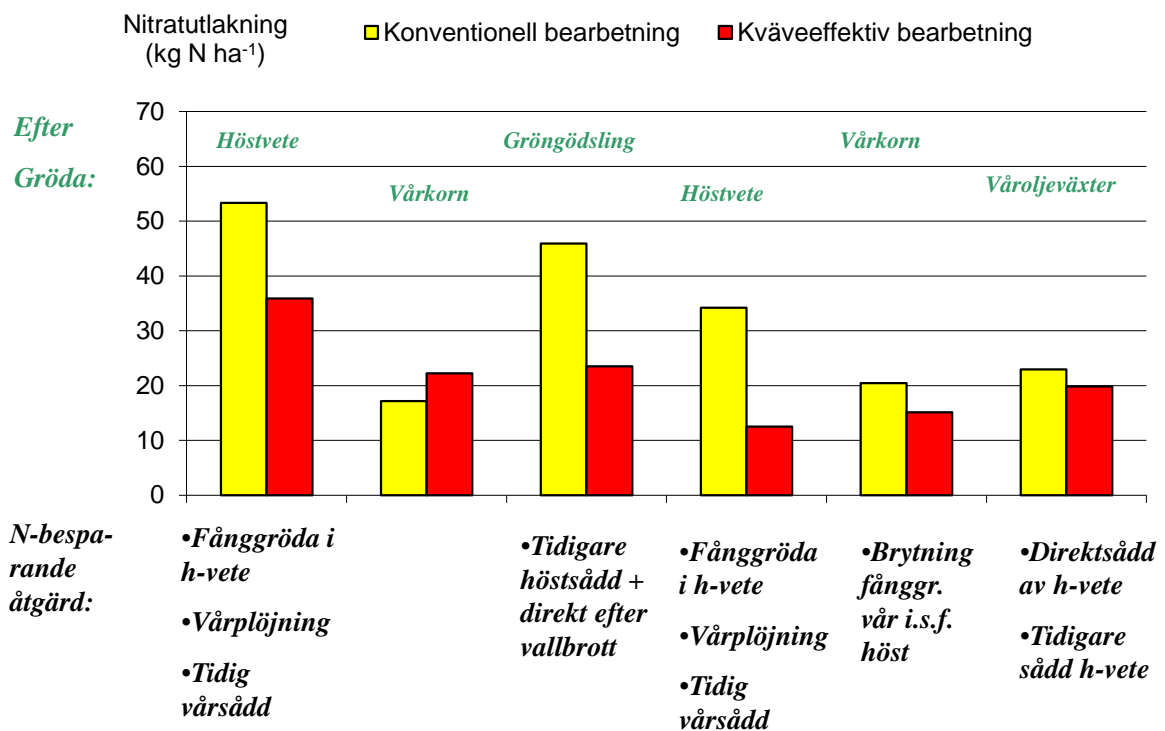


RAPPORTER FRÅN _____

JORDBEARBETNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,
S-750 07 Uppsala,
Department of Soil and Environment



Nr 124

2012

Åsa Myrbeck och Tomas Rydberg

**Kväveeffektiva bearbetningssystem-
en jämförelse av två system med avseende på
markkvävedynamik och kväveutlakning
under två växtföljdsomgångar**

Kväveeffektiva jordbearbetningssystem – en jämförelse av två system med avseende på markkvävedynamik och kväveutlakning under två växtföljdsomgångar

Förord

Denna rapport utgör en redovisning för åren 2000-2012 från projektet "Kväveeffektiva bearbetningssystem" (R2-8407). Projektet har genomförts som ett fältförsök på Mellby i Halland. Ansvariga för den praktiska skötseln av försöket har varit försöksledare Erik Ekre och Magnus Håkansson tillsammans med sina medarbetare vid Hallands läns Hushållningssällskap. Analyser av vatten, mark och grödor har utförts vid Avdelningen för biogeofysik och vattenvård och Avdelningen för växtnäring och markbiologi, Institutionen för mark och miljö vid SLU.

Anläggning och skötseln av fältförsöket finansieras inom ramen för SLUs långliggande försök. År 2000 startades med stöd från Stiftelsen lantbruksforskning (SLF) provtagning av mark, vatten och gröda för att följa kväveomsättningen i de olika systemen. Från och med år 2006 och fram till och med 2012 finansierades provtagning och analys av mark och vatten av Statens jordbruksverk.

Avdelningen för jordbearbetning och hydroteknik, SLU, september, 2012

Åsa Myrbeck, Tomas Rydberg

Summary

A field experiment conducted on a sandy loam at Mellby, Halland, south-western Sweden, during the period 1999-2012 examined the effects of introducing several measures aimed at reducing nitrogen (N) losses in a crop rotation with respect to N leaching, soil mineral N accumulation and crop production. Two soil tillage systems were compared within a six-year crop rotation: a conventional system using conventional methods of the region and an N-efficient system. The N-efficient system included delayed tillage until late autumn and spring, direct drilling of winter wheat, earlier sowing of winter and spring crops and use of a cover crop in winter wheat. The crops grown were winter wheat, spring barley, oilseed rape and a green manure crop (clover-grass mixture). Leaching of N from six (three replicates per treatment) separately tile-drained plots and soil mineral N in the 0-30, 30-60 and 60-90 cm layers was determined on several occasions during autumn and early spring. Total N content in above-ground plants was also determined. The different systems were found to have a great influence on N leaching, with the concentration of N in drainage water being twice as high in the conventional as in the N-efficient soil tillage system during the first 6-year period. Differences during the second 6-year period were somewhat less pronounced, partly due to lower N uptake in weeds in this period. Differences in N leaching were in line with differences in soil mineral N during autumn and winter. There was a strong correlation between relative soil mineral N content during autumn and winter and relative amount of N leached. Total leaching of $\text{NO}^3\text{-N}$ from the N-efficient system was 97 and 33 kg per hectare less than that from the conventional system during the first and second six-year period, respectively. The differences between the systems were most pronounced after ploughing of grassland, where sowing winter wheat one month earlier reduced leaching by 36 and 9 kg $\text{NO}^3\text{-N}$ per hectare in the first and second six-year period, respectively. The N-efficient system decreased grain yield by on average 5% compared with the conventional system, probably due to problems with couchgrass. The results from this field experiment show that developing N-efficient soil management systems within different crop rotations is of great importance for decreasing N leaching from agriculture.



Foto: Maria Henriksson

The Mellby soil profile, 0-90 cm depth

Kväveeffektiva jordbearbetningssystem – en jämförelse av två system med avseende på markkvävedynamik och kväveutlakning under två växtföljdsomgångar

Innehållsförteckning

Sammanfattning	7
Inledning	9
Material och Metoder	9
<i>Försöksplats och försöksupplägg</i>	<i>9</i>
<i>Avsteg från försöksplanen.....</i>	<i>11</i>
Resultat och diskussion.....	14
<i>Skördar</i>	<i>14</i>
<i>Kväveupptag i grödor och ogräs</i>	<i>16</i>
<i>Utlakning av kväve</i>	<i>17</i>
<i>Mineralkväve i marken</i>	<i>22</i>
<i>Nettomineralisering</i>	<i>25</i>
<i>Kvävebalanser och nyckeltal</i>	<i>26</i>
Övergripande diskussion	27
Tillkännagivanden	29
Litteratur	29
Bilagor	31

Sammanfattning

I det här försöket (R2-8407) har vi jämfört två olika bearbetningssystem i en sexårig växtföljd med avseende på mineralkvävedynamik i marken under höst och vinter och kväveutlakning. Syftet har varit att studera vilken den ackumulerande effekten blir då ett antal olika kvävebesparande åtgärder appliceras inom en och samma växtföljd. Det ena systemet har betraktats som konventionellt och det andra som ”kväveeffektivt”. I det kväveeffektiva systemet har det ingått åtgärder som att senarelägga bearbetningen till sen höst eller vår, direktsådd av höstvetete, insådd av fånggröda i höstvetete, brytning av fånggröda på våren istället för på hösten och tidig sådd av såväl höst- som vårgöröda. Försöksplatsen har varit en sandig mojord vid Mellby i Halland där sex rutor (tre upprepningar per bearbetningssystem) har specialtäckdikats. Mängden dräneringsvatten från respektive ruta har mätts och analyserats på kväveinnehåll. Likaså har mängden mineralkväve i markprofilen bestämts vid ett antal tillfällen under höst, vinter och vår och kväveinnehållet i växtlighet har analyserats.

Resultaten från den första växtföljdsomgången (00/01–05/06) visade på mycket stora skillnader i kväveläckage mellan systemen, speciellt under höst och vinter. Där vi hade satt in åtgärder för att minimera läckaget minskade det till hälften. Under hela den första växtföljdsomgången läckte det sammanlagt 97 kg mindre kväve (räknat per hektar) från det kväveeffektiva systemet än från det konventionella. Under den andra växtföljdsomgången (06/07-11/12) var skillnaden mellan systemen mindre. Totalt läckte då 33 kg mindre kväve per hektar från det kväveeffektiva systemet än från det konventionella. De två växtföljdsomgångarna överensstämde dock väl vad gällde mönstret för mineralkväve i marken och nitratutlakning.

De mätningar av mineralkväveinnehållet i marken som gjordes visade mycket god överensstämmelse med utlakningen, mycket kväve i marken – stor utlakning och små mängder i marken – liten utlakning. De åtgärder som vidtogs minskade mineraliseringen och bidrog samtidigt till att skjuta den några månader framåt i tiden vilket gjorde det mineraliserade kvävet mindre utsatt för läckage. De enskilda åtgärder som hade störst effekt var en månads tidigareläggning av höstvetesådden efter vallbrott och insådd av fånggröda i höstvetetet på våren.

I snitt över båda växtföljdsomgångarna gav det kväveeffektiva systemet 5% mindre skörd än det konventionella. Skörden av vårkorn var genomgående mindre i det kväveeffektiva systemet medan resultatet för de övriga grödorna varierad. Förklaringen var förmodligen att en del av de metoder som

tillämpades, t ex vårplöjning, gynnade tillväxten av kvickrot. Räknat på hur mycket kväve som läckte i förhållande till producerad mängd spannmål under en växtföljd blev det 8,3 kg per ton spannmål i det konventionella och 4,3 kg per ton spannmål i det kväveeffektiva systemet. Resultaten visar att det är möjligt att spara kväve genom en hel växtföljd utan större skördeminskningar om metoderna för jordbearbetning anpassas till växtföljden. Att en utlakningsminskning med 50% under den första växtföljdsomgången endast motsvarades av en minskning med 18% under den andra skulle kunna vara en årsmånseffekt. Det finns dock anledning att tro att systemet börjar leverera tillbaka en del av tidigare inlagrat kväve. Oförändrat positiva effekter av enskilda åtgärder kan kanske inte förväntas vid kontinuerlig användning.

Inledning

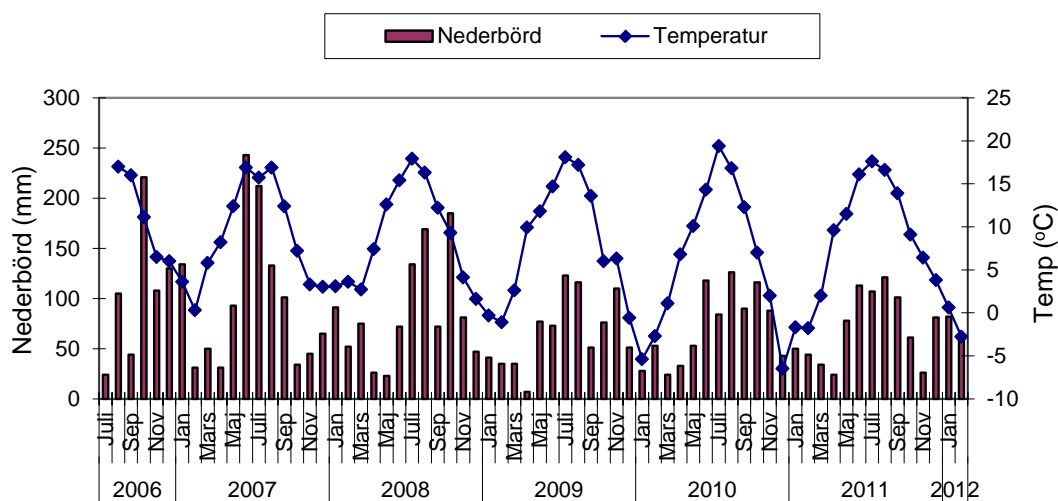
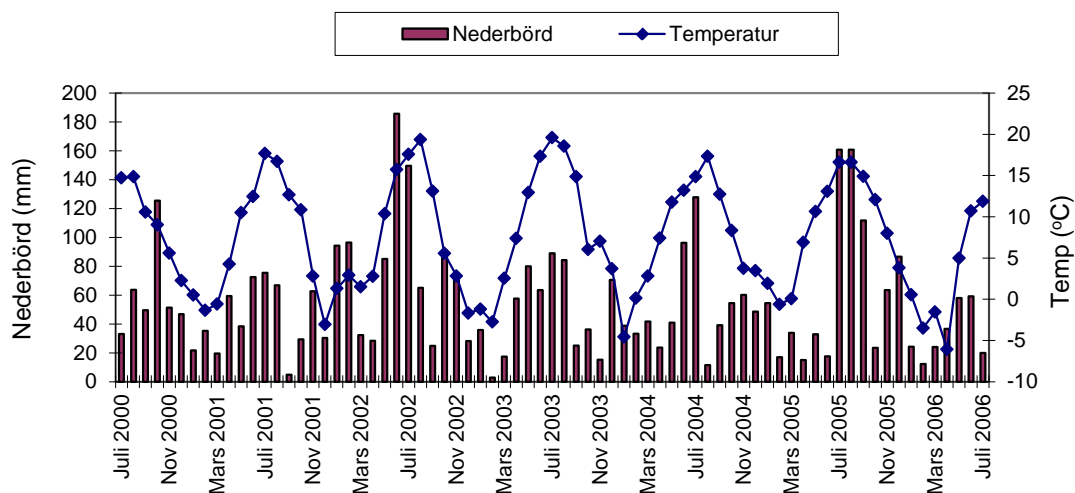
Jordbearbetning har stor betydelse för omsättningen av kväve i marken och stora mängder kväve kan frigöras efter en bearbetning. Tidigare studier har visat att risken för utlakning kan minskas om höstmineraliseringen begränsas genom att bearbetningen utförs senare på hösten då marktemperaturerna är lägre, om den skjuts upp till på våren eller om reducerad bearbetning används. Utlakningen kan också minskas genom att en fånggröda odlas som kan ta upp en del av det kväve som mineraliseras under hösten.

Detta projekt har syftat till att belysa effekterna på kvävemineralisering, kväveutlakning och grödors kväveutnyttjande efter olika bearbetningsåtgärder under en hel växtföljd med både höst- och vårsådda grödor. Två olika jordbearbetningssystem har jämförts i en sexårig växtföljd. Det ena har varit ett konventionellt system med traditionella metoder för regionen, med utgångspunkt från tiden för försökets start. Det andra har varit ett system anpassat till att vara så kväveeffektivt som möjligt utifrån tidigare forskningsresultat (t ex Adu & Oades, 1978; Francis et al., 1995; Hansen & Djurhuus, 1997; Stenberg et al., 1999) både vad gäller metoder och tidpunkter för bearbetning. Det kväveeffektiva systemet har innefattat åtgärder som senarelagd bearbetningen till sen höst eller vår, direktsådd av höstvetete, tidig sådd av såväl höst- som vårgrödor samt insådd av fånggröda i höstvetete. Studien har utförts i ett fältförsök med separat dränerade försöksrutor för provtagning av dräneringsvatten.

Material och Metoder

Försöksplats och försöksupplägg

Försöket i vilket projektet utförts ligger på en sandig mo på Mellby i Halland (lat. 56°29' N, long. 13°0' E, alt. 10 m) där matjorden utgörs av en måttligt mullhaltig lerig sandig grovmo (lerhalt 10,3 %) och alven av en sandig grovmo (lerhalt mindre än 5 %). På drygt 1 meters djup övergår alven i mellanlera av glacialt ursprung. En utförlig beskrivning av försöksplatsen finns gjord av Torstensson et al. (1992). Medeltemperaturen är 7.2 °C och årsmedelnederbörden 773 mm (data från Genevad, Alexandersson et al., 1991). Klimatdata från försöksperioden presenteras i figur 1. Försöksplanen presenteras i tabell 1.



Figur 1. Klimatdata för försöksplatsen på Mellby för växtföljdsomgång 1 (00/01-05/06) och växtföljdsomgång 2 (06/07-11/12). Klimatdata från LantMets väderstation på Mellby.

Försöket består av tre block med vardera två separat dränerade rutor om 30x30 meter (0,09 ha). Runt varje rutblock (3-4 rutor) finns under plogdjup en avskärande skyddsdränering 1,5 m utanför rutgränsen. Dikesdjupet är i medeltal 0,9 meter. Från respektive ruta leds vattnet i en tät ledning till en mät- och provtagningsstation som är belägen omedelbart utanför försöket. Den avrunna vattenkvantiteten från varje ruta mäts med dubbelsidiga vippkärl. Antalet vippningar räknas när halvorna växelvis fylls och töms. Vippslagen registreras elektroniskt med en automatisk datalogger som

ackumulerar och lagrar dygnsvis avrinning. Vattenprov tas ut automatiskt i proportion till vattenflödet i samlingsprov som motsvarar 1-2 veckors avrinning. Vattenproverna analyseras med avseende på totalkväve (SS-EN 12260-1, modifierad) vid avdelningen för vattenvårdslära vid SLU. Utlakningen (kg/ha) beräknas genom att det aktuella provets koncentrationer multipliceras med respektive dygnsavrinning under perioden mellan föregående prov och det nu aktuella.

Försöket har legat under två växtföljdsomgångar, alltså under 12 år. Tiden är angiven i hydrologiska år (1 juli – 31 juni). Tidpunkter för bearbetning och sådd i försöket redovisas i tabell 2.

Bestämning av mineralkväveinnehållet i markprofilen i skikten 0-30, 30-60 och 60-90 cm djup har gjorts vid ett flertal tillfällen under hösten samt vid ett tillfälle på våren. Intensiteten i markprovtagningen har varierat mellan åren bland annat beroende på aktuell gröda och bearbetning respektive år. Vidare har bestämning gjorts av totalinnehållet av kväve i ovanjordiska delar av huvudgröda samt fånggröda, spillsäd och ogräs under den första växtföljdsomgången (00/01-05/06). Räkning av antalet kvickrotsskott i försöket genomfördes i februari 2004 och i september 2005.

Avsteg från försöksplanen

Hösten 2006 genomfördes en glyfosatbekämpning på grund av problem med kvickrot i försöksrutorna. Detta innebar att stubbearbetningen innan plöjning i led A hösten 2006 uteblev samt att fånggrödan som skulle ha växt i led B under hösten och vintern avdödades vid behandlingen. Led A plöjdes i början av december då effekten av behandlingen var uppnådd.

Höstvetegrödan 2011/2012 utvintrade till stora delar i båda leden, framförallt i det konventionella systemet. Våren 2012 såddes därför försöket om genom direktsådd av vårmete i höstvetegrödan.

Tabell 1. Jordbearbetning respektive grödor i två olika jordbearbetningssystem i en sexårig växtföljd. Hydrologiska år, 1 juli – 31 juni

År	Gröda -skördeår	A. Konventionellt jordbearbetningssystem	B. Kväveeffektivt jordbearbetningssystem
99/00	Höstvete -00, (förfrukt våroljeväxter)	Plöjning genast efter skörd. Sådd av höstvete sent i sept -99.	Direktsådd av höstvete tidigt i sept -99. Insådd av engelskt rajgräs i höstsåden på våren -00.
00/01	Vårkorn med insådd -01	Tidig stubbearbetning -00. Sen höstplöjning. Sådd av huvudgröda och klöver/gräs-blandning vid normal såtid -01.	Fånggrödan växer under hösten. Vårplöjning med tiltpackare -01. Tidig sådd av huvudgröda och klöver/gräsblandning -01.
01/02	Gröngödsling ¹ -02	-	-
02/03	Höstvete -03	Brytning av vall i augusti. Sådd av höstvete sent i sept -02.	Brytning av vall samtidigt som i A. Sådd av höstvete efter en vecka. Insådd av engelskt rajgräs i höstsåden på våren-03.
03/04	Vårkorn med insådd -04	Tidig stubbearbetning -03. Sen höstplöjning. Sådd av huvudgröda och engelskt rajgräs vid normal såtid -04.	Fånggrödan växer under hösten -03. Vårplöjning med tiltpackare -04. Tidig sådd av huvudgröda och engelskt rajgräs -04.
04/05	Våroljeväxter -05	Sen höstplöjning -04.	Vårplöjning med tiltpackare -05.
05/06	Höstvete -06	Plöjning genast efter skörd -05. Sådd av höstvete sent i sept.	Direktsådd av höstvete tidigt i sept -05. Insådd av engelskt rajgräs i höstsåden på våren -06.
06/07	Vårkorn med insådd -07	Sen höstplöjning -06. Sådd av huvudgröda och klöver/gräsblandning vid normal såtid -07.	Fånggrödan växer under hösten -06. Vårplöjning med tiltpackare -07. Tidig sådd av huvudgröda och klöver/gräsblandning -07.
07/08	Gröngödsling ² -08	-	-
08/09	Höstvete-09	Brytning av vall i augusti. Sådd av höstvete sent i sept -08.	Brytning av vall samtidigt som i A. Sådd av höstvete efter en vecka. Insådd av engelskt rajgräs i höstsåden på våren-09.
09/10	Vårkorn med insådd -10	Tidig stubbearbetning -09. Sen höstplöjning. Sådd av huvudgröda och engelskt rajgräs vid normal såtid -10.	Fånggrödan växer under hösten -09. Vårplöjning med tiltpackare -10. Tidig sådd av huvudgröda och engelskt rajgräs -10.
10/11	Våroljeväxter -11	Sen höstplöjning -10.	Vårplöjning med tiltpackare -11.
11/12	Höstvete/Vårvete ³ -12	Plöjning genast efter skörd -11. Sådd av höstvete sent i sept.	Direktsådd av höstvete tidigt i sept -11. Insådd av engelskt rajgräs i höstsåden på våren -12.

¹ Baljväxtandelen i fröblandningen var 30 % och bestod av rödklöver.

² Baljväxtandelen i fröblandningen var 24 % och bestod av rödklöver 14% och vitklöver 10%.

³ Omsådd på våren med vårvete på grund av att höstvetet utvintrat.

Tabell 2. Tidpunkter för bearbetning och sådd i led A respektive B

Led A			Led B	
		Datum		Datum
1999/2000	Plöjning ,21 cm	990903	Direktsådd	990909
	Harvning	990921		
	Sådd	990921		
2000/2001	Stubbearbetning, 10 cm	000901	Plöjning	010404
	Plöjning, 21 cm	001114	Harvning	010404
	Sådd	010503	Sådd	010404
	Insådd	010503	Insådd	010503
2001/2002	Ingen bearbetning/sådd		Ingen bearbetning/sådd	
2002/2003	Plöjning, 23 cm	020820	Plöjning, 23 cm	020820
	Harvning	020930	Harvning	020829
	Sådd	020930	Sådd	020829
2003/2004	Stubbearbetning, kvick-up, 15 cm	030905	Stubbearbetning, 10 cm	040318
	Plöjning, 23 cm	031109	Harvning, kvick-up 10 cm	040402
	Harvning	040406	Plöjning, 26 cm	040402
	Harvning	040414	Harvning	040406
	Insådd	040415	Harvning	040414
			Insådd	040415
	Sådd	040415	Sådd	040415
2004/2005	Plöjning, 25 cm	041210	Plöjning, 20 cm	050412
	Harvning	050420	Harvning	050420
	Sådd	050420	Sådd	050420
2005/2006	Plöjning	050909	Direktsådd	050909
	Harvning	050928		
	Sådd	050928		
2006/2007	Plöjning, 21 cm	061207	Insådd	060511
	Harvning	070414	Plöjning, 23 cm	070322
	Sådd	070414	Harvning	070327
	Insådd	070414	Sådd	070327
			Insådd	070327
2007/2008	Ingen bearbetning/sådd		Ingen bearbetning/sådd	
2008/2009	Plöjning, 23 cm	080828	Plöjning, 23 cm	080828
	Harvning	080929	Harvning	080904
	Sådd	080929	Sådd	080904
2009/2010	Stubbearbetning, tallriksred 10 cm	090909	Plöjning	100506
	Plöjning, 23 cm	091102	Insådd	100506
	Harvning	100506	Harvning	100506
	Insådd	100506	Sådd	100506
	Sådd	100506		
2010/2011*	Plöjning, 20 cm	101119	Plöjning, 22 cm	110413
	Sådd	110504	Sådd	110504
2011/2012*	Plöjning	111011	Direktsådd	111004
	Sådd	111112		
	Direktsådd ¹	120420	Direktsådd ¹	120420

*Information om harvningsdatum saknas

¹ Omsådd med vårvete då höstvetet utvintrat.

Resultat och diskussion

Skördar

Växtföljdsomgång 1

Skörden av vårkorn 2001, höstraps 2003, vårkorn 2004 och höstvetete 2006 var större i det konventionella systemet (led A) medan vallskörden 2002 och oljeväxtskörden 2005 var större i det kväveeffektiva systemet (led B). Skillnaderna till det kväveeffektiva systemets fördel var emellertid aldrig signifikanta vilket skillnaderna till det konventionella systemets fördel var. I genomsnitt under växtföljdsperioden 00/01-05/06 var skörden i led B 20 % mindre än i led A vid lika gödsling. En trolig orsak var det högre ogrässtryck som rådde i led B, vilket i sin tur kan ha varit en följd delvis av att ledet vårplöjdes 2001 och 2004 medan led A höstplöjdes.

År 2003 var kvickrotten ett stort problem generellt i hela försöksområdet. Speciellt led B drabbades hårt. För att komma tillrätta med problemet bekämpades led A med glyfosat hösten 2003 medan led B, som inte kunde sprutas på grund av sin fånggröda harvades med en ”kwick-up-harv våren 2004. Effekten blev måttlig och skörden i led B påverkades negativt både 2003 och 2004. Räkning av antalet kvickrotsskott 2004 visade att led B hade mer än dubbelt så många skott som led A. Året därpå, 2005, blev dock skörden av vårkorn större i led B liksom den också blev år 1999 då samma åtgärder tillämpades i försöket som 2005. År 2006 orsakade kvickrotten återigen stora skördeminskningar i led B. En gradering på våren visade också ett glesare höstvetetebestånd i led B (90 %) än i led A (100 %). Kwickrotstrycket föranledde att hela försöket glyfosatbehandlades hösten 2006.

Växtföljdsomgång 2

Växtföljdsomgång 2 inleddes således med en ogräsbehandling av hela försöket. Resultatet blev bra och problemen med kvickrot var sedan under hela växtföljden betydligt mindre än under den första omgången. Skörden av vårkorn 2007 var i stort sett lika stor i båda leden. Höstvetetet som direktsåts 2008 etablerade sig bra och skörden av höstvetete blev, trots att en fånggröda såddes in på våren, större än i det system där konventionell höstsådd tillämpades (led A). Vetet 2012 (där vårvetete såddes in i höstvetetet på våren eftersom höstvetetet utvintrat) avkastade betydligt bättre i led B. I snitt över hela växtföljden gav led B 14% större skörd än led A.

Hela försöksperioden

I snitt över båda växtföljdsomgångarna gav led B 5% mindre skörd än led A. Skörden av vårkorn var genomgående mindre i led B medan resultatet för de övriga grödorna varierad. Under den första växtföljdsomgången resulterade direktsådd av höstvetete med insådd på våren i en minskning av skörden jämfört med konventionell etablering utan fånggröda. Under omgång två var dock förhållandet det omvända. Försöket ”tjuvstartade” redan år 99/00 och även det året föll direktsådd och insådd på våren väl ut med 6 % större höstveteskörd än det konventionella ledet.

Tabell 3. Skörd (kg ha⁻¹ vid 15 % vattenhalt) i försök R2-8407 i växtföljdsomgång 1 och 2 samt i medeltal av de två (gröngödslingsgrödan år 2002 och 2008 är inte medräknad i medelavkastningen). Led A: Konventionell bearbetning, Led B: Kväveeffektiv bearbetning

	Vårkorn	Gröng.vall ¹	Hvete	Vårkorn	Vårraps	Höstvetete ²	Medel- avkastning
Omgång 1	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
A	5030	2100	4370	4840	2460	5747	4489
B	4920	2270	2880	4690	2660	2677	3565
Signi- fikans	*		**	n.s.	n.s.	*	
	(LSD 100)		(LSD 640)	(LSD 410)	(LSD 440)	(LSD 100)	
Omgång 2	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
A	4070	1352	5660	5440	640	2950	3752
B	4050	1329	5960	5220	630	5590	4290
Signi- fikans	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	**	
	(LSD 190)		(LSD 1020)	LSD (1260)	(LSD 710)	(LSD 690)	
Medel av 1 och 2	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5	År 6	
A	4550	1726	5015	5140	1550	4349	4121
B	4485	1800	4420	4955	1645	4134	3928
Signi- fikans							

¹ Angett i kg torrsbstans.

² År 2012 ersattes höstvetet av en vårvetegröda då höstvetet till stora delar utvintrade i båda leden.

Kväveupptag i grödor och ogräs

Under den första växtföljdsomgången mättes kväveupptag i grödor. I tabell 4 och 5 visas kväveinnehållet i ovanjordiskt växtmaterial, huvudgröda såväl som i växtmaterial klippt under hösten. Genomsnittligt kväveupptag i huvudgrödan var större i det konventionella systemet, led A, än i det kväveeffektiva systemet, led B. Det var upptaget i kärna som skilde mellan leden medan upptaget i halm var ungefär lika stort. År 2006 var upptaget i halmen betydligt högre i led B än i led A beroende på en högre kvävehalt. Även 2007 var kvävehalten tydligt högre i led B än i led A. Eventuellt kan detta tyda på att det funnits mer växttillgängligt kväve i led B än i led A under senare delen av växtsäsongen då inlagringen i kärnan avstannat, en effekt av att bearbetningsstrategier och fånggrödor bidragit till en högre och mer kontinuerlig mineralisering av markkväve. Mot detta talar att de uppmätta mineralkvävemängderna i marken efter skörd hösten 2006 var lägre i led B än i led A. För 2007 stämmer teorin bättre då led B hade större mängd mineralkväve. För diskussion kring resultatet 2008 se avsnittet ”Mineralkväve i marken”.

Tabell 4. Kväveinnehåll i klippta växtdelar (kg N ha⁻¹); huvudgröda vid skörd samt producerat ovanjordiskt växtmaterial under hösten efter skörd i konventionellt system (A) och kväveeffektivt system (B). Innehållet i ogräs och fånggröda (2000, 2003 och 2004), vallinsådd (2001) respektive höstvede (2002 och 2005) anges för samtliga klippningstillfällen under hösten

År, huvudgröda /växtdel	2000		2001		2002		2003		2004		2005	
	Höstvede	Vårkorn	Gröng.vall	Höstvede	Vårkorn	Vårkorn	Vårkorn	Vårkorn	Vårkorn	Vårkorn	Vårkorn	Vårkorn
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Kärna	83.1	88.5	59,4	61,5			83.1	50.3	63.9	67.5	76.6	84.9
Halm	17.6	24.6	10,8	10,0			17.0	28.5	31.8	28.6	38.9	31.7
Stubb	6.9	14.7	4.7	6.2			21.5	17.8	8.3	6.5	30	19
Totalt i huvudgröda	107.6	127.8	74.8	77.7	52.0	50.3	121.6	96.6	104.0	102.6	68.5	51.0
Efter skörd ¹	1.3	3.5	12.4	5.6					12.1	12.1	3.5	7.8
Höst 1 ²					1.7	26.6 ⁴		28.9			2.4	12.0
Höst 2 ³	8.9	18.2	44.8	31.7	2.5	43.1 ⁴		23.6			5.8	19.1

¹ 30/8 år 2000, 20/8 år 2001, 2/9 2004 och 30/8 2005.

² 20/11 år 2002, 4/11 2003, 20/10 2005.

³ 8/11 år 2000, 30/10 år 2001, 4/12 år 2002, 3/12 år 2003, 10/11 2005.

⁴ Höstvedebeståndet var frodigt, men här ingår troligen även en del kvickrot.

Tabell 5. Kväveinnehåll (kg N ha⁻¹) i huvudgröda vid skörd de år som analys gjorts samt i höstvetegrödan sen höst 2008 i konventionellt system (A) och kväveeffektivt system (B)

År, huvudgröda /växtdel	2006		2007		2008		2009		2010	
	Höstvete		vårkorn		Gröng.vall				Vårkorn	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Kärna	93,8	43,4	59,2	66,7			79,3	79,6	80,4	80,4
Halm	24,3	41,4	41,0	63,1			12,7	13,3	13,0	19,7
Stubb	8,1	6,1	4,8	6,9						
<u>Totalt i huvudgröda</u>	<u>126,2</u>	<u>90,9</u>	<u>105,0</u>	<u>136,7</u>	<u>29,8</u>	<u>26,3</u>				
Sen höst (3/12)					<u>13,9</u>	<u>10,6</u>				

Utlakning av kväve

Året 06/07 hade vi problem med en haltande strömförsörjning i den mätstation som registrerar flödet i dräneringssystemet och dygnsvisa avrinningsmängder från ett närliggande försök fick användas för att räkna fram utlakade mängder. Detta innebär att resultaten från 06/07 innehåller en viss osäkerhet. Nitratkoncentrationerna i dräneringsvattnet redovisas i figur 2 och 3. Nitratutlakningen i kg per hektar för respektive år i växtföljden visas för respektive växtföljdsomgång i figur 4 (genomsnittliga värden för de två omgångarna visas på rapportens framsida). Utlakningens fördelning över året redovisas i genomsnitt för hela försöksperioden i figur 5. Månatlig utlakning för respektive år redovisas i bilaga 1.

För nio av tolv år var nitratkoncentrationerna i dräneringsvattnet (figur 2 och 3) högre i det konventionella systemet (led A) än i det kväveeffektiva (led B) under större delen av året. Skillnaden mellan leden var som mest markant under sen höst och tidig vinter. Ofta var skillnaderna små i början av hösten och likaså fram emot våren.

I genomsnitt ägde huvuddelen av utlakningen i båda leden rum under perioden november till februari och det var också under dessa månader som de två systemen skilde sig åt som mest (bilaga 1). Vad gäller utlakningsmönstret under året följde systemen varandra ganska väl (bilaga 1 och figur 5).

Växtföljdsomgång 1

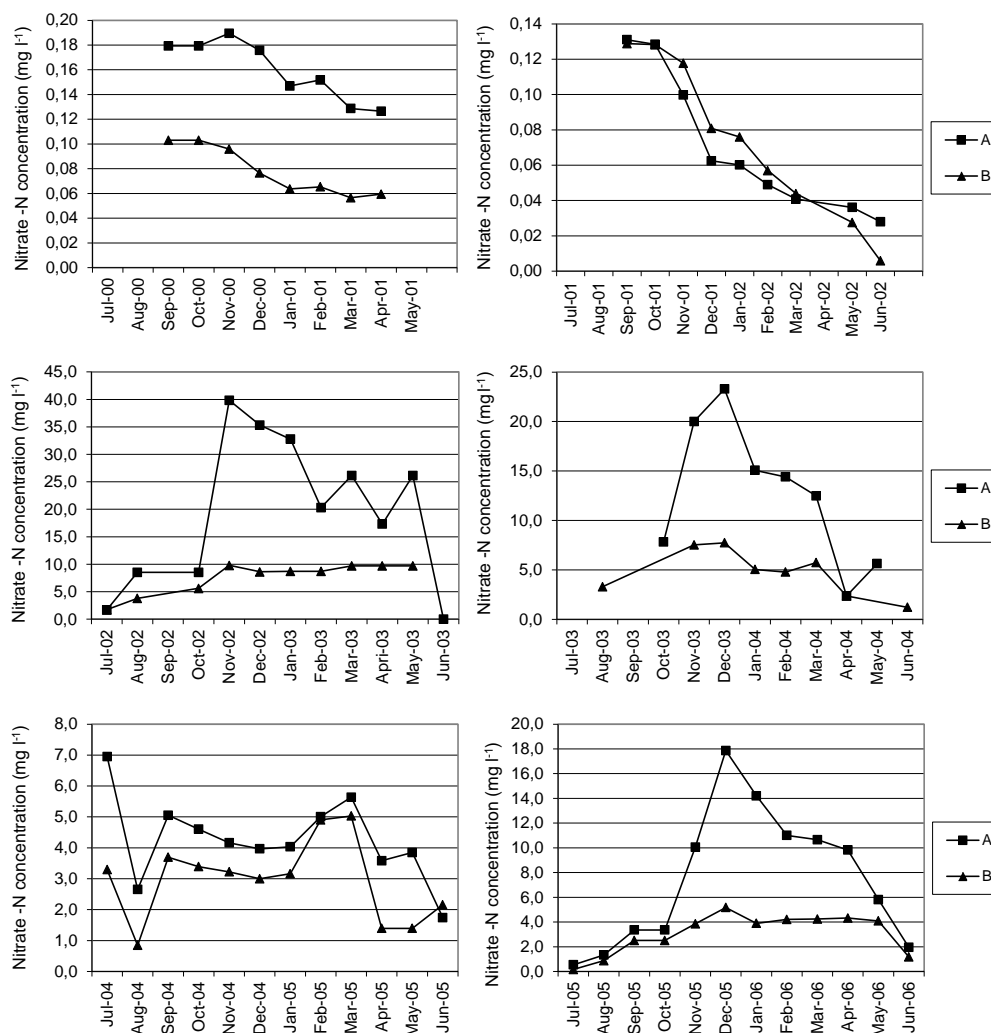
Under fem av de sex åren var läckaget lägre i led B och totalt under växtföljden, 00/01 – 05/06, läckte 97 kg mindre från detta system än från led A. Under fyra av åren var läckaget i led B mindre än hälften av det i led A. Skillnaden mellan systemen var tydlig de två år i växtföljden då korn etablerats efter höstvetete (00/01 och 03/04). Den mindre utlakningen i led B (ca 20 kg/hektar) var troligen en effekt av den fånggröda som såddes in i höstvetetet samt att ledet vår- istället för höstplöjdes. Störst var skillnaden mellan leden (36 kg/ha året 02/03) efter brytning av grüngödslingsvall då led B såddes med höstvetete direkt efter vallbrottet medan led A fick ligga orört en månad mellan bearbetning och sådd. Året 01/02, då den insådda grüngödslingsvallen växte och brukningsmetoderna inte skilde mellan systemen var dock läckaget något större (4 kg/hektar) i det kväveeffektiva systemet än i det konventionella. Troligtvis orsakades det av kväve som mineraliserats från föregående års fånggröda (insådd i höstvetete) som plöjdes ner våren 2001 i led B. Direktsådden av höstvetete efter oljevaxter hösten 2005 minskade läckaget med drygt 13 kg jämfört med plöjning vid samma tidpunkt och sådd knappt två veckor senare.

Växtföljdsomgång 2

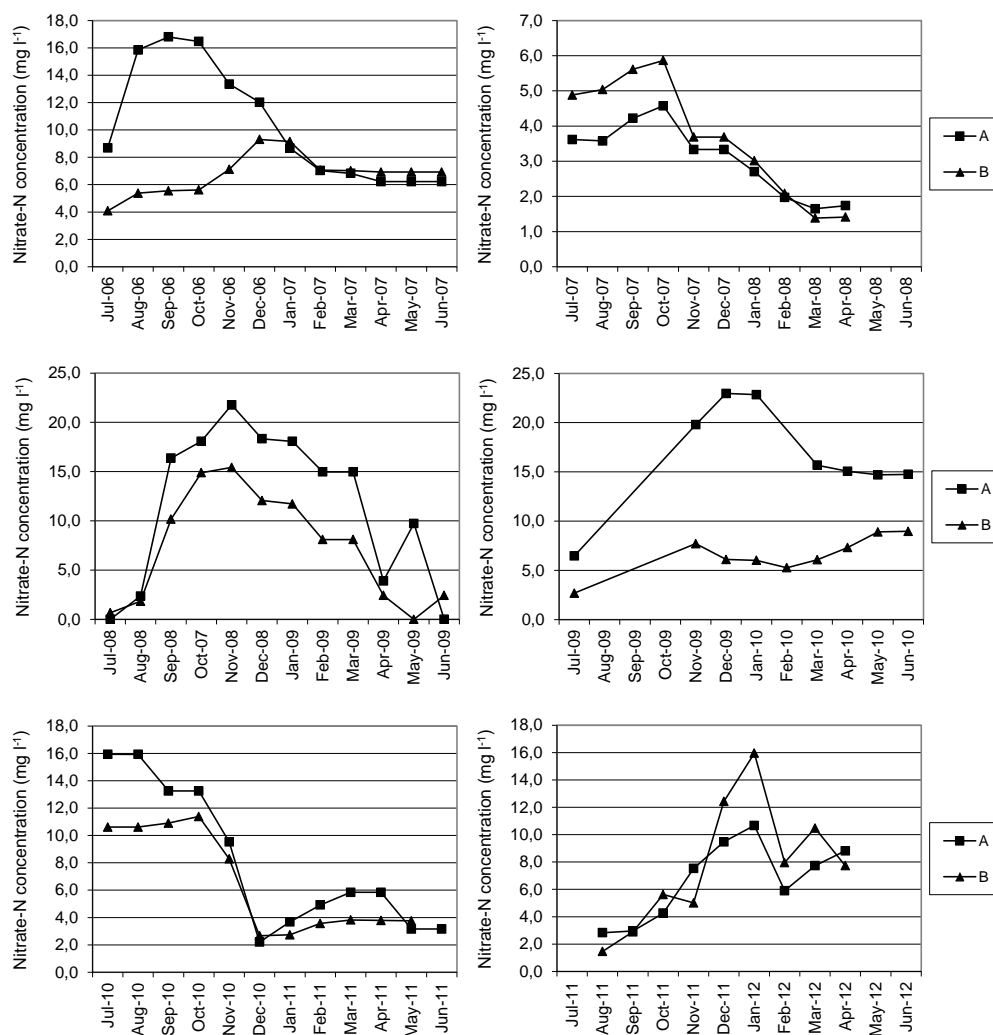
Resultaten från den andra växtföljdsomgångens mätningar av nitratutlakningen stämde överlag relativt väl med de från den första omgången. I likhet med den tidigare omgången blev utlakningen efter skörd av höstvetete (06/07) lägre i led B än i led A (åtgärder fånggröda i höstvetetet och vårplöjning). Skillnaden var något mindre, 15 kg, jämfört med de tidigare 20. Under 07/08, vilket motsvarade år 01/02, var nitratläckaget ca 4 kg/hektar högre i led B än i led A och även denna gång kunde det hänföras till nerplöjningen av fånggröda i led B föregående vår (våren 2007). Den tidigare sådden av höstvetete i led B efter vallbrottet i augusti 2008 resulterade återigen i reducerat läckage (08/09). Skillnaden mellan leden var dock inte lika stor som 02/03. Ett betydligt lägre kvickrotstryck med lägre upptag i framförallt led B är en trolig förklaring. Även 09/10 gav åtgärderna fånggröda insådd i höstvetetet och vårplöjning en utlakningsminskning motsvarande den i den första växtföljdsomgången. Också i likhet med den tidigare omgången var effekten av att bryta fånggrödan på våren i stället för på hösten måttlig (år 10/11). Den största avvikelserna kom år 11/12 med större förluster (ca 10 kg/hektar) i led B (åtgärd direktsådd och tidigare sådd av höstvetete) istället för det omvända. Detta var oväntat. Visserligen utvintrade höstvetetet detta år men då utvintringen var kraftigare i led A än i led B tycks detta inte vara förklaring till de avvikande resultaten för utlakningen.

Hela försöksperioden

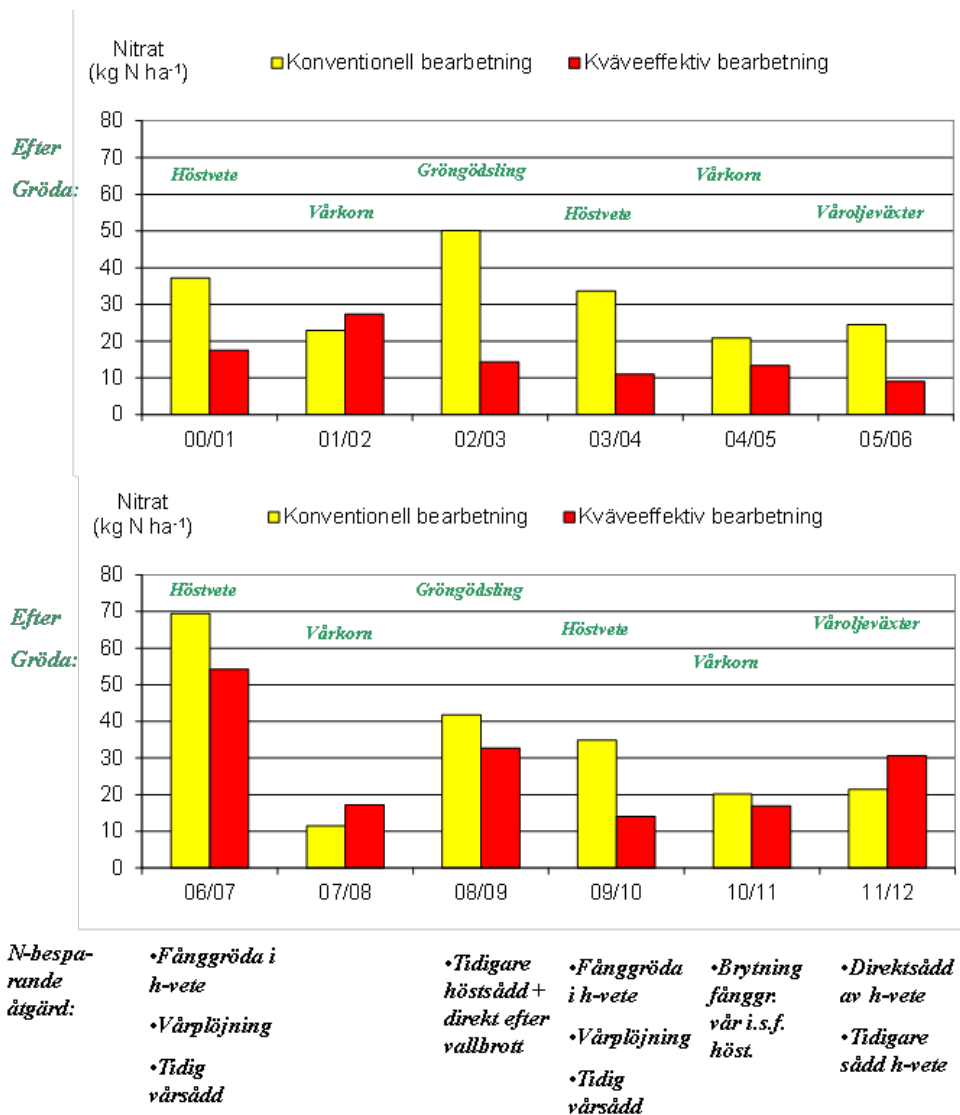
Med undantag för det sista året (11/12) överensstämde utlakningsmönstret för de olika åtgärderna under de två växtföljdsomgångarna. Generellt var skillnaderna i utlakning mellan systemen större under den första växtföljdsomgången än under den andra. En reduktion av utlakningen i det kväveeffektiva systemet med 50% under den första omgången motsvaras av en ungefärlig minskning med 18% under den andra. Räkningar bort år 11/12 (då grödan utvintrade) blir minskningen 24%. Det kan vara årsmånseffekter men det finns anledning att tro att systemet börjat leverera tillbaka en del av tidigare inlagrat kväve.



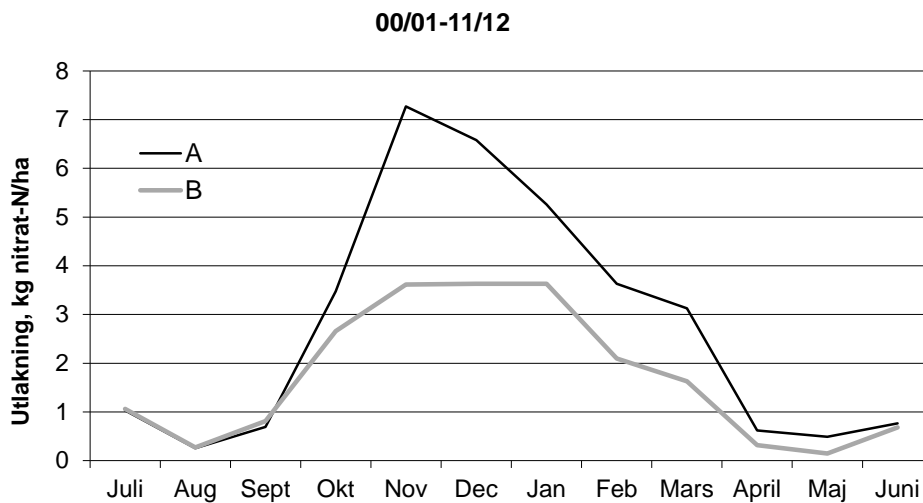
Figur 2. Nitratkoncentrationer (mg l^{-1}) i dräneringsvattnet under de hydrologiska åren 00/01-05/06. Månader utan mätvärde saknade avrinning. Observera att skalorna på y-axeln varierar. Led A: Konventionell bearbetning, Led B: Kväveeffektiv bearbetning.



Figur 3. Nitratkoncentrationer (mg l^{-1}) i dräneringsvattnet under de hydrologiska åren 00/01-05/06. Månader utan mätvärde saknade avrinning. Observera att skalorna på y-axeln varierar mellan åren. Led A: Konventionell bearbetning, Led B: Kväveeffektiv bearbetning.



Figur 4. Nitratutlakning från dränerade rutor i R2-8407 i ett led med konventionell bearbetning och ett med kväveeffektiv bearbetning under växtföljdsomgång 1t (hydrologiska år 00/01 – 05/06) och växtföljdsomgång 2 (hydrologiska år 06/07 – 11/12). Ovanför staplarna anges vilka grödor som växte vid respektive års start (hydrologiskt år =1 juli – 30 juni) och under diagrammet anges vilka extra kvävebesparande åtgärder som vidtogs i det kväveeffektiva systemet för att minska utlakningen under respektive utlakningsperiod.



Figur 5. Kväveutlakningens (kg ha^{-1}) fördelning över året i genomsnitt över hela försöksperioden (00/01-11/12) i. Led A: Konventionell bearbetning, Led B: Kväveeffektiv bearbetning.

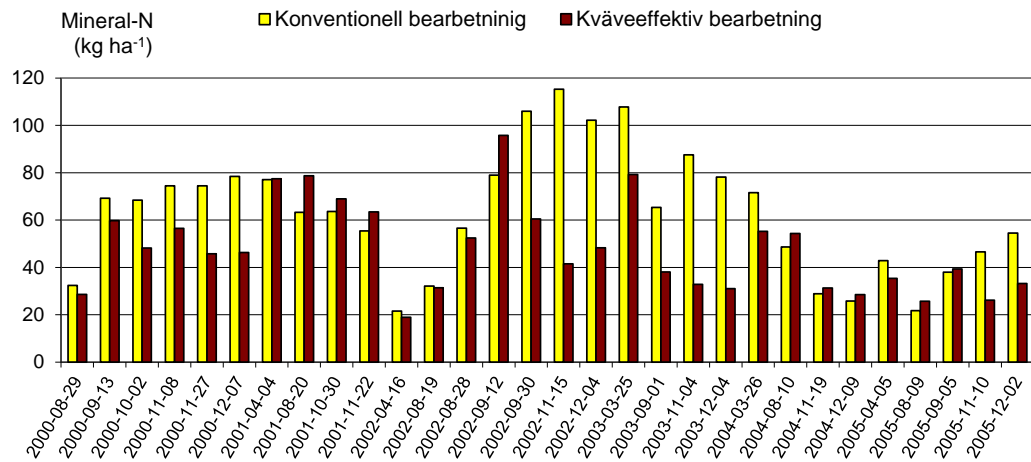
Mineralkväve i marken

Att de två bearbetningssystemen skilde sig åt i fråga om nitratutlakning kan hänföras till skillnader i mineralkväveinnehåll i marken under höst och vinter (figur 6 och 7). Bearbetningssystemen hade stor inverkan på kvävemängderna i marken. De åtgärder som vidtogs minskade mineraliseringen och bidrog samtidigt till att skjuta den några månader framåt i tiden vilket gjorde det mineraliserade kvävet mindre utsatt för läckage.

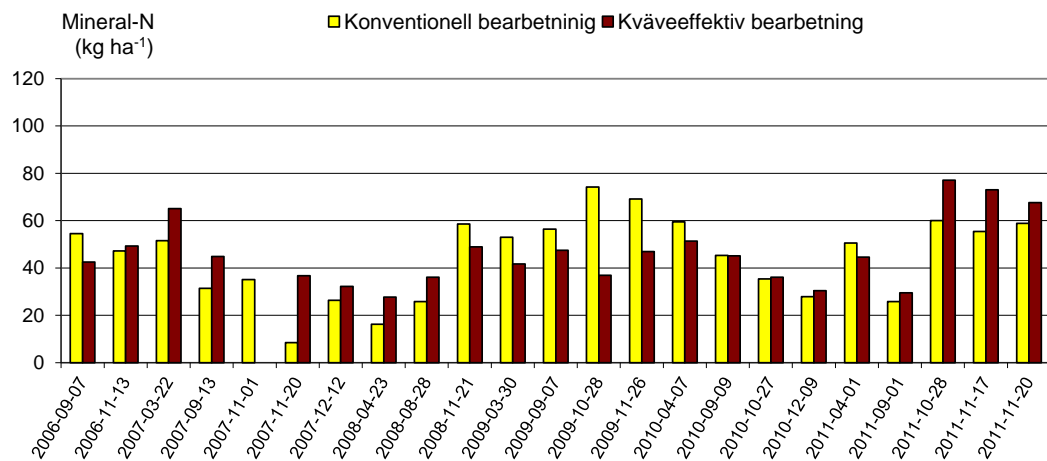
Innehållet av mineralkväve i profilen, ner till 90 cm djup, var betydligt lägre i det system där kväveeffektiv bearbetning utförts (led B) än i det som brukats konventionellt (Led A). Under hösten 2002 var skillnaden så stor som 60 kg per hektar och skillnaden i läckage under det hydrologiska året 02/03 var då hela 36 kg nitrat-N per hektar. Den extremt stora skillnaden i markkväve och också kväveutlakning efter vallbrottet 2002 går att hänföra till det högre växtupptaget under hösten, 40 kg mer i ovanjordiskt material per hektar i led B än i led A. Detta i sin tur var en följd dels av att höstvetet såddes tidigare och således hunnit växa till sig bättre, dels av att ledet innehöll en större mängd kvickrot. Under den månad som gick mellan plöjning och sådd i led A kan en hel del kväve ha hunnit mineraliseras och nått nedanför den nivå där höstveteterterna hinner få fatt på det under hösten. Att marken innehöll så pass mycket som 70 kg mer mineralkväve i led A i november och december tyder också på att markstrukturen kan ha gynnat mineraliseringen av

växtresterna i led A. Det blir mycket luckert efter plöjning av vall på Mellby (Gunnar Torstensson, pers. med). I led B återpackades dock marken direkt vid såbäddsberedningen medan den i led A var fortsatt luckert i en månad.

Vid en jämförelse mellan de två växtföljdsomgångarna ser man att de följde varandra väl framför allt under de första åren. Hösten 2002 var dock skillnaderna mellan systemen betydligt större än hösten 2008. I den första



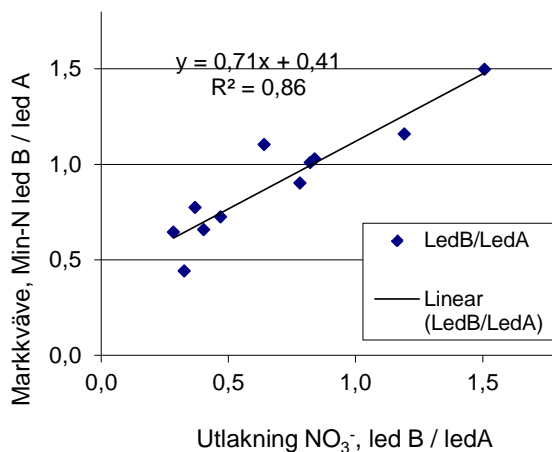
Figur 6. Mineralkväve i marken, 0-90 cm, i konventionellt och kväveeffektivt system under den första växtföljdsomgången.



Figur 7. Mineralkväve i marken, 0-90 cm, i konventionellt och kväveeffektivt system under den andra växtföljdsomgången.

omgången såg den tidigare sådden av höstvetete efter vallbrottet ut att minska kvävemängderna med runt 60 kg mineralkväve per hektar. Under hösten 2008 var provtagningstillfällena få, men de som var visar på mycket små skillnader mellan systemen. Kväveinnehållet i den nerplöjda vallen var ungefär detsamma i båda leden såväl 2002 som 2008 (tabell 4). Däremot var det stor skillnad i hur mycket kväve som togs upp i gröda plus ogräs under hösten efter vallbrottet. Ovanjordisk grönmassa innehöll tre och 43 kg per hektar i konventionellt respektive kväveeffektivt led i december 2002 (tabell 4) medan motsvarande siffror i december 2008 enbart var 11 och 14 kg per hektar (tabell 5) - en skillnad i differens mellan leden på 37 kg per hektar. Denna skillnad är en trolig förklaring till mineralkväveresultaten. Den kan följaktligen också förklara skillnaden i utlakning mellan de två växtföljdsomgångarna.

Att förhållandet mellan leden vad gäller markkväveinnehåll överensstämmer bra med förhållandet vad gäller uppmätt kväveutlakning syns i figur 8. Resultaten från markprovtagningen har således gett ett stabilt mått ($R^2=0,86$) på risken för läckage i de två systemen relativt varandra. Lutningen på linjen är 0,71. Att den är under noll visar att en förändring i förhållandet mellan leden i markkväve inte riktigt ger en lika stor förändring vad gäller utlakning. År med låg avrinning var det generellt större skillnad mellan leden än år med hög avrinning vilket kan bero på att kvävet som mineraliserats under år med låg avrinning finns kvar i markprofilen i större utsträckning än om avrinningen är hög.



Figur 8. Det relativa mineralkväveinnehållet i markprofilen i led B jämfört med led A (genomsnittlig uppmätt mineralkvävemängd i profilen under året) i förhållande till den relativa årsutlakningen i led B jämfört med led A under perioden 00/01 – 10/11.

Nettomineralisering

I tabell 6 visas beräknad nettomineralisering av kväve i de båda systemen under höst (augusti till och med oktober) och vinter (november till och med mars). År 04/05 saknas på grund av att en provtagning av grödan hösten det året uteblev. Mineraliseringen är beräknad utifrån innehåll av mineralkväve i marken, totalkväve i ovanjordisk gröda och utlakning vid början och slut av respektive period. Observera att angivna utlakningssiffror enbart gäller NO₃-N och att det verkliga läckaget av kväve därför är större. Detta gör också att beräkningarna av nettomineraliseringen blir något felaktiga då inte hela läckaget kommer med. Den beräknade mineraliseringen var generellt lägre under hösten i led B än i led A. Däremot var nettomineraliseringen lika hög eller högre i led B under vintern/våren. Detta kan ha berott på en fördröjd mineralisering på grund av senare utförd bearbetning. Det kan också ha skett en viss mineralisering av fånggrödematerial under vårvintern de år led B hade fånggröda men inte led A (de två åren med höstvet). Även mineraliseringen under växtsäsongen var likvärdig i de båda systemen. De åtgärder som vidtogs i led B bidrog till att skjuta mineraliseringen några månader framåt i tiden.

Tabell 6. Nettomineralisering (kg N ha⁻¹) under höst¹ (från skörd t.o.m. oktober) och under vintern² (november–mars) i konventionellt respektive kväveeffektivt system

Period	A: Konventionellt	B: Kväveeffektivt
Höst 2000	57,2	52,5
Vinter 2000/2001	34,5	34,5
Höst+vinter 2000/2001	91,7	87,0
Höst 2001	51,1	33,2
Vinter 2001/2002	-22,3	-27,8
Höst+vinter 2001/2002	28,8	5,4
Höst 2002 ³	73,7	66,6
Vinter 2002/2003 ³	23,9	35,5
Höst+vinter 2002/2003 ³	97,6	102,1
Höst 2003	22,2	18,9
Vinter 2003/2004	17,5	33,4
Höst+vinter 2003/2004	39,7	52,3
Höst 2005	28,7	17,9

1. Innehåll av mineralkväve i marken i början av nov. + utlakning sep. och okt. - mineralkväve i marken i slutet av aug. + grödupptag under hösten (upptaget i rötter är beräknat utifrån uppmätt innehåll i ovanjordiskt material och antagandet att 1/3 av det totala innehållet finns i rötterna. 2. Innehåll av mineralkväve i marken på våren + utlakning fr.o.m. no. t.o.m. mars - mineralkväve i marken i början av nov. 3. Inkluderade hösten sep.-nov. istället för sep. –okt. som en anpassning till datum för grödprovtagningen. Vintern inkluderade följaktligen dec. t.o.m. mars.

Kvävebalanser och nyckeltal

Kvävebalansen i försökets två system under växtföljdsomgång 1 visas i tabell 7. Som tillförsel räknas handelsgödselkväve och som bortförsel kväve i kärna och kväve i dräneringsvattnet. Kvävgaserna från denitrifikation samt ammoniakavgång bortses ifrån här. De torde dock inte röra sig om några större mängder på denna lätta jord, och påverkar troligtvis inte den relativa skillnaden mellan systemen nämnvärt. Överskottet efter att bortförsel i kärna dragits av från gödseltillförseln var större i led B än i led A på grund av de lägre skördarna där. Överskottet efter att även utlakningen dragits var däremot större i led B. Överskottet för hela växtföljden blev då 80 kg i led B medan led A fick ett underskott på ca 40 kg. I underskottet kan ingå kväve fixerat av grön gödslingsvallens klöver samt kväve frigjort från markens organiska material. I led B ser det istället ut som om en uppbyggnad av mullhalten har skett.

Tabell 7. Fältbalans för kväve (kg N ha^{-1}) för respektive år samt för en hel växtföljd. Led A: konventionellt bearbetningssystem, Led B: kväveeffektivt bearbetningssystem. IN: tillfört kväve i gödning, $UT_{\text{kärna}}$: bortfört kväve i kärnskörd, $UT_{\text{utlakning}}$: bortfört kväve med utlakning, BALANS1: $IN - UT_{\text{kärna}}$, BALANS 2: $IN - UT_{\text{kärna}} - UT_{\text{utlakning}}$

	IN Gödning	UT (kärna)	BALANS 1	UT (Utlakning)	BALANS 2
Led A					
2000/2001	108	83	25	37	-12
2001/2002	91	63	28	23	5
2002/2003	0	0	0	50	-50
2003/2004	121	83	38	34	4
2004/2005	90	64	26	21	5
2005/2006	111	77	34	25	9
00/01–05/06	521	370	151	190	-39
Led B					
2000/2001	108	89	19	18	1
2001/2002	91	58	33	27	6
2002/2003	0	0	0	14	-14
2003/2004	121	50	71	11	60
2004/2005	90	68	23	13	10
2005/2006	111	84	27	9	18
00/01–05/06	521	349	172	92	80

Räknar man ut hur mycket kväve som läckte i förhållande till mängd producerad spannmål under en växtföljd så blir det 8,3 kg N per ton spannmål i led A, och 4,3 kg i led B.

Övergripande diskussion

De påtagliga skillnaderna i hur mycket mineralkväve som ansamlades i marken under hösten liksom hur mycket kväve som utlakades visar att kväveomsättningen såg mycket olika ut i de två systemen. Detta bekräftas också av beräkningarna av nettomineraliseringens storlek som visade på en generellt lägre nettomineralisering i det kväveeffektiva systemet, led B, än i det konventionella systemet, led A. De åtgärder som vidtogs i led B bidrog även till att skjuta mineraliseringen några månader framåt i tiden vilket gjorde det mineraliserade kvävet mindre utsatt för läckage. Detta syns även i mönstret för mineralkvävedynamiken i marken då led B låg med en liten förskjutning mot vårvintern.

Vid en jämförelse av utlakningsminskningen i led B respektive år med vad som togs upp i grönmassa under hösten (fånggröda, ogräs) i de olika systemen ser man att en stor del av det minskade läckaget skulle kunna förklaras av ett större upptag av N i växtlighet. Beräkningarna av nettomineraliseringens storlek tyder emellertid på att denna faktiskt påverkades av de olika åtgärderna och att därför även skillnader i nettomineralisering var en bidragande orsak till utlakningsminskningen. Dessa jämförelser och beräkningar försvåras dock av det antagande som måste göras om storleken på kväveinnehållet i rötterna.

Man skulle kunna tänka sig att de kraftigt reducerade skördarna i led B år 2003 och 2006 skulle innebära stora mängder restkväve efter skörd som sedan också skulle påverka i utlakningen. Det verkar dock som om den rajgräsfånggröda som såddes in i höstvetet på våren kunde ta hand om eventuellt restkväve under hösten och inga tydligt förhöjda nitratkoncentrationer eller makkvävemängder i led B uppmättes.

Detta har varit ett systemförsök, vilket innebär vissa svårigheter att klargöra hur kväveomsättningen egentligen sett ut och hur mycket varje enskild åtgärd bidragit till utlakningsminskningen. En specifik åtgärd kan ge effekt på utlakningen inte bara ett utan flera år fram i tiden. Gör man ändå ett försök att kvantifiera effekten av respektive åtgärd genom att titta enbart på effekterna under ett påföljande år ser det ut så här: Insådd av fånggröda i höstvetet följt av vårplöjning minskade utlakningen med 15-23 kg nitratkväve per hektar och tidigare sådd av höstvetet efter vallbrott minskade den med 9-36 kg per

hektar. Att bryta fånggröda vår istället för höst gav en minskning på 3-7 kg per hektar. Tidig direktsådd av höstvetete efter oljevaxter minskade utlakningen med 15 kg ett år medan det ökade den med 9 kg ett år (det år då höstvetete utvintrade). Störst effekt av åtgärderna hade således sådd av höstvetete direkt efter vallbrott istället för en månad efter vallbrott följt av insådd av fånggröda på våren i höstvetete. Det ser alltså ut som om det finns möjligheter att minska kväveutlakningen inom höstveteteodlingen. Det är dock tydligt utifrån markprovtagningen att fånggrödan som såddes in i höstvetete bidrog till en något ökad mineralisering hösten efter att den brukats ner. Det visade sig i en högre utlakning i led B än i led A år 01/02 och 07/08 och kan också vara en förklaring till att vi inte fick så stort utslag av att bruka ner fånggröda på våren istället för på hösten (04/05 och 10/11).

Att mönstret vad gäller utlakning och mineralkväve till stora delar överensstämde mellan de två växtföljdsomgångarna (även om de två systemen låg närmre varandra under den andra omgången) gör resultaten stabila. Att den stora skillnaden mellan växtföljdsomgångarna i hur väl åtgärderna slog ut under vallbrotsåren (ca 35 kg reduktion av nitratutlakningen år 02/03 och 10 kg år 08/09) till stor del kunde förklaras med ett betydligt större kväveupptag i kvickrot under den första omgången visar på ogräsens stora effekt i sammanhanget.

Resultaten från projektet visar att det är möjligt att spara kväve genom en hel växtföljd, utan större skördeminskningar, genom att anpassa metoderna för jordbearbetning till växtföljden. Utlakningen av kväve under den första växtföljdsomgången var endast hälften så stort i det kväveeffektiva systemet och även kväveläckaget per producerad mängd spannmål var nästan halverat. Här bör dock sägas att en del av de åtgärder som behandlas i denna studie redan i viss mån tillämpas, framförallt gäller det nerbrukning av fånggröda på våren istället för på hösten. Skördeminskningen var måttlig (5%) sett över två växtföljder. Trots detta bör man tänka sig för innan man tillämpar system med alltför stort inslag av vårbearbetning. Den stora positiva effekten på utlakningen i detta försök var trots allt i vissa delar en effekt av att kvickroten fick möjlighet att växa till under höstarna.

Att skillnaden mellan de båda systemen var märkbart mindre under den andra växtföljdsomgången än under den första kan vara årsmånseffekter eller enbart resultat av ett mindre kväveupptag i ogräs. Med tanke på de stora skillnaderna i fältbalansen mellan systemen finns dock anledning att tro att det kväveeffektiva systemet börjat leverera tillbaks en del av tidigare inlagrat kväve. Man frågar sig då vilken effekt som skulle kvarstå på längre sikt. Oförändrat stora positiva effekter av de kvävebesparande odlingsåtgärder som står till buds idag kan kanske inte förväntas vid alltför frekvent

användning. Försöket visar att det finns en mycket stor potential att påverka odlingssystemet i positiv riktning vad gäller kväveutlakning men också att det innebär en stor utmaning och förmodligen kräver en del nya innovativa lösningar för att lyckas hela vägen.

Tillkännagivanden

Ett varmt tack till alla som hjälpt till med att ta fram de resultat som presenterats i denna rapport: Erik Ekre och Magnus Håkansson med medarbetare på Hushållningssällskapet i Halland som ansvarat för det praktiska genomförandet och provtagning på försöksplatsen; Rose-Marie Aspeljung och Allan Larsson vid Avdelningen för växtnäring, SLU, som analyserat växt- och jordprover; personalen vid Avdelningen för biogeofysik och vattenvård vid SLU som analyserat vattenprover och Gunnar Torstensson vid Avdelningen för biogeofysik och vattenvård, SLU, som ansvarat för dräneringssystemet och tekniken kring uppsamlandet och provtagningen av dräneringsvattnet samt varit behjälplig i arbetet med sammanställningen av dessa dräneringsdata.

Litteratur

- Adu, J.K., Oades, J.M. 1978. Physical factors influencing decomposition of organic materials in soil aggregates. *Soil Biol. Biochem.* 10, 109-115.
- Alexandersson, H., Karlström, C., Larsson-McCann, S. 1991. Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-90. Referensnormaler (Temperature and precipitation in Sweden 1961-90. Reference normals.). SMHI. Meteorologi no. 81. Norrköping.
- Francis, G.S., Haynes, R.J., Williams, P.H. 1995. Effects of the timing of ploughing in temporary leguminous pastures and two winter cover crops on nitrogen mineralization, nitrate leaching and spring wheat growth. *J. Agricultural Sci.* 124, 1-9.
- Hansen, E.M., Djurhuus, J. 1997. Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil Tillage Res.* 41, 203-219.
- 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 Res.* 50:115-125.
- Torstensson, G., Gustafson, A., Lindén, B., Skyggesson, G. 1992. Mineralkvävedynamik och växtnäringensutlakning på en grovmojord med handels- och stallgödslade odlingssystem I södra Halland. *Ekohydrologi* nr 28. Avdelningen för vattenvård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Gunnar Torstensson, muntligt meddelande 2007. Institutionen för mark och miljö, SLU, Uppsala.

Bilagor

Bilaga 1. Månadsvis utlakning av nitrat (kg N ha⁻¹) i de två bearbetningssystemen under de hydrologiska åren 00/01 till 11/12 samt genomsnittlig månatlig utlakning för respektive växtföljdsomgång. Led A: Konventionell bearbetning, Led B: Kväveeffektiv bearbetning

	00/01		01/02		02/03		03/04		04/05		05/06		Medel	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Juli	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	2,5	0,0	0,0	4,9	2,3	0,0	0,0	1,2	0,8
Aug	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	0,1	0,1
Sept	0,0	0,0	2,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,3	0,0	0,0	0,4	0,6
Okt	3,8	2,6	0,3	0,8	0,4	0,6	0,0	0,0	2,7	1,7	0,5	0,3	1,3	1,0
Nov	4,7	3,4	1,7	2,4	23,9	5,5	3,6	0,9	2,5	1,7	3,8	1,4	6,7	2,6
Dec	11,9	5,0	0,6	0,9	0,3	0,0	13,2	4,2	2,2	1,2	6,6	2,0	5,8	2,2
Jan	6,3	1,8	8,7	9,5	15,1	3,9	0,6	0,4	3,6	2,3	2,7	0,8	6,1	3,1
Feb	8,7	3,2	7,7	8,4	0,0	0,0	16,1	5,3	0,6	0,6	0,8	0,5	5,7	3,0
Mars	0,2	0,3	1,0	1,1	2,9	0,6	0,0	0,0	3,7	3,1	5,1	1,9	2,2	1,2
April	1,5	1,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	1,7	1,0	0,5
Maj	0,0	0,0	0,2	0,4	5,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,3
Juni	0,0	0,0	0,7	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
S:a	37,2	17,4	22,9	27,3	50,1	14,3	33,6	11,0	20,8	13,3	24,5	9,0	31,5	15,4
	06/07		07/08		08/09		09/10		10/11		11/12		Medel	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Juli	0,0	0,0	5,0	7,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,6
Aug	0,0	0,0	0,9	1,6	0,1	0,1	0,0	0,0	1,5	1,0	0,0	0,0	0,4	0,4
Sept	0,1	0,0	1,4	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	3,5	2,0	1,9	1,2	1,3
Okt	6,6	2,3	0,2	0,3	19,0	16,8	0,0	0,0	4,7	4,0	0,6	1,0	5,2	4,1
Nov	14,4	7,7	0,3	0,4	11,6	8,3	9,1	4,0	4,3	4,0	0,0	0,1	6,6	4,1
Dec	23,5	18,2	1,4	1,7	6,9	5,1	5,7	1,6	0,0	0,1	7,8	9,3	7,5	6,0
Jan	14,8	15,6	1,4	1,8	2,5	1,6	0,1	0,0	2,2	2,2	6,7	9,9	4,6	5,2
Feb	2,5	2,5	0,3	0,5	0,8	0,4	0,0	0,0	2,5	1,7	1,0	1,4	1,2	1,1
Mars	4,0	4,1	0,5	0,8	1,0	0,5	15,2	5,3	0,7	0,2	1,8	2,2	3,9	2,2
April	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,5	0,3	0,3	0,5	0,2	0,2
Maj	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Juni	3,3	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	1,3
S:a	69,4	54,2	11,4	17,2	41,8	32,7	34,8	14,0	20,1	16,9	20,2	26,3	32,9	26,9

Bilaga 2. Mineralkväve (nitratkväve + ammoniumkväve) (kg ha⁻¹) i skikten 0-30, 30-60 och 60-90 cm djup i försök R2-8407 på Mellby i Halland

Datum	Led A: Konventionellt				Led B: Kväveeffektivt			
	Skikt				Skikt			
	0-30	30-60	60-90	0-90	0-30	30-60	60-90	0-90
1997-04-07	28,1	13,3	15,9	57,3	28,3	16,3	17,7	62,3
1997-05-27	23,7	14,4	15,4	53,6	24,8	15,5	15,5	55,8
1997-08-15	9,4	1,8	7,8	19,0	10,3	3,0	3,4	16,7
1997-11-18	23,9	6,0	10,3	40,2	33,2	7,7	8,6	49,6
1998-03-30	28,4	12,1	12,8	53,3	32,1	10,0	13,4	55,5
1998-08-04	9,1	0,7	9,8	19,6	10,0	1,5	9,5	20,9
1998-11-02	19,4	3,2	6,2	28,8				
1999-03-30	25,4	12,5	13,4	51,3	31,1	13,5	13,0	57,7
1999-09-02	22,9	4,9	5,0	32,8	33,9	4,7	5,2	43,8
1999-11-16	24,8	17,2	14,9	56,9	22,0	15,2	14,6	51,9
2000-03-30	28,2	5,5	7,0	40,7	26,7	6,3	6,5	39,5
2000-08-29	23,6	4,7	4,1	32,4	21,2	4,2	3,3	28,6
2000-09-13	47,5	14,1	7,6	69,2	39,8	12,5	7,5	59,8
2000-10-02	46,4	15,1	6,8	68,4	32,5	10,2	5,5	48,2
2000-11-08	32,2	16,4	25,9	74,4	33,2	7,4	15,9	56,5
2000-11-27	35,1	12,3	27,1	74,5	31,0	4,0	10,8	45,8
2000-12-07	39,0	16,1	23,3	78,4	30,4	6,2	9,7	46,3
2001-04-04	31,1	20,4	16,1	77,1	46,0	18,4	13,0	77,4
2001-08-20	32,0	11,2	12,8	63,3	58,4	12,4	7,9	78,7
2001-10-30	30,1	9,7	14,5	63,6	38,1	20,6	10,2	68,9
2001-11-22	29,9	7,2	9,4	55,4	37,8	11,0	14,7	63,4
2002-04-16	14,2	3,1	4,0	21,6	11,6	2,5	4,8	18,9
2002-08-19	23,7	5,8	2,5	32,1	23,8	4,4	3,2	31,4
2002-08-28	45,2	8,0	3,4	56,6	43,8	5,2	3,5	52,4
2002-09-12	64,9	11,2	2,8	78,9	80,9	11,1	3,8	95,8
2002-09-30	88,6	11,5	5,9	106,0	47,5	8,0	5,0	60,5
2002-11-15	31,7	57,0	26,5	115,3	24,7	9,9	6,8	41,5
2002-12-04	23,0	18,0	61,2	102,2	32,6	6,5	9,2	48,3
2003-03-25	36,2	29,8	41,8	107,8	47,4	21,9	10,0	79,3
2003-09-01	30,9	10,2	24,3	65,4	27,6	5,2	5,3	38,1
2003-11-04	41,1	22,9	23,6	87,6	20,6	7,1	5,1	32,8
2003-12-04	20,7	16,5	41,0	78,2	20,8	3,3	6,9	31,0
2004-03-26	32,1	19,8	19,7	71,6	33,5	13,4	8,4	55,2
2004-08-10	34,3	5,8	8,6	48,7	40,6	9,2	4,6	54,3
2004-11-19	18,2	5,2	5,5	28,9	22,0	4,6	4,7	31,3
2004-12-09	18,8	3,5	3,5	25,8	22,2	3,3	3,1	28,5
2005-04-05	25,3	9,6	7,9	42,8	20,9	6,9	7,6	35,4
2005-08-09	13,4	4,2	4,1	21,7	19,2	3,3	3,2	25,7
2005-09-05	27,2	6,2	4,6	38,0	29,7	6,1	3,5	39,3
2005-11-10	20,3	14,2	12,1	46,5	15,4	5,2	5,6	26,2
2005-12-02	22,2	12,9	19,4	54,5	24,3	3,5	5,4	33,2

Bilaga 2. Forts

<i>Datum</i>	<i>Led A: Konventionellt</i>				<i>Led B: Kväveeffektivt</i>			
	Skikt				Skikt			
	0-30	30-60	60-90	0-90	0-30	30-60	60-90	0-90
2006-09-07	24,7	15,4	14,4	54,5	28,1	8,5	5,9	42,5
2006-11-13	18,8	10,2	18,2	47,2	26,5	12,5	10,2	49,2
2007-03-22	24,6	16,0	10,9	51,5	28,0	22,8	14,3	65,1
2007-09-13	18,6	6,5	6,3	31,4	23,9	11,3	9,7	44,9
2007-11-01	30,8	8,5	13,4	35,1				
2007-11-20	16,6	1,2	1,7	8,5	21,7	4,6	10,5	36,7
2007-12-12	18,2	8,7	15,9	26,4	21,6	3,2	7,3	32,2
2008-04-23	30,3	7,5	3,0	16,2	18,9	6,5	2,3	27,7
2008-08-28	20,7	3,0	2,1	25,8	29,4	4,7	2,0	36,1
2008-11-21	26,1	12,5	20,0	58,5	26,9	5,9	16,0	48,9
2009-03-30	21,0	15,3	16,6	52,9	24,9	9,2	7,6	41,7
2009-09-07	26,2	16,9	13,3	56,4	26,0	14,6	6,9	47,5
2009-10-28	34,0	24,8	15,3	74,2	20,4	10,1	6,4	36,9
2009-11-26	22,6	18,3	28,2	69,1	31,7	8,1	7,1	46,9
2010-04-07	23,4	18,8	17,2	59,4	29,7	12,8	8,9	51,4
2010-09-09	22,4	8,8	14,2	45,3	24,0	11,0	10,1	45,1
2010-10-27	14,5	7,7	13,2	35,4	20,6	6,2	9,4	36,1
2010-12-09	18,7	4,8	4,3	27,9	22,9	3,1	4,4	30,4
2011-04-01	29,8	12,9	7,9	50,5	33,5	6,9	4,1	44,5
2011-09-01	18,1	3,8	3,9	25,8	21,0	5,0	3,5	29,5
2011-10-28	37,0	14,5	8,5	60,0	41,2	23,6	12,3	77,1
2011-11-17	34,5	13,5	7,5	55,4	42,4	20,1	10,5	73,0
2012-11-20	23,0	19,1	16,8	58,9	24,2	20,6	22,8	67,6