

Utlakningsförsök med vintergrön mark 1993-2017

*Helena Aronsson, Lisbet Norberg, Maria Blomberg och Gunnar
Torstensson*



Titel: Utlakningsförsök med vintergrön mark 1993-2017

Författare: Helena Aronsson, Lisbet Norberg, Maria Blomberg, Gunnar Torstensson

Kontakt: Helena.Aronsson@slu.se, 018 – 67 24 66

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2018

Omslagsbild: Utlakningsförsöket på Lönnstorp, foto: Ryan Davidson

Serietitel: Ekohydrologi

Delnummer i serien: 151

ISSN: 0347-9307

ISRN: SLU-VV-EKOHYD-151-SE

Elektronisk publicering: <http://pub.epsilon.slu.se>

Bibliografisk referens: Aronsson, H., Norberg, L., Blomberg, M. och Torstensson, G. 2018. Utlakningsförsök med vintergrön mark 1993-2017. Ekohydrologi 151, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Förord

Denna rapport är en sammanställning av resultat från projektet ”Utlakningsförsök för långsiktig kontroll av odlingssystem med vintergrön mark”. Projektet pågick under 1993-2017 vid Institutionen för mark och miljö, SLU, och drevs med medel från Jordbruksverket, med basfinansiering inom SLUs (NJ-fakulteten) program för långliggande försök. Försöken ligger kvar inom detta program.

Författarna riktar ett tack till Jordbruksverket och SLU som gjort det möjligt att driva projektet under så lång tid. Ett tack också till alla de som bidragit med praktiskt arbete på försöksstationerna vid Lanna och Lönnstorp och Hushållningssällskapet i Halland, till laboratorierna på Institutionerna för mark och miljö respektive vatten och miljö och till forskare i projektet. Ett särskilt tack till Arne Gustafson, Tomas Rydberg och Börje Lindén vid Institutionen för mark och miljö som var initiativtagare och de första projektledarna.

Författarna

Uppsala 2018-02-25

Innehåll

1 Bakgrund	3
2 Försöksplatserna, metodik och datalagring	3
3 Resultat	5
3.1 Jordartens betydelse	5
3.2 Olika typer av vintergrön mark	6
3.3 Insådda fånggrödor; arter, gödsling och tidpunkt för plöjning	7
3.3.1 Mellby 2010-2017	8
3.3.2 Fotegården 2007-2017	11
3.4 Fånggrödor och kolinlagring	14
3.5 Långsiktiga effekter av stallgödsel och fånggrödor	15
3.6 Fånggrödor och skadegörare	16
3.7 Eftersådda fånggrödor på Lönnstorp 2012-2017	17
3.8 Energigrödor på Lönnstorp 2008-2011	20
3.9 Reducerad jordbearbetning på Lanna 2009-2017	21
3.10 Långliggande ogödslade vallträdor på Mellby och Lanna	27
4 Referenser	29

1 Bakgrund

I början av 1990-talet var behovet stort av att öka kunskapen om odlingsåtgärders påverkan på läckaget av växtnäring från jordbruksmark, för att kunna ta fram åtgärdsprogram som kunde införas i regelverk, stödsystem och rådgivning. Projektet ”Utlakningsförsök för långsiktig kontroll av odlingsystem med vintergrön mark” pågick under 1993-2017 vid Institutionen för mark och miljö, SLU, och initierades med medel från Jordbruksverket. Det övergripande målet med projektet var att öka kunskapen om långsiktigt hållbara odlingsåtgärder för minskat läckage av kväve och fosfor. Begreppet hållbart inbegrep såväl odlings säkerhet och avkastningsnivå som miljömässiga aspekter. Med utgångspunkten i ett klimat som långsamt förändras är långsiktiga studier centrala, och försöken kom så småningom att få en basfinansiering genom SLUs (NJ-fakultetens) program för långliggande försök. Olika typer av fånggrödor och annan vintergrön mark har varit bärande frågeställningar tillsammans med stallgödseltillförsel samt olika typer och tidpunkter för jordbearbetning.

Projektet har bidragit väsentligt till att klargöra hur naturgivna förutsättningar i kombination med olika grödor och andra odlingsåtgärder påverkar växtnäringsläckaget, och resultaten har publicerats genom såväl svenska rapporter, vetenskapliga uppsatser och doktorsavhandlingar. Resultaten har varit ett stöd vid utformning av regelverk inom EU:s nitratdirektiv, för miljöersättningar inom landsbygdsprogrammet och för Greppa Näringens verksamhet. Ett exempel är utlakningsmodellen i Jordbruksverkets rådgivningsprogram VERA, där försök på de olika jordarna utgjort en viktig grund. Ett annat exempel på användningen av försöksdatamaterialet är för kalibrering av modeller i de nationella belastningsberäkningarna om görs för Sveriges åkermarker.

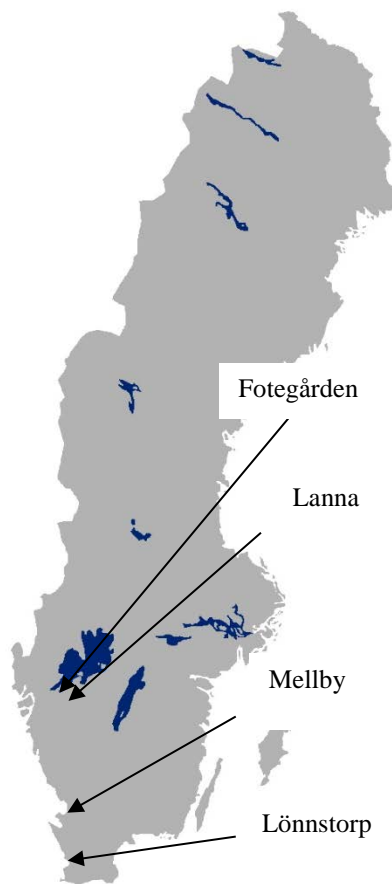
Här ger vi en kort resumé av de viktigaste resultaten som framkommit i projektet sedan start och vi fokuserar särskilt på senare års resultat. Resultat presenteras under temen för frågeställningar under årens gång, med hänvisning till publicerat material.

2 Försöksplatserna, metodik och datalagring

Fyra försöksplatser ingick i projektet, där tre av dem sedan tidigare hade försöksrutor för utlakningsmätningar. De fyra försöksplatserna representerar olika klimat och olika jordar. Projektmedlen från Jordbruksverket upphörde 2018, men försöksplatserna upprätthålls med grundplaner och vattenprovtagning inom SLU:s program för långliggande försök.

Alla försöksplatserna är konstruerade med rutvisa dräneringssystem för utlakningsmätningar. Det avrinnande vattnet mättes kontinuerligt med vippkärl eller i V-överfall. På alla platser utom Fotegården registrerades avrinningen från varje ruta, men på Fotegården samlades vattnet från alla rutor i en brunn med V-överfall. Avrinningen registrerades i alla försök med datalogger som också styrde uttagningen av flödesproportionella samlingsprov på vattnet var fjortonde dag. Hela analysprogrammet omfattade nitratkväve, totalkväve, kalium, fosfatfosfor och totalfosfor, med viss variation över åren och mellan platser. Kvävedynamiken i marken följdes genom mineralkväveprofiler till 60 eller 90 cm djup. Tillväxt och kväveinnehåll i höstväxande fånggrödor och ogräs bestämdes genom klippning av växtprover och analys. Under vissa perioder bestämdes också nettomineraliseringen av kväve genom mätningar i ogödslade rutor. Skörden bestämdes rutvis med analys av kväve, fosfor och kalium. Analys av vatten, växter och jord har utförts vid SLU (Institutionerna för mark och miljö, samt vatten och miljö). Odlingsåtgärder protokollfördes och lagras tillsammans med analysdata i databaser som finns tillgängliga på för forskningsprojekt. Arkivprover av grödor och jord finns också lagrade.

Försöksplatserna i projektet "Utlakningsförsök för långsiktig kontroll av odlingsystem med vintergrön mark"



Vid Mellby försöksfält på en mojord i Halland, anlades de första rutorna med utlakningsmätning 1983. Vissa av rutorna inom projektet har haft samma behandling sedan dess. Studierna inriktades på odling av fånggrödor som redskap att minska utlakningen i odlingsystem med flytgödseltillförsel. Försöket sköts av Hushållningssällskapet i Halland.

Försöket vid Fotegården på mojord i Västergötland anlades som en parallell till Mellbyförsöket. Studierna omfattade olika bearbetningstidpunkter med och utan fånggrödor, och under de första åren ingick också flytgödsel.

Försöket vid Lanna försöksstation ligger på styv lera, och här har studier gjorts av fånggrödor med kvävestegar, direktsådd, höstveteväxtföljd, och på senare år av reducerad jordbearbetning. Det finns också en vallträda sedan 1993. Utlakningsförsöket har en historia sedan 1970-talet då kvävegödslingens inverkan på utlakningen studerades. Lanna försöksstation (SLU) sköter försöken vid Lanna och Fotegården.

Försöket vid Lönnstorps försöksstation ligger på moränlättilera. Där har sydsvenska växtföljder med vintergrön mark studerats, mm. Under senare år har fokus legat på eftersådda fånggrödor. Försöket sköts av SLUs försöksstation.



Lönnstorps försöksfält (foto Erik Rasmusson), vippkärl i mätstation vid Mellby (foto Gunnar Torstensson)

Tabell 1. Försöksupplägg genom åren på de olika försöksplatserna med nyckelreferenser för resultat. Utvalda resultat sammanfattas i denna rapport sedan projektets start 1993, med fokus på senare års resultat

	Lanna, 7 rutor, styv lera (40-60% ler)	Nyckelreferenser
1993-1999	Jordbearbetningssystem och fånggrödor	Lindén m.fl. (2006)
2000-2006	Höstveteväxtföljd med olika jordbearbetningstidpunkter	Aronsson m.fl. (2006), Aronsson & Stenberg (2010)
2007-2008	Grön- och stubbträda	Aronsson m.fl. (2009a)
2009-2017	Konventionell jordbearbetning (3 rutor) Reducerad jordbearbetning (3 rutor) Vallträda sedan 1993 (1 ruta)	Aronsson m.fl. (2006)
Fotegården, 8 rutor, mojord (7% ler)		
1993-2006	Tidpunkt för jordbearbetning, fånggrödor och flytgödsel	Lindén m.fl.(1999), Aronsson, m.fl. (2003)
2007-2017	Höstplöjning (2 rutor) Vårplöjning (3 rutor) Vårplöjning med fånggröda (3 rutor)	Aronsson m.fl. (2016)
Lönstorp, 10 rutor, moränlättilera (23% ler)		
1993-2007	Två växtföljder (5 rutor vardera) med 80% vintergrön mark, inkl höstgrödor, sockerbetor och träda	Aronsson & Torstensson (2003), Aronsson m.fl. (2009b)
2008-2010	Hampa (2 rutor) Energibetor (2 rutor) Majs (2 rutor) Höstvete med fånggröda 2 rutor)	Aronsson m.fl. (2012b)
2012-2017	Fånggröda 1 (3 rutor) Fånggröda 2 (3 rutor) Utan fånggröda (3 rutor)	Aronsson, m. fl. (2015)
Mellby, 14 rutor, mojord (6% ler)		
1993-2006	Tidpunkt för jordbearbetning, fånggrödor, tidpunkt och givor för flytgödsel	Aronsson m.fl. (2003)
2007-2009	Efterverkansstudier av tidigare behandlingar	Aronsson & Torstensson (2009)
2010-2017	Höstplöjning med handelsgödsel (3 rutor) Vårplöjning med fånggröda och handelsgödsel (3 rutor) Höstplöjning med svinflytgödsel (3 rutor) Vårplöjning med fånggröda och svinflytgödsel (3 rutor) Höstplöjning utan gödsling sedan 1983 (1 ruta) Vårplöjning med fånggröda och utan gödsling, sedan 1983 (1 ruta)	Aronsson m.fl. (2016)
2007-2017	Vallträda (2 rutor) inom annat långliggande försök	

3 Resultat

Projektet har under 25 år bidragit på olika sätt till kunskapsutvecklingen, där fånggrödor och annan vintergrön mark har varit i fokus tillsammans med stallgödseltillförsel och olika typer och tidpunkter för jordbearbetning, tabell 1. I genomgången nedan sammanfattas resultaten under teman, där viktiga slutsatser sedan tidigare lyfts fram och även nya resultat presenteras.

3.1 Jordartens betydelse

Att jordarten har stor betydelse för kväve- och fosforläckaget har tydligt framgått under åren, och därmed också att effekten av olika odlingsåtgärder varierar. Mojordarna vid Fotegården och Mellby är läckagebenägna för kväve och odlingsåtgärder som minskar anhopningen av mineralkväve under hösten är viktiga för att minska läckaget. Jordbearbetning, mängd växtrester, höstväxande gröda och stallgödseltillförsel är viktiga faktorer, visade det sig i de första rapporterna i projektet Hessel Tjell m.fl.,

1999; Lindén m.fl., 1999; Aronsson m.fl., 2003). Även lättleran vid Lönnstorp reagerar på liknande vis som mojordarna i projektet (Hessel Tjell m.fl., 1998; Aronsson & Torstensson, 2003; Aronsson m.fl., 2009a). För den styva leran vid Lanna finns inte samma tydliga koppling mellan tidpunkten för jordbearbetning på hösten och kväveläckage som på mojordarna och moränlättileran. Mineralkväve som anhopas i marken, t ex efter en tidig höstbearbetning, utlakas inte i samma utsträckning, utan finns i större utsträckning kvar i marken över vintern eller verkar förloras genom denitrifikation. Däremot har anpassning av gödselgivan visat sig minska kväveläckaget på Lanna, och ökat fosforläckage har uppstått efter förrådsgödslingar med fosfor (Aronsson m.fl., 2006; Lindén m.fl., 2006; Aronsson & Stenberg, 2010). På Lanna finns flödesvägar för vatten i sprickor och porer i marken som ger snabb transport av fosfor genom marken. Lannajorden skiljer sig från de andra jordarna i projektet, särskilt mojordarna, som effektivt binder fosfor i alven. På Lanna uppträdde t ex förhöjda fosforkoncentrationer i dräneringsvattnet efter nedbrukning av gröenträda (Aronsson m.fl., 2009b, Ulén m.fl., 2005), och även fånggrödor visade sig påverka risken för fosforförluster (Aronsson m.fl., 2016), vilket verifierats ytterligare i denna rapport på två av platserna.

- ✓ Ler- och mojord visar stora skillnader vad gäller läckage av kväve och fosfor

3.2 Olika typer av vintergrön mark

I början av 1990-talet infördes regeln om att 50-60% av jordbruksarealen i Götaland skulle hållas bevuxen under hösten, s.k. vintergrön mark. Samtidigt hade intresset för fånggrödor ökat, och studier hade påbörjats i Mellbyförsöket med rågfånggröda efter potatis och insådda gräsfånggrödor. Försöksplatsen Fotegården kom till för att representera ett annat klimat. Det pågick bland annat diskussioner om hur effektivt höstsäd och höstoljeväxter minskade kväveläckaget, med tanke på att jordbearbetning och såbäddsberedning på hösten i sig ökar läckagerisken. Detta undersöktes i Lönnstorförsöket där växtföljder med ordinarie höstgrödor, insådda fånggrödor och trädor ingick, liksom sockerbetor, med och utan skörd av blasten. (Aronsson & Torstensson, 2003; Aronsson m.fl., 2009a).



Några slutsatser från försöket på Lönnstorp under 1993-2003:

- ✓ Höstsädens förmåga att minska läckaget är begränsad, men beror av tidpunkten för sådd
- ✓ Senarelagd jordbearbetning på hösten och insådd fånggröda minskar kväveläckaget effektivt
- ✓ Höstraps fungerar bra som vintergrön mark
- ✓ Bortförsel av betblast minskar kväveläckaget med upp till 20%

Foto: Helena Aronsson

Dessa resultat konfirmerades av studierna vid Mellby och Fotegården i projektet, och också av andra studier. I en sammanställning av Aronsson & Johnsson (2017) sattes olika typer av vintergrön mark i relation till varandra, baserat på olika svenska studier i utlakningsförsök, tabell 2.

Tabell 2. Relativ utlakning av kväve från olika typer av höst- och vinterbevuxen mark i förhållande till referenstillståndet "jordbearbetning i augusti-september efter stråsåd", ur Aronsson & Johnsson (2017). Referenserna markerade * härrör till projektet som redovisas i denna rapport

Höstvegetation	Relativ kväveutlakning	Litteratur-referens
Stråsåd med plöjning efter skörd, ingen höstgröda	1	1, 3, 9
Stubb lämnas obearbetad fram till sen höst	0,9	1, 2, 3
Stubb lämnas obearbetad över vintern	0,75	3
Höstsåd	0,9-1	1, 2, 4
Höstoljeväxt	0,6-0,9	2, 5
Insådd fånggröda eller vallinsådd	0,4-0,5	2, 6, 7, 12
Insådd fånggröda, höstplöjd	0,5-0,7	2, 9
Eftersådd fånggröda	0,6-1	10, 11
Vall	0,4-0,5	6, 7, 8
Socketbetor	0,75-1	2

1)Aronsson & Stenberg (2010)*, 2)Aronsson & Torstensson (2003)*, 3) Stenberg m.fl. (1999), 4) Lindén m.fl. (2000), 5) Engström m.fl. (2011), 6) Torstensson (2003a), 7) Torstensson & Magnusson (2001), 8) Torstensson (2003b) 9) Aronsson m.fl. (2003)*, 10) Torstensson m.fl. (2011a), 11) Torstensson m.fl. (2011b), 12) Hessel Tjell m.fl.(1999)*

3.3 Insådda fånggrödor; arter, gödsling och tidpunkt för plöjning

I alla fyra försöken har insådda gräsfånggrödor funnits med under årens lopp, som en mycket viktig frågeställning. Resultaten har publicerats i många sammanhang, från doktorsavhandlingar (Torstensson, 1998; Aronsson, 2000; Liu, 2013) till lättillgängliga broschyrer (Henriksson m.fl., 2016) och rådgivningsverket VERA (Aronsson & Torstensson, 2004). De har också utgjort grund för miljöersättningarna för fånggrödor och vårplöjning. I Aronsson m.fl. (2016) redovisades resultaten från de fyra försöken i en sammanställning som satte fånggrödan som koncept i ett nordiskt perspektiv. Fånggrödan är en av de åtgärder som visat effekt i form av minskad kväveutlakningen på nationell nivå i Sverige och i Danmark.

Engelskt rajgräs, rödsvingel och rödklöver är arter av insådda fånggrödor som använts i de fyra försöken. På Mellby och Fotegården har flytgödsel ingått i försöksplaner i kombination med fånggrödor (Hessel Tjell m.fl., 1999; Lindén m.fl., 1999). Vid Lanna kombinerades fånggrödor med kvävegödslingsstegar under en period (Lindén m.fl., 2006). Också olika tidpunkter för nedbrukning av fånggröda och betydelsen av tidpunkten för jordbearbetning i sig har utforskats (Aronsson m.fl., 2003). Några sammanfattande punkter kring detta viktiga och stora ämne är:

- ✓ Insådd rajgräsfånggröda svarar på ökad kvävetillgång genom ökad tillväxt
- ✓ Rajgräs är effektivare som fånggröda än rödsvingel
- ✓ På lätta jordar ger vårplöjning av fånggröda säkrast effekt på läckaget
- ✓ Senarelagd jordbearbetning på hösten minskar kväveläckaget på mojordarna och moränlätteren, men inte på den styva leran
- ✓ Fånggrödan minskar kvickrotsförekomsten jämfört med stubbräda under hösten
- ✓ Nedbrukning eller annan avdödning av fånggröda ger en snabb nettomineralisering, men man kan inte räkna med en betydande förfruktseffekt av insådda gräsfånggrödor



Till vänster insädd fånggröda av engelskt rajgräs och till höger av rödsvingel (Mellby)

Resultat från svenska försök om jordbearbetningens inverkan på kvävemineralisering och kväveutlakning, både vad gäller tidpunkt och jordbearbetningstyper finns i en doktorsavhandling av Åsa Myrbeck (2014). Olika tidpunkter för avdödning av fånggröda på hösten, med och utan glyfosatbehandling studerades i andra utlakningsförsök i Halland och Västergötland (Aronsson m.fl., 2011). Fånggrödans effekt på kvickrotsförekomst och strategier för att utnyttja fånggrödans konkurrens för kontroll av kvickrot har särskilt studerats i ett doktorandarbete av Björn Ringselle (2015).

3.3.1 Mellby 2010-2017

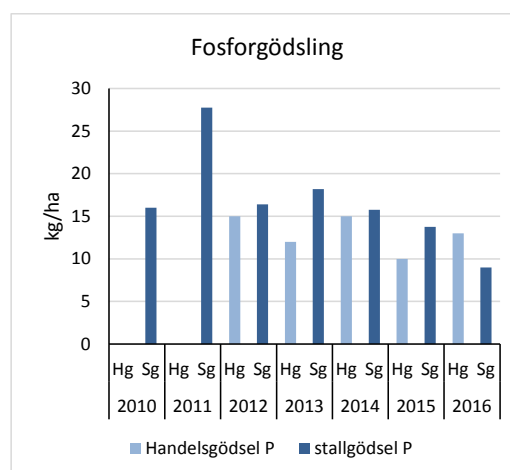
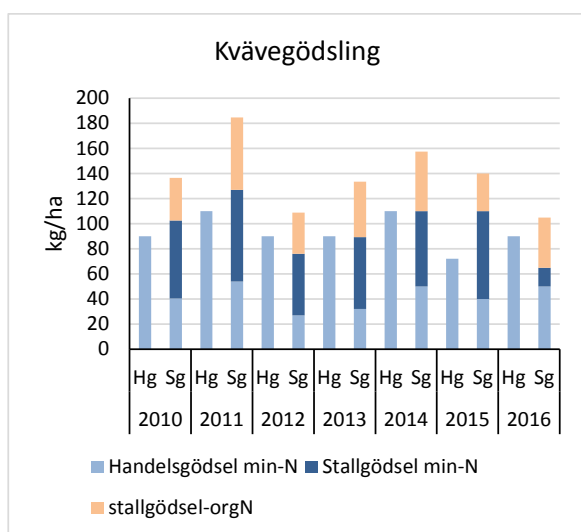
I Mellbyförsöket gjordes under 2010, efter några år med efterverkansstudier av fånggrödor och stallgödsel, en viss omläggning av försöksplanen. Mark som stubbearbetas och plöjs på hösten jämförs med mark med insädd gräsfånggröda som brukas ned på våren. Dessa två behandlingar undersöks med enbart tillförsel av handelsgödsel eller med svinflytgödsel motsvarande ca 20 kg P/ha på våren (tillskott av kväve med handelsgödsel). Två helt ogödslade enskilda försöksrutor, med respektive utan fånggröda, finns också med sedan 1980-talet. Vårsädesgrödor odlas i stort sett varje år, och under 2010-2017 bestod fånggrödan av engelskt rajgräs. Jordbearbetningen på hösten bestod de flesta år (utom två) av en stubbearbetning i slutet av september och plöjning under senare delen av november eller början av december. Fånggrödan plöjdes ned så tidigt som möjligt på våren, i mars.

Handelsgödseltillförseln anpassades till största möjliga mån efter stallgödselgivornas innehåll av ammoniumkväve. I medeltal tillfördes ca 95 kg N/ha i båda behandlingarna under 2010-2017, men det varierade en del mellan dem under åren, figur 1. Störst var skillnaden 2015, då nästan 40 kg mer mineralkväve gavs i led med flytgödsel. Skörden blev något större (tabell 3) men en del kväve blev kvar efter skörden av grödan, och resulterade i ett kraftigt ökat upptag av kväve hos fånggrödan, figur 2. Generellt var fånggrödans tillväxt inte signifikant större i ledet med flytgödsel trots att mineralisering av kväve från gödselns organiska kväve bör ha ökat kvävetillgången under höstarna. Tillväxten i de ogödslade rutan var också god och skiljde sig inte nämnvärt från de gödslade rutorna. Fosforgödslingen var i medeltal 17 kg/ha i led med flytgödsel och 13 kg/ha i led med handelsgödsel.

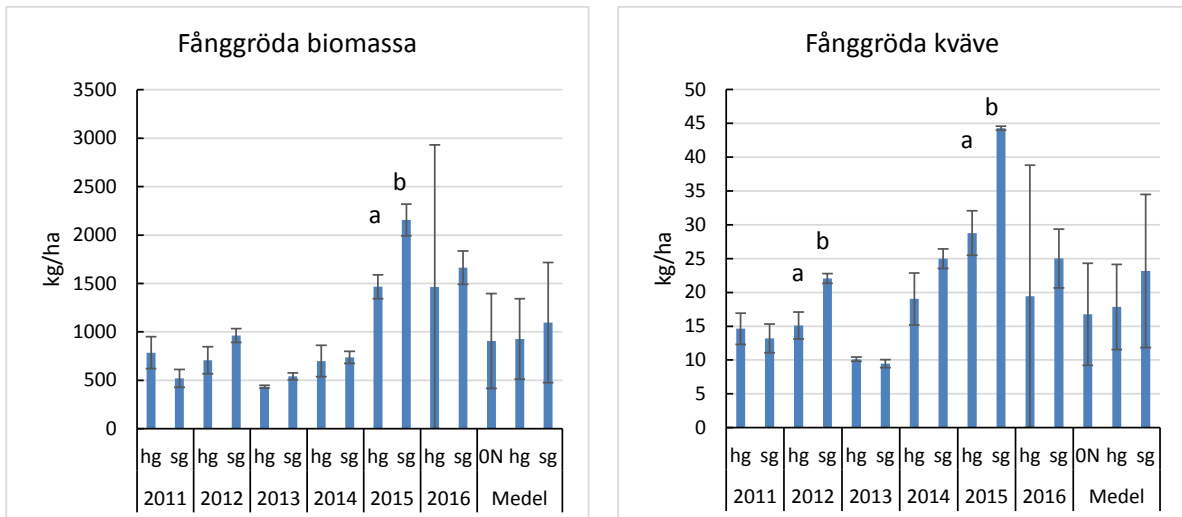
Skördarna i försöket påverkades potentiellt både av odlingshistorien med fånggrödor och flytgödseltillförsel, men närvaron av en fånggröda kan också ha påverkat skörden genom konkurrens, och effekterna går inte att separera. Sett över hela perioden fanns inga signifikanta skillnader i skörd mellan behandlingarna (tabell 3) annat än för de helt ogödslade rutorna som hade betydligt lägre skördar. Ibland var skördarna något högre i led med fånggröda, ibland lägre.

Tabell 3. Skördar i Mellbyförsöket och deras innehåll av kväve, fosfor och kalium. Prefixbokstäver visar signifikanta skillnader mellan behandlingarna. Olika bokstäver betyder signifikant skillnad ($p < 0,05$). Hp=höstplöjt, Vp=vårplöjt, fg=fånggröda, hg=handelsgödsel, stg=stallgödsel

År och gröda	Led	Skörd kg		N kg		P kg		K kg		N		P		K	
		ts/ha		ts/ha		ts/ha		ts/ha		%		%		%	
2010 Vårkorn	Hp, hg	4337		58		16		20		1.34		0.36		0.45	
	Vp+fg, hg	4311		57		16		20		1.31		0.36		0.47	
	Hp, stg	4421		59		16		20		1.33		0.35		0.45	
	Vp+fg, stg	4610		65		17		22		1.41		0.37		0.47	
2011 Vårvete	Hp, hg	3550	ab	60	ab					1.68					
	Vp+fg, hg	2929	b	47	b					1.59					
	Hp, stg	3442	ab	60	ab					1.75					
	Vp+fg, stg	3895	ab	70	ab					1.80					
2012 Havre	Hp, hg	4797	a	64	a	19	a	22		1.34	bc	0.39		0.46	
	Vp+fg, hg	4402	ab	62	a	18	ab	21		1.40	ab	0.40		0.48	
	Hp, stg	3692	b	47	b	14	b	17		1.26	c	0.39		0.47	
	Vp+fg, stg	4268	ab	64	a	18	a	20		1.51	a	0.42		0.48	
2013 Vårkorn	Hp, hg	5402		69		21		27		1.28		0.38		0.49	
	Vp+fg, hg	4984		67		18		24		1.35		0.36		0.48	
	Hp, stg	5507		71		20		26		1.29		0.36		0.47	
	Vp+fg, stg	5190		68		18		24		1.31		0.35		0.46	
2014 Vårvete	Hp, hg	3230		63	b	10	b	12		1.94	b	0.32		0.37	
	Vp+fg, hg	3198		62	b	10	b	12		1.95	ab	0.33		0.38	
	Hp, stg	3370		66	ab	11	ab	13		1.95	ab	0.32		0.37	
	Vp+fg, stg	3437		73	ab	12	a	13		2.14	a	0.35		0.38	
2015 Havre	Hp, hg	4560	b	61	c	15	b	18	b	1.34	c	0.34		0.39	
	Vp+fg, hg	5061	ab	73	bc	18	ab	20	ab	1.43	bc	0.35		0.40	
	Hp, stg	5145	ab	79	ab	20	a	22	ab	1.53	ab	0.40		0.42	
	Vp+fg, stg	5629	a	92	a	21	a	24	a	1.63	a	0.38		0.42	
2016 Vårkorn	Hp, hg	2657		51	b	8		11		1.92		0.29	b	0.39	
	Vp+fg, hg	3301		69	a	10		13		2.09		0.30	b	0.39	
	Hp, stg	2895		60	ab	9		12		2.09		0.33	ab	0.41	
	Vp+fg, stg	3097		65	ab	11		13		2.13		0.36	a	0.42	
Medel alla år	Hp, 0N	1379	b	22	c	6	b	7	b	2.10		0.47	a	0.59	a
	Vp+fg, 0N	1567	b	22	c	6	b	7	b	1.45		0.34	ab	0.41	ab
	Hp, hg	4076	a	61	b	15	a	18	a	1.55		0.35	b	0.43	b
	Vp+fg, hg	4027	a	62	b	15	a	18	a	1.59		0.35	b	0.43	b
	Hp, stg	4067	a	63	ab	15	a	18	a	1.60		0.36	b	0.43	b
	Vp+fg, stg	4304	a	71	a	16	a	19	a	1.70		0.37	b	0.44	b



Figur 1. Kväve och fosfor som tillförts i samband med vårbruket med handels- och svinflytgödsel. Hg= led med enbart handelsgödsel, Sg=led med svinflytgödsel och kompletterande kvävegiva med handelsgödsel.

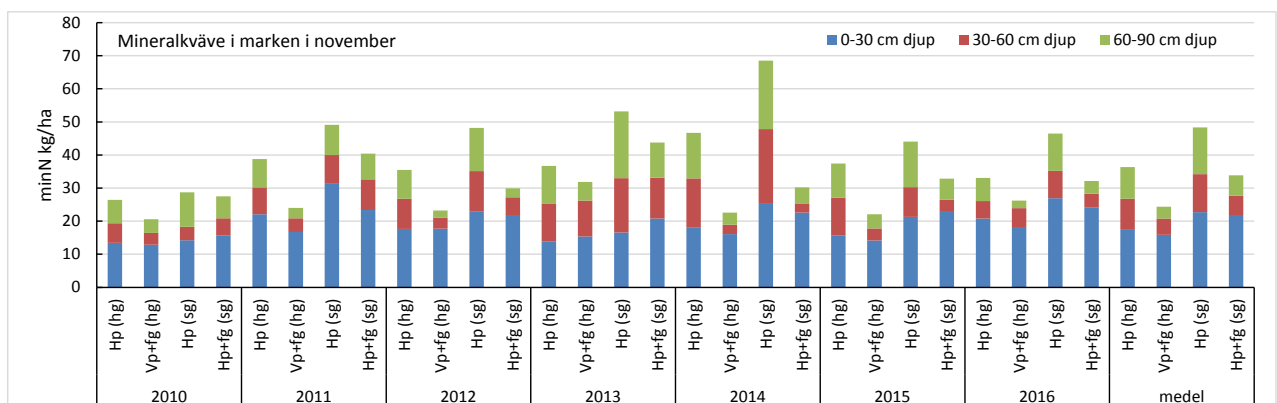


Figur 2. Fånggrödans ovanjordiska biomassa på senhösten i försöket vid Mellby och dess innehåll av kväve efter tillförsel av enbart handelsgödsel (hg) eller svinflytgödsel (sg). Där det finns prefixbokstäver finns signifikanta skillnader mellan behandlingarna. Olika bokstäver betyder signifikant skillnad ($p < 0,05$).

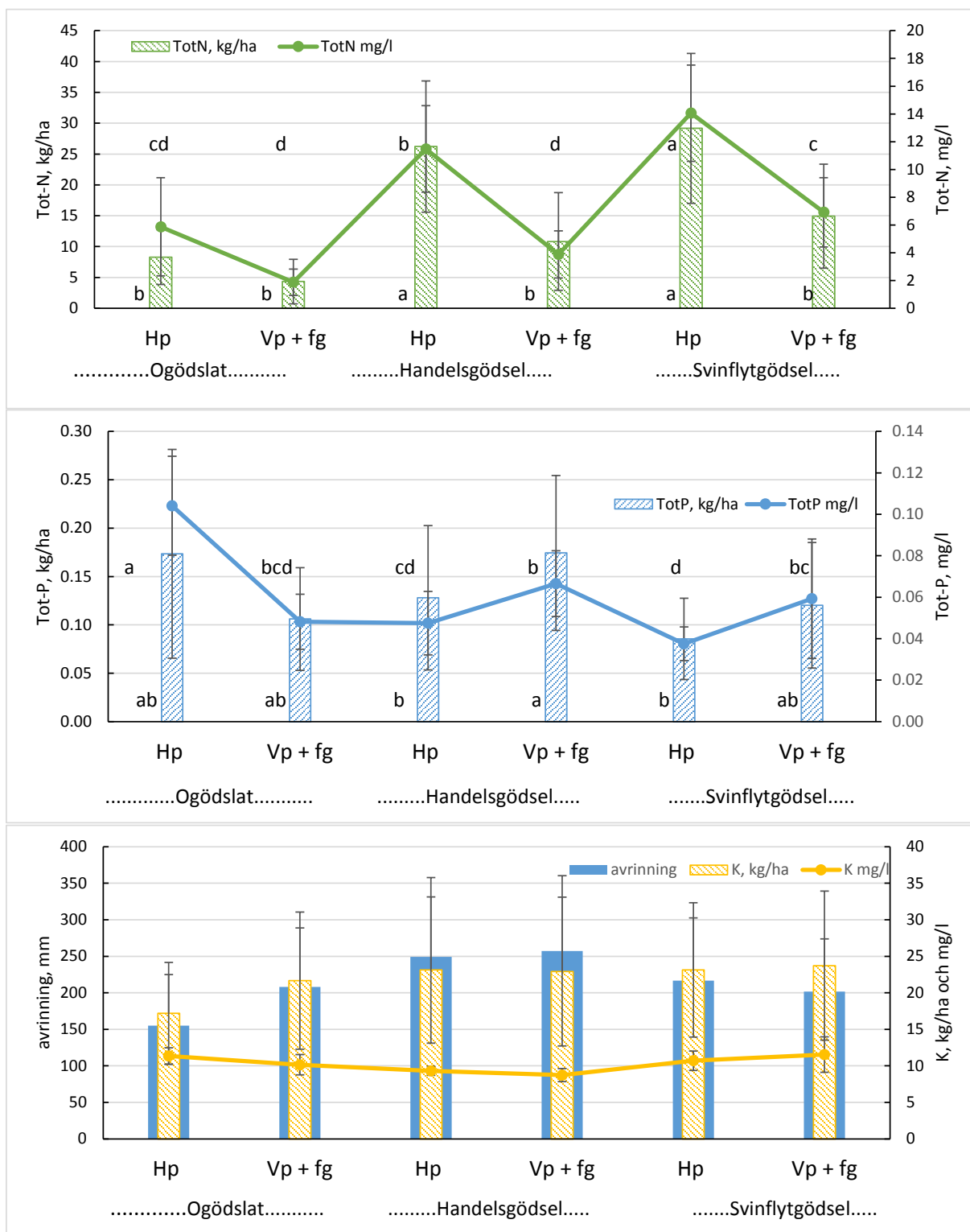
Mätningar av mängden mineralkväve i marken, som gjordes i september, november och strax före vårbruket, visade nivåskillnader av olika gödslingsbehandlingar. Mängderna på senhösten var i medeltal 10-12 kg större i led med flytgödseltillförsel jämfört med motsvarande led med enbart handelsgödseltillförsel, figur 3, men skillnaden var inte signifikant. Skillnaden mellan handelsgödselutsläpp utan fånggröda och stallgödselutsläpp utan fånggröda var däremot signifikant alla år, och så stor som 24 kg/ha.

Halten av kväve i dräneringsvattnet var också signifikant högst i led med flytgödsel utan fånggröda, figur 4. För fosfor var däremot mönstret det motsatta och fosforkoncentrationerna var signifikant högre i gödslade led med fånggröda jämfört med utan. Detta har framkommit vid olika tillfällen i utlakningsförsöken, men har sällan kunnat verifieras med statistisk signifikans som nu görs här, liksom vid Fotegården, se nedan. Kaliumutlakningen, som följs inom ramen för långliggande försök, skiljde sig däremot inte mellan behandlingarna.

- ✓ Fånggrödan minskade stabilt utlakningen av kväve på mojorden vid Mellby 2010-2017, men gav upphov till förhöjda årsmedelvärden av fosforkoncentrationer i dräneringsvattnet
- ✓ Fånggrödornas tillväxt och kväueupptag ökade när restkväve fanns i marken



Figur 3. Mineralkväve i marken på senhösten i försöket vid Mellby



Figur 4. Mellbyförsökets medelvärden för årsmedelkoncentrationer och årlig utlakning av totalkväve (överst), totalfosfor (mitten) och kalium (nederst) tillsammans med årlig avrinning (1 juli-30 juni). Prefixbokstäver visar signifikanta skillnader mellan behandlingarna. Olika bokstäver betyder signifikant skillnad ($p < 0,05$).

3.3.2 Fotegården 2007-2017

I försöket vid Fotegården ligger en försöksplan med höstplöjning i oktober-november (HP) i jämförelse med vårplöjning i mars-april (VP), med och utan fånggröda (VPF), sedan 2007. Grödorna följer gårdens

växtföljd och gödsling (90-120 kg N/ha) och var mestadels vårsäd, men ett år med höstråg och två år med potatis under 2007-2017, tabell 4. Efter potatis odlades höstråg som fånggröda 2010 och höstraps 2016. Annars var engelskt rajgräs den huvudsakliga fånggrödan i försöket.

Tabell 4. Grödor och tidpunkter för jordbearbetningar i försöket på Fotegården

	Huvudgröda	Höstplöjning (HP)	Vårplöjning (VP)	Fånggröda (VPF)
2007	Vårkorn	2007-10-29	2008-04-16	engelskt rajgräs
2008	Havre	2008-10-17	2009-04-16	engelskt rajgräs
2009	Vårkorn	2009-11-05	2010-04-07	engelskt rajgräs
2010	Potatis	ej plöjning	2011-04-07	höstråg
2011	Havre*	2011-12-02	ej noterat	ej fånggröda
2012	Vårkorn*	2012-09-15	2012-09-15	höstråg i alla rutor
2013	Höstråg	2013-10-14	2014-03-21	engelskt rajgräs
2014	Havre	2014-10-30	2015-04-01	engelskt rajgräs
2015	Malkorn	2015-11-04	2016-03-23	engelskt rajgräs
2016	Potatis	2016-10-25	2017-03-16	Höstraps

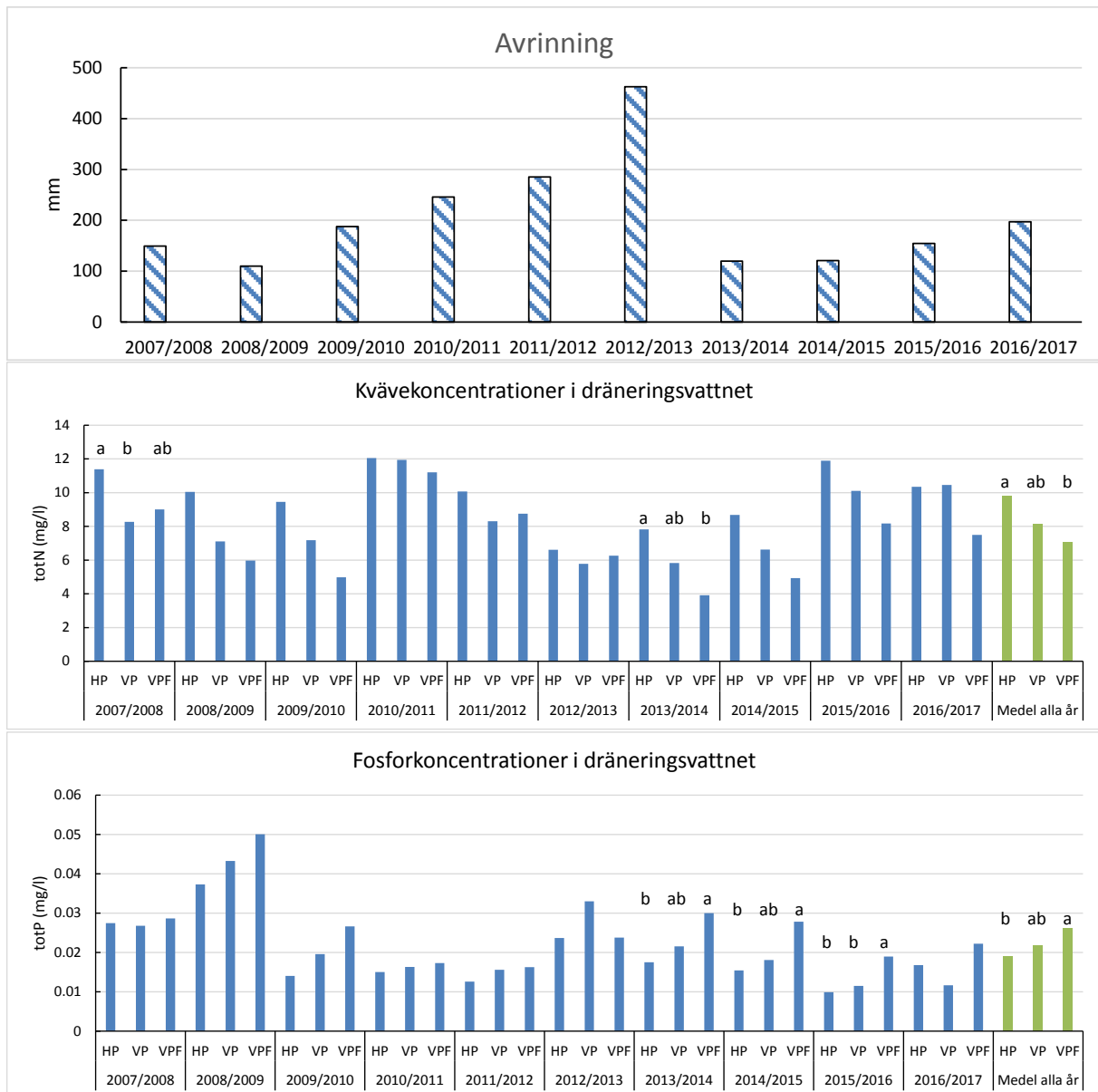
*Avsteg från försöksplanen

Tabell 5. Skördar vid Fotegården och deras innehåll av kväve, fosfor och kalium. HP=höstplöjt, VP=vårplöjt, VPF= vårplöjt med fånggröda

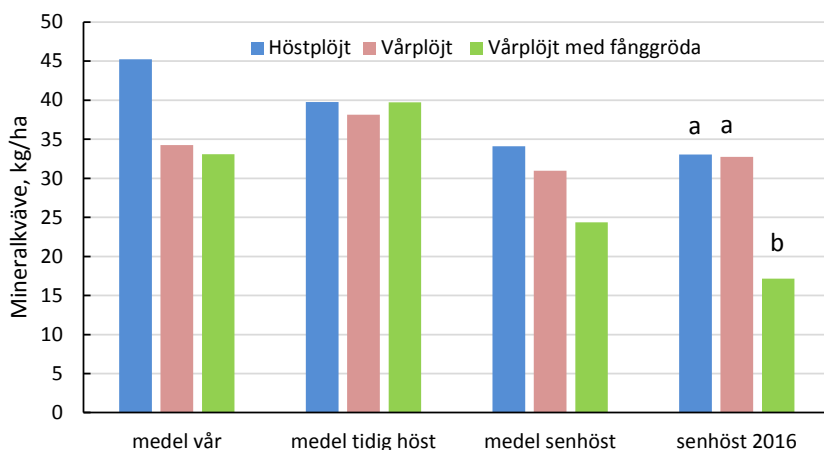
Skörde-datum	Led	Skörd ts/ha	Färskvikt ton/ha	Kväve kg/ha	Fosfor kg/ha	Kalium kg/ha	N %	P %	K %
2007-10-09	HP	5057		83	18	28	1,65	0,36	0,55
Vårkorn	VP	5002		77	17	27	1,53	0,33	0,55
	VPF	4743		75	16	26	1,58	0,33	0,54
	HP	4466		88	18	-	1,97	0,41	-
2008-09-16 Havre	VP	4377		84	18	-	1,92	0,42	-
	VPF	4427		87	19	-	1,97	0,42	-
	HP	2855		45	12	-	1,57	0,41	-
2009-09-11 Vårkorn	VP	2825		40	12	-	1,40	0,41	-
	VPF	2436		36	10	-	1,46	0,41	-
	HP	9453	42	128	15	-	1,35	0,16	-
2010-10-10 Potatis	VP	10238	46	133	16	-	1,31	0,16	-
	VPF	9627	42	129	14	-	1,36	0,15	-
	HP	5567		84	22	-	1,52	0,40	-
2011-09-02 Havre	VP	5438		82	21	-	1,50	0,40	-
	VPF	5690		89	23	-	1,56	0,40	-
	HP	4343		55	15	-	1,26	0,35	-
2012 Vårkorn	VP	4539		57	15	-	1,25	0,33	-
	VPF	4450		58	15	-	1,30	0,34	-
	HP	6076		62	17	29	1,01	0,28	0,48
2013-08-16 Höstråg	VP	6074		60	17	30	0,98	0,27	0,49
	VPF	6156		62	18	30	1,01	0,29	0,50
	HP	4561		63	15	16	1,39	0,33	0,36
2014-08-29 Vårkorn	VP	4522		61	14	16	1,35	0,32	0,34
	VPF	4455		62	15	16	1,40	0,34	0,36
	HP	6069		77	9	85	1,27	0,16	1,39
2015-08-21 Malkorn	VP	6312		88	9	68	1,39	0,14	1,05
	VPF	5703		73	9	80	1,27	0,16	1,35
	HP	4136	22	51	8	78	1,24	0,18	1,87
2016-07-14 Potatis	VP	4575	24	55	8	85	1,19	0,17	1,85
	VPF	3816	21	48	6	66	1,26	0,17	1,75

Bland skördarna i försöket (tabell 5) fanns inga signifikanta ledskillnader, men eftersom samma rutor hade fånggröda varje år går det inte att särskilja efterverkans effekter av föregående års fånggröda och konkurrens effekter av årets. I Fotegårdsförsöket fanns inte samma tydliga utlakningsminskande effekt av vårplöjning och fånggröda som i Mellbyförsöket i jämförelse med höstplöjning. I medeltal över alla år var kvävekoncentrationerna lägre i led med vårplöjning och fånggröda jämfört med höstplöjning, men inte den utlakade mängden kväve, figur 5. Jämfört med Mellby var spannet åt båda hållen mellan

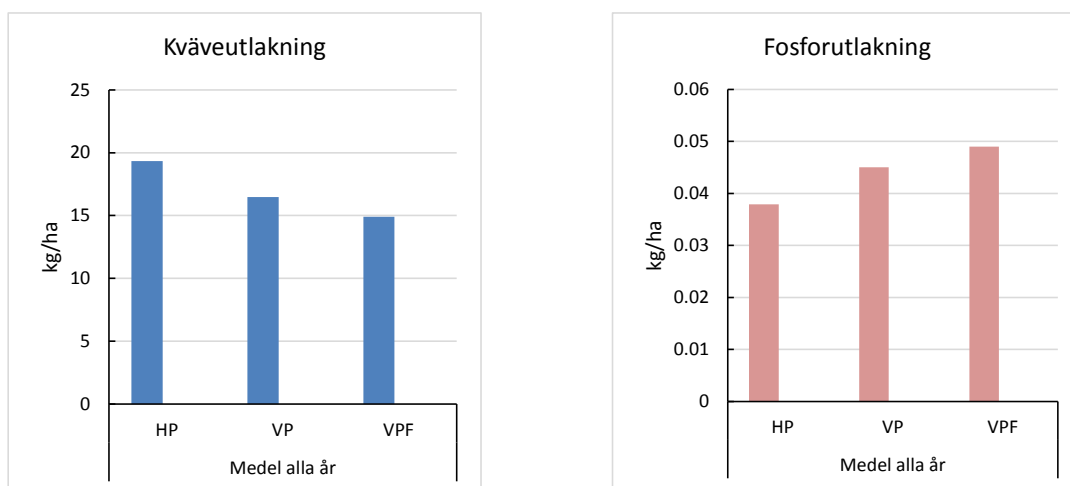
behandlingarna mindre. Utlakningen av kväve från höstplöjd mark var under 2010-2017 26 kg N/ha och år på Mellby och 19 kg N/ha och år på Fotegården, men bearbetningsstrategierna var inte heller samma. På Mellby stubberaberedades marken i september, men plöjdes i november-december. Utlakningen från mark med fånggröda och vårplöjning var 11 och 15 kg/ha på Mellby respektive Fotegården. Under perioden odlades emellertid ingen fånggröda under två av åren på Fotegården, och efter potatis under två år odlades eftersådd fånggröda. Höstraps, som användes som fånggröda efter potatis 2016, gav visserligen ingen signifikant minskning av läckaget, men minskade mängden mineralkväve i marken på hösten, figur 6. Precis som på Mellby så visar resultaten från Fotegården på samma mönster med signifikant högre halter av fosfor i dräneringsvattnet från mark med fånggröda och vårplöjning jämfört med höstplöjd mark, figur 5. För fosforläckaget var skillnaderna signifikanta för 3 år av 10, men inte för periodens medelvärde, figur 7.



Figur 5. Fotegårdsförsökets medelvärden för årsavrinning (1 juli-30 juni, överst), årsmedelkoncentrationer av totalkväve (mitten) och totalfosfor (nederst). Prefixbokstäver visar signifikanta skillnader mellan behandlingarna. Olika bokstäver betyder signifikant skillnad ($p < 0,05$).



Figur 6. Mineralkväve i marken vid olika tidpunkter i försöket på Fotegården, medeltal för hela perioden, samt för hösten 2016 med höstraps som fånggröda efter potatis. Prefixbokstäver visar signifikanta skillnader mellan behandlingarna. Olika bokstäver betyder signifikant skillnad ($p < 0,05$).



Figur 7. Medelutlakning av totalkväve och totalfosfor (kg/ha och år) för perioden 2010-2017 vid Fotegården. Det fanns signifikanta skillnader under enskilda år, men inte i medelvärdet för alla år.

- ✓ Vårplöjning med fånggröda minskade kvävekoncentrationerna i dräneringsvattnet på Fotegården jämfört med höstplöjning, men fosforkoncentrationerna ökade

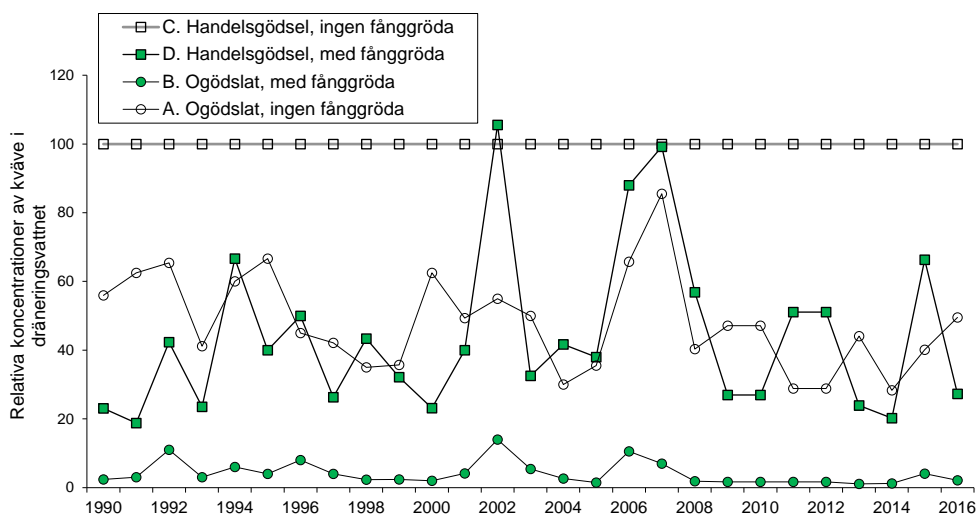
3.4 Fånggrödor och kolinlagring

Mångåriga behandlingar i långliggande försök är värdefulla för att utvärdera effekter på lång sikt. Inom projektet finns många års data över fånggrödors tillväxt och kväueupptag, vilket är relativt unikt i ett internationellt sammanhang. Fånggrödor som består av gräs är lika effektiva som stallgödsel och slam vad gäller att öka markens kolhalt. Det visade en studie med en kolbalansmodell av tre svenska och ett amerikanskt långliggande försök med fånggrödor (16-24 år), där försöket vid Mellby ingick. Trots att fånggrödorna inte producerar så stor ovanjordisk biomassa under våra korta höstar (0,5-1 ton ts /ha) bidrar den stora rotbiomassan till att fånggrödorna kan ses som en betydande sänka för koldioxid. Kolinlagringen motsvarade i medeltal 320 kg kol eller 1,17 ton koldioxid per hektar och år (Poeplau m.fl., 2015).

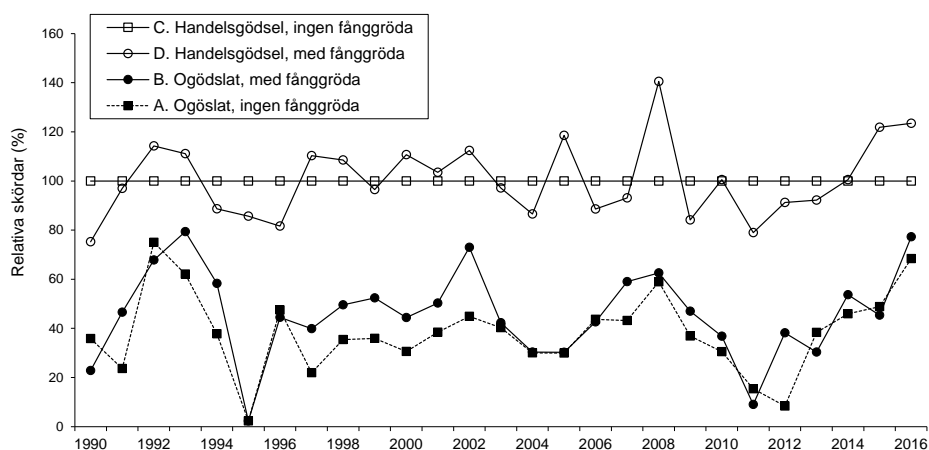
- ✓ En gräsfånggröda lagrar in 320 kg kol/ha och år, motsvarande 1,17 ton koldioxid/ha

3.5 Långsiktiga effekter av stallgödsel och fånggrödor

I försöket vid Mellby avbröts några av behandlingarna under 2006-2009 för att följa de långsiktiga effekterna av flytgödsel och fånggrödor. Dessa behandlingar hade pågått sedan 1989 (några sedan 1983). Flytgödsel i sig bidrar med organiskt material till marken, och fånggrödor som odlats vid tillförsel av flytgödsel, särskilt i stora givor, växte extra bra, vilket ökade på produktionen av organiskt material ytterligare. Tre år efter avslutade behandlingar fanns effekter kvar genom ökad mineralisering av kväve och 25-40% större utlakning från mark som odlades med extra stora flytgödselgivor och fånggröda än där marken odlats utan fånggröda och med mineralgödsel (Aronsson & Torstensson, 2009). Då man jämför handelsgödselad eller ogödselad jord med och utan fånggröda över decennier har de relativa skillnaderna dräneringsvattnets kvävekonzentrationer varit relativt stabila, men med årsvariationer, figur 8. Försöksplatsen har i sig en jord med uthållig potential att leverera kväve och i helt ogödselad led sedan 1983 låg skördenivån 2016 fortfarande på 40% av den med handelsgödseltillförsel, figur 9.



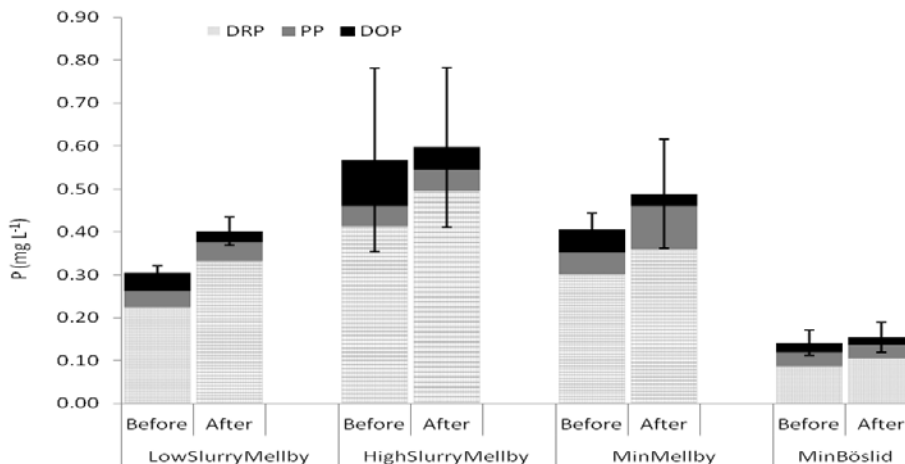
Figur 8. Relativa årsmedelkoncentrationer av totalkväve i dräneringsvattnet för några långliggande behandlingar i Mellbyförsöket. Försöksled med handelsgödsel utan fånggröda är satt till 100.



Figur 9. Relativa skördar i Mellbyförsöket 1990-2016 i fyra rutor som haft samma behandling hela tiden. Försöksled med handelsgödsel utan fånggröda är satt till 100.

Jorden vid Mellby har ett stort fosforinnehåll, men ändå en liten utlakning till följd av god bindningsförmåga i alven, ca 0,1 kg /ha och år. Efterverkansstudierna under 2006-2009 visade inte att

behandlingarna påverkat risken för läckage av fosfor. Mellbyjorden har varit en viktig referensjord i flera doktorsavhandlingar, bland annat vad gäller risken för fosforutlakning (Andersson, 2016; Liu, 2013) och resultaten visar just betydelsen av alvens fosforbindande förmåga vad gäller att skydda mot fosforförluster. Den förmågan är mycket stor på denna jord, både på grund av att den är så homogen och ger jämn infiltration av vatten, och att den innehåller mycket järn och aluminium som kan binda fosfor. Samtidigt visar studier där man enbart tittat på läckaget från matjorden att odlingshistorien har en stor inverkan på risken för fosforläckage. På en jord som Mellby, med lång historia av stallgödsetillförsel, är markens uppbyggda förråd en större källa till fosforläckage än det som kan uppstå efter enstaka givror. Det visade både utvärderingar med en fosformodell (Liu m.fl., 2012a) och en studie där jordkolonner från försöksled vid Mellby m.fl. togs in på lab och bevattnades före och efter stallgödsetillförsel, figur 10 (Liu m.fl., 2012b)



Figur 10. Läckageexperiment med tre led från Mellbyförsöket under perioden före 2006, där enkel stallgödsetillförsel (Low slurry) jämfördes med dubbel (High slurry) och enbart handelsgödsel (Min). Dessutom användes handelsgödselad mark från försöksfältet vid Lilla Böslid som en referens för mark som inte stallgödslats under lång tid. Matjordskolonner vattnades före och efter en stallgödsetillförsel. DRP=fosfatfosfor, PP=partikelbunden fosfor, DOP=löst organisk fosfor (Liu m.fl., 2012b)

- ✓ Jorden vid Mellby har en långsiktig förmåga att leverera kväve, ogödslad mark gav stabilt ca 40% av skörden som man fick på gödslad mark
- ✓ Odlingshistorien på mojord hade större betydelse än enstaka givror av stallgödsel för fosforläckaget

3.6 Fånggrödor och skadegörare

I försöken är det främst engelskt rajgräs som använts som fånggröda, och grunden till det var att tidigare studier visat att det engelska rajgräset har en bra balans mellan konkurrensförmåga och tillväxtpotential under hösten. Negativa effekter av rajgräset är ett det kan bli ett ogräs i växtföljden om det inte avdödas effektivt. Det har också funnits en oro att det kan bidra till uppförökning av svampsjukdomar, genom att fånggrödan kan bli en brygga för gräsrelaterade skadegörare mellan stråsbäddgrödorna. I Mellbyförsöket har det gjorts inventering av både bladfläcksvampar (2005) och av jordburna patogener, i detta fall rottdödarvampen *Gaumannomyces graminis* (2013). Inventeringen av bladfläcksvampar gjordes i rågvete genom bedömning av stråbasmissfärgning. Resultaten varierade mellan rutor, men det fanns ingen konsekvent ökad förekomst av stråbasmissfärgning hos grödan i rutor med fånggrödehistoria. Rottdödarundersökningen gjordes på 10 försöksrutor inom projektet Biosom vid SLU där man utvecklat metoder för kartering av dessa (Ann-Charlotte Wallenhammar, Anders Jonsson och Zahra Omer). Rottdödarvampen inventerades genom gradering av korngrödans rötter och genom DNA-analys av

jorden. Det fanns inga tecken på ökad förekomst av rotdödare i rutor som haft fånggrödor sedan 1989 eller ännu längre (Aronsson m.fl., 2015).

- ✓ Många års odling av gräsfånggrödor på Mellby har inte lett till ökad förekomst av rotdödarsvamp eller bladfläcksvamp

3.7 Eftersådda fånggrödor på Lönnstorp 2012-2017

Ett ökande intresse för andra fånggrödealternativ än insådda gräsfånggrödor gjorde att eftersådda fånggrödor infördes i försöksplanen på Lönnstorp 2012. Med en kunskapsgenomgång (Aronsson m.fl., 2012a) som bas utvaldes oljerättika samt en blandning av luddvicker och höstråg att användas. Luddvicker i kombination med höstråg är en blandning som rekommenderas i andra tempererade regioner (Aronsson, 2018). Första året fanns inte utsäde av luddvicker att tillgå, och detta år odlades istället oljerättika i båda fånggrödeleden, där det ena gödslades med 40 kg kväve/ha vid sådd av fånggrödan. Under 2016-2017 byttes luddvicker och råg ut mot en blandning av bovete och rättika, tabell 6.

Försöksplanen innehöll alltså två fånggrödeled som jämfördes med ett kontrollerat utan fånggröda. Leden hade tre upprepningar (totalt 9 rutor) och cirkulerades mellan rutorna för att inte bygga upp skillnader mellan rutor. Under 2016-2017 odlades havre som fånggröda i en ruta som ligger utanför försöksplanen. Sorterna som använts i försöket är för oljerättika Cassius, Addios, Defender och Colonel, för luddvicker Dr Baumanns, för höstråg Palazzo och Amilo samt för bovete sorten Hajnalka.

Fånggrödorna såddes inom ett par dagar efter skörd av huvudgrödan efter en ytlig bearbetning med Carrier (1-17 augusti). Huvudgrödan, vilken i fyra år var vårkorn och ett år ärter, skördades mellan den 26 juli och den 15 augusti. En tidig skörd prioriterades före mognad till förmån för en gynnsam sådd av fånggrödan. Uppkomst av fånggrödorna var 6-8 dagar efter sådd. Hela försöket plöjdes sedan i slutet av november alternativt början av december efter att marktäckningen graderats och fånggrödorna provtagits. I kontrollerat behandlades ogräs på hösten (september) med Roundup från och med 2015. De flesta år klarade sig fånggrödorna utan att bli frostskadade, men bovetet mognade helt och vissnade ned innan plöjningen i december.



Fånggröda av bovete och oljerättika i Lönnstorpsförsöket 8 september 2017.

Foto: Helena Aronsson

Tabell 6. Gröda och fånggrödor under 2012-2017 i försöket på Lönnstorp. Ett kontrollled utan fånggröda användes som jämförelse

År	Gröda	Fånggröda 1	Fånggröda 2
2012	Vårkorn	Oljerättika+40 kg N	Oljerättika 0kg N
2013	Ärter	Luddvicker+höstråg	Oljerättika
2014	Vårkorn	Luddvicker+höstråg	Oljerättika
2015	Vårkorn	Luddvicker+höstråg	Oljerättika
2016	Vårkorn	Bovete+rättika	Oljerättika
2017	Vårkorn	Bovete+rättika	Oljerättika

Tillväxt och kväveupptag för fånggrödorna varierade mer mellan år än mellan led. Signifikanta skillnader mellan led fanns bara 2015, tabell 7. Minst tillväxt blev det då fånggrödorna såddes så sent som 15 och 17 augusti. Upptaget i ogräs var också betydande och det redovisas tillsammans med fånggrödorna i tabell 7. Första årets kvävegödning av ett led med oljerättika ledde inte till några skillnader i biomassaskörd, vilket tyder på att det inte var kvävetillgången som begränsade tillväxten av oljerättika. Fånggröda av havre som odlades i en enstaka ruta hade mindre biomassa på senhösten än övriga fånggrödor, men kväveupptaget var ändå ganska stort under 2016 genom att kvävehalten var hög.

- ✓ Fånggrödorna växte bra då de såddes senast 10 augusti
- ✓ De undersökta fånggrödorna gav liknande biomassaskörd och kväveupptag ovan jord. Dock är luddvicker en kvävefixerande gröda
- ✓ Oljerättikan gav något bättre marktäckning än luddvicker+höstråg

Tabell 7. Fånggrödornas ovanjordiska biomassa inklusive ogräs vid plöjning i slutet av november. Signifikanta skillnader ($P < 0.05$) indikeras med *

		Biomassa (kg ts/ha)	N (kg/ha)	Marktäckning höst
2012	Oljerättika+40 kg N	753	24	70-80%
17/8	Oljerättika 0kg N	555	18	70-80%
2013	Luddvicker+höstråg	1739	57	75%
6/8	Oljerättika	1251	46	90%
2014	Luddvicker+höstråg	1135	42	100%
1/8	Oljerättika	1524	47	100%
2015	Luddvicker+höstråg *	330	12	25%
15/8	Oljerättika	537	16	40%
2016	Bovete+oljerättika	1696	31	90%
2/8	Oljerättika	1213	23	90%
	Havre**)	922	22	85%
2017	Bovete+oljerättika	1494	-	80-100%
10/8	Oljerättika	1766	-	80-100%
	Havre*	568	-	60%

**) Endast i en ruta, övriga fånggrödor med tre upprepningar

För skördarna var det två år med signifikanta skillnader som kunde bero på behandlingarna. Det var 2013 (tabell 8), då oljerättika gödslades med 40 kg N under hösten innan, och under 2017 då skörd efter oljerättika som fånggröda året innan blev lägre än i övriga led.

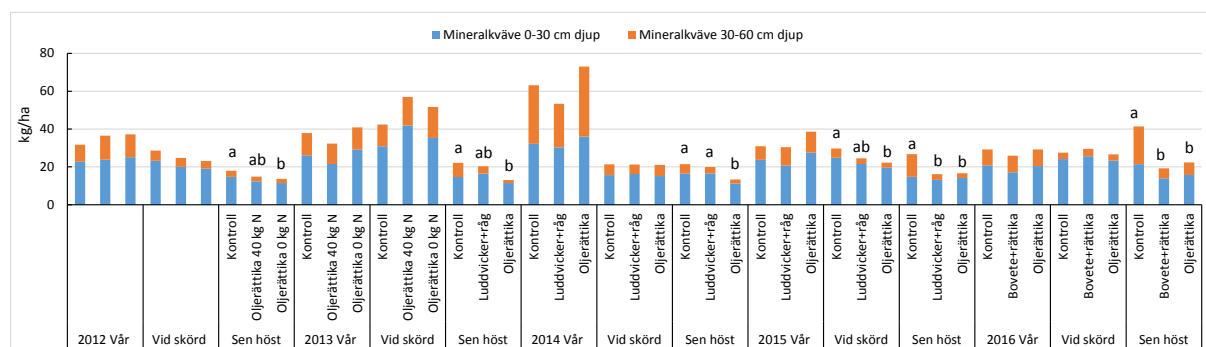
- ✓ Eftersådda fånggrödor på Lönnstorp gav inga positiva effekter på efterföljande års skörd

Tabell 8. Skördar (kg ts/ha) och mängd kväve och fosfor i skördeprodukten i försöket vid Lönnstorp. Signifikanta skillnader ($P < 0.05$) indikeras med *

	Fånggröda året före	Skörd kg ts/ha	Kväve i skörd kg/ha	Fosfor i skörd kg/ha
2013-08-07 Ärter	Oljerättika 0 kg N	2612	106	13
	Kontroll	2534	104	13
	Oljerättika 40 kg N	3118*	127	15
2014-07-26 Vårkorn	Oljerättika	6634	104	21
	Kontroll	6539	104	21
	Luddvicker+råg	6359	108	20
2015-08-13 Vårkorn	Oljerättika	7021	97	25
	Kontroll	6845	94	24
	Luddvicker+råg	7132	105	25
2016-08-01 Vårkorn	Oljerättika	4442	59	14
	Kontroll	4711	62	15
	Luddvicker+råg	4467	58	14
2017-08-09 Vårkorn	Oljerättika	4412*		
	Kontroll	5424		
	Oljerättika+bovete	5925		

Mest mineralkväve (provtaget till 60 cm djup vid 3 tillfällen per år) fanns i marken på våren och minst vid provtagning på senhösten (november). På senhösten, före nedbrukning av fånggrödan hade marken under oljerättikan alla år signifikant lägre mineralkväveinnehåll jämfört med kontrolledet (figur 11). Mineralkvävemängderna i marken på senhösten i rutor Luddvicker+rågblandningen skiljde sig från kontrolledet endast ett år (2015), figur 11. Luddvicker är en kvävefixerare och tömde troligen inte markprofilen lika effektivt av detta skäl. Vid mineralkväveprovtagningarna på våren och vid skörd kunde inga skillnader mellan leden ses, utom vid skörd 2015 då oljerättikan gav lägre mineralkväveinnehåll. Även kontrolledet hade viss vegetation av ogräs och spillsäd, vilket troligen bidragit till att skillnaden mellan luddvicker+råg och kontrollen var liten.

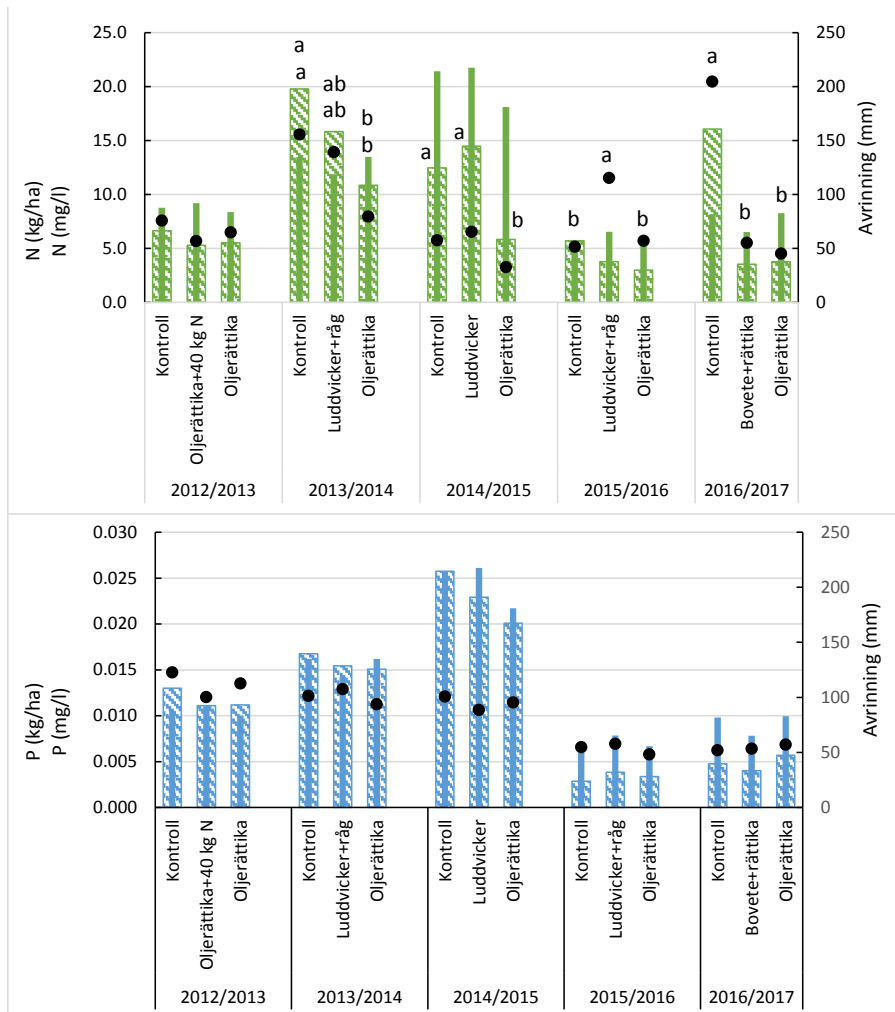
- ✓ Oljerättika gav lägre mineralkväveinnehåll i marken sen höst jämfört med kontrolledet
- ✓ Fånggrödorna påverkade inte mineralkvävet efterföljande vår och sommar



Figur 11. Mängden mineralkväve i marken (0-30 och 30-60 cm) på våren, vid skörd och sen höst. Där det finns prefixbokstäver finns signifikanta skillnader mellan behandlingarna. Olika bokstäver betyder signifikant skillnad ($p < 0,05$).

Under tre av de fem åren hade kontrolledet högre halter kväve i dräneringsvattnet än ett av eller båda fånggrödeleden, figur 12. Däremot sågs det omvända år 2015/2016, och inga skillnader mellan led år 2012/2013. Under 2012 och 2015 såddes fånggrödorna först 17 respektive 15 augusti och tillväxten var liten. Det fanns en tendens att oljerättika som fånggröda gav mindre utlakning och koncentration av kväve i dräneringsvattnet jämfört med luddvicker+råg, vilket stämde med att den även tömde markprofilen på kväve i högre grad, figur 11.

- ✓ Fånggrödorna minskade halten kväve i dräneringsvattnet då de såddes senast 10 augusti
- ✓ Oljerättikan är något effektivare som fånggröda än luddvicker och råg i blandning
- ✓ Fånggrödorna påverkade inte utlakningen av fosfor



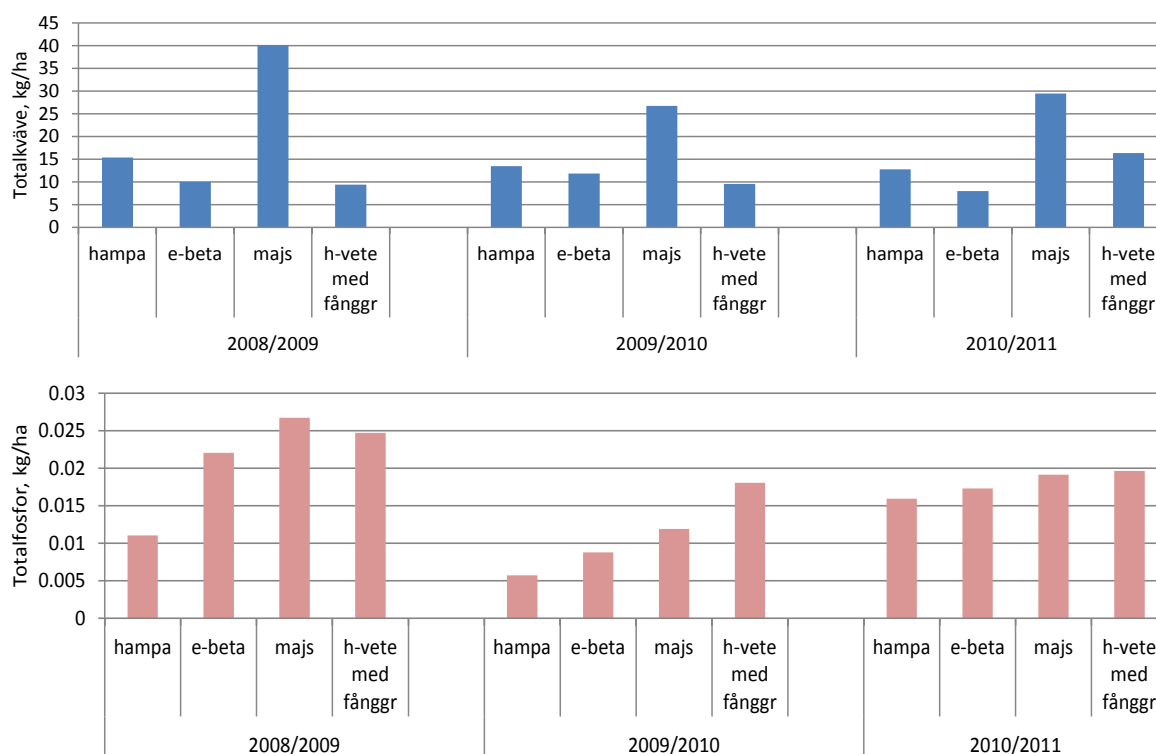
Figur 12. Årsvärden (1 juli-30 juni) för avrinning (fyllda staplar), utlakning (randiga staplar) och koncentrationer (prickar) av totalkväve (ovan) respektive totalfosfor (under) i försöket vid Lönnstorp. Där det finns prefixbokstäver finns signifikanta skillnader mellan behandlingarna i koncentrationer av kväve, och under 2013/2014 även för utlakning. Olika bokstäver betyder signifikant skillnad ($p < 0,05$).

3.8 Energigrödor på Lönnstorp 2008-2011

I Lönnstorpsförsöket studerades under 2008-2011 en växtföljd tänkt för produktion av växtbiomassa för energiutvinning genom rötning (Aronsson m.fl., 2012b). Biogödsel i form av rötrest motsvarande 22 kg P/ha och år tillfördes i jämförelse med grödor som odlades enbart med handelsgödsel (kvävegiva 140 kg N/ha) för att efterlikna ett sådant system. Växtföljden var hampa, energibetor, majs och höstvetete med insädd gräsfånggröda, som fördelades på fyra rutor vardera. Hampan skördades en-två gånger, med sista skörd i oktober-november (medelskörd 9,3 ton ts/ha och år). Höstvetetet tröskades ett år, men skördades som helsäd två år (medelskörd 12,2 ton ts). Majsen skördades som ensilagemajs under perioden september-början av oktober (11,7 ton ts) varefter höstvetete såddes. Hos energibetan, som skördades runt 20 okt, bortfördes även blasten (totalt 17,6 ton ts/ha i medelskörd).

Mängden mineralkväve i marken och utlakning påverkades inte av gödselslaget, men av de olika grödorna. Mineralkvävemängderna (visas ej) vid skörd och kväveutlakningen var störst i majsen, trots

att kväveupptaget översteg vad som tillförts med gödselkvävet, figur 13. Höstvetet som såddes efter majs (fånggrödan såddes in våren efter) hade endast ett begränsat upptag och lyckades inte dämpa utlakningen. För hampa, energibeta och höstvete med fånggröda var kväveutlakningen hälften så stor.



Figur 13. Årsmedelutlakning (1 juli-30 juni) av totalkväve (överst) och totalfosfor (nederst) i energigrödor på Lönnstorp (Aronsson m.fl., 2012). Medelvärde av två rutor för varje stapel.



- ✓ Majs som energigröda gav stor kväveutlakning men fosforläckaget påverkades inte



- ✓ Hampa gav lika liten utlakning som betor med blastskörd och nästan lika liten som mark med insådd fånggröda

3.9 Reducerad jordbearbetning på Lanna 2009-2017

Jordbearbetningen är en av de odlingsåtgärder som visat sig ha stor inverkan på läckaget av kväve. På leror, som den på Lanna, har dock tidpunkten för jordbearbetning på hösten inte påverkat kväveläckaget på samma sätt som på de läckagebenägna mojordarna och lättleran i projektet (Aronsson & Stenberg, 2010). Jordbearbetningen kan också påverka fosforförlusterna, och frågan har aktualiserats i och med

ett ökande intresse för reducerad jordbearbetning. Reducerad jordbearbetning innebär mindre energiåtgång, men innebär också ökad förekomst kvickrot som kan kräva kemisk bekämpning. Minskad jordbearbetning kan påverka markens porsystem och packningsgrad och därmed också fosforförluster ovan jord och genom markprofilen (Ulén m.fl., 2010). Reducerad jordbearbetning dvs icke-plöjning leder till anrikning av organiskt material i ytan på sikt, vilket kan påverka både näringsflöden och markstrukturens stabilitet. I försöket vid Lanna tillämpades under en tidigare försöksperiod direktsådd i en ruta (Lindén m.fl., 1993), och från 2009 togs frågan upp igen i form av ett upplägg med två jordbearbetningssystem, ett konventionellt med plöjning varje år och ett med endast stubbearbetning. Att inte plöja utan endast använda ytlig jordbearbetning med t ex tallriksredskap används i ökande omfattning idag, och syftet med försöket var att jämföra hur det påverkar kvävedynamik, fosforutlakning och odlingsförhållanden jämfört med mark som plöjs varje år.

De två olika jordbearbetningssystemen låg med tre upprepningar; ett som benämndes konventionellt (stubbearbetning och plöjning) och ett med reducerad jordbearbetning (endast stubbearbetning eller direktsådd på hösten). Intill dessa rutor låg sedan 1993 en vallträda. Grödorna representerade vanliga grödor för området med höstvetete, höstraps och vårsäd, tabell 9 med kvävegödning mellan 90 och 140 kg N/ha, beroende på gröda. Stubbearbetningen utfördes genom disk-kultivering med Carrier-maskin till ca 7-10 cm djup och därefter såddes grödan, vanligtvis utan ytterligare såbäddsberedning. I det konventionella ledet utfördes stubbearbetning följt av plöjning (20 cm djup) och såbäddsberedning genom harvning, eller enbart plöjning och harvning. Ett år, 2009, såddes höstvetete efter höstraps med direktsådd i ledet med reducerad jordbearbetning.

Tabell 9. Datum för sådd och skörd samt skördar, kg ts/ha (standardavvikelser inom parentes). De år skörden skiljde sig signifikant ($P < 0,05$) mellan leden indikeras med *.

	Gröda	Sådd	Skörd	Skörd, kg ts/ha	
				Konventionell	Reducerad
2009	Höstraps	2008-08-16	2009-08-06	2106 (367)	2435 (499)
2010	Höstvetete	2009-09-14	2010-08-10	6955 (221)*	6160 (259)
2011	Vårkorn	2011-04-19	2011-08-12	6386 (27)	6116 (304)
2012	Havre	2012-03-28	2012-08-21	5368 (183)	5595 (358)
2013	Oljelin	2013-05-07	2013-09-30	646 (273)	813 (95)
2014	Höstvetete	2013-09-06	2014-08-01	8387 (264)	6525 (1993)
2015	Vårkorn	2015-04-10	2015-08-17	5549 (273)	5885 (418)
2016	Höstraps	2015-08-20	2016-08-07	3220 (198)*	2736 (131)



Drönarfotot visar de 6 rutorna på Lanna i maj 2016 i växande höstraps. Ruta 1, 4 och 5 från vänster är de med sämst marktäckning och som endast bearbetades ytligt hösten innan. Längst till höger ligger vallträdan på ruta 7.

Foto: Igor Tihonov

Skördarna var överlag goda, och relativt lika i de båda jordbearbetningssystemen, tabell 9. Signifikanta skillnader fanns endast två år (höstvetete 2010 och höstraps 2016), då skörden var större efter konventionell jordbearbetning, vilket åtminstone för höstrapsgrödan berodde på att grödans marktäckning var sämre efter reducerad jordbearbetning (foto ovan). Kvickrotsförekomsten var

betydligt större när marken inte höstplöjdes, vilket ledde till kemisk ogräsbehandling på hösten under 4 år av 9, tabell 10.

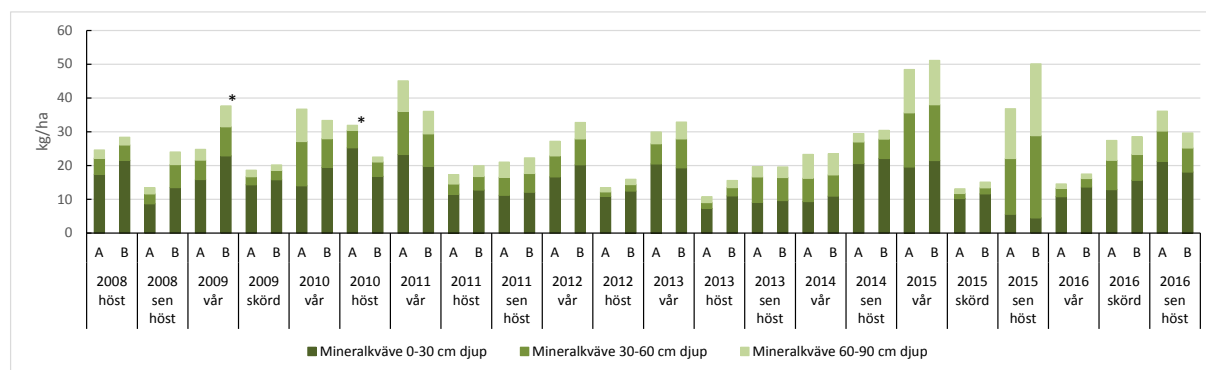
Tabell 10. Alla år behandlades båda leden på Lanna mot örtogräs under vår-försommar. I tabellen anges graderingar av gräsogräs (främst kvickrot) som gjorts under hösten och kemisk höstbehandling

	Ogräsens marktäckning	Konventionell	Reducerad	Kemisk ogräs-behandling på hösten
2009	Ej noterat			
2010	Kvickrot sen höst	5%	30-40%	Roundup, alla
2011	Kvickrot sen höst	5%	60%	Roundup, alla
2012	Ogräsfritt på hösten			
2013	Spillsäd i augusti	5-15%	70-90%	
2014	Ej noterat			Roundup, alla
2015	Kvickrot i augusti	0-5%	20-70%	
2016	Kvickrot sen höst	2%	2-10%	
2017	Kvickrot i augusti	0	35-70%	Extra behandling i B med Jablo i sept

- ✓ Skörden var större under 2 år av 9 efter konventionell jordbearbetning. Mer ogräs och sämre etablering av grödan var troliga orsaker

Mängden mineralkväve i marken bestämdes under höst och vår ned till 90 cm djup. Endast vid ett par tillfällen fanns signifikanta skillnader mellan de två jordbearbetningssystemen, och de tycktes inte ha skiljt sig åt vad gällde påverkan på mineraliseringen av kväve (figur 14). Endast under höst 2015 till vår 2016 uppmättes en minskning av mängden mineralkväve i marken över vintern, annars ökade snarare mängderna över vintern.

- ✓ På lerjorden vid Lanna bevarades de flesta åren del av mineralkvävet i marken över vintern är istället för att ge upphov till läckage

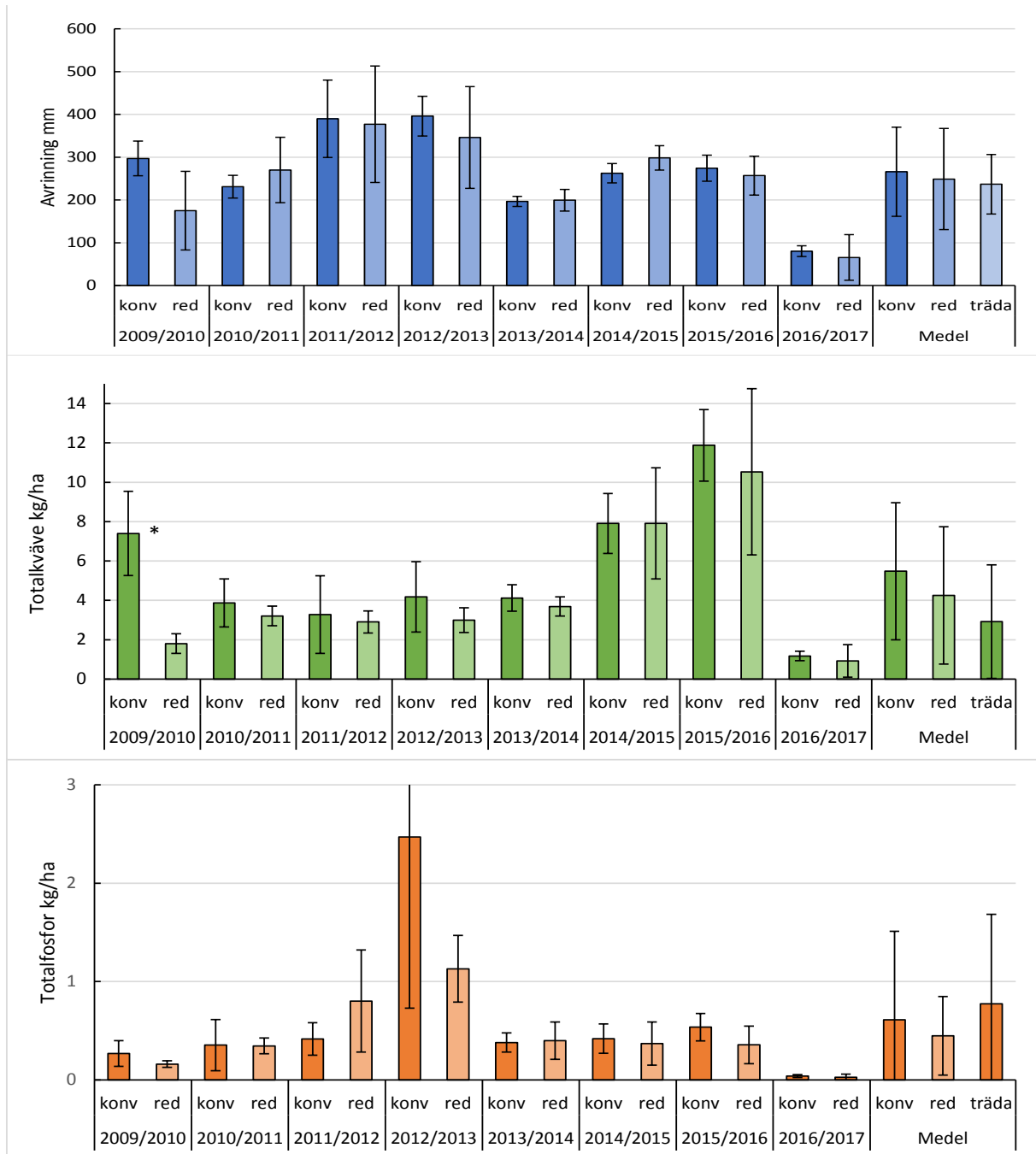


Figur 14. Markmineralkväve i Lannaförsöket (0-90 cm djup, i tre skikt), där A betyder konventionell jordbearbetning och B betyder reducerad. Signifikanta skillnader markeras med *.

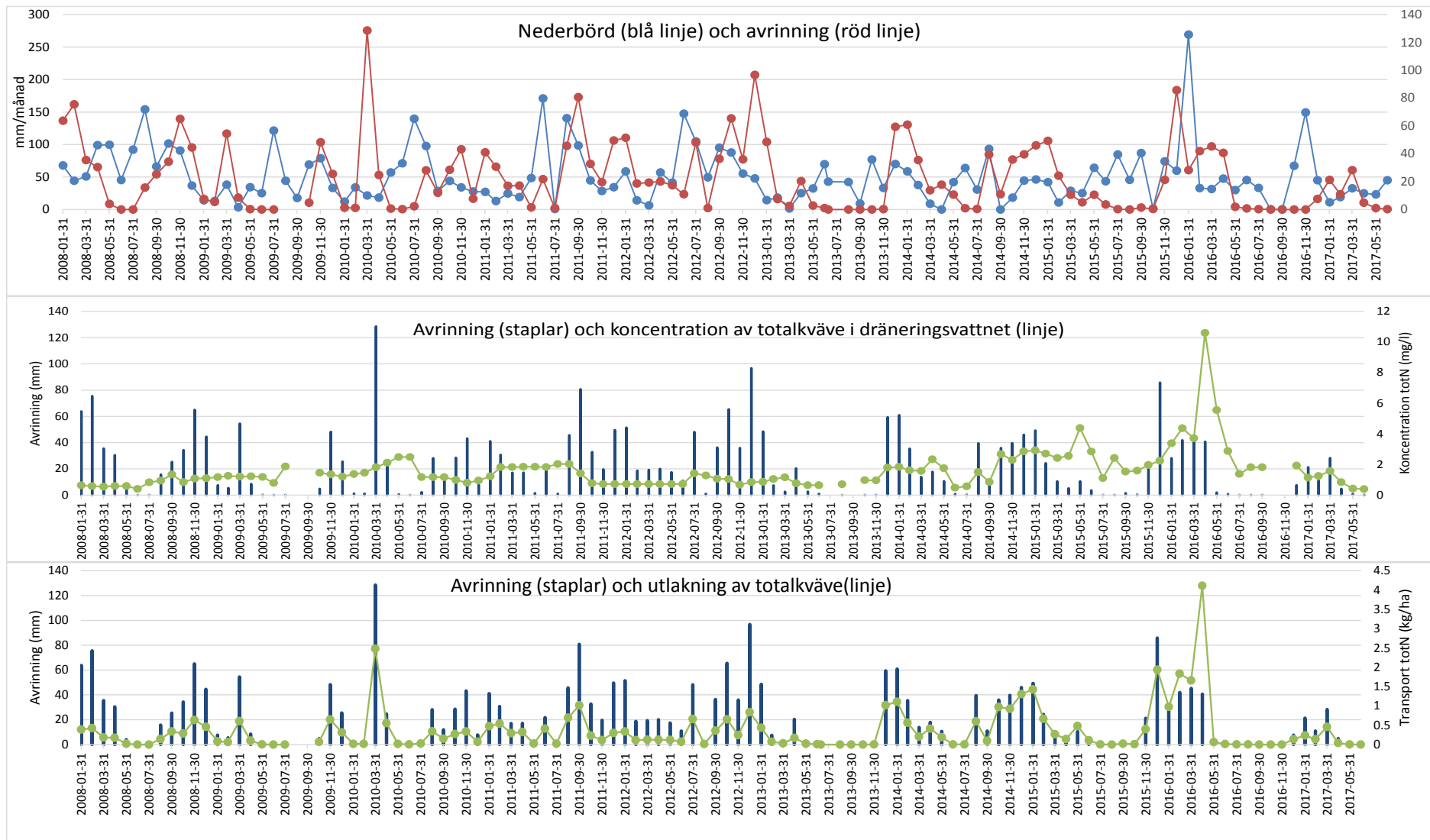
Att kväve bevaras i marken och inte utlakas i så stor omfattning är en förklaring till en liten kväveutlakning under de flesta år, ofta mindre än 10 kg/ha, trots ganska omfattande avrinning flera av åren, figur 15. Hösten 2015 var alltså ett undantag när det skedde en effektiv urtvättning av det kväve som fanns i marken under senhösten, figur 14. Den totala avrinningen var inte anmärkningsvärt stor denna vinter, men det kom mycket nederbörd just under december, och kvävekoncentrationerna steg i dräneringsvattnet under våren efter, figur 16. Detta år var utlakningen av kväve den största som uppmättes under perioden 2009-2017 (11-14 kg N/ha). Figurerna 16-17 visar månadsdynamiken i nederbörd, avrinning och koncentrationer samt utlakning av kväve och fosfor. Inte heller fosforutlakningen skiljde sig mellan behandlingarna. För fosfor var det året 2012/2013 som utmärkte sig med stora förluster (1-2 kg/ha). Under detta år var det i samband med en avrinningstopp i juli som

fosforkoncentrationerna i dräneringsvattnet ökade (främst i partikelbunden form) och sedan låg kvar med höga värden över vintern (figur 17).

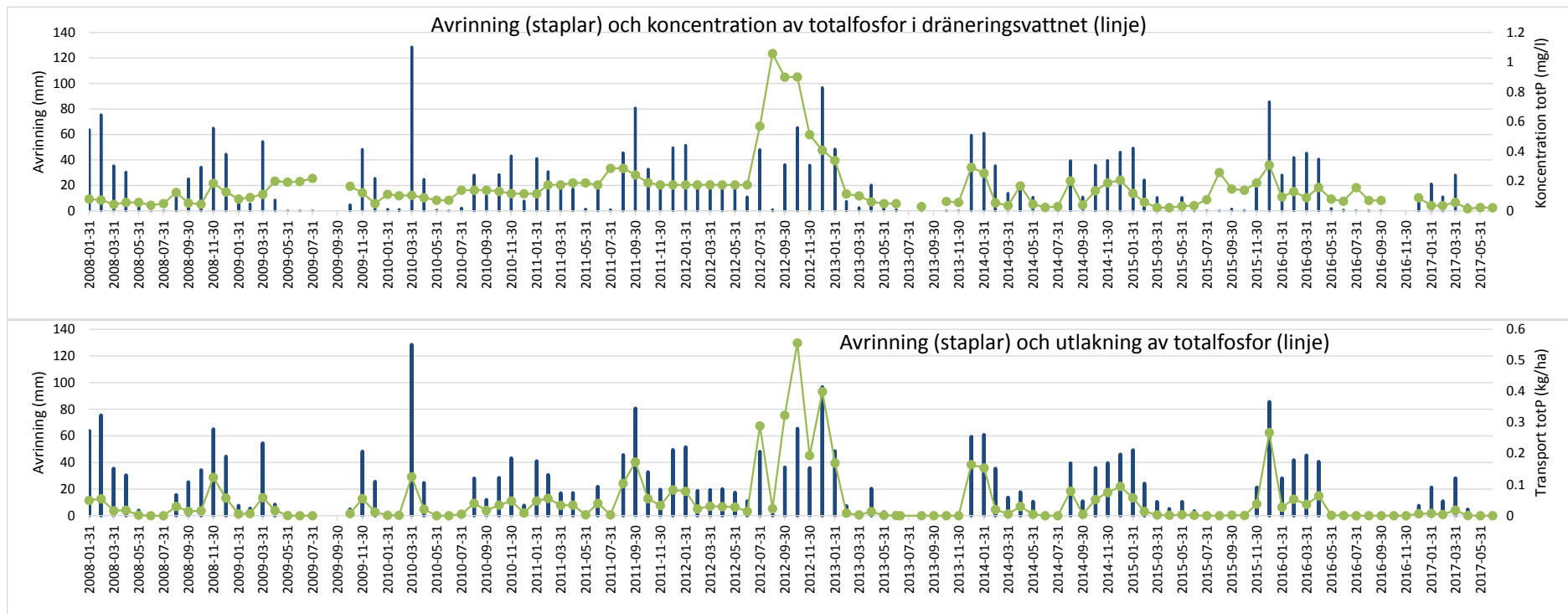
- ✓ Nio år med reducerad jordbearbetning har inte påverkat läckaget av kväve och fosfor
- ✓ Avrinningens fördelning under enskilda år kan påverka läckaget mer än behandlingarna



Figur 15. Lannaförsökets årsavrinning (överst, 1 juli-30 juni), medelvärden för årlig utlakning av totalkväve (mitten) och totalfosfor (nederst). Prefixbokstäver visar signifikanta skillnader mellan behandlingarna. Olika bokstäver betyder signifikant skillnad ($p < 0,05$).



Figur 16 a-c. Månadsdynamik hos nederbörd och avrinning samt koncentrationer av totalkväve och den beräknade kväveutlakningen i Lannaförsöket 2008-2017.



Figur 17 a-b. Månadsdynamik hos avrinning och koncentrationer av totalfosfor och den beräknade fosforutlakningen i Lannaförsöket 2008-2017.

3.10 Långliggande ogödslade vallträdor på Mellby och Lanna

Utlakning från ogödslad vallträda är av ett särskilt intresse eftersom den kan utgöra en referens för växtnäringsläckage från jordbruksmark som inte brukas. I försöket på Lanna (styv lera) ligger sedan 1993 en vallträda som inte gödslas eller skördas. Delar av resultaten finns rapporterade i (Aronsson m.fl., 2006; Aronsson & Torstensson, 2009). Från 2007 avsattes också två försöksrutor intill försöket på Mellby, som tidigare ingick i ett försök med ekologisk produktion, för få utlakningsvärden för ogödslad vallträda på mojord.

- ✓ Vallträdan i Lannaförsöket (24 år) har haft halter av kväve i dräneringsvattnet kring 1 mg/l. Ogödslade vallträdor på Mellby (10 år) har haft halter på ca 5 mg/l, och ett kväveläckage motsvarande det från mark med insådd gräsfånggröda över vintern
- ✓ På Lanna har fosforhalterna i dräneringsvattnet aldrig varit lägre från vallträdan än från odlad mark, och under den senaste 10-årsperioden snarare högre. På Mellby har fosforläckaget varit mycket litet både från trädan och från odlad mark
- ✓ Antal putsningar påverkade valltillväxten och dess sammansättning på Lannaträdan, men det påverkade inte läckaget av kväve och fosfor

Vallen på Lanna såddes in med en gräs/klöverblandning på en av utlakningsrutorna i försöket. Klöverandelen utgjorde ca 30-60% under de första 10 åren, men har successivt avtagit, och sedan några år tillbaka består den mer eller mindre en ren gräsvall. Under 1993-2006 slogs vallen tre gånger under sommaren, men man övergick sedan till att putsa endast en gång (i juli). Därför var mängderna kväve och fosfor i avslaget material större före 2007 än efter. Under perioden med avslagning 3 gånger under sommaren var mängden kväve i det avslagna materialet mer än 200 kg N/ha under flera år och oftast mer än 100 kg. Mängden fosfor var upp till 40 kg P/ha. Sedan 2007 uppmättes i medeltal 30 kg N/ha och 7 kg P/ha i avslaget material. Kvävehalten i det avslagna materialet minskade också från drygt 2 % av ts till ca 0.8% efter ändrad skötsel.

Även på Mellby var insådden en gräs/klöver-blandning. Fram till 2015 slogs vallen 3 gånger under sommaren utan att skördas, och från 2016 endast en gång. Upp till 150 kg N/ha återfanns i det avslagna materialet (i medeltal ca 90 kg N/ha) och det hade en medelkvävehalt på 1,4% N. Fosforinnehållet mättes inte.

Tabell 11. Långtidsårsmedelvärden av avrinning, kväve- och fosforkoncentrationer i dräneringsvattnet och utlakning för vallträda och motsvarande odlad jord (jordbearbetning varje höst) på Mellby (mojord) och Lanna (styv lera) för perioden 2007-2017. Jämförelserutorna är de övriga rutorna i försöket på Lanna respektive försöket på Mellby. Vallträdesrutorna på Mellby låg i ett angränsande försöksfält

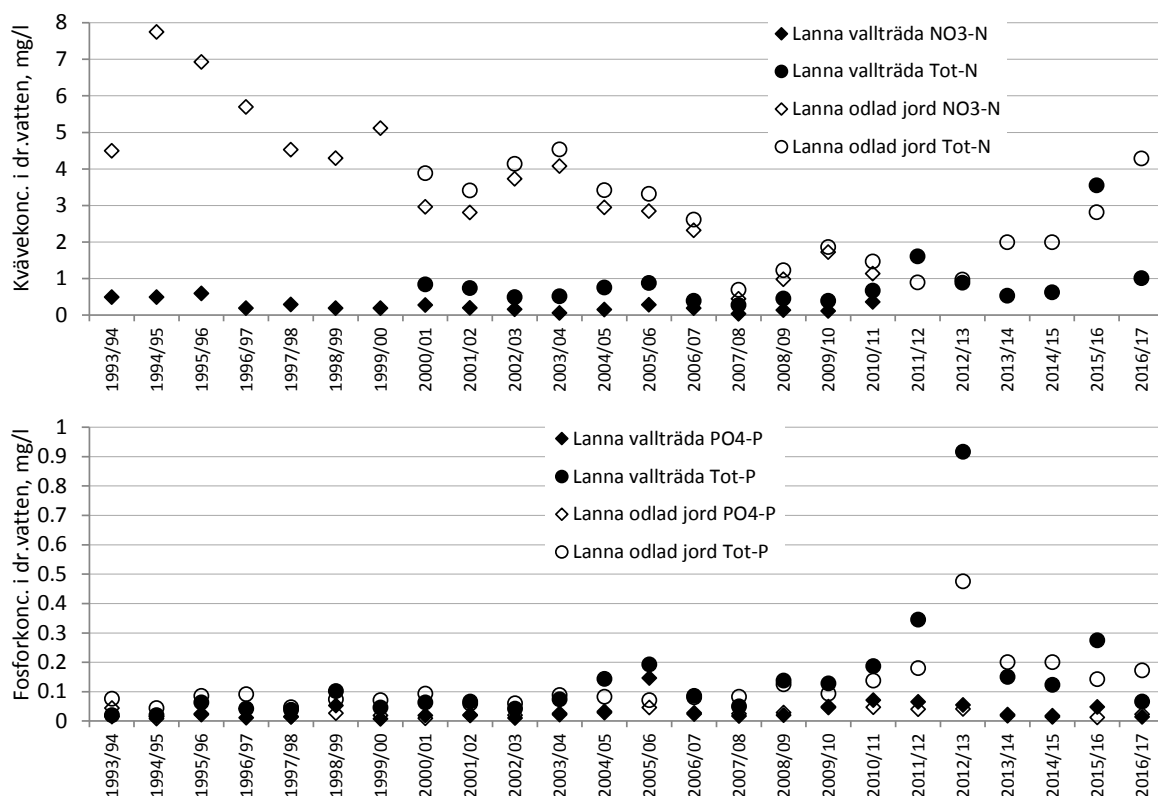
	Vallträda		Odlad jord	
	Lanna (n=1)	Mellby (n=2)	Lanna (n=6)	Mellby (n=1-3)
Avrinning mm/år	250	250	250	240
Totalkväve mg/l	1,0	5,3	1,8	11
Totalkväve kg/ha	2,6	13	4,3	25
Totalfosfor mg/l	0,24	0,05	0,18	0,05
Totalfosfor kg/ha	0,67	0,12	0,35	0,13

Det var stora nivåskillnader i kväve- och fosforutlakning på de båda plasterna, vilket har både med jordart och klimat att göra, tabell 11. Jorden vid Mellby har en betydande benägenhet för läckage av kväve, men binder fosfor effektivt i alven. Vid Lanna var snarare fosforläckaget mer betydande, där ca 30% utgjordes av fosfor i löst form, oavsett om det var träda eller mark som bearbetades regelbundet (visas ej).

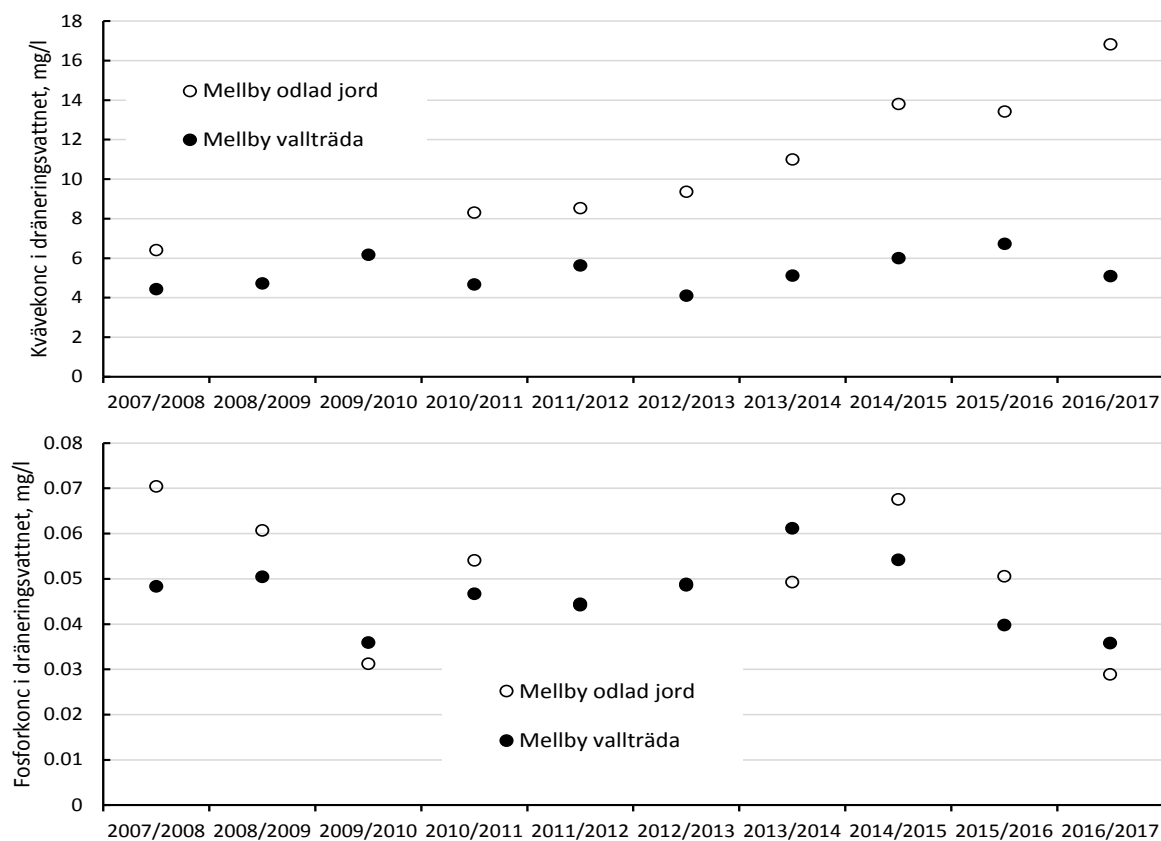
Fosforhalterna i dräneringsvattnet från trädan på Lanna har inte skiljt sig systematiskt från övriga rutor, figur 18, men medelvärdet för de senaste 10 åren visar något högre läckage av fosfor i dräneringsvattnet från vallträdan än från övriga rutor. Alla försöksrutor har generellt haft högre fosforhalter denna period. Under 2009 infördes reducerad jordbearbetning på tre av de övriga rutorna på Lanna, men dessa har inte skiljt sig åt från plöjda rutor vad gäller fosfor- eller kväveläckage, och förklarar inte detta. I trädan på Lanna är det mycket möjligt att ett allt stabilare porsystem utvecklas med tiden samtidigt som organiskt material ansamlas i ytan. Detta kan leda till ökat fosforläckage. På Mellby finns inga tendenser till att trädan har påverkat fosforläckaget, figur 19.

Övergången från att slå vallen tre gånger till att bara slå en gång medförde att mindre växtmaterial lämnades på markytan. Detta skulle kunna förmodas minska risken för läckage från avslaget växtmaterial, men inget tyder på detta. Recirkuleringen av näring till ny tillväxt var troligen effektiv, och för kväve kan också förluster ha skett genom ammoniakavgång från materialet. På Mellby har vallträdan stabilt haft en kvävehalt i dräneringsvattnet på ca 5 mg/l (figur 19), vilket är jämförbart med insädd gräsfånggröda och vårplöjning i Mellbyförsöket (figur 4), och i medeltal knappt 50% av vad som uppmätts från mark med jordbearbetning varje höst, tabell 11 och figur 4. I figur 19 jämförs vallträdan på Mellby alltså med tre rutor (under de tre första åren endast en ruta) som bearbetas varje höst och som odlas utan fånggröda eller stallgödseltillförsel. För dessa rutor ser kvävekoncentrationerna i dräneringsvattnet ut att ha ökat något över åren.

För vallträdan på Lanna har koncentrationerna av kväve i dräneringsvattnet (de första åren nitratkväve, sedan totalkväve) under de flesta år legat stabilt kring eller under 1 mg/l. De relativa skillnaderna jämfört med övriga rutor har däremot minskat över åren, figur 18. Under de första 14 åren var kvävekoncentrationerna från övriga rutor betydligt högre, men sedan 2007 har dessa sjunkit, med resultat att skillnaderna mellan vallträda och bearbetad mark har minskat. Under denna period har odlingen på övriga rutor övergått från att domineras av vårstråsäd till att från 2000 ha en växtföljd med frekvent höstvetete och höstraps. För den senaste 10-årsperioden har vallträdans läckage av kväve varit ca 60% av det som uppmätts i övriga rutor, men läckaget har alltså varit förhållandevis litet även i dessa.



Figur 18. Årsmedelkoncentrationer av kväve (nitrat eller totalkväve, ovan) och fosfor (fosfat respektive totalfosfor, under) i dräneringsvattnet från vallträdan på Lanna i jämförelse med medelvärde av försökets övriga 6 rutor.



Figur 19. Årsmedelkoncentrationer av totalkväve (ovan) och totalfosfor (under) i dräneringsvattnet från vallträdan på Mellby i jämförelse med medelvärde av försöksrutor med handelsgödslad mark utan fånggröda.

4 Referenser

Referenserna i fet stil är publikationer som helt eller delvis hör till projektet som redovisas i denna rapport

- Andersson, H. 2016. The role of subsoil properties for phosphorus leaching in agricultural soils. Doctoral thesis 2016:9, Faculty of natural resources and agricultural sciences, SLU
- Aronsson, H. 2000. Nitrogen turnover and leaching in cropping systems with ryegrass catch crops. Doctoral thesis, Agraria 214, Faculty of natural resources and agricultural sciences, SLU
- Aronsson, H. & Torstensson, G. 2003. Höstgrödor-Fånggrödor-Utlakning. Kvävedynamik och kväveutlakning i två växtföljder på moränlättilera i Skåne. Resultat från 1993-2003. *Ekohydrologi nr 75*. Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Aronsson, H., Torstensson, G. och 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. *Ekohydrologi nr 74*. Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Aronsson, H. & Torstensson, G. 2004. Beräkning av olika odlingsåtgärders inverkan på kväveutlakningen. Beskrivning av ett pedagogiskt verktyg för beräkning av kväveutlakning från enskilda fält och gårdar. *Ekohydrologi 78*. Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala
- Aronsson, H., Lindén, B., Stenberg, M., Torstensson, G., Rydberg, T. and Forkman, J. 2006. Växtnäringsutlakning från en lerjord med höstveteväxtföljd och vallträda. *Ekohydrologi nr 93*, Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Aronsson, H. & Stenberg, M. 2007. Utlakning av kväve, fosfor och glyfosat i samband med kemisk brytning av fånggrödor. Rapport från växtodlings- och växtskydds dagar i Växjö 5-6 dec 2007. Meddelande från södra jordbruksförsöksdistriktet nr 60

- Aronsson, H. & Torstensson, G. 2009. Långsiktiga effekter av flytgödsel och fånggrödor på växtnäringsdynamik i marken och utlakning. Mellby försöksfält 1989-2009. *Ekohydrologi 114*, SLU, Uppsala.
- Aronsson, H., Stenberg, M. & Rydberg, T. 2009a. Kväve- och fosforutlakning från två växtföljder på lerjord med grön- och stubbträda. *Ekohydrologi 113*, SLU, Uppsala.
- Aronsson, H., Stenberg, M. & Rydberg, T. 2009b. Kväve- och fosforutlakning från lerjord vid odling av två-årig grönträda med olika putsningsfrekvens. *Ekohydrologi 111*, SLU, Uppsala.
- Aronsson, H. & Stenberg, M. 2010. Leaching of nitrogen from a 3-yr grain crop rotation on a clay soil. *Soil Use and management 26*, 274-285.
- Aronsson, H., Stenberg, M. & Ulén, B. 2011. Leaching of N, P and glyphosate from two soils after herbicide treatment and incorporation of a ryegrass catch crop. *Soil Use and management 27*, 54-68.
- Aronsson, H., Bergkvist, G., Stenberg, M. och Wallenhammar, A-C. 2012a. Gröda mellan grödorna -samlad kunskap om fånggrödor. Rapport 2012:21, Jordbruksverket, Jönköping.
- Aronsson, H., Torstensson, G., Rydberg, T., Stenberg, M. & Myrbeck, Å. 2012b. Resultatrapport 2009-2011 för projektet Utlakningsförsök för långsiktig kontroll av odlingsystem med vintergrön mark. Teknisk rapport 152, SLU, Uppsala.
- Aronsson, H., Torstensson, G., Rydberg, T., Stenberg, M., Blomberg, M., Myrbeck, Å., Wallenhammar, A-C., och Jonsson, A. 2015. Resultatrapport 2011-2014 för projektet Utlakningsförsök för långsiktig kontroll av odlingsystem med vintergrön mark, Inst f mark och miljö, SLU (arbetsdokument)
- Aronsson H, Hansen E M, Thomsen I K, Liu, J, Øgaard A F, Känkänen H, Ulén B. 2016. The ability of cover crops to reduce nitrogen and phosphorus losses from arable land in southern Scandinavia and Finland – a review. *Journal of Soil and water Conservation 71 (1)*: 41-55.
- Aronsson, H. & Johnsson, H. 2017. Beskrivning av och kvantitativ utvärdering av effekter från åtgärder som följer av befintliga regelverk för att minska jordbrukets kväve- och fosforförluster. *Ekohydrologi 145*, Inst f mark och miljö, SLU, Uppsala.
- Aronsson, H. 2018. The role of cover crops in agriculture and their environmental significance. Accepted for publication in Oxford Research Encyclopedias.
- Engström, L., Stenberg, M., Aronsson, H and Lindén, B. 2011. Reducing nitrate leaching after winter oilseed rape and peas in mild and cold winters. *Agronomy for Sustainable Development (31)*, 337–347).
- Hessel, K., Aronsson, H., Lindén, B., Stenberg, M., Rydberg, T. och Gustafson, A. 1998. Höstgrödor-Fånggrödor- Utlakning-kvävedynamik och kväveutlakning på en moränlättilera i Skåne. *Ekohydrologi nr. 46*, Avd. för vattenvårdslära, SLU, Uppsala.
- Hessel Tjell, K., Aronsson, H., Torstensson, G., Gustafson, A., Lindén, B., Stenberg, M. och Rydberg, T. 1999. Mineralkvävedynamik och växtnäringsutlakning i handels- och stallgödslade odlingsystem med och utan fånggröda. Resultat från en grovmojord i södra Halland, perioden 1990-1998. *Ekohydrologi 50*. Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Henriksson, M., Bergström Nilsson, S., Aronsson, H. & Ekre, E. 2016. Utlakningsförsök i Halland. Broschyr, Hushållningssällskapet i Halland
- Lindén, B., Aronsson, H., Gustafson, A. och Torstensson, G. 1993. Fånggrödor, direktsådd och delad kvävegiva -studier av kväveverkan och utlakning i olika odlingsystem i ett lerjordsförsök i Västergötland. *Ekohydrologi nr. 33*, Avd. för vattenvårdslära, SLU, Uppsala.
- Lindén, B., Engström, L., Aronsson, H., Hessel Tjell, K., Gustafson, A., Stenberg, M. och Rydberg, T. 1999. Kvävemineralisering under olika årstider och utlakning på en mojord i Västergötland. *Ekohydrologi 51*, Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Lindén, B., Roland, J. & Tunared, R. 2000. Höstsäds kväveupptag under hösten. Rapport 5 serie, Institutionen för jordbruksvetenskap Skara, SLU.
- Lindén, B., Aronsson, H., Engström, L., Torstensson, G. och Rydberg, T. 2006. Kvävemineralisering och utlakning av kväve och fosfor på en lerjord vid Lanna i Västergötland. *Ekohydrologi nr 91*, Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Liu, J., Aronsson, H., Blombäck, K. Persson, K. and Bergström, L. 2012a. Long-term measurements and model simulations of phosphorus leaching from a manured sandy soil. *Journal of soil and water conservation 67(2)*, 101-110.
- Liu, J., Aronsson, H., Ulén, B. & Bergström, L. 2012b. Potential phosphorus leaching from sandy topsoils with different fertilization history before and after pig slurry application. *Soil Use and Management 28*:457-467
- Liu, J. 2013. Phosphorus leaching as influenced by animal manure and catch crops. Doctoral thesis 2013:55, Faculty of natural resources and agricultural sciences, SLU
- Myrbeck, Å. 2014. Soil tillage influences on soil mineral nitrogen and nitrate leaching in Swedish arable soils. Doctoral thesis 2014:71, Faculty of natural resources and agricultural sciences, SLU

- Poeplau, C., Aronsson, H., Myrbeck, Å. and Kätterer T. 2015. Effect of perennial ryegrass cover crop on soil organic carbon stocks in southern Sweden. *Geoderma Regional* 4: 126-133.**
- Ringselle, B. 2015. Resource efficient control of *Elymus repens*. Doctoral thesis 2015:36, Faculty of natural resources and agricultural sciences, SLU
- 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 and Tillage Research*, 50:115-125.
- Torstensson, G. 1998. Nitrogen availability for crop uptake and leaching. Doctoral thesis, *Agraria* 98, Faculty of natural resources and agricultural sciences, SLU.**
- Torstensson, G. och Magnusson, H. 2001. Kväveutlakning på sandjord - motåtgärder med ny odlingsteknik. Miljöanpassad stallgödselanvändning och odling i realistiska odlingssystem. Resultat från en grovmjord i södra Halland, perioden 1991-1999. *Ekohydrologi* 57, Inst f mark och miljö, SLU, Uppsala.
- Torstensson, G. 2003a. Ekologisk odling – Utlakningsrisker och kväveomsättning i ekologiska odlingssystem med resp. utan djurhållning på sandig grovmo i södra Halland. Resultat från perioden 1997 – 2002. *Ekohydrologi* 72, Inst f mark och miljö, SLU, Uppsala
- Torstensson, G. 2003b. Ekologisk odling – Utlakningsrisker och kväveomsättning i ekologiska odlingssystem med resp. utan djurhållning på lerjord i Västra Götaland. Resultat från perioden 1997 – 2002. *Ekohydrologi* 73, Inst f mark och miljö, SLU, Uppsala
- Torstensson, G., Aronsson, H. och Ekre, E. 2011a. Utlakningsförsök med vitsenap och oljerättika om eftersådda fånggrödor. *Ekohydrologi* 124, Inst f mark och miljö, SLU, Uppsala
- Torstensson, G., Aronsson, H. och Ekre, E. 2011b. Kväve- och fosforutlakning efter potatis – utlakning efter olika potatistyper. *Ekohydrologi* 127, Inst f mark och miljö, SLU, Uppsala
- 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.**
- Ulén, B., Aronsson, H., Bechmann, M., Krogstad, T., Øygarden, L. & Stenberg, M. 2010. Soil tillage measures to control phosphorus loss and potential side-effects: a Scandinavian review. *Soil Use and management* 26, 94-107.