

Kväveutlakning i förhållande till gödslingsnivå och grödans upptag på olika jordar

Sofia Delin och Maria Stenberg

Bakgrund

Om man gödslar med mer kväve än vad grödan kan ta upp ökar risken för kväveutlakning. Det har dock funnits olika uppfattningar om i vilken grad kväveutlakningen påverkas av gödslingsnivån vid gödslingsgivor som är lägre än vad grödan ta upp och hur kraftig ökningen i utlakning blir om gödslingen överskrider grödans kväveupptagningsförmåga. I ett redan avslutat SLF-projekt undersöktes hur kvävegödslingen påverkar utlakningen i relation till grödans upptag av kväve på en lättjord. Syftet med det här projektet var att komplettera dessa försök med liknande försök på en lerjord. Detta så att utlakningsmodellerna som ligger till grund för de regler och rekommendationer som utfärdas till lantbrukare får en bättre grund. Förutom att studera utlakningseffekter av gödsling studerades sambandet mellan restkvävemängd vid skörd och utlakningsnivå, för att avgöra vilka slutsatser man kan dra av det försöksmaterial som finns med restkvävemängder efter olika kväveintensitet. Syftet med projektet var också att utifrån resultaten diskutera potentiell utlakningsminskning vid precisionsgödsling.

Hur utlakningen påverkas av gödsling har presenterats olika i olika studier. Skillnaderna beror sannolikt på hur data tagits fram och sättet som data presenteras. Bergström & Brink (1985) presenterade utlakningen vid olika gödslingsnivåer från en nioårig studie, och fann en gradvis ökning av utlakningen med gödslingsnivån och en markant ökning när gödslingen överskred 100 kg N/ha. Detta var dock inte presenterat i relation till skörderesponsen och givorna var fasta mellan år oberoende av gröda och förväntat gödslingsbehov. De ackumulerade effekterna från flera år med olika nivåer på optimal kvävegiva gör det besvärligt att analysera om utlakningen ökade gradvis redan under ekonomiskt gödslingsoptimum eller om ökningen startar vid ett visst skördeutbyte. Simmelsgaard & Djurhuus (1998) presenterade en exponentiell funktion som beskrev hur utlakningen påverkades av gödslingsnivån i relation till rekommenderad gödslingsnivå i några danska försök. Enligt den funktionen var det en gradvis ökning av utlakning redan vid ganska låga gödslingsnivåer och med en nästan linjär ökning runt rekommenderad gödslingsnivå. Här relaterades utlakningen till förväntat gödslingsbehov och inte till det faktiska utfallet. Det var en sammanställning av flera olika försök med ganska få gödslingsled i varje, vilket ökar osäkerheten för vilka effekter som beror på gödsling och vad som beror på andra omständigheter. Lord & Mitchell (1998) däremot, som presenterade utlakningen vid olika kvävegödsling i relation till ekonomiskt optimum framräknat från de faktiska skördarna i brittiska försök, visade att utlakningen påverkades mycket lite (<0,05 kg/kg) av ökad gödsling under ekonomiskt optimum, men i medeltal 0,52 kg/kg av givor över ekonomiskt optimum. Engström et al. (2010) studerade utlakningen efter olika gödslingsnivåer till höstraps, och fann också en ökad effekt av gödsling på utlakning över (0,5 kg/kg) än under (0-0,2 kg/kg) optimum.

Effekten av gödsling på utlakning finns beskriven i flera modeller (Johnsson, 1990; Eckersten & Jansson, 1991; Larsson et al., 2002; Aronsson & Torstensson, 2004). Hur utlakningen påverkas varierar mellan modellerna, delvis beroende på vad modellerna är tänkta att användas till. STANK IN MIND (Aronsson & Torstensson, 2004) är en rådgivningsmodell som är tänkt som

ett pedagogiskt verktyg vid rådgivning kring miljöskyddsåtgärder och gödsling på gårdsnivå. Enligt denna modell börjar utlakningen att öka med gödslingsnivån vid kvävegödslingsnivåer 30 % under ekonomiskt optimum och ökar sedan mer med gödslingsnivån när ekonomist optimum överskridits. Hur brant lutningen är på kurvan beror på jordarten och klimatet.

Material och metoder

Försöksplan

Tre försök anlades med start 2009, 2010 respektive 2011 där havre odlades år ett med olika kvävegivor. Utlakning mättes i havren och i nästföljande gröda, som var höstvetete som gödslades med 150 kg N/ha i alla led. Varje försök hade fem led (tabell 1) randomiserade inom fyra block. Försöken som anlades 2009 och 2011 låg på en plats med 10 separat dränerade ytor. Två block var då placerade i utlakningsanläggningen och två på intilliggande mark. Försöket med start 2010 låg i en anläggning med 20 separat dränerade rutor. Här mättes alltså utlakning rutvis i alla block. Rutorna i utlakningsanläggningarna var 24 x 33 m (2009 och 2011) respektive 20 x 21m (2010).

Tabell 1. Försöksplan

Led	Gödslingsnivå	År 1 (havre)	År 2 (höstvetete)
A.	0 kg N/ha	0 kg N/ha	150 kg N/ha
B.	70 % av normal gödslingsnivå	75 kg N/ha	150 kg N/ha
C.	100 % av normal gödslingsnivå	110 kg N/ha	150 kg N/ha
D.	130 % av normal gödslingsnivå	140 kg N/ha	150 kg N/ha
E.	160 % av normal gödslingsnivå	180 kg N/ha	150 kg N/ha

Kväveupptag

Vid två tillfällen från stråskjutning till blomning mättes ovanjordiskt kväve genom rutvis mätning med Yara handsensor. Sensorvärdena kalibrerades mot uppmätta värden från rutvis klippt gröda i ett av blocken i 4 * 0,25 m² stora ytor som sedan torkats (60°C) och analyserats på kväve innehåll enligt Dumas på en LECO CNS-2000.

Utlakningsmätning

I utlakningsanläggningarna på Lanna är separata dräneringssystem installerade med 8 m ledningsavstånd i alla försöksrutorna. Dräneringsvattnet samlas upp i en mätstation, där flödesmängden mäts rutvis med s.k. vippkärl. Rutvisa samlingsprov har tagits ut automatiskt och kontinuerligt under perioder med avrinning efter gödslingstillfället och skickats för analys av nitrat- och totalkväve.

Mineralkväve i marken

Jordprover (0-30 och 30-60 cm djup) togs strax efter skörd (augusti) för bestämning av ammonium- och nitratinnehåll. Proverna hölls frysta fram till analystillfället och de maldes i

fryst tillstånd. Delprover om 30 g extraherades med 100 ml 2 M KCl och analyserades med en spektrofotometer (TrAAcs800) enligt Mulvaney (1996).

Skörd

Kärnskörd mättes rutvis med en försökströska och är angivet vid 85 % TS. Kväveinnehåll i kärnan mättes med NIT och användes för att beräkna kväveskörd. Kärnskörd plottades mot kvävegödslingsnivå och andragsgradspolynom anpassades till punkterna. Kurvorna användes för att bestämma ekonomiskt optimal kvävegiva genom att identifiera var lutningen på kurvan överensstämde med priskvoten mellan spannmål och gödsel som här antogs vara 10:1.

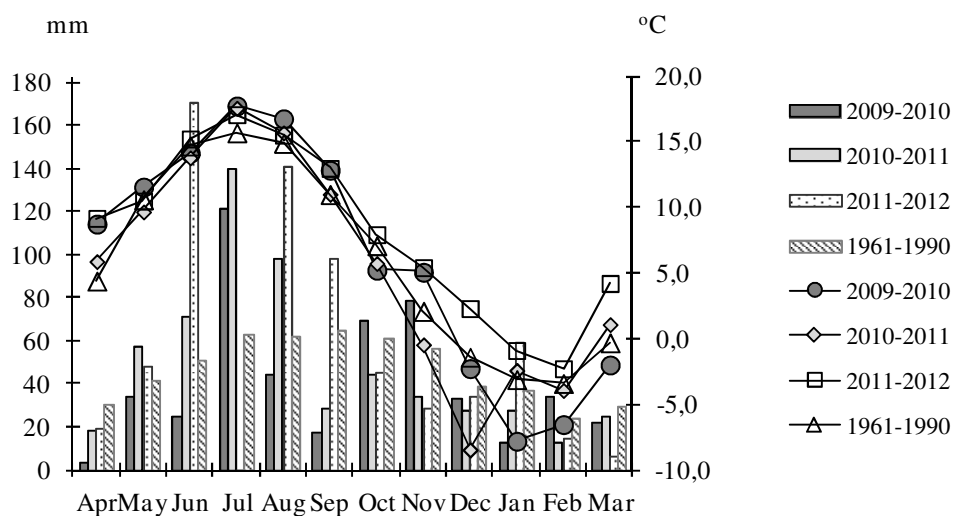
Databearbetning

För att jämföra gödslings inverkan på utlakningen och restkvävemängden över och under gödslingsoptimum från alla år samtidigt, plottades avvikelse i utlakning och restkväve i marken från ogödslat led mot avvikelse i gödsling från ekonomiskt optimal gödslingsnivå.

Resultat

Väderlek

Våren 2009 blev relativt varm och torr (figur 1). Även sensommaren och hösten hade relativt låg nederbörd och följdes av en kall vinter. Året därpå (2010) hade normal nederbördsmängd och temperatur under våren. Efter en regnig sommar följde en torr höst och en ganska tidig vinter. Våren 2011 började ganska varm och torr, varpå det kom stora nederbördsmängder i juni. Hösten var relativt torr och vintern mild.

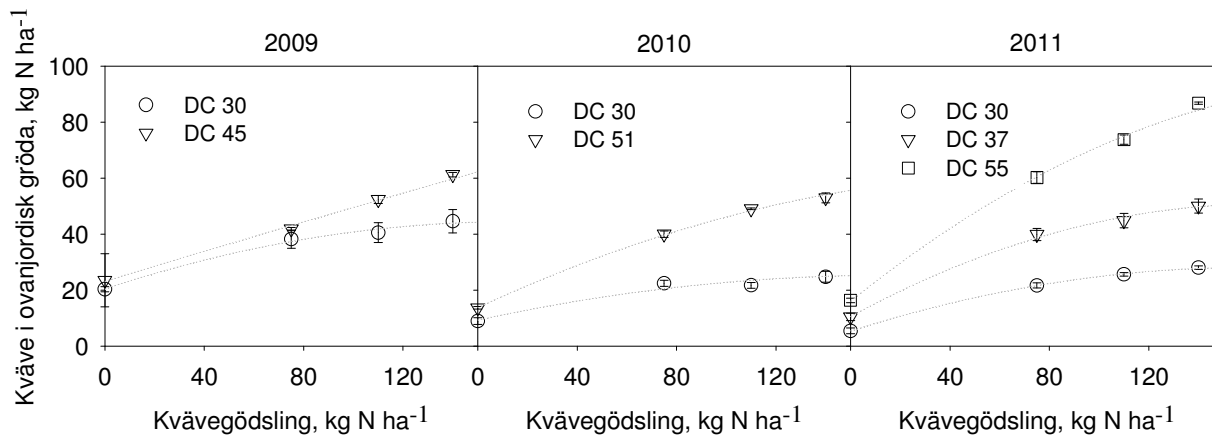


Figur 1. Nederbörd (staplar) och lufttemperatur (punkter) på Lanna försöksstation under försöksperioden.

Kväveupptag under säsong

Den kvävemängd som tagits upp av grödan enligt N-sensormätningarna korrelerade bra ($r^2=0,85-0,98$) mot den som bestämdes i några rutor vid varje N-sensormätning med grödklippning. Däremot var kväveupptaget något lägre enligt klippningarna. N-sensörvärdena justerades därför

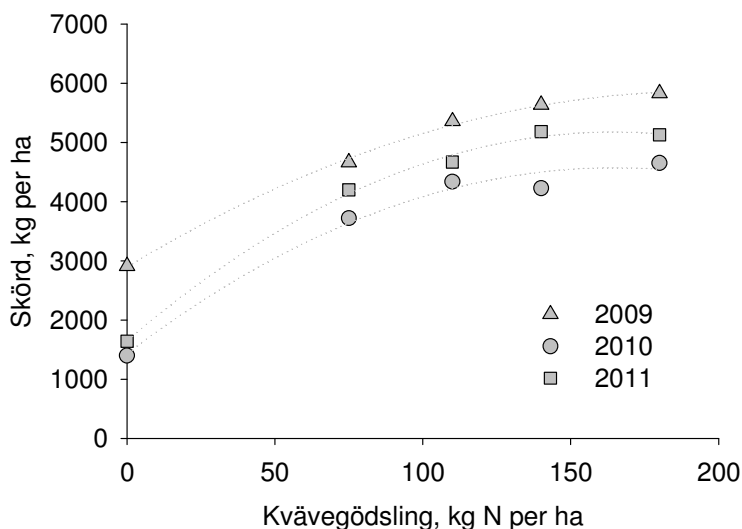
med hjälp av funktionen som beskrev sambandet mellan kväve i klippt gröda och N-sensorvärde. Kväveupptaget vid olika utvecklingsstadiet vid olika gödslingsnivåer de tre försöksåren beskrivs i figur 2. Om man beaktar att mätningarna skedde i lite olika utvecklingsstadiet olika år, var det inte så stor skillnad mellan åren, men kväveupptaget vid begynnande blomning (DC 51) var något lägre 2010 än vid närliggande utvecklingsstadiet 2009 och 2011.



Figur 2. Ovanjordiskt markkväve uppmätt vid olika utvecklingsstadiet.

Skörd och utlakning

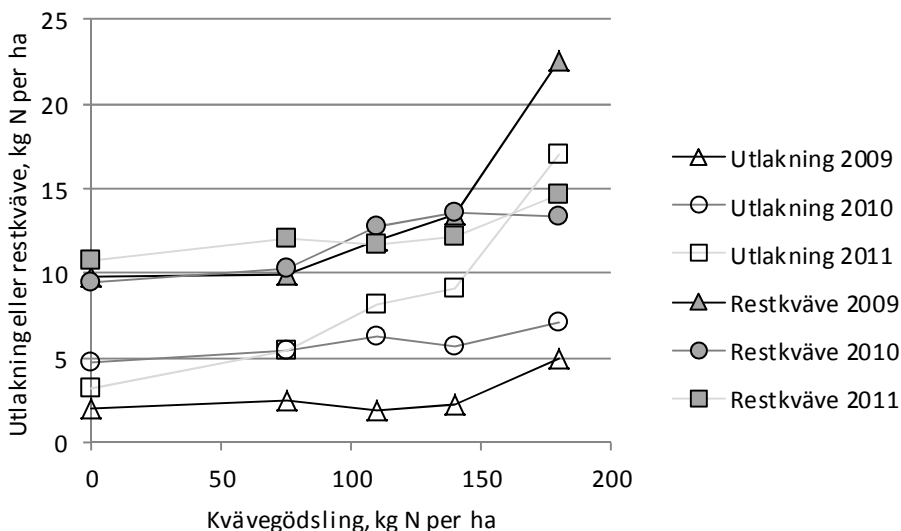
Responserna på skörd av kvävegödsling var likartad under alla tre försöksåren (figur 3). Det första året, 2009, hade de högsta skördenivåerna, både vad gäller skörd i ogödslad led och maximal skörd. Störst skördeökning vid lägre gödslingsnivåer blev det 2011.



Figur 3. Skörd vid olika gödslingsnivåer de tre försöksåren.

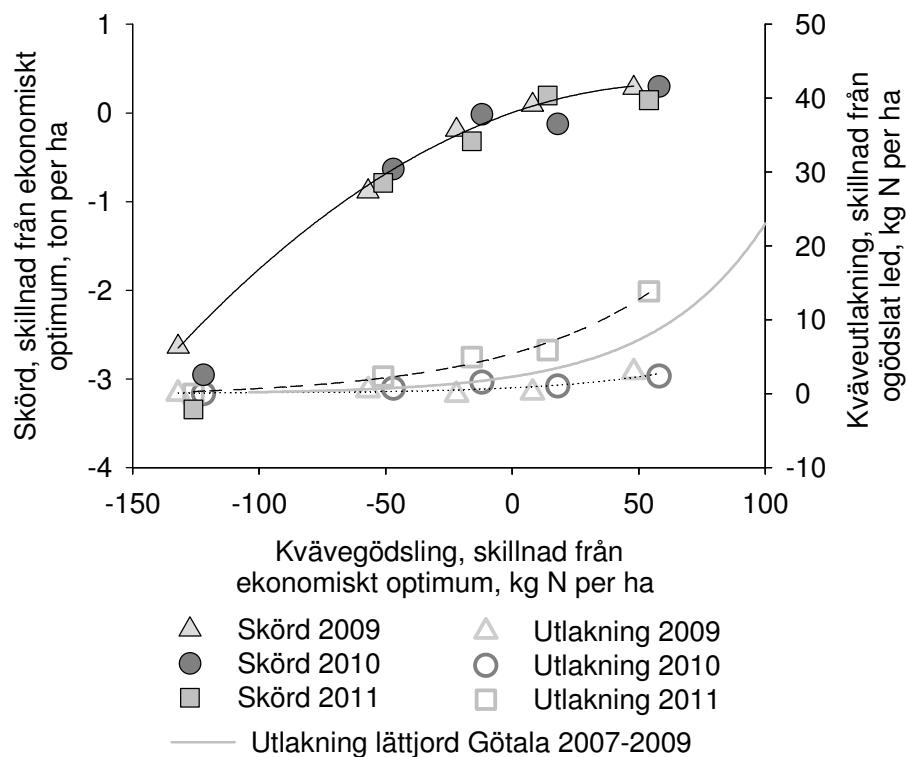
Mineralkvävemängder i marken efter skörd ökade med gödsling, framför allt vid högre nivåer (figur 4). Åren 2009 och 2010 ökade denna något redan strax under ekonomist optimum. Året

2009 blev det sedan en markant ökning vid hösta gödslingsnivån, medan någon sådan ökning uteblev 2010. År 2011 låg restkvävemängderna på samma nivå i olika led, utom i det högst gödslade ledet, där nivån var något högre. Skillnaderna i mineralkväve i marken vid skörd var på ungefär samma nivå som skillnaderna i kväveutlakning mellan led. Men hur stora skillnaderna mellan led är ett enskilt år har inte något med hur stora skillnaderna i utlakning är under samma år. År 2009 var det kraftigare skillnader i mineralkväve i marken än vad det blev i utlakning, medan 2011 rådde det omvända.



Figur 4. Kväveutlakning (t.o.m. juni året efter gödsling) och mineralkvävemängder (restkväve) i marken efter skörd i skiktet 0-60 cm.

För att åskådliggöra effekten av gödsling på utlakning för alla år samtidigt i förhållande till skörderespons plottades skörd och utlakning i ett gemensamt diagram (figur 5), där skalan på axlarna för skörd och gödsling är i relation till ekonomiskt optimum. Skala på axeln med utlakning är utlakningseffekt jämfört med ogödslat led, för att få bort skillnader i grundutlakning mellan åren, som inte är relevant i sammanhanget.



Figur 5. Diagram över avvikelse från gödslat led av A) mineralkväve i marken vid skörd (0-60 cm) och B) nitratutlakning vid olika avvikelser i kvävegödslingsnivå från ekonomiskt optimum, där en exponentiell funktion anpassats till utlakningsdata (B).

Av resultaten från 2009 och 2010 förefaller inte gödslingen ha påverkat utlakningen så länge den inte överskrider ekonomiskt optimum, d.v.s. att den resulterat i åtminstone 10 kg skördeökning per gödslat kg kväve (figur 5). I det högst gödslade ledet finns en tendens till ökning av utlakningen, vilket var statistiskt signifikant 2009, men inte 2010. Under dessa år har alltså mönstret från resultaten på lätt jord upprepat sig (Delin & Stenberg, 2012), med opåverkad utlakning under ekonomiskt optimum, men ökad utlakning då ekonomiskt optimum överskridits. Skillnaden är att effekten på utlakning över ekonomiskt optimum är lägre på lerjorden (Figur 4).

Under det sista året (2011) har dock utlakningen ökat redan vid lite lägre gödslingsnivåer, med signifikant högre utlakning än i gödslat led redan runt ekonomiskt optimum. En skillnad detta år jämfört med 2009 och 2010 är att en stor del av utlakningen skedde före midsommar, samma år som gödslingen. Under detta år var våren torr, med sprickbildning i leran som följd. Strax efter gödsling kom ett kraftigt regn, som sannolikt drog med sig en del av gödselkvävet rakt genom sprickorna. Under sådana förhållanden kan det alltså läcka kväve även från lägre gödslingsnivåer. Utlakningshöjningen vid gödsling runt ekonomiskt optimum var runt 5-6 kg N/ha (figur 5). I det högst gödslade ledet, där gödslingen överskred ekonomiskt optimum med ca 50 kg N/ha, var utlakningen ca 12 kg N/ha högre än i gödslat led. Här var alltså effekten på utlakning istället kraftigare än på den lätta jorden, trots god effekt på skörden.

Diskussion

Effekt på utlakning jämfört med andra studier

Effekten på utlakning på den lätta jorden låg på 0,1 -0,4 kg N/kg vid gödsling med 25-50 kg N mer än ekonomiskt optimum, vilket överensstämmer med Bergström & Brink (1986) och Simmelsgaard & Djurhuus (1998), men är lite mindre än Lord & Mitchell (1998). På lerjorden blev effekten väldigt marginell 2009-2010, med endast 0,05 kg N/kg vid gödsling med upp till 60 kg N mer än ekonomiskt optimum, medan effekten i snitt var 0,2 kg N/kg för samma gödsling 2011. Effekten av gödsling på utlakning var mycket mer betydande över än under ekonomiskt optimum även på lerjorden, även om det inte visades lika tydligt i resultaten som det gjorde på lättjorden (Delin & Stenberg, 2012).

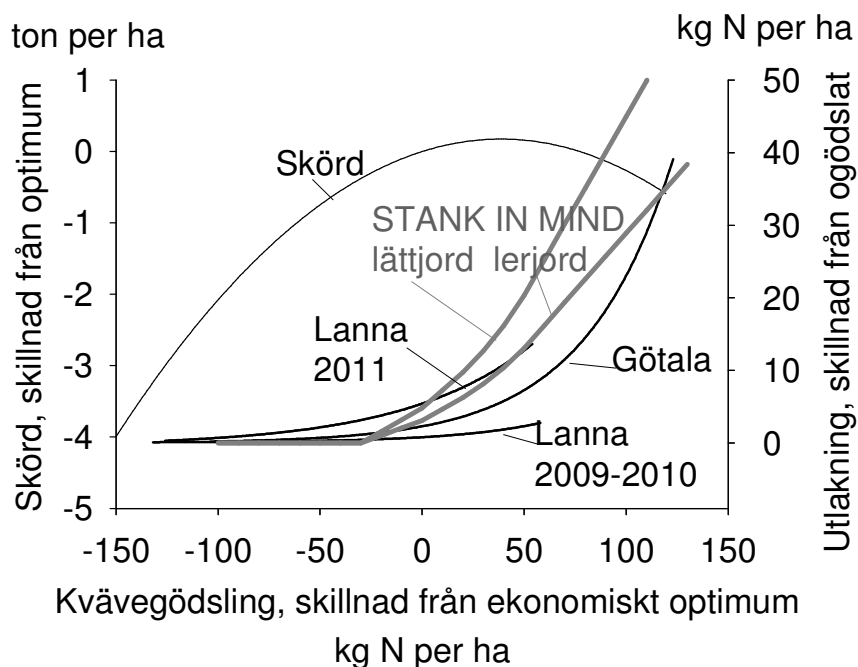
Utlakning och restkvävmängder

I studien på lätt jord konstaterade vi att restkvävmängden var starkt korrelerad till utlakningsnivåen. I försöken på lerjord fanns också ett samband inom varje år, men det såg lite olika ut 2009-2010 jämfört med 2011. Då utlakningen till stor del skedde före midsommar 2011, kan ju inte restkvävmängden säga lika mycket om utlakningen som när den sker under höst och vinter. Jämförelsen mellan restkväve och utlakning blir inte så relevant ett sådant år. Skillnaden i utlakningen mellan led på den lätta jorden blev ungefär dubbelt så stor som antydde av restkvävmängderna. På lerjorden blev utlakningen 25 % av vad som antydde av restkvävmängderna 2009 och 2010, vilket överensstämmer med vad Bergström och Brink (1986) noterade på samma jord. Detta indikerar att restkvävmängder kan användas för att bedöma utlakningsrisk från olika försöksled där detta mätts. Gruvaeus (2008) gjorde en sådan sammanställning från en rad olika försök med stigande kvävegödslingsnivåer och konstaterade att nivåerna höjdes av gödslingen först vid kvävegödslingsnivåer över ekonomiskt optimum.

Modellering

STANK IN MIND

Resultaten från detta projekt och det tidigare projektet på lätt jord har jämförts med den svenska rådgivningsmodellen STANK IN MIND (figur 6), och kommer eventuellt att föranleda justeringar i denna. STANK IN MIND beräknar en utlakningsökning från gödslingsnivåer 30 % under rekommenderad giva. Detta stämmer ju ganska bra med det år då läckage skedde redan under försommaren, innan gödseln hunnit tas upp. Sådana förhållanden är dock inte så vanliga i Sverige. I fem av sex försök ökade utlakningen först över ekonomiskt optimum. Lutningen på utlakningskurvan över ekonomiskt optimum lutar inte lika brant enligt försöksresultaten som enligt modellen. Det skulle stämma bättre om hela kurvan försköts åt höger, d.v.s. att utlakningen ökade i samma takt fast vid lite högre gödslingsnivåer. Att rådgivningsmodellen räknar som den gör kan ändå vara relevant. Risken att man inte gödslar ekonomiskt optimalt är ju ganska stor, så även om man följt en rekommendation kan man ju ha gödslat för mycket. Men man kan lika gärna ha gödslat för lite.



Figur 6. Utlakning enligt STANK IN MIND i Västergötland på lättjord (5-15% ler och lerjord (25-40% ler) jämfört med utlakningen på Götala 2007-2009, på Lanna 2009-2010 samt på Lanna 2011.

COUP

Vi inledde även försök att köra resultaten i simuleringsmodellen COUP (Jansson & Karlberg, 2013). Ganska snart insåg vi att detta skulle bli ett alltför omfattande arbete för att rymmas inom vår budget och tidsram, och det har därför lagts på is.

NLES

Resultaten har däremot skickats till Århus universitet i Danmark, för att användas för kalibrering och uppdatering i den danska modellen NLES. Data kommer där att användas för att kontrollera nuvarande beräkningsfunktioner för effekter av gödsling och vid behov justera dessa. Det är deras bästa dataunderlag just nu, då danska utlakningsstudier inte haft mer än tre gödslingsnivåer i samma försök. Utlakningseffekten av gödsling i tidigare beräkningar gjorda med modellen (Vinther et al., 2012) pekar på mycket större effekt på utlakning under ekonomiskt optimum än vad våra data antyder.

Effekter av precisionsgödsling

Att effekten på utlakning skiljer såpass mycket över och under ekonomiskt optimum visar att platsspecifik gödsling inom enskilda fält har en potential att minska utlakningen ytterligare jämfört med gödsling efter ett fälts genomsnittliga gödslingbehov. Svårigheten ligger i att göra en god prognos av gödslingbehovet vid gödslingstillfället. Förutsättningarna för en bra prognos bör ändå bli bättre om man analyserar varje fältdels gödslingsbehov än om man bara skattar behovet från en fältdel som man tror vara representativ. I en kandidatuppsats (Nilsson, 2010) presenterades potentiell utlakningsvinst utifrån olika förutsättningar och enligt utlakningskurvan

i STANK IN MIND. Hon kom fram till att utlakningsvinsten var upp till ca 4 kg N/ha vid enbart en omfördelning inom fältet och att sänkningen kunde bli ytterligare några kilo om precisionsgödslingen även innebär en sänkning av medelgivan inom fältet. Gör man samma beräkning av vinsten utifrån kurvan i undersökningen på lätt jord, blir potentiell utlakningsminskning ca 1,5 kg N/ha, vilket är ligger i nivå med beräkningarna från STANK IN MIND för den aktuella jordtypen. Vinsten på lerjord blir något mindre om man beaktar kurvan 2009 och 2010.

Tillkännagivanden

Denna studie är finansierad av Stiftelsen Lantbruksforskning. Författarna vill också tacka försökspersonalen vid Lanna försöksstation för skötsel och provtagning av försöken. Tack också agronomstuderande Cecilia Nilsson för ett väl utfört kandidatarbete och Josefin Nylinder för tappra försök att brottas med våra data i COUP-modellen. Tack också Svenja Doreen Roncossek vid Århus universitet för vidare användning av data för att förbättra den danska kväve modellen NLES. Tack alla ni som kommit med värdefulla råd vid projektets start och under projektets gång.

Referenser

- Aronsson, H., Torstensson, G. 2004. Beräkning av olika odlingsåtgärders inverkan på kväveutlakningen. SLU. Uppsala. Avd. för vattenvårdslära. Ekohydrologi 78.
- Bergström, L. and Brink, N. 1986. Effects of differentiated applications of fertilizer N on leaching losses and distribution of organic N in the soil. *Plant and Soil* 93, pp. 333-345.
- Gruvaeus, I. 2008. Kvävebehov för höstvetete under olika odlingsförutsättningar. I: Försöksrapport 2007 för mellansvenska försökssamarbetet, s. 27-32.
- Delin, S., Stenberg, M. 2012. Nitratutlakning beroende på kvävegödslingsnivå och skörderespons i havre på en lätt jord. Institutionen för mark och miljö, rapport 10.
- Engström, L., Stenberg, M., Aronsson, H. and Lindén, B. 2010. Reducing nitrate leaching after winter oilseed rape and peas in mild and cold winters. *Agron. Sustain. Dev.*, In press.
- Eckersten, H., Jansson, P.E. 1991. Modelling water flow, nitrogen uptake and production for wheat. *Fertilizer Research* 27, 313-329.
- Jansson, P.-E.; Karlberg, L. 2013. Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems, Manual.
- Johnsson, H. 1990. Nitrogen and Water dynamics in Arable Soil. A modeling approach emphasizing nitrogen losses. Dept. of Soil Sciences, Reports and dissertations 6. 36 s.
- Larsson, M., Johnsson, H., Hoffmann, M., Mårtensson, K. 2002. Technical description of SOILNDB (V. 1.0) Teknisk rapport 64, Avdelningen för vattenvårdslära, SLU. 30 s.
- Lord, I.E. Mitchell, R.D.J. 1998. Effect of nitrogen inputs to cereals on nitrate leaching from sandy soils. *Soil Use and Management* 14, 78-83.
- Mulvaney, R. L. 1996. Nitrogen - Inorganic Forms. In: Sparks D.L. et al. (Editors). *Methods of Soil Analysis, Part 3-Chemical Methods*. Soil Science Society of America Book Series, Nr 5. Madison, Wisconsin, USA. p 1123-1184.
- Nilsson, C. 2010. Möjligheter att minska kväveutlakningen genom att anpassa kvävegödslingen till variationer inom stråsädesfält. Kandidatuppsats i biologi, Institutionen för mark och miljö, Examensarbeten 2010:04, SLU Uppsala.
- Simmelsgaard, S.E: and Djurhuus, J., 1998. An empirical model for estimation nitrate leaching as affected by crop type and the long-term N fertilizer rate. *Soil Use Manage.* 14, 37-43.

Vinther, F.P., Børgesen, C.D., Kristensen, I.S., Sørensen, P., Olesen, J.E. 2012. Notat om afgrøders betydning for udvaskningen til brug for en sårbarhedsdifferentieret regulering. http://mim.dk/media/mim/62806/NLK_Redeg%C3%B8relse_vedr_afgr%C3%B8ders_betydning_for_udvaskning_091112.pdf

Publikationer

- Delin, S. & Stenberg, M. 2011. Effect of nitrogen fertilization on nitrate leaching in relation to grain yield response. In proceedings of the 24TH NJF CONGRESS Food, Feed, Fuel and Fun – Nordic Light on Future Land Use and Rural Development, June 14-16, 2011, Uppsala, Sweden.
- Delin, S. & Stenberg, M. 2012. Effect of nitrogen fertilization on nitrate leaching in relation to grain yield response in Sweden. In: Richards et al. (eds), Proceedings of the 17th International Nitrogen Workshop "Nitrogen - the future" 27th -29th June 2012, Wexford, Ireland.
- Delin, S. 2014. Ökad kväveutlakning först vid gödsling över ekonomiskt optimum. Växtpressen nr. 1, s. 14-15.
- Delin, S. & Stenberg, M. 2014. Kvävegödslingens effekt på nitratutlakning – resultat från en lerjord. Planerad rapport i den gemensamma rapportserien på Institutionen för mark och miljö, SLU.
- Delin, S. & Stenberg, M. 2014. Effect of nitrogen fertilization on nitrogen leaching in relation to grain yield response on clay soil in Sweden (*Manuscript to be submitted*)
- Nilsson, C. 2010. Möjligheter att minska kväveutlakningen genom att anpassa kvävegödslingen till variationer inom stråsådesfält. Kandidatuppsats i biologi, Institutionen för mark och miljö, Examensarbeten 2010:04, SLU Uppsala. <http://stud.epsilon.slu.se/1531/>

Övrig resultatförmedling till näringen

- Notis i Jordbruksaktuellt feb 2011: "Gödsling ökar inte risken för utlakning" <http://www.ja.se/?p=37102&m=3433&pt=105&highlight=SofiaDelin>
- Nyheder fra Videncentret for Landbrug, mars 2011: "Ingen miljøfordel ved at underforsyne med kvælstof" <http://www.vfl.dk/Nyheder/IngenMiljoefordelVedAtUndergoedeMedKvaelstof.htm>
- Föredrag på regional växtodlings- och växtskyddskonferens i Uddevalla 14-15 januari 2011: "Kväveutlakning i förhållande till gödslingsintensiteten".
- Föredrag "Kväveutlakning i förhållande till gödslingsintensiteten" på seminarium med Fältforsks ämneskommittéer för Vatten och Växtnäring, Uppsala den 12 mars 2013.
- Föredrag "Minska utlakningen, gödsla optimalt" på N-sensordag, Hook mars 2014