Restmängderna vid provtagningarna i detta skede (medeldatum: 18 aug.) påverkades inte alls eller bara lite av en måttlig höjning av N-givan (från 1N i led A och C till 1,25N i led B respektive D), medan ökningen till 1,50N i led E medförde större utnyttjade mineralkvävemängder (tabell 18). I led E synes en bidragande orsak (utöver större N-giva än normalt) vara, att grödan inte "svarade" på större N-tillgång med ökad skörd p.g.a. de inneboende markegenskaper som begränsade avkastningen i bl.a.

detta led. Det senare belyser vikten av att inte bara skiftesvis utan även platsspecifikt inom ett fält anpassa N-gödslingen till den förväntade skördepotentialen och till markens egen kväveleverans för bättre N-utnyttjande, mindre N-förluster och inte minst minskade kostnader (jmf. Delin et al., 2005).

I 0N-rutorna fastställdes vid avslutad N-upptagning under somrarna med någorlunda normal nederbörd (1993 och 1995-99) utnyttjade mineralkvävmängder på 12-17 kg N/ha inom 0-90 cm markdjup (tabell 18). Detta åskådliggör huvudgrödornas potential att "tömma" marken på mineralkväve under växtsäsongen på denna jord. I de "ordinarie" rutorna i led A (1N), B (1,25N) och F (1N) återfanns 5-6 kg N/ha mer inom 0-90 cm djup, vilket visar inverkan av det enskilda årets N-gödsling. Detta överensstämmer med motsvarande värden vid "normal" gödsling i detta försök åren 1988-1991 (Lindén et al., 1993b), men det är något mer än i ett utlakningsförsök på mojord vid Fotegården i Västergötland (+1...+3 kg N/ha genom N-gödslingen), se Linden et al. (1999). Torrsomrarna 1992 och 1994 inverkade inte nämnvärt på grödornas förmåga att tömma markprofilen på mineralkväve i 0N-parcellerna (tabell 19), medan de utnyttjade mängderna blev betydande i de N-gödslade ordinarie rutorna under dessa torrår (tabell 18 och 19).

Under senhösten (början av november) återfanns i led A, B och F (utan fånggröda) i storleksordningen 30-40 kg mineralkväve per ha inom 0-90 cm djup, om 1992 och 1994 (med torrsomrar) inte beaktas. I fånggrödeleden led C (1N) och D (1,25N) blev mineralkväveförråden minst på senhösten, men i led E (1,50N) kunde fånggrödan inte ta tillvara allt överskottskväve. Till fånggrödornas inverkan genom deras N-upptagning kommer, att jordbearbetning inte ägde rum, förrän marken plöjdes efter kväveprofilprovtagningen på senhösten. Under hösten ökade mineralkväveförråden mindre i led F med direktsådd (således ingen jordbearbetning under någon del av året) än i led A och B med stubbearbetning. Genom den uteblivna jordbearbetningen skedde således inte någon stimulering av kvävefrigörelsen i led F under hösten.

Dessa resultat belyser fånggrödornas och jordbearbetningens skilda betydelser för N-förlusterna under vinterhalvåret. I leden A och B ökade mineralkväveförråden fram till stubbearbetningen, då all halm och övriga växtrester arbetades in i marken. Därefter tilltog mineralkväveförråden ganska lite, medan de minskade vissa år i leden med fånggröda. Inblandning av t.ex. stråsådeshalm, som ju är kvävefattig, i jord har i laboratorie- och modellförsök visat sig leda till ökad kväveimmobilisering (se t.ex. Jensen & Ambus, 2000; Persson, 2003). Detta borde i princip även ha blivit fallet i försöket på Lanna att döma av C/N-kvoterna (i storleksordningen 55-80) i de växtrester som arbetades in i marken vid jordbearbetning på hösten (jmf. tabell 16). Det blev inte någon minskning av mineralkvävmängderna, men den avtagande ökningstakten under hösten kan tyda på en viss N-immobiliseringseffekt. Denitrifikationsförluster är en annan förklaring, som inte kan uteslutas. Resultaten från andra undersökningar (Stenberg et al., 1999; Aronsson et al., 2003; Lindén & Engström, 2006)) visar emellertid, att under praktikförhållanden stimuleras kvävemineraliseringen mer än kväveimmobiliseringen av jordbearbetning, trots att halm brukats ned, även om anhopningen av mineraliserat kväve blir något mindre om all halm inarbetas i jorden än om den bärgats (Stenberg et al., 2005).

6.5. Årlig kväveminalisering och årlig kväveefterverkan

Den totala nettomineraliseringen av kväve per år uppgick i led A och B (1N respektive 1,25N, båda utan fånggröda) till 80 respektive 85 kg N/ha som medeltal för åren 1993-99 (tabell 20). I led C (1N, med fånggröda) blev kvävefrigörelsen mindre (ca 65 kg N/ha), vilket kan vara ett "arv" från tidigare försöksperioder. Någon positiv kväveeffekt av fånggrödan (engelskt rajgräs) kan inte ses i led C, ej heller under efterverkansåret 2000, men med åren blev kväveminaliseringen i led D (1,25N, med fånggröda) och E (1,50N, med fånggröda) av ungefär samma storlek som i led A och B. De stigande N-givorna i fånggrödeleden D och E medförde med åren ökad årlig kväveefterverkan med omkring 10 respektive 20 kg N/ha i jämförelse med led C (tabell 21). Effekten syntes även under efterverkansåret 2000. Både större mängder organiskt kväve bundet i växtrester genom kraftigare N-gödning och ökat kväveupptag hos fånggrödorna under hösten (tabell 12) kan vara orsaker till detta.

Det är förvånande att inte fånggrödan i led C (1N) och troligen ej heller i D (1,25N) och E (1,50N) tycktes ha någon positiv, egen kväveefterverkan. Detta syntes heller inte under den föregående försöksperioden 1988-1991 (Lindén et al., 1993b). En möjlig förklaring på denna lerjord är, att verkan dolts av kväveförluster genom denitrifikation (se avsnitt 6.7), eftersom varken mullhaltsökning eller nettoackumulering av kväve i humus efter fånggrödorna kunde fastställas (avsnitt 5.14). Däremot uppkom ökad kväveminalisering under växtsäsongen och förbättrad N-efterverkan av rajgräs som årlig fånggröda på lätt jord i försöken vid Fotegården i Västergötland (Lindén et al., 1999; Aronsson et al., 2003) och vid Mellby i Halland (Aronsson et al., 2003). Detta är i överensstämmelse med danska undersökningar på sandjord (Hansen & Djurhuus, 2000), där N-gödslingen till vårsäd efter drygt 20 års årlig insädd av rajgräs kunde sänkas med 15-27 kg N/ha utan att skörden minskade.

I led F (1N, direktsädd) uppgick årsmineraliseringen till 70 kg N/ha, vilket var drygt 10 kg N/ha mindre än i led A med samma gödning. Även under perioden 1988-91 blev den årliga N-frigörelsen i led F mindre än i A. Det kan inte avgöras om även detta är ett "arv" från tidigare skeden och/eller om den uteblivna jordbearbetningen verkat konserverande på det organiskt bundna kvävet, med mindre N-frigörelse som följd. Årsmineraliseringen i led F tycks emellertid med åren ha närmat sig storleken i led A.

Det kan generellt anses, att den kväveminalisering som sker under hösten och vintern (eller den "vegetationslösa" årstiden) bidrar till kväveutlakningen, medan den N-frigörelse som äger rum under växtsäsongen utgör ett mer direkt bidrag till grödornas kväveförsörjning. Den vegetationslösa årstiden, här definierad som den del av året då det inte finns någon aktivt kväveupptagande växtlighet, utgjordes i led A, B och F av tiden från avslutad N-upptagning på sensommaren till tidig vår. Som framgår av tabell 20 uppgick nettomineraliseringen av kväve under denna del av året till ca 40 % (eller något mer) av årsmineraliseringen i flertalet led. Detta motsvarar i storleksordningen 30-35 kg N/ha, varav en del torde ha kunna utlakas under vinterhalvåret.

6.6. Utlakning av kväve och fosfor

NO₃-N-utlakningens omfattning i de olika leden A-E (tabell 23 samt 24a och b) är en tydlig avspiegling av mineralkväveförrådets storlek vid avslutad N-upptagning och under senhösten (tabell 18 och figur 6) och även av nettomineraliseringen av kväve under höst och vinter (tabell 20). Efter det att ett minimum i mineralkvävemängderna nåtts på sensommaren genom

grödornas N-upptag, medför normalt N-mineraliseringen under hösten tilltagande mineralkväveförråd fram till senhösten, vilka ofta genom fortsatt N-frigörelse ökar ytterligare fram till tidig vår (jmf. tabell 18). Detta innebär att kvävemineraliseringstillskotten på en lerjord som på Lanna vanligen överstiger N-förlusterna under vinterperioden.

De stigande N-givorna i leden med fånggröda (D: 1,25N och E: 1,50N) medförde större mineralkväverester vid avslutad N-upptagning än i det motsvarande ledet med "normal" N-gödsling (C). Detta tillsammans med N-mineraliseringen under hösten bidrog till ökad NO₃-N-utlakning (tabell 23). I led D och E utlakades 14 respektive 22 kg NO₃-N per ha och år. Detta innebär en fördubbling av utlakningsförlusterna från led C (1N) till D (1,25N) och en tredubbling från C till E (1,50N).

I led A (1N, stubbearbetning på förhösten) uppgick utlakningsförlusterna till ca 9 kg NO₃-N per ha och år och i led C (1N, med fånggröda) till omkring 7 kg (tabell 23). Orsaker till denna relativt ringa verkan av fånggrödan kan vara dels att utlakningen på lerjord generellt sett är liten, särskilt på växtodlingsgårdar utan djur (som Lanna), och dels att den större avkastningspotentialen i led A medförde förbättrat kväveutnyttjande. I led D (1,25N) och E (1,50N) kunde rajgräset däremot inte påtagligt förhindra tilltagande förluster, trots ökad tillväxt på hösten. En bidragande orsak till de stora mängderna outnyttjat kväve i jorden efter huvudgrödorna i led D och E synes vara, att de knappast alls svarade på större N-givor med bättre avkastning (tabell 5).

I medeltal för alla år blev nitratkväveutlakningen 13 kg N/ha och år i led A-F med vårsådda grödor (tabell 23). Detta kan jämföras med i medeltal endast 1 kg N/ha i led G med permanent vall (vallträda). Dessa jämförelsevis obetydliga utlakningsförluster i vall-ledet avspeglas av mycket små mineralkväveförråd på våren, sensommaren och på senhösten (tabell 18). Orsaken synes givetvis vara att marken var bevuxen året runt, och troligen motverkade gräsinslaget i vallen att kväve härstammande från klöverns kvävefixering utlakades i nämnvärd utsträckning.

Under perioden från avslutad kväveupptagning på sensommaren till senhösten blev NO₃-N-utlakningen jämförelsevis liten och under vissa år praktiskt taget ingen alls (tabell 24a). Från senhöst till tidig vår uppmättes störst utlakning, med omkring 60 % av de årliga NO₃-N-utlakningsförlusterna (tabell 24a och b). Till orsakerna hör anhopning av mineraliserat kväve under hösten och vintern samt återkommande perioder under vintrarna med perkolation av nederbördsvatten ned genom marken. Från tidig vår till avslutad kväveupptagning på sensommaren uppkom det under åren 1995-2000 måttligt stora utlakningsförluster (tabell 24a). Visserligen anses det ofta, att N-utlakningen under växtsäsongen är försumbar, men i medeltal för åren 1993-1999 uppgick utlakningsförlusterna i försöket till 4,0 kg N/ha under denna årstid, motsvarande drygt 30 % av den årliga NO₃-N-utlakningen. Härav utlakades 2,4 kg/ha från tidig vår (medeldatum: 9 april) till grödornas uppkomst (medeldatum: 18 maj) och 1,6 kg/ha därefter fram till avslutad kväveupptagning. Eftersom kvävegödslingen ägde rum efter uppkomsten (medeldatum för spridning: 22 maj), måste det kväve som utlakades fram till denna tidpunkt härröra från mineralkväve som övervintrat i marken och möjligen även kväve som mineraliserats under våren. Efter gödslingstidpunkten är det däremot möjligt, att N-tillförseln vissa år bidrog till kväveutlakningen under själva växtsäsongen efter tillfällena med intensiv nederbörd.

Fosforutlakningen var, liksom kväveutlakningen, tämligen liten. I medeltal utlakades 0,16 kg totalfosfor per ha och år. Vid de tre tillfällena som förrådsgödsling gjordes med fosfor ökade

fosfatfosforkoncentrationerna i dräneringsvattnet markant under efterföljande vinter. Annars fanns inget tydligt samband mellan jordbearbetningsstrategi eller odling av fånggröda och fosforutlakning. I led A, där tillväxtbetingelserna för grödan verkade vara bäst, var också fosforutlakningen som minst. Den permanenta vallträdan uppvisade ungefär lika stor fosforutlakning som medelvärdet för övriga rutor och hade alltså ingen utlakningsbegränsande effekt när det gällde fosfor, till skillnad från kväveutlakningen som blev mycket liten. Om man beaktar det avrinnande vattnets kväve/fosforförhållande, visar det sig att denna kvot blev betydligt lägre än i det vatten som rann av från övriga rutor. Med tanke på att låga kväve/fosfor-kvoter i naturliga vatten kan gynna tillväxten av blågröna alger är kanske mark som tas ur produktion på detta sätt inte självklart positiv för vattenmiljön, vilket också konstaterades av Ulén et al. (2005).

6.7. Kväve- och fosforbalanser samt inverkan av odlingsåtgärderna på mullhalt och totalkvävehalt i jorden

Kvävebalansberäkningarna, som innefattar dels N-tillförsel via mineralgödsel och atmosfäriskt nedfall, dels N-bortförsel via spannmåls- och fröskördar samt NO₃-N-utlakning, visade i led A ett kväveöverskott på i medeltal 10 kg N/ha och år, vilket motsvarar 9 % av N-givan (tabell 25). Överskotten blev större i de övriga leden, särskilt D och E, motsvarande i genomsnitt 26 respektive 33 % av den tillförda gödselkvävemängden. Frågan är vart detta icke redovisade kväve tagit vägen. Det gäller särskilt i leden med stigande N-givor och/eller med fånggröda, vilka medförde att större mängder organiskt bundet kväve årligen tillfördes marken via växtrester och/eller med nedplöjd fånggröda.

Någon tydlig inverkan av fånggrödorna eller de stigande N-givorna på totalkol- och mullhalterna kan inte urskiljas i led A-F (tabell 26). Tvärtom tenderade värdena att minska i alla led. Man kunde ha förväntat, att både fånggrödor och ökande gödselkvävemängder skulle bidra till förbättrad mullbildning och medfört inlagring av kväve i den bildade mullen. Odling av fånggrödor, med mindre jordbearbetning som följd, borde dessutom ha en konserverande inverkan på det organiska materialet i marken. Förändringarna i jorden i försöket avser emellertid en tid på "bara" sju år. Det är troligt att det fordras en betydligt längre tidsperiod för att kunna avläsa tydliga skillnader i totalkol- eller mullhalt liksom i totalkvävehalt i jorden vid odling av fånggrödor. I detta försök förekom fånggrödor dessutom årligen, medan det i praktiken kan gå några år mellan dem. Därför måste deras inverkan på markens egenskaper i det vanliga jordbruket vara svår att upptäcka.

Eftersom totalkol- och totalkvävehalterna i marken tenderade att minska, kan egentligen ingen nettoackumulering av kol och kväve i mullsubstans ha uppkommit. Detta kan tyda på att betydande kvävemängder under försöksåren istället förlorats genom denitrifikation. Denna blev troligen särskilt omfattande i leden med större kvävegivor än normalt och samtidigt nedsatt avkastningspotential: led D (1,25N) och E (1,50N).

Mullhalten uppgick 1992 till i medeltal 3,5 %. Detta tillstånd kan ses som ett resultat av kreaturslös drift sedan ca 1960, med ensidig stråsådesodling och med oljevaxter som avbrottsgröda ganska sällan. Två-treårig vall ingick i växtföljden t.o.m. 1950 och det sista året som stallgödsel spreds var 1960.

Fosforbalansen visade att fosforgödslingen i alla led, utom led A, var något större än vad som fördes bort med skörd (1-7 kg/ha och år). Fosforutlakningen utgjorde en mycket liten del av den totala fosforbortförseeln.

6.8. Slutsatser

De skilda försöksrutorna visade sig ha olika avkastningspotentialer, som medförde att grödorna inte svarade på stigande kvävegivor med ökad kärn- eller fröskörd. Anpassning av N-gödslingen till grödornas avkastningsförmåga är därför en viktig åtgärd även i praktiken. Dessa ojämnheter i försöket till trots kan följande slutsatser av de olika behandlingarna dras:

Stigande kvävegivor över det normala medförde, särskilt i kombination med begränsad avkastningsförmåga, tilltagande mängder outnyttjat kväve i marken vid grödornas mognad, med ökad kväveutlakning som följd. Det blev dessutom mer kväve kvar i halmen, vilket efter humusbildning i marken så småningom bör mineraliseras.

Engelskt rajgräs som insådd fånggröda fungerade bra i vårsäd men inte i vårraps, där det konkurrerade alltför kraftigt med huvudgrödan. Efter stigande kvävegivor till huvudgrödan ökade fånggrödan sitt kväveupptag. Detta begränsade till viss del ansamlingen av mineralkväve i marken under senhösten, men *överdoseringen med kväve överskuggade till stor del fånggrödans utlakningsbegränsande verkan*. Odling av fånggröda ökade inte kvävetillgången för den efterföljande grödan och ingen ökning av mullhalten kunde observeras.

Senarelagd jordbearbetning på hösten (enbart plöjning på senhösten) ledde till minskad nettomineralisering av kväve under hösten, men till ökad mineralisering från senhöst till tidig vår jämfört med leden med stubbearbetning i september följd av höstplöjning på senhösten. N-mineraliseringen stimulerades uppenbarligen mer än N-immobiliseringen av jordbearbetning på hösten. Utlakningen av kväve minskade något vid senarelagd bearbetning och odling av fånggröda. I ledet med direktsådd blev kvävemineraliseringen mindre under både höst och vinter, men utlakningen minskade inte.

Nettomineraliseringen av kväve under de vegetationslösa årstiderna höst, vinter och tidig vår utgjorde i flertalet led 30-35 kg N/ha, vilket motsvarade ca 40 % av årsmineraliseringen. En del av detta kväve bör ha utlakats under vinterhalvåret, men en del bidrog till den efterföljande grödans N-försörjning.

Kväveutlakningen var tämligen liten (medeltal 13 kg N/ha) i jämförelse med ett försök på lätt jord i samma region. Tydligast utslag på kväveutlakningen gav överdoseringen med kväve. Kvävebalansberäkningar visade ett överskott av kväve i alla led, men eftersom ingen tendens fanns till ökade mullhalter, är tolkningen att förlusterna av kväve via denitrifikation kan ha varit betydande i denna jord.

Fosforutlakningen uppgick i medeltal till knappt 0,2 kg/ha och år. Förrådsgödsling med fosfor gav tydligt utslag på koncentrationerna av fosfatfosfor i dräneringsvattnet under efterföljande vinter.

Permanent vallträda medförde mycket liten kväveutlakning, medan fosforutlakningen var av samma storleksordning som vid odling av ettåriga grödor.

7. TILLKÄNNAGIVANDEN

Projektet har stötts med medel från Statens Jordbruksverk. Undersökningarna har gjorts i samarbete mellan Avdelningarna för vattenvårdslära, jordbearbetning och växtnäringlära vid Institutionen för markvetenskap samt Avdelningen för precisionsodling, Institutionen för markvetenskap i Skara, alla tillhörande Sveriges lantbruksuniversitet.

Distriktsförsöksledare Per-Johan Persson, och efter hans pensionering 1994 distriktsförsöksledare Johan Roland, samt lantmästare Rolf Tunared med medarbetare på Lanna försöksstation, SLU, har haft ansvar för skötseln av försöket och all provtagning.

Avdelningen för vattenvårdslära har ansvarat för utlakningsmätningarna. Ansvar för insamling av prover av dräneringsvatten, analyser, flödesmätningar och utlakningsberäkningar samt tolkning av sådana resultat har Helena Aronsson haft, under vissa år tillsammans med Katinka Hessel Tjell. Vattenanalyserna har utförts av personalen vid Vattenvårdsavdelningens laboratorium. Helena Aronsson, Avdelningen för vattenvårdslära och Börje Lindén, Avdelningen för precisionsodling i Skara, har tillsammans utarbetat årliga skötsel- och provtagningsanvisningar för försöket. Börje Lindén har haft ansvaret för insamling av jord-, gröd- och skördeprover samt kontroll av analysdata för att belysa kväveomsättningarna i odlingsystemen, bl.a. kväveminaliseringen under olika årstider. Uttagna växt- och jordprover har preparerats och analyserats av laboratoriepersonalen vid Avdelningen för växtnäringlära. Bearbetning av dessa resultat har utförts av Lena Engström, också vid Avdelningen för precisionsodling i Skara, tillsammans med Börje Lindén.

Avdelningen för jordbearbetning har färdigställt fältkort och utfört beräkningar av skördarna och härtill hörande grödegenskaper.

8. LITTERATUR

- Alexandersson, H. & Eggertsson Karlström, C. 2001. Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-1990. Referensnormaler – utgåva 2. Rapport 99, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI), Norrköping.
- Andersen, A. & Olsen, C. C. 1992. Rajgræs som efterafgrøder i vårbyg. Grøn Viden, Landbrug, nr. 111. Statens Planteavlsvforsøg.
- APHA. 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. American Public Health Association, New York.
- Aronsson, H., Torstensson, G. & Lindén, B. 2003. Långliggande utlakningsförsök på lätt jord i Halland och Västergötland. Effekter av flytgödseltillförsel, insådda fånggrödor och olika jordbearbetningstidpunkter på kvävedynamiken i marken och kväveutlakningen. Resultat från perioden 1998-2002. Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Ekohydrologi 74, 57 s.
- Aronsson, H. & Torstensson, G. 2003. Höstgrödor – Fånggrödor – Utlakning. Kvävedynamik och kväveutlakning i två växtföljder på moränlätter i Skåne. Resultat från 1993-2003. Ekohydrologi 75. Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Arvidsson, J., Hammarström, L., Rydberg, T., Stenberg, M., Pettersson, H., Lidström, J., Olsson, L., Beck-Friis, B., Ristic, S., Håkansson, I., Etana, A. & Salomon, E. 1994. R2-4017. Direktsådd. I: Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 1993 (ed. J. Arvidsson), Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, nr 86. Institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala, s. 15.
- Arvidsson, J., Löfkvist, J., Rydberg, T., Sjöberg, E., Stenberg, M., Svantesson, U. & Trautner, A. 1999. Direktsådd. I: Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 1998 (ed. J. Arvidsson), Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, nr 96. Institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala, s. 12.

- Beck-Friis, B., Lindén, B., Marstorp, H. och Henriksson, L. 1994. Kväve i mark och grödor i odlingssystem med fånggrödor. Undersökningar på en sandjord i södra Halland. Rapport 193. Avdelningen för växtnäringslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Bergström, L. & Brink, N. 1987. Effects of differentiated applications of fertilizer N on leaching losses and distribution of inorganic N in the soil. *Plant and Soil* 93, 333-345.
- Bouwman, A.F. 1996. Direct emissions of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46, 53-70.
- Breland, T. A. 1991. Fangvekstar og grøngjødsling. I. Håndbok for jordbruket (ed. S. Skøien), 99. Landbruksforlaget, Norge, 115-122.
- Breland, T. A. 1996. Green manuring with clover and ryegrass catch crops undersown in small grains: Effects on soil mineral nitrogen in field and laboratory experiments. *Acta Agric. Scand. Sect. B, Soil and Plant Sci.* 46, 178-185.
- Bremner, J. M. & Keeney, D. R. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. *Soil Science Society of America Proceedings* 30, 577-582.
- Burt, T. P. & Haycock, N. E. 1993. Controlling losses of nitrate by changing land use. I: Nitrate. Processes, patterns and management (ed. T. P. Burt, A. L. Heathwaite & S. T. Trudgill). John Wiley & Sons, 341-367.
- Delin, S., Lindén, B. & Berglund, K. 2005. Yield and protein response to fertilizer nitrogen in different parts of a cereal field: potential of site-specific fertilization. *European Journal of Agronomy* 22, 325-336.
- ECS. 1996. Water quality. Determination of phosphorus. Ammonium molybdate spectrometric method. European Standard. EN 1189, Brussels, 18 pp.
- Goulding, K. W. T. & Webster, C. P. 1992. Methods for measuring nitrate leaching. *Aspects of Applied Biology* 30, 63-70.
- Gustafson, A. 1995. Växtnäringsläckage från jordbruk till vatten. Aktuella resultat med tonvikt på södra Sverige. I: Rapport från Växtodlings- och försöksdagar i Växjö den 11 och 12 december 1995. Meddelande från Södra Jordbruksförsöksdistriktet, nr 46, 25:1-13.
- Haak, E., Lindén, B. & Persson, P. J. 1993. Kväveflöden i olika odlingssystem. Försök på Lanna, Skaraborgs län. Rapport 194. Avdelningen för växtnäringslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Hansen, E. M. 1994. Effect of soil tillage and ryegrass catch crop on nitrate leaching from a coarse sandy soil and a sandy loam. I: Soil Tillage for Crop Production and Protection of the Environment. International Soil Tillage Research Organization. Proceedings of the 13th Internat. Conference, Aalborg 1994, 195-200.
- Hansen, E. M. & Djurhuus, J. 1997. Nitrate leaching as affected by soil tillage and catch crop. *Soil Tillage Research* 41, 203-219.
- Hansen, E. M. & Djurhuus, J. 2000. Lang- eller kortvarig dyrkning af rajgræs som efterafgrøde på sandjord. Grøn Viden, Markbrug, nr. 221. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Danmarks Jordbrugsforskning.
- Hansson, A.-C., Pettersson, R. & Paustian, K. 1987. Shoot and root production and nitrogen uptake in barley, with and without nitrogen fertilization. *Z. Acker Pflanzenb.* 158, 163-171.
- Hatch, D. J., Jarvis, S. C., Rook, A. J. & Bristow, A. W. 1997. Ionic contents of leachate from grassland soils: A comparison between ceramic suction cup samples and drainage. *Soil Use and Management* 13, 68-74.
- Jansson, S. L. 1966. Vart tar gödselkväve vägen? *Växtnäringsnytt* 22, 3:1-9.
- Jensen, E. S. & Ambus, P. 2000. Prospects for manipulating crop residues to control nitrogen mineralisation-immobilisation in soil. I: Nitrogen efficiency in practical agriculture – fundamental processes and how to control them. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 139, nr 8, 25-42.
- Johansson, G., Kyllmar, K. & Johnsson, H. 1999. Observationsfält på åkermark. Avrinning och växtnäringsförluster för det agrohydrologiska året 1995/96 samt långtidsöversikt. *Ekohydrologi* 49. Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Kjellerup, V. & Kofoed, A. D. 1979. Kvælstofgødslingens indflydelse på drænvandets indhold af plantenæringsstoffer. *Tidsskrift for Planteavl* 83, 330-348.
- Kyllmar, K. & Johnsson, H. 1998. Växtnäringsförluster till vatten i typområden på jordbruksmark (JRK) 1984-1995. *Ekohydrologi* 44. Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Kvist, M. 1992. Catch crops undersown in spring barley – competitive effects and cropping methods. *Crop Production Science* 15. Institutionen för växtodlingslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Känkänen, H. 1995. The effect of undersown clover and grass on the nitrogen leaching risk during autumn and winter. I: NJF-utredning/rapport nr. 99. Proceedings of NJF-seminar no. 245 "The Use of Catch or Cover Crops to Reduce Leaching and Erosion", Knivsta, Sverige den 3-4 oktober 1994, 79-86.
- Lewan, L. 1990. Insådd fånggröda: Effekter på utlakningen av näringsämnen. Försök med italienskt rajgräs på en sandjord i södra Sverige. *Ekologi* 27. Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Lindén, B. 1977. Utrustning för jordprovtagning i åkermark. Rapport nr 112. Avdelningen för växtnäringslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

- Lindén, B. 1979. Alvprovtagning med "Ultuna-borren" – för markkartering och framtida N-progoser. Rapport nr 120. Avdelningen för växtnäringslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Lindén, B., Gustafson, A., Torstensson, G. & Ekre, E. 1993a. Mineralkvävedynamik och växtnäringsutlakning på en grovmjord i södra Halland med handels- och stallgödslade odlings-system med och utan insädd fånggröda. Ekohydrogi 30. Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Lindén, B., Aronsson, H., Gustafson, A. & Torstensson, G. 1993b. Fånggrödor, direktsädd och delad kvävegiva - studier av kväveverkan och utlakning i olika odlingsystem i ett ler-jordsförsök i Västergötland. Ekohydrogi 33. Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Lindén, B., Gustafson, A., Torstensson, G. & Aronsson, H. 1994. Kvävet i markprofilen: Betydelsen av höst- och vintermineraliseringen för kväveutlakningen och grödornas kväveförsörjning. I: Alvens roll för växtproduktionen. Konferens den 9 mars 1994 anordnad av Stiftelsen Svensk Vaxtnäringsforskning. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 133, nr 5, 71-84.
- Lindén, B., Engström, L., Aronsson, H., Hessel Tjell, K., Gustafson, A., Stenberg, M. & Rydberg, T. 1999. Kvävemineralisering under olika årstider och utlakning på en jord i Västergötland. Inverkan av jordbearbetnings-tidpunkter, flytgödseltillförsel och insädd fånggröda. Ekohydrogi 51. Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Lindén, B. & Engström, L. 2006. Höstraps, havre och ärter som förfrukter till höstvetete – inverkan på kvävedynamiken i marken och på vetets avkastning. Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för precisionsodling, Institutionen för markvetenskap, rapport 4.
- Lyngstad, I. & Breland, T. A., 1995. Ryegrass and white clover undersown in small grains at three N levels and four tillage treatments: effects on soil mineral N. I: NJF-utredning/rapport nr. 99. Proceedings of NJF-seminar no. 245 "The Use of Catch or Cover Crops to Reduce Leaching and Erosion", Knivsta, Sverige den 3-4 oktober 1994, 87-92.
- Lyngstad, I. & Børresen, T. 1966. Effects of undersown cover crops on yields and mineral nitrogen in cereal production in southeast Norway. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 10, 55-70.
- Macdonald, A. J., Powlson, D. S., Poulton, P. R. & Jenkinson, D. S. 1989. Unused fertilizer nitrogen in arable soils – its contribution to nitrate leaching. J. Sci. Food Agric. 46, 407-419.
- Malgeryd, J. & Torstensson, G. 2005. Kvävehushållning och miljöpåverkan vid olika strategier för skötsel av gröngödslingsvallar. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, JTI-rapport Lantbruk & Industri 335.
- Mengel, K. & Kirkby, E. A. 1982. Principles of plant nutrition, 3rd edition. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Schweiz.
- Mårtensson, K. & Kyllmar, K. 1998. Vaxtnäringsförluster till vatten från fyra jordbruksområden i Västra Götalands län 1993-97. Ekohydrologi 45. Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Nömmik, H. 1974. Ammonium chloride-imidazole extraction procedure for determining titrateable acidity, exchangeable base cations and cation exchange capacity in soils. Soil Science 118, 254-262.
- Ohlander, L., Bergkvist, G., Stendahl, F., & Kvist, M. 1996. Yield of catch crops and spring barley as affected by time of undersowing. Acta Agric. Scand. Sect. B, Soil and Plant Sci. 46, 186-191.
- Persson, J. 2003. Kväveförluster och kvävehushållning, Förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk. Kortsiktiga och långsiktiga markbiologiska processer med speciell hänsyn till kvävet. Rapport 207. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för växtnäringslära.
- Phillips, R. E. & Phillips, S. H. (ed.) 1984. No-tillage agriculture. Principles and practices. Van Nostrand Reinhold Company, New York etc.
- Scharpf, H.-C. 1977. Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffbedarf. Fakultät für Gartenbau und Landeskultur der Technischen Universität Hannover. Dis-sertation.
- Statens Jordbruksverks författningssamling 1999. Statens Jordbruksverks föreskrifter om miljöhänsyn i jordbruket. SJVFS 1999:79, Statens Jordbruksverk, 551 82 Jönköping.
- Statistiska Centralbyrån 1993-2005. Jordbruksstatistisk Årsbok 1992-2004.
- Stenberg, M., Aronsson, H., Lindén, B., Rydberg, T. & Gustafson, A. 1999. Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop. Soil & Tillage Research 50, 115-125.
- Stenberg, M., Myrbeck, Å., Lindén, B. & Rydberg, T. 2005. Inverkan av tidig och sen jord-bearbetning under hösten på kvävemineraliseringen under vinterhalvåret och på utlaknings-risken på en lerjord. Sveriges lantbruks-universitet, Avdelningen för precisionsodling, Institu-tionen för markvetenskap, rapport 3.
- Stureson, B. & Djurle, A. 1994. Oljevaxter – utvecklingsskala och bevakningsschema för vanliga skadegörare. Faktablad om växtskydd, Jordbruk 7J, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Torstensson, G., Aronsson, H. & Lindén, B. 1995. Winter crops as green cover crops - nitrogen uptake capacity and effects on nitrate leaching. I: NJF-utredning/rapport nr. 99. Proceedings of NJF-seminar no. 245 "The Use of Catch or Cover Crops to Reduce Leaching and Erosion", Knivsta, Sverige den 3-4 oktober 1994, 257-263.
- Torstensson, G. 1998. Nitrogen availability for crop uptake and leaching. Agraria 98. Acta Universitatis Agricul-turae Sueciae, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

- Tottman, D. R. 1987. The decimal code for growth stages of cereals, with illustrations. *Annals of Applied Biology* 110, 441-454.
- Ulén, B. 2005. Fosforförluster från mark till vatten. SNV rapport 5507. Statens naturvårdsverk.
- Ulén B., Aronsson, H., Torstensson, G. & Mattsson, L. 2005. Nutrient turnover and risk of waterborne phosphorus emissions in crop rotations on a clay soil in south-west Sweden. *Soil Use Management* 21, 221-230.
- Wallgren, B. & Lindén, B. 19-94. Effects of catch crops and ploughing times on soil mineral nitrogen. *Swedish J. agric. Res.* 24, 67-75.

Denna serie efterträder den under åren 1970-1977 utgivna serien Vattenvård. Här publiceras forsknings- och försöksresultat från Avdelningen för vattenvårdslära vid Institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet. Tidigare nummer i serien Ekohydrologi redovisas nedan. Alla kan i mån av tillgång anskaffas från Avdelningen för vattenvård (adress på omslagets baksida).

This series is successor to "Vattenvård" published in 1970-1977. Here you will find research reports from the Division of Water Quality Management, Department of Soil Sciences at the Swedish University of Agricultural Sciences. You will find earlier issues of "Ekohydrologi" listed below. Issues still in stock can be acquired from the Division of Water Quality Management (address, see the back page).

Nr	År	Författare och titel. <i>Author and title.</i>
1	1978	Nils Brink, Arne Gustafson och Gösta Persson. Förluster av växtnäring från åker. <i>Losses of nutrients from arable land.</i>
2	1978	Nils Brink och Arne Joelsson. Stallgödsel på villovägar. <i>Manure gone astray.</i> Lars Lingsten och Nils Brink. Åker gödslingens inverkan på miljön i en bäck. <i>The effect of agricultural manuring on the environment in a brook.</i> Nils Brink. Kväveutlakning från odlingsmark. <i>Nitrogen leaching from arable land.</i>
3	1979	Sven-Åke Heinemo och Nils Brink. Utlakning ur kompost av sopor och slam. <i>Leachate from compost of refuse and sludge.</i> Nils Brink. Self-Purification studies of silage juice. Arne Gustafson och Mats Hansson. Växtnäringsförluster på Kristianstadsslätten. <i>Loss of nutrients on the Kristianstad plain.</i> Per-Gunnar Sundqvist och Nils Brink. En gödselstad förorenar dricksvatten. <i>Pollution of the groundwater by a dung yard.</i>
4	1979	Nils Brink. Vattnet är det yppersta. Arne Gustafson och Börje Lindén. Kvävebehovet för 1979. Nils Brink, Arne Gustafson och Gösta Persson. Förluster av kväve, fosfor och kalium från åker. <i>Losses of nitrogen, phosphorus and potassium from arable land.</i>
5	1979	Gunnar Fryk och Sven-Åke Heinemo. Självrening av lakvatten från kompost på sand och mo. <i>Self-purification of leachate from compost on sand and fine sand.</i> Nils Brink. Växtnäringsförluster från skogsmark. <i>Losses of nutrients from forests.</i> Nils Brink. Utlakning av kväve från agroekosystem. <i>Leaching of nitrogen from agro-ecosystems.</i> Nils Brink. Ytvatten, grundvatten och vattenförsörjning.
6	1980	Arne Gustafson och Mats Hansson. Växtnäringsförluster i Skåne och Halland. <i>Losses of Nutrients in Skåne and Halland.</i> Nils Brink, Sven L. Jansson och Staffan Steineck. Utlakning efter spridning av potatisfruktsaft. <i>Leaching after spreading of potato juice.</i> Nils Brink och Arne Gustafson. Att spå om gödselkväve. <i>Forecasting the need of fertilizer nitrogen.</i> Arne Gustafson och Börje Lindén. Lantbruksuniversitetet satsar på exaktare kvävegödsling.
7	1980	Nils Brink och Börje Lindén. Vart tar handelsgödselkvävet vägen. <i>Where does the commercial fertilizer go.</i> Barbro Ulén och Nils Brink. Omgivningens betydelse för primärproduktionen i Vadsbrosjön. <i>The importance of the environment for the primary production in lake Vadsbrosjön.</i> Arne Gustafson. Jordbruket och grundvattnet. Nils Brink. Utlakning av växtnäring från åkermark. Nils Brink. Vart tar gödseln vägen.
8	1981	Nils Brink. Förurning av grundvatten på åker. <i>Acidification of groundwater on arable land.</i> Rikard Jernlås och Per Klingspor. TCA-utlakning från åker. <i>Leaching of TCA from arable land.</i> Arne Joelsson. Ytavspolning av fosfor från åkermark. <i>Storm washing of phosphorus from arable land.</i> Arne Gustafson, Sven-Olof Ryding och Barbro Ulén. Kontroll av växtnäringsläckage från åker och skog. <i>Control of losses of nutrients from arable land and forest.</i>
9	1981	Barbro Ulén och Nils Brink. Miljöeffekter av ureaspridning och glykolanvändning på en flygplats. <i>Environmental effects of spreading of urea and use of glycol at an airport.</i> Gunnar Fryk. Utlakning från upplag av malda sopor. <i>Leachate from piles of shredded refuse.</i>
10	1982	Arne Gustafson och Arne S. Gustavsson. Växtnäringsförluster i Västergötland och Östergötland. <i>Losses of nutrients in Västergötland and Östergötland.</i> Barbro Ulén. Växtnäringsförluster från åker och skog i Södermanland. <i>Losses of nutrients from arable land and forests in Södermanland.</i> Arne S. Gustavsson och Barbro Ulén. Nitrat, nitrit och pH i dricksvatten i Västergötland, Östergötland och Södermanland. <i>Nitrate, nitrite and pH in drinking water in Västergötland, Östergötland and Södermanland.</i> Lennart Mattsson och Nils Brink. Gödslingsprognoser för kväve. <i>Fertilizer forecasts.</i>

- | Nr | År | Författare och titel. <i>Author and title.</i> |
|----|------|--|
| 11 | 1982 | Barbro Ulén. Vadsbrosjöns närsaltbelastning och trofinivå. <i>The nutrient load and trophic level of lake Vadsbrosjön.</i>
Arne Andersson och Arne Gustafson. Metallhalter i dräneringsvatten från odlad mark. <i>Metal contents in drainage water from cultivated soils.</i>
Arne Gustafson. Växtnäringsförluster från åkermark i Sverige.
Barbro Ulén. Erosion av fosfor från åker. <i>Erosion of phosphorus from arable land.</i>
Rikard Jernlås. Kväveutlakningens förändring vid reducerad gödsling. |
| 12 | 1982 | Nils Brink och Rikard Jernlås. Utlakning vid spridning höst och vår av flytgödsel. <i>Leaching after spreading of liquid manure in autumn and spring.</i>
Gunnar Fryk och Thord Ohlsson. Infiltration av lakvatten från malda sopor. <i>Leachate migration through soils.</i>
Nils Brink. Measurement of mass transport from arable land in Sweden.
Arne Gustafson. Leaching of nitrate from arable land in Sweden. |
| 13 | 1983 | Nils Brink, Arne S. Gustavsson och Barbro Ulén. Yttransport av växtnäring från stallgödslad åker. <i>Surface transport of plant nutrients from field spread with manure</i>
Rikard Jernlås. TCA-utlakning på lerjord. <i>Leaching of TCA on a clay soil.</i>
Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Växtnäringsförluster vid Öjebyn. <i>Losses of nutrients at Öjebyn.</i>
Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Växtnäringsförluster vid Röbbäcksdalen. <i>Losses of nutrients at Röbbäcksdalen.</i>
Rikard Jernlås och Per Klingspor. Nitratutlakning och bevattning. <i>Drainage losses of nitrate and irrigation.</i> |
| 14 | 1983 | Arne Gustafson, Lars Bergström, Tomas Rydberg och Gunnar Torstensson. Kvävemineralisering vid plöjningsfri odling. <i>Nitrogen mineralization in connection with non-ploughing practices.</i>
Rikard Jernlås. Rörlighet och nedbrytning av fenvalerat i lerjord. <i>Decomposition and mobility of fenvalerate in a clay soil.</i>
Nils Brink. Jordprov på hösten eller våren för N-prognoser. <i>Soil sampling for nitrogen forecasts.</i>
Nils Brink. Närsalter och organiska ämnen från åker och skog. <i>Nutrients and organic matters from farmland and forest.</i>
Nils Brink. Gödsel användningens miljöproblem. |
| 15 | 1984 | Nils Brink, Arne S. Gustavsson och Barbro Ulén. Växtnäringsförluster runt Ringsjön. <i>Nutrient losses in the Ringsjö area.</i>
Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Fånggröda efter korn. <i>Catch crop after barley.</i>
Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Växtnäringsförluster från åker i Nybroåns avrinningsområde. <i>Losses of nutrients from arable land in the Nybroån river basin.</i>
Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Växtnäringsförluster i Vagle. <i>Losses of nutrients at Vagle.</i>
Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Växtnäringsförluster i Offer. <i>Losses of nutrients at Offer.</i> |
| 16 | 1984 | Arne Gustafson, Arne S. Gustavsson och Gunnar Torstensson. Intensitet och varaktighet hos avrinning från åkermark. <i>Intensity and duration of drainage discharge from arable land.</i> |
| 17 | 1984 | Jenny Kreuger och Nils Brink. Fånggröda och delad giva vid potatisodling. <i>Catch crop and divided N-fertilizing when growing potatoes.</i>
Nils Brink och Arne Gustavsson. Förluster av växtnäring från sandjord. <i>Losses of nutrients from sandy soils.</i>
Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Växtnäringsförluster i Boda. <i>Losses of nutrients at Boda.</i>
Nils Brink. Vattenföroreningar från tippen i Erstorp - ett rättsfall. |
| 18 | 1984 | Barbro Ulén. Påverkan på yt-, dränerings- och grundvatten vid Ekenäs. <i>Influence on surface water, drainage water and groundwater at Ekenäs.</i>
Barbro Ulén. Nitrogen and Phosphorus to surface water from crop residues. |
| 19 | 1985 | Arne Gustavsson och Nils Brink. Förluster av kväve och fosfor runt Ringsjön. <i>Losses of nitrogen and phosphorus in the Ringsjö area.</i>
Nils Brink och Kjell Ivarsson. Förluster av växtnäring från lerjordar i Skåne. <i>Losses of nutrients from clay soils in Skåne.</i>
Arne Gustavsson, Berit Tomassen och Börje Wiksten. Växtnäringsförluster från åker på Uppsalaslätten. <i>Nutrient losses from arable land in the region of Uppsala.</i>
Christina Lindgren, Margaretha Wahlberg och Arne Gustavsson. Dricksvattenkvalitet i Uppsala regionen. <i>Drinking water quality in the region of Uppsala.</i>
Jenny Kreuger. Rörlighet hos MCPA och Diklorprop. <i>Mobility of MCPA and Dichlorprop.</i>
Barbro Ulén. Ytavrinningsförluster av cyanazin. <i>Losses with surface run-off of cyanazine.</i> |
| 20 | 1985 | Jenny Kreuger. Rörlighet hos MCPA och diklorprop på sandjord. <i>Mobility of MCPA and Dichlorprop in a sandy soil.</i>
Kjell Ivarsson och Nils Brink. Utlakning från en grovmojord i Halland. <i>Losses of nutrients from a sandy soil in Halland.</i>
Barbro Ulén. Åkermarkens erosion. <i>Erosion of phosphorus from arable Land.</i>
Arne S. Gustavsson. Förluster av kväve och fosfor runt Ringsjön.
Arne Gustafson. Växtnäringsläckage och motåtgärder.
Nils Brink. Bekämpningsmedel i åar och grundvatten. |

- | Nr | År | Författare och titel. <i>Author and title.</i> |
|----|------|---|
| 21 | 1986 | <p>Birgit Loeper. Toxicitetstest för pesticider med protozoer. <i>Toxicity test for pesticides using protozoa.</i></p> <p>Nils Brink, Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Odlingsåtgärders inverkan på kvaliteten hos yt- och grundvatten.</p> <p>Barbro Ulén. Lakning av fosfor ur jordar. <i>Leaching of phosphorus from soils.</i></p> <p>Nils Brink och Gunnar Torstensson. Vården av proteingödsling. Värdera miljön. <i>Risk of fertilizing for increased protein. Evaluate the environment.</i></p> <p>Jenny Kreuger. Bekämpningsmedel. Utlakning från åkermark.</p> |
| 22 | 1987 | Arne Gustafson. <i>Water Discharge and Leaching of Nitrate.</i> |
| 23 | 1987 | Lars Bergström. <i>Transport and Transformations of Nitrogen in an Arable Soil.</i> |
| 24 | 1987 | <p>Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Fånggröda efter skörd. <i>Catch crop after harvest.</i></p> <p>Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Läckage av växtnäring från åker i Nybroåns vattensystem. <i>Leaching of nutrients from arable land in the Nybroån river basin.</i></p> <p>Solweig Ellström och Nils Brink. Stallgödsblad och konstgödsblad åker läcker växtnäring. <i>Fields spread with manure and fertilizer leach plant nutrients.</i></p> <p>Nils Brink. Kväveläckage vid försök med nitrifikationshämmare.</p> <p>Nils Brink. Kväve och fosfor från stallgödsblad åker.</p> <p>Nils Brink. Kväve och fosfor från konstgödsblad åker.</p> |
| 25 | 1987 | <p>Nils Brink och Klaas van der Meulen. <i>Losses of Phosphorus and Nitrogen to Lake Ringsjön.</i></p> <p>Nils Brink. Regional vattenundersökning söder och öster om Ringsjön. <i>Water nutrient status to the south and east of Lake Ringsjön.</i></p> <p>Petra Fagerholm. Vattenkvalitet och jordbruksdrift inom Ringsjöområdet. <i>Water quality and agriculture in the area of Lake Ringsjön.</i></p> <p>Nils Brink. Nitrifikationshämmare eller svält mot kväveläckage. <i>Nitrification inhibitors or starvation against nitrogen losses.</i></p> <p>Nils Brink, Jenny Kreuger och Gunnar Torstensson. Näringsflöden från åkermark. <i>Nutrient fluxes from arable land.</i></p> |
| 26 | 1988 | <p>Arne Andersson och Arne Gustafson. Deposition av spårelement med nederbörden. <i>Bulk deposition of trace elements in precipitation.</i></p> <p>Arne Andersson, Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Utlakning av spårelement från odlad jord. <i>Removal of trace elements from arable land by leaching.</i></p> <p>Barbro Ulén. Fosforerosion vid vallodling och skyddszon med gräs. <i>Phosphorus erosion under ley cropping and a grass protective zone.</i></p> <p>Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Växtnäringsläckage efter vallbrott. <i>Leaching of nutrients after ploughing a ley.</i></p> <p>Solweig Ellström. Avrinning och växtnäringstransport från åkermark. <i>Discharge and losses of nutrients from arable land.</i></p> |
| 27 | 1990 | <p>Lisbet Lewan. Insådd fånggröda: Effekter på utlakning av växtnäringsämnen. <i>Undersown Catch Crop - Effects on leaching of plant nutrients.</i></p> <p>Lisbet Lewan och Holger Johnsson. Insådd fånggröda: Effekter på utlakning av kväve. <i>Undersown Catch Crops - Effects on leaching of nitrogen.</i></p> <p>Solweig Wall Ellström. Avrinning och växtnäringsförluster från JRK:s stationsnät på åkermark. <i>Discharge and nutrient losses from arable land.</i></p> |
| 28 | 1992 | Gunnar Torstensson, Arne Gustafson, Börje Lindén, och Gustav Skyggesson. Mineralkvävedynamik och växtnäringsutlakning på en grovmjord med handels- och stallgödsblade odlingsystem i södra Halland. <i>Mineral nitrogen dynamics and nutrient leaching in a sandy soil in southern Halland with cropping systems fertilized with commercial fertilizers and manure.</i> |
| 29 | 1992 | <p>Barbro Ulén. Närsaltsförluster från mindre avrinningsområden inom jordbrukets recipientkontroll i Sverige. <i>Nutrient losses from small catchment areas in the recipient control of agriculture in Sweden.</i></p> <p>Markus Hoffman. Avrinning och växtnäringsförluster från JRK:s stationsnät agrohydrologiska året 90/91 samt långtidsöversikt för 1977/90. <i>Discharge and nutrient losses from arable land in 1990/91 and review of the years 1977/90.</i></p> <p>Markus Hoffman. Odlingsåtgärder och vattenkvalitet - en studie på sju fält i Malmöhus län. <i>Cultivation practices and water quality - a study on seven fields in Malmöhus county.</i></p> |
| 30 | 1993 | Börje Lindén, Arne Gustafson, Gunnar Torstensson och Erik Ekre. Mineralkvävedynamik och växtnäringsutlakning på en grovmjord i södra Halland med handels- och stallgödsblade odlingsystem. <i>Mineral nitrogen dynamics and nutrient leaching in a sandy soil in southern Halland with cropping systems fertilized with commercial fertilizers and manure, and with or without ryegrass catchcrop.</i> |
| 31 | 1993 | Gunnar Torstensson, Arne Gustafson och Börje Lindén. Kväveutlakning på sandjord - motåtgärder med ny odlingsteknik. <i>Leaching of nitrogen from sandy soil - counter measures with new technique.</i> |
| 32 | 1993 | Markus Hoffman och Solweig Wall Ellström. Avrinning och växtnäringsförluster från JRK:s stationsnät för agrohydrologiska året 1991/92 samt långtidsöversikt. <i>Discharge and nutrient losses from arable land in 1991/92 and a long term review.</i> |
| 33 | 1993 | Börje Lindén, Helena Aronsson, Arne Gustafson och Gunnar Torstensson. Fånggrödor, direktsådd och delad kvävegivastudier av kväveverkan och utlakning i olika odlingsystem i ett lerjordsförsök i Västergötland. <i>Catch crops, direct drilling and split nitrogen fertilization - studies of nitrogen turnover and leaching in crop production systems on a clay soil in Västergötland.</i> |

Nr	År	Författare och titel. <i>Author and title.</i>
34	1993	Gunnar Torstensson, Arne Gustafson, Helena Aronsson och Artur Granstedt. Ekologisk odling - utlakningsrisker och kväveomsättning. Ecological Agriculture - Leaching risks and Nitrogen Turnover. <i>Ecological agriculture – leaching risks and nitrogen turnover.</i>
35	1993	Erik Kellner. Årstidsbunden kvävebelastning och denitrifikation i dammar - en enkel modellansats. <i>Seasonal nitrogen fluxes and denitrification in ponds - simple model approach.</i>
36	1995	Markus Hoffmann och Solweig Wall Ellström. Avrinning och växtnäingsförluster från JRK:s stationsnät för agrohydrologiska året 1992/93 samt en långtidsöversikt. <i>Discharge and nutrient losses from arable land in 1992/93 and a long term review.</i>
37	1995	Katarina Kyllmar och Holger Johnsson. Växtnäingsförluster till vatten från ett jordbruksområde på Gotland 1989/94.
38	1995	Katarina Kyllmar, Göran Johansson och Markus Hoffmann. Avrinning och växtnäingsförluster från JRK:s stationsnät för agrohydrologiska året 1993/94 samt en långtidsöversikt. <i>Discharge and nutrient losses from arable land in 1993/94 and a long term review.</i>
39	1996	Holger Johnsson och Markus Hoffmann. Normalutlakning av kväve från svensk åkermark 1985 och 1994.
40	1996	Katarina Kyllmar och Holger Johnsson. Typområden på jordbruksmark (JRK). Avrinning och växtnäingsförluster för det agrohydrologiska året 1994/95.
41	1997	Bo Wejfeldt och Arne Gustafson. Utesugor och kväveutlakning. Resultat från ett fältförsök i Halland.
42	1997	Katinka Hessel, Jenny Kreuger och Barbro Ulén. Kartläggning av bekämpningsmedelsrester i yt-, grund- och regnvatten i Sverige 1985-95. Resultat från monitoring och riktad provtagning.
43	1997	Göran Johansson och Katarina Kyllmar. Observationsfält på åkermark. Avrinning och växtnäingsförluster för det agrohydrologiska året 1994/95 samt en långtidsöversikt. <i>Discharge and nutrient losses from arable land in 1994/95 and a long term review.</i>
44	1998	Katarina Kyllmar och Holger Johnsson. Växtnäingsförluster till vatten i Typområden på jordbruksmark (JRK) 1984-1995. <i>Nutrient losses from arable land within the period 1984-1995. Results from the water quality monitoring programme "Typområden på jordbruksmark".</i>
45	1998	Kristina Mårtensson och Katarina Kyllmar. Växtnäingsförluster till vatten från fyra jordbruksområden i Västra Götalands län 1993-97. Utvärdering av mätningar och inventeringar utförda inom miljöövervakningsprogrammet "Typområden på jordbruksmark" i Järnsbäckens, Öxnevallabäckens, Vikensbäckens och Forshällaåns avrinningsområden.
46	1998	Katinka Hessel, Helena Aronsson, Börje Lindén, Maria Stenberg, Tomas Rydberg och Arne Gustafson. Höstgrödor – Fånggrödor – Utlakning. Kvävedynamik och kväveutlakning på en moränlättilera i Skåne.
47	1998	Kristina Mårtensson och Katarina Kyllmar. Växtnäingsförluster till vatten från två jordbruksområden i Örebro län 1994-1997. Utvärdering av mätningar och inventeringar utförda inom miljöövervakningsprogrammet "Typområden på jordbruksmark" i Husöns och Vällbäckens avrinningsområden.
48	1998	Katarina Kyllmar och Holger Johnsson. Typområden på jordbruksmark (JRK) Avrinning och växtnäingsförluster för det agrohydrologiska året 1995/96. <i>Nutrient losses from arable land in 1995/96. Results from the water quality monitoring programme "Typområden på jordbruksmark".</i>
49	1999	Göran Johansson, Katarina Kyllmar och Holger Johnsson. Observationsfält på åkermark. Avrinning och växtnäingsförluster för det agrohydrologiska året 1995/96 samt en långtidsöversikt. <i>Discharge and nutrient losses from arable land in 1995/96 and a long term review.</i>
50	1999	Katinka Hessel Tjell, Helena Aronsson, Gunnar Torstensson, Arne Gustafson, Börje Linden, Maria Stenberg och Tomas Rydberg. Mineralkvävedynamik i handels- stallgödslande odlingsssystem med och utan fånggröda. Resultat från en grovmojord i södra Halland, perioden 1990-1998.
51	1999	Börje Lindén, Lena Engström, Helena Aronsson, Katinka Hessel Tjell, Arne Gustafson, Maria Stenberg och Tomas Rydberg. Kvävemineralisering under olika årstider och utlakning på en mojord i Västergötland. Inverkan av jordbearbetningstidpunkter, flygödseltillförsel och insädd fånggröda. <i>Nitrogen mineralization during different seasons and leaching losses on a loamy sand soil in Västergötland, southwest Sweden. Impact of soil tillage times, application of pig slurry and an undersown catch crop.</i>
52	2000	Kristian Persson. Jordbearbetningens påverkan på fosforförlusterna från en mjälalättilera i södra Dalarna. <i>The impact of soil cultivation on phosphorus losses from a silty clay soil in southern Dalarna.</i> Barbro Ulén, Göran Johansson och Katarina Kyllmar. Fosforläckage från elva observationsfält under tjugoett år. <i>Losses of phosphorus from eleven arable fields in Sweden over twenty-one years.</i> Barbro Ulén och Jenny Kreuger. Bekämpningsmedelsrester i vatten 1985-1999. Riktade provtagningar och monitoring samlade i en databas. <i>Pesticides in Swedish water 1985-1999.</i>
53	2000	Katarina Kyllmar och Holger Johnsson. Typområden på jordbruksmark (JRK). Avrinning och växtnäingsförluster för de agrohydrologiska åren 1996/97 och 1997/98. <i>Nutrient losses from arable land in 1996/97 and 1997/98. Results from the water quality monitoring programme "Typområden på jordbruksmark".</i>
54	2000	Jenny Kreuger. Övervakning av bekämpningsmedel i vatten från ett avrinningsområde i Skåne. Årsredovisning för Vemmenhögprojektet 1998 samt en kortfattad långtidsöversikt. <i>Monitoring pesticide concentrations and transport in streamwater from a small agricultural catchment in southern Sweden. Annual report from the "Vemmenhög-project" 1998, including a summary of the long-term trends.</i>
55	2000	Carina Carlsson, Katarina Kyllmar och Holger Johnsson. Typområden på jordbruksmark (JRK). Avrinning och växtnäingsförluster för det agrohydrologiska året 1998/99. <i>Nutrient losses from arable land in 1998/99. Results from the water quality monitoring programme "Typområden på jordbruksmark".</i>
56	2000	Gunnar Torstensson, Arne Gustafson, Lars Bergström och Barbro Ulén. Utredning om effekterna på kväveutlakning vid övergång till ekologisk odling. <i>Investigation of the effects of conversion to ecological (organic) agriculture on nitrogen leaching.</i>

Nr	År	Författare och titel. <i>Author and title.</i>
57	2001	Gunnar Torstensson och Magnus Håkansson. Kväeutlakning på sandjord - motåtgärder med ny odlingsteknik. Miljöanpassad stallgödselanvändning och odling i realistiska odlingsystem. Resultat från en grovmjord i södra Halland, perioden 1991-1999.
58	2001	Kristian Persson. <i>Measurement and Modelling of Phosphorus Transport from Arable Land.</i>
59	2001	Carina Carlsson, Katarina Kyllmar och Holger Johnsson. Typområden på jordbruksmark. Avrinning och växtnärlingsförluster för det agrohydrologiska året 1999/2000.
60	2001	Barbro Ulén, Göran Johansson, Arne Gustafson och Holger Johnsson. Observationsfält på åkermark. Avrinning och växtnärlingsförluster för de agrohydrologiska åren 1996/97, 97/98 och 98/99 samt en långtidsöversikt. <i>Experimental fields on arable land. Discharge and nutrient losses for the agro-hydrological years 1996/97, 97/98 and 98/99 and a long-term review.</i>
61	2001	Carina Carlsson. Växtnärlingsförluster till vatten i Averstadsåns avrinningsområde. Redovisning av mätresultat för perioden 1988 till 2000, Averstadsån, Värmlands län.
62	2002	Gunnar Torstensson. Kväeutlakning i frilandsodling av sallat på sandig mojord med reducerade N-börvärdesnivåer. Resultat från södra Halland, perioden 1999-2001. Gunnar Torstensson och Göran Ekbladh. Kväeutlakning i frilandsodling av sallat och vitkål på sandig mojord med olika kvävegödslingsmodeller. Resultat från södra Halland, perioden 1995-1997.
63	2002	Barbro Ulén, Jenny Kreuger och Peter Sundin. Undersökning av bekämpningsmedel i vatten från jordbruk och samhällen år 2001.
64	2002	Peter Sundin, Jenny Kreuger och Barbro Ulén. Undersökning av bekämpningsmedel i sediment i jordbruksbäckar år 2001.
65	2002	Mirja Törnquist, Jenny Kreuger och Barbro Ulén. Förekomst av bekämpningsmedel i svenska vatten 1985-2001. Sammanställning av en databas. Resultat från monitoring och riktad provtagning i yt-, grund- och dricksvatten.
66	2002	Carina Carlsson, Katarina Kyllmar, Barbro Ulén och Holger Johnsson. Typområden på jordbruksmark. Avrinning och växtnärlingsförluster för det agrohydrologiska året 2001.
67	2002	Jenny Kreuger. Övervakning av bekämpningsmedel i vatten från ett avrinningsområde i Skåne. Årsredovisning för Vemmenhögprojektet 1999.
68	2002	Jenny Kreuger. Övervakning av bekämpningsmedel i vatten från ett avrinningsområde i Skåne. Årsredovisning för Vemmenhögprojektet 2000.
69	2002	Jenny Kreuger. Övervakning av bekämpningsmedel i vatten från ett avrinningsområde i Skåne. Årsredovisning för Vemmenhögprojektet 2001.
70	2002	Katarina Kyllmar. Metod för bestämning av jordbrukets kvävebelastning i mindre avrinningsområden samt effekter av läckagereducerande åtgärder. Redovisning av projektet "Gröna fält och blåa hav".
71	2003	Gunnar Torstensson och Erik Ekre. Kväeutlakning på sandjord - motåtgärder med ny odlingsteknik. Miljöanpassad stallgödselanvändning och odling i realistiska odlingsystem. Resultat från en grovmjord i södra Halland, perioden 1999-2002.
72	2003	Gunnar Torstensson. Ekologisk odling - Utlakningsrisker och kväveomsättning Ekologiska odlingsystem med resp. utan djur hållning på sandig grovmjord i södra Halland. Resultat från perioden 1991-2002.
73	2003	Gunnar Torstensson. Ekologisk odling med resp. utan djurhållning på lerjord i Västra Götaland. Resultat från perioden 1997-2002.
74	2003	Helena Aronsson, Gunnar Torstensson och Börje Lindén. Långliggande utlakningsförsök på lätt jord i Halland och Västergötland. Effekter av flytgödseltillförsel, insådda fånggrödor och olika jordbearbetningstidpunkter på kvävedynamiken i marken och kväeutlakningen. Resultat från perioden 1998-2002.
75	2003	Helena Aronsson och Gunnar Torstensson. Höstgrödor - Fånggrödor - Utlakning. Kvävedynamik och kväeutlakning i två växtföljder på moränlätter i Skåne. Resultat från 1993-2003.
76	2003	Carina Carlsson, Katarina Kyllmar och Barbro Ulén. Typområden på jordbruksmark. Växtnärlingsförluster i små jordbruksdominerade avrinningsområden 2001/2002.
77	2003	Jenny Kreuger, Helena Holmberg, Henrik Kylin och Barbro Ulén. Bekämpningsmedel i vatten från typområden, år och i nederbörd under 2002. Årsrapport till det nationella programmet för miljöövervakning av jordbruksmark, delprogram pesticider.
78	2004	Helena Aronsson och Gunnar Torstensson. Beräkning av olika odlingsåtgärders inverkan på kväeutlakningen. Beskrivning av ett pedagogiskt verktyg för beräkning av kväeutlakning från enskilda fält och gårdar.
79	2004	Barbro Ulén. Bakgrundsbelastning av fosforförluster från åkermark till vatten. Barbro Ulén. Odlingsåtgärders inverkan på fosforläckage från observationsfälten.
80	2004	Carina Carlsson, Katarina Kyllmar och Holger Johnsson. Växtnärlingsförluster i små jordbruksdominerade avrinningsområden 2002/2003. Årsrapport för miljöövervakningsprogrammet Typområden på Jordbruksmark.
81	2004	Jenny Kreuger, Mirja Törnquist och Henrik Kylin. Bekämpningsmedel i vatten och sediment från typområden och år samt i nederbörd under 2003.
82	2004	Jeanette Asp, Jenny Kreuger och Barbro Ulén. Riktvärden för bekämpningsmedel i ytvatten. Hur tas riktvärden fram? Hur förhåller sig svenska riktvärden till uppmätta halter i ytvatten? Förslag till hur de svenska riktvärdena ska tillämpas. <i>Water Quality Standards for pesticides in surface waters. How are they derived and applied worldwide? How do Swedish WQS compare to measured concentrations in surface waters? Recommendations for practical use of Swedish WQS.</i>
83	2004	Jeanette Asp och Jenny Kreuger. Indikator baserad på riktvärden för bekämpningsmedel i ytvatten - Förslag på utformning och redogörelse för underlag.
84	2005	Barbro Ulén och Jens Fölster. Närsaltskoncentrationer och trender i jordbruksdominerade vattendrag.

Nr	År	Författare och titel. <i>Author and title.</i>
85	2005	Mirja Törnquist, Bengt Norrman, Jenny Kreuger och Henrik Kylin. Undersökning av bekämpningsmedelsrester i yt- och grundvatten inom ett typområde på jordbruksmark i Västra Götalands län år 2002 och 2003.
86	2005	Carina Carlsson, Katarina Kyllmar och Holger Johnsson. Växtnäringsförluster i små jordbruksdominerade avrinningsområden 2003/2004. Årsrapport för miljöövervakningsprogrammet Typområden på Jordbruksmark.
87	2005	Mirja Törnquist, Jenny Kreuger, Stina Adielsson och Henrik Kylin. Bekämpningsmedel i vatten och sediment från typområden och åar, samt i nederbörd under 2004.
88	2005	Jeanette Asp och Jenny Kreuger. Riskvärdering av bekämpningsmedel i ytvatten – Utveckling och utvärdering av indikatorer baserade på riktvärden och miljöövervakningsdata.
89	2005	Katarina Kyllmar, Carina Carlsson och Holger Johnsson. Typområden på jordbruksmark i Skåne. Utvärdering av undersökningar utförda 1984-2004.
90	2006	Barbro Ulén, Helena Aronsson, Lars Bergström, Arne Gustafson, Martin Larsson och Gunnar Torstensson. Swedish long-term experimental sites for studying nutrient losses, nutrient turnover and model developments.