

# Kvävegödslingens effekt på nitratutlakning över och under ekonomiskt optimum

Sofia Delin och Maria Stenberg

## *Bakgrund*

Lantbrukare är anvisade att inte gödsla med mer kväve vad som är ekonomiskt optimalt för att minimera kväveutlakningen. Då avser man i första hand en anpassning till gödslingsbehovet på fältnivå. Platsspecifik gödning eller precisionsgödning med hänsyn till variationer inom enskilda fält skulle kunna minska utlakningen ytterligare. Men det förutsätter att man sänker utlakningen mer på de fältdelar där man med precisionsgödning minskar givan än vad man höjer utlakningen på de fältdelar där givan höjs. Frågan är alltså om gödningen påverkar utlakning främst då ekonomiskt optimum överskrids, eller om effekten är avsevärd redan vid lägre givor.

Uppgifter i litteraturen om hur utlakningen påverkas av gödning över och under ekonomiskt optimum varierar. Bergström & Brink (1985) presenterade utlakningen vid olika gödslingsnivåer från en nioårig studie på lerjord på Lanna i västra Sverige, och fann en gradvis ökning av utlakningen med från gödslingsnivån som ökade markant över 100 kg N ha<sup>-1</sup>. 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.

Petersen & Djurhuus (2004) 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 med 0,25-0,35 kg N ha<sup>-1</sup> per kg gödselkväve både över och under optimum. Här relaterades utlakningen till förväntat gödslingsbehov och inte till det faktiska utfallet. En del år överskattas gödslingsbehovet, vilket leder till att låga givor inte ger något stort skördeutbyte. I sådana situationer innebär gödning vid låga nivåer en utlakningsrisk. Möjligen är detta orsaken till en så hög utlakningseffekt redan vid låga gödslingsnivåer.

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<sup>-1</sup>) av ökad gödning under ekonomiskt optimum, men i medeltal 0,52 kg kg<sup>-1</sup> av givor över ekonomiskt optimum. Engström et al. (2010) studerade utlakningen efter olika gödslingsnivåer till höstraps, och fann också en ökad effekt av gödning på utlakning över (0,5 kg kg<sup>-1</sup>) än under (0-0,2 kg kg<sup>-1</sup>) optimum och med lägre effekt på utlakningen när efterföljande vinter var kall, med lång period av minusgrader.

Skillnaderna mellan de olika publikationerna ovan beror sannolikt på sättet som data presenteras. Effekten av gödning på utlakning finns beskriven i flera modeller (Johnsson, 1990; Eckersten & Jansson, 1991; Lord, 1992; 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 ekonomiskt optimum överskridits. Hur brant lutningen är på kurvan beror på jordarten och klimatet.

Syftet med denna undersökning var framför allt att jämföra effekten på nitratutlakning efter olika kvävegödslingsnivåer över och under ekonomiskt optimum till havre på en lätt jord i Västra Götaland. Dessutom skulle sambandet mellan restkvävemängd vid skörd och utlakningsnivå jämföras, 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.

### ***Material och metoder***

Nitratutlakning vid olika kvävegödslingsnivåer till havre undersöktes på Götala försöksstation utanför Skara. Tre försök anlades 2007, 2008 respektive 2009 där havre odlades år ett med olika kvävegivor. Utlakning mättes i havren och i nästföljande gröda, som var höstvetete 2008 och 2010 och vårkorn 2009 som gödslades med samma kvävenivå i alla led. Varje försök hade sju led (tabell 1) randomiserade inom fyra block. Dräneringsvattnet provtogs från tre keramiska sugkoppar (Djurhuus, 1990) i varje ruta som installerats på 80 cm djup. Provtagning skedde varannan vecka under perioder med avrinning från gödslingstidpunkten i havre (april-maj) t.o.m. juni året därpå. Proverna analyserades för nitrat med FIA (flow injection analysis). Nitratutlakning bestämdes från dessa nitratkoncentrationer och avrinning som mättes vid närbelägna Lanna försöksstation.

Tabell 1. Kvävegödslingsnivåer i havre i fältförsöken

Nivå i procent av förväntat ekonomiskt optimal nivå	Gödslingsnivå i kg N ha <sup>-1</sup>
0 %	0
50 %	45
75 %	70
100 %	90
125 %	110
150 %	135
100 % (justerad efter uppkomst)	60 + (30, 0 respektive 40 2007, 2008 respektive 2009)

Vid 2-3 tillfällen från stråskjutning till blomning mättes ovanjordiskt markkväve genom rutvis mätning med Yara handsensor. Sensorvärdena kalibrerades mot uppmätta värden från rutvis klippt gröda i ett av blocken i 4 \* 0,25 m<sup>2</sup> stora ytor som sedan torkats (60°C) och analyserats på kväve innehåll enligt Dumas på en LECO CNS-2000.

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

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

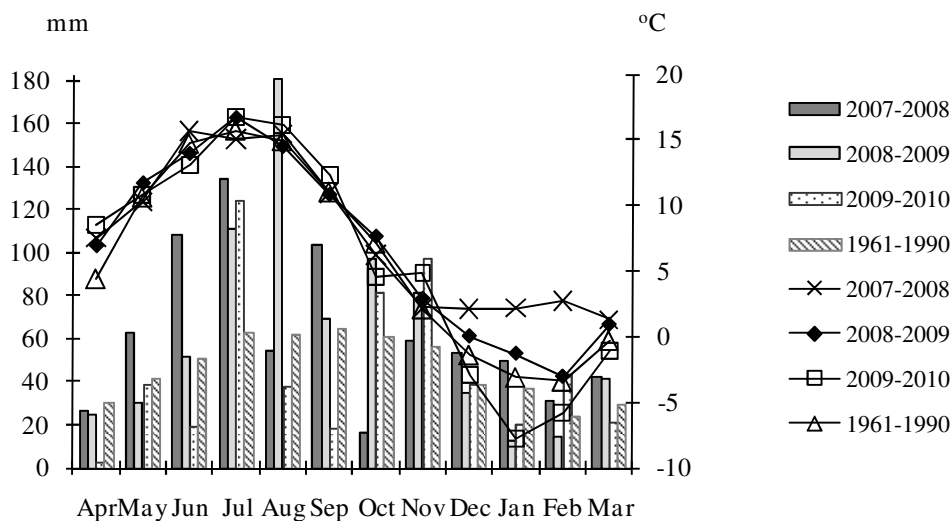
Kärnskörd mättes rutvis med en försökströska och är angivet vid 85 % TS. Kväveinnehåll i kärnan mättes med NIT och användes för att beräkna kväveskörd. Kärnskörd plottades mot kvävegödslingsnivå och andragsgradspolynom anpassades till punkterna. Kurvorna användes för att bestämma ekonomiskt optimal kvävegiva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

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

Växtodlingssäsongen 2007 var gynnsam med riklig nederbörd och normal temperatur och följdes av en mild vinter (figur 1). Våren 2008 var väldigt torr med kraftig nederbörd i augusti följt av en mild vinter. Våren 2009 blev också torr och följdes av en kall vinter.

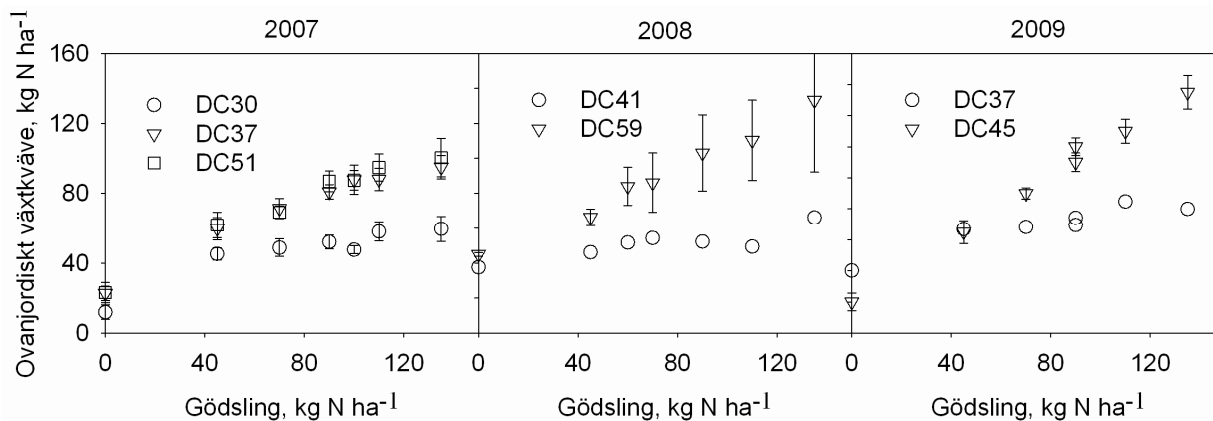


Figur 1. Nederbörd (staplar) och lufttemperatur (punkter) på Götala försöksstation under försöksperioden.

### Kväveupptag under säsong

Av de olika index som registrerades vid N-sensormätningarna, korrelerade det som kallas Si1 bäst till ovanjordiskt grödkväve i klippta rutor från ett block. Detta samband användes därför för att räkna ut ovanjordiskt markkväve i samtliga block utifrån Si1 (figur 2), utom i det fall då det inte fanns något samband (DC37 2009) eller då N-sensormätningar saknades (DC41 2008) och därför endast värden från klippningarna i ett block presenteras. Även om nivåerna är lägre 2007,

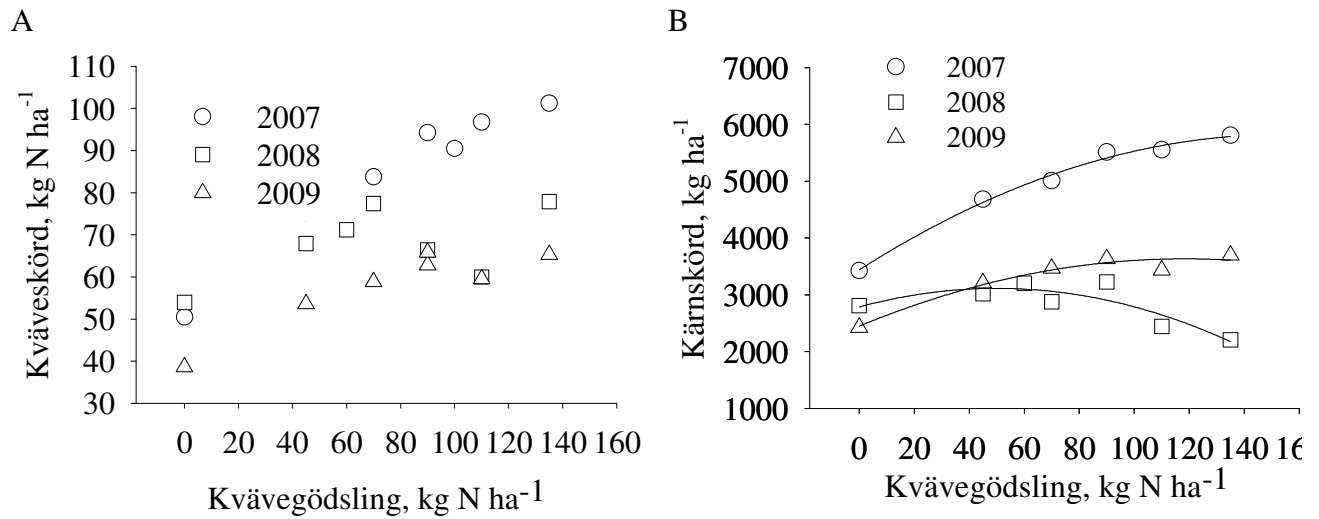
Kväveupptaget under växtodlingssäsongen såg ganska likt ut mellan de tre åren (figur 2). Man bör dock beakta att mätningarna gjordes i olika stadier olika år och att den första mätningen som skedde så sent som i DC 41 2008 inte visar på några skillnader mellan led, medan det som gjordes i DC 37 2007 visade på tydliga skillnader mellan led. Skillnaderna mellan led i DC37 2009 ligger någonstans däremellan.



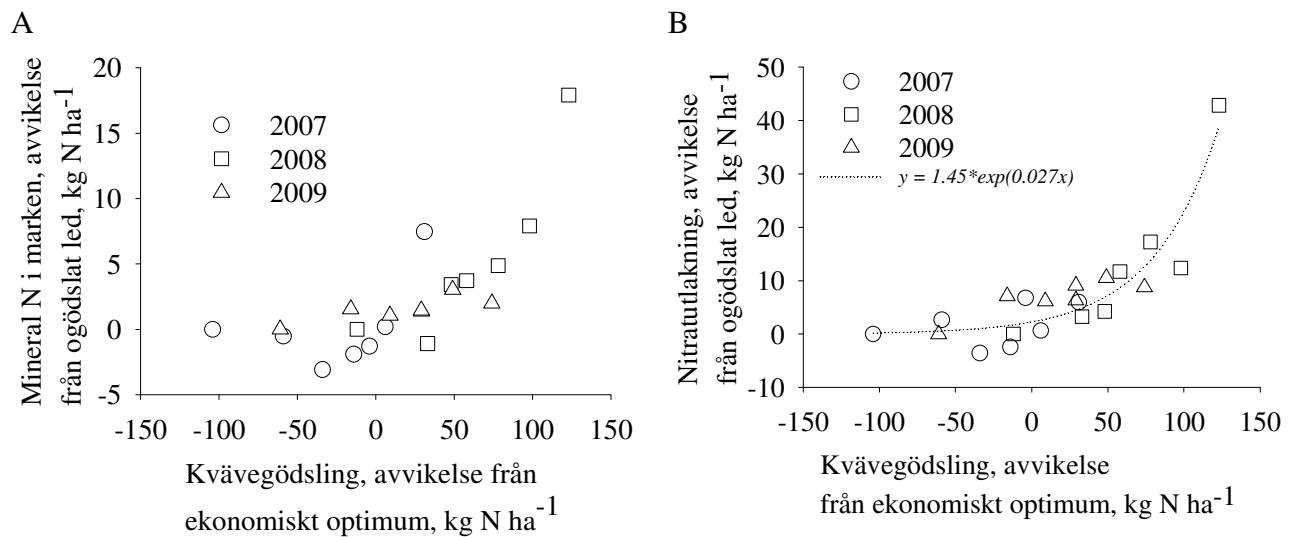
Figur 2. Ovanjordiskt markkväve uppmätt vid olika utvecklingsstadier.

### Skörd och utlakning

Det blev en positiv skörderespons från alla gödslingsnivåerna 2007 (figur 3B), med en optimal gödslingsgiva på 104 kg N ha<sup>-1</sup>. Detta resulterade i en låg respons på utlakningen detta år (figur 4B), med bara en liten ökning vid den högsta gödslingsnivån och då givan delats, vilket gav ett sämre kväveutnyttjande och mer restkväve i marken än övriga led (figur 4A). År 2008 skedde gödslingen efter uppkomst och följdes av torrt väder. Då svarade grödan dåligt på gödslingen (figur 3B). Optimal kvävegödslingsnivå beräknades under dessa omständigheter till endast 12 kg N ha<sup>-1</sup> och utlakningen steg avsevärt med gödslingsmängd över denna nivå. År 2009 var skörderesponsen positiv, men mycket sämre än 2007. Optimal gödslingsnivå beräknades till endast 61 kg N ha<sup>-1</sup>. Ändå var effekten på restkväve och utlakning liten (figur 4B).



Figur 3. Diagram över A) kväveskörd och B) kärnskörd vid olika kvävegödslingsnivåer, där andraders polynom anpassats till skörde-data (B).

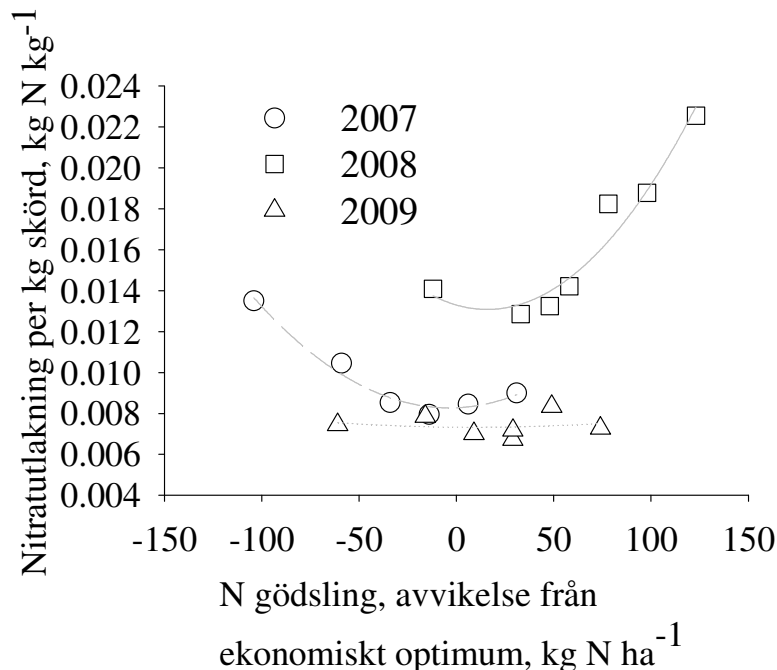


Figur 4. Diagram över avvikelse från ogödslat led av A) mineralkväve i marken vid skörd (0-60 cm) och B) nitratutlakning vid olika avvikelser i kvävegödslingsnivå från ekonomiskt optimum, där en exponentiell funktion anpassats till utlakningsdata (B).

Av resultaten från alla tre år tillsammans förefaller inte gödslingen ha påverkat utlakningen så länge den resulterat i åtminstone 15 kg skördeökning per gödslat kg kväve. Men när skördeeffekten avtagit har utlakningen stigit gradvis och blivit betydande först vid nivåer över ekonomiskt optimum (10 kg skördeökning per gödslat kg kväve). Utlakningen ökade exponentiellt med gödslingsnivån motsvarande 3 kg läckt nitratkväve vid gödsling med 25 kg kväve över ekonomiskt optimum (figur 3B).

Om man plottar kväveutlakning per skördad kg havre mot gödslingsnivån (figur 5) sammanföll utlakningsminimum med ekonomiskt optimum (den gödslingsnivå där gödslingen resulterat i 10

kg skördeökning per ytterligare gödsel kg kväve) både under 2007 och 2008. 2009 var både utlaknings- och skördeskillnader små och det går inte att identifiera något minimum.



Figur 5. Kväveutlakning per skördad kg havre vid olika kvävegödsling över och under ekonomiskt optimum.

## Diskussion

### Effekt på utlakning jämfört med andra studier

Effekten på utlakning låg på 0,1 -0,4 kg N kg<sup>-1</sup> vid gödsling med 25-50 kg N mer än ekonomiskt optimum, vilket överensstämmer med Bergström & Brink (1986) och Petersen & Djurhuus (2004), men är lite mindre än Lord & Mitchell (1998). Effekten av gödsling på utlakning var mycket mer betydande över än under ekonomiskt optimum. Detta stämmer bättre med resultaten från Lord & Mitchell (1998) än från Petersen & Djurhuus (2004).

### Utlakning och restkvävmängder

Förutom utlakningsmätningar, som p.g.a. sina krav på mätresurser är ganska få, finns det många kvävegödslingsförsök där man åtminstone i några led mätt mineralkväve i marken vid skörd. Ett sådant material sammanställt av Gruvaeus (2008), tyder på att risken för utlakning ökar väsentligt med ökad kvävegödslingsnivå vid gödslingsnivåer över ekonomiskt optimum, men att åtminstone restkvävmängderna påverkas ringa av gödslingsnivå under ekonomiskt optimum. Ökningen i restkväve per kg N över ekonomiskt optimum låg på ca 0,2 kg N kg<sup>-1</sup>. Utlakningen i den här undersökningen hade ett starkt samband med restkvävmängderna. Skillnaden i utlakningen mellan led blev ungefär dubbelt så stor som antydde av restkvävmängderna i detta försök. I försöken på lerjord presenterade av Bergström och Brink (1986) blev utlakningen istället 25 % av vad som antydde av restkvävmängderna. Detta indikerar att Gruvaeus sammanställning är relevant för tolkningen av hur utlakningen påverkats av gödslingen och att

restkvävemängderna kan ha inneburit både lägre och högre utlakningsökning än  $0,2 \text{ kg N kg}^{-1}$ , beroende på jordart.

### **Jämförelse med STANK IN MIND**

Slutsatsen av denna undersökning är att effekter av gödsling på utlakning är kännbara först då skördeeffekten av gödslingen understiger ca  $10 \text{ kg kärna per kg gödsel}$ , vilket ofta anses vara ekonomiskt optimum. Detta skiljer sig något från rådgivningsmodellen STANK IN MIND vilken beräknar en utlakningsökning redan från nivåer 30 % under rekommenderad giva. Att rådgivningsmodellen räknar så kan ändå vara relevant, då rekommendationer sällan är så exakta för den specifika platsen och året. Risken att man inte gödslar ekonomiskt optimalt är ju ganska stor, så även om man följer en rekommendation kan man ju ha gödsel för mycket.

### **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  $4 \text{ kg N ha}^{-1}$  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 denna undersökning, blir potentiell utlakningsminskning ca  $1,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ , vilket är lägre än nivå med beräkningarna från STANK IN MIND för den aktuella jordtypen. Detta trots att STANK IN MIND har en utlakningsökning redan under optimum. Det beror på att responsen på utlakning var mindre strax över optimum i den här undersökningen än i STANK IN MIND. I fält med större variationer och där överdoseringen skulle återkomma på samma plats varje år om fältet inte precisionsgödslades är den potentiella utlakningsvinsten sannolikt större. I vilket fall som helst finns det en potential att minska utlakningen med  $6 \text{ kg N per ha}$  på de fältdelar som annars gödslats  $50 \text{ kg N per ha}$  för mycket och med hela  $22 \text{ kg N per ha}$  på de fältdelar som annars skulle gödslats  $100 \text{ kg N per ha}$  för mycket, även om de utgör en begränsad andel av den totala arealen.

### **Begränsningar och fortsatta studier**

Undersökningen begränsar sig visserligen till havre på lätt jord i Västsverige, men det är troligt att sambandet mellan minskad skörderespons och ökad utlakningseffekt gäller även andra grödor på andra jordar och platser, även om effekten på utlakning kan vara olika kännbar på olika jordar. För att se effekten på en lerjord utförs ytterligare tre försök på Lanna försöksstation i ett annat SLF-projekt under 2009-2011.

### ***Tillkännagivanden***

Denna studie är finansierad av Stiftelsen Lantbruksforskning. Författarna vill också tacka försökspersonalen vid Hushållningssällskapet i Skaraborg samt vid Lanna försöksstation för skötsel och provtagning av försöken. Tack också agronomstuderande Cecilia Nilsson för ett väl

utfört kandidatarbete och Ingemar Gruvaeus, Bertil Albertsson m.fl. för goda råd vid projektets start.

### **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.
- Djurhuus, J. 1990. Sammenligning af nitrat i jordvand udtaget med sugkopper og ekstrahert fra jordprøver. Landbrugsministeriet, Statens Planteavlsvforsøg, Særtryk af Tidsskrift for Planteavl 94, 487-495.
- Delin, S. and Lindén, B. 2002. Relations between net nitrogen mineralization and soil characteristics within an arable field. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B. Soil and Plant Sci.* 52, 2, 78-85.
- 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.
- 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.
- Peterssen, J., Djurhuus, J. 2004. Sammenhæng mellem tilførsel, udvaskning og optagelse af kvælstof i handelsgødede, kornrige sædskifter. DJF rapport markbrug nr. 102, 55 s.

### **Publikationer**

- Delin, S. & Stenberg, M. 2010. Effect of nitrogen fertilization on nitrate leaching in relation to grain yield response in Sweden. In Sachdev, M.S. 2010. Proceedings of the 5th International Nitrogen Conference 2010, 3rd-7th December, New Dehli, India.
- 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. 2011. Kvävegödslingens effekt på nitratutlakning – resultat från en lättjord. Planerad rapport i den gemensamma rapportserien på Institutionen för mark och miljö, SLU.
- Delin, S. & Stenberg, M. Effect of nitrogen fertilisation on nitrate leaching in relation to grain yield response. (*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***

- Presentation av preliminära resultat och medverkan i diskussion på möte angående möjligheterna att minska kväveläckaget med Yara N sensor med bl.a. Jodbruksverket, Lantmännen och Yara i Nässjö den 19 mars 2009.
- Föredrag på regional växtodlings- och växtskyddskonferens i Uddevalla 14-15 januari 2011: ”Organisk gödsel, kvävetillgänglighet och växtnäringsvärde”.
- 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 2001: ”Ingen miljøfordel ved at underforsyne med kvælstof”  
<http://www.vfl.dk/Nyheder/IngenMeljoefordelVedAtUndergoedeMedKvaelstof.htm>
- Planerad GREPPA-notis (höst 2011): Då påverkas utlakningen av gödslingsnivån (prel titel)