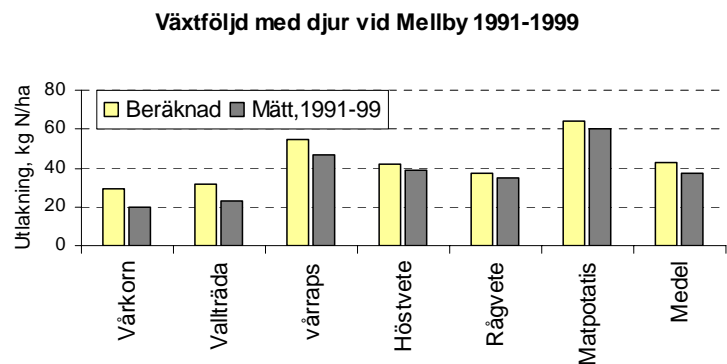
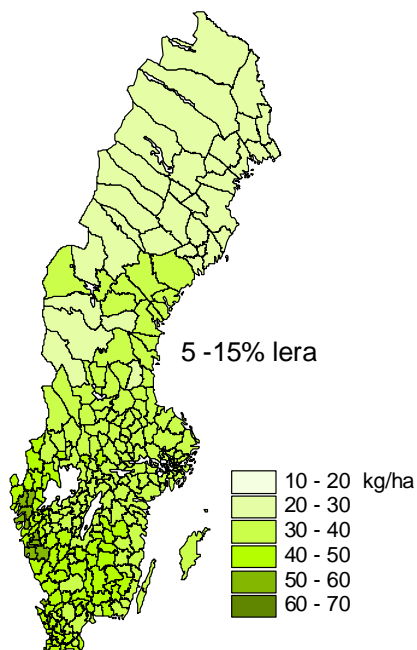


Helena Aronsson och Gunnar Torstensson

Beräkning av olika odlingsåtgärders inverkan på kväveutlakningen

Beskrivning av ett pedagogiskt verktyg för beräkning av kväveutlakning från enskilda fält och gårdar



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

ABSTRACT.....	5
MODELLER SOM RÅDGIVNINGVERKTYG.....	7
Olika typer av modeller.....	7
INTRODUKTION TILL BERÄKNINGSMETODEN.....	7
Nyheter i utlakningsberäkningen.....	7
Växtföljdspektivet är en viktig utgångspunkt.....	8
BESKRIVNING AV UTLAKNINGSBERÄKNINGEN.....	8
1. Grundutlakning.....	8
Så beräknas grundutlakningen.....	11
Stämmer det med verkligheten?.....	11
2. Jordbearbetningsfaktorn.....	11
Vilken kunskap finns om bearbetningens inverkan på utlakningen?	12
Inledande om steg 3-6 i beräkningen.....	12
Utlakningsfaktorn, K_f	12
Temperaturfaktorn, K_{limf}	13
3. Effekt av gödslingsintensitet.....	13
Så beräknas kvävegiövan.....	14
Spärrar i beräkningarna.....	15
Grödor med flera skördar.....	15
4. Effekt av gödning på hösten.....	15
5. Effekt av höstväxande gröda.....	16
6. Efterverkansseffekt av årets gröda, föregående års gröda och stallgödsel.....	17
RESULTAT AV TESTBERÄKNINGAR.....	19
Två växtföljder på moränlätter i Skåne.....	19
Vårstråsäd på mojord i Västergötland.....	21
Vårstråsäd på mojord i Halland.....	21
Höstveteväxtföljd på styv lera i Västergötland.....	22
Ekologisk växtföljd på styv lera i Västergötland.....	23
Växtföljd med djur på mojord i Halland.....	24
Konstruerad växtföljd på olika platser.....	24
Sammanfattning.....	26
REFERENSER.....	26
Bilaga 1. Detaljerade beräkningsformler.....	29
Bilaga 2. Kommundata och fullständiga tabeller för beräkningarna	35

FÖRORD

Här presenteras en beräkningsmetod för uppskattning av kväveutlakning på fält- och gårdsnivå. Den bygger på en vidareutveckling av utlakningsberäkningen i Jordbruksverkets rådgivningsprogram STANK och kommer att ingå i programmet STANK in MIND. Den nya beräkningsmetoden har till stor del tagits fram av Gunnar Torstensson och Helena Aronsson vid Avdelningen för vattenvårdslära (SLU) i nära samarbete med projektledare Janne Linder vid Jordbruksverket. Många personer har tagit aktiv del i arbetet med utvecklingen av beräkningsmodellen, bland andra Bertil Albertsson (SJV), Stina Olofsson (SJV), Markus Hoffmann (LRF), Hans Nilsson (Lst, Kristianstad), Lars Törner (Odling i balans) och Pelle Hallén (LRF Konsult). Arbetet har finansierats av Jordbruksverket och Avdelningen för vattenvårdslära.

ABSTRACT

An empirical method for estimation of nitrogen (N) leaching on field and farm level was presented. The work was financed by, and in corporation with, the Swedish Board of Agriculture. The method is a further development of a module in the data programme STANK (SJV, 2001) which is used for calculation of nutrient flows on farms. The main objective was to visualize important factors which contribute to the risk for N leaching, with focus on those which are easily influenced by measures taken in the field.

To describe the general risk for N leaching, in a certain area on a specific soil, data were used from a project where N leaching in Sweden was estimated for different soils and crops (Johnsson & Mårtensson, 2002). Back-ground leaching for different regions (289 communities) and soils (5 classes based on clay content) was calculated. The back-ground leaching represented N leaching from a cereal crop with nitrogen applied as commercial fertilizer in appropriate amounts and with soil tillage in September to October. To estimate the total risk for N leaching under different conditions the following parameters were considered most important:

Time for tillage

Dose of fertilizer N in relation to recommended dose

Time and technique for spreading of manure

N fertilization during autumn

N uptake in crops during autumn

Residual effects of crops

To calculate the effect of time for tillage, a factor (based on 5 soil texture classes and 6 classes for tillage) was multiplied with the back-ground leaching. The other parameters were additive and based on an attempt to estimate the amounts of mineral N in the soil in comparison with the conditions in the "back-ground" situation. Of the mineral N in the soil a certain fraction (0.1-0.3, depending on clay content and climatic conditions) was assumed to contribute to N leaching. N uptake in crops during autumn was varied depending on the amount of mineral N present in the soil during autumn (including fertilization).

The model was mainly based on an empirical approach but partly also process based. Results from field leaching experiments in Sweden, data in literature, experiences and numerous assumptions were used to make an overview of the different factors contributing to N leaching. With this model it is possible to estimate the risk for N leaching and to extract the effect of different measures taken in the field. The model showed good agreement with measurements in field experiments.

MODELLER SOM RÅDGIVNINGSVERKTYG

Med en modell kan man skapa sig en *förenklad bild* av verkligheten. Hur den ser ut är helt beroende på vilket syfte man har med sin modell. Med beräkningsmetoden som presenteras här är målet att erbjuda ett pedagogiskt och tydligt hjälpmedel för att synliggöra de viktigaste faktorer som styr utlakningen av kväve från åkermark, speciellt med fokus på de som lantbrukaren kan påverka genom odlingen. Syftet är inte att kvantifiera påverkan på miljön av enskilda gårdar eller regioner. Beräkningsmetoden har tagits fram i samarbete med Jordbruksverket och kommer att ingå i rådgivningsprogrammet STANK in MIND.

Olika typer av modeller

Modellverktyg för att uppskatta näringsflöden och utlakning kan vara uppbyggda på olika sätt. *Näringsbalanser* är ett sätt att få grepp om flöden av näring till och från en region, gård eller ett fält. Differensen i balansen kan ge viss information om förluster till omgivningen och förändring av mullförrådet i marken. *Empiriska modeller* bygger på statistisk behandling av mätdata, där man utifrån gjorda observationer bygger upp sin modell. Ett exempel är den rådgivningsmodell som används i Danmark och som beskrivs av Simmelsgaard m.fl. (2000). *Processbaserade modeller* är till skillnad från de empiriska baserade på en mekanistisk beskrivning av de kemiska, fysikaliska och biologiska processer som bidrar till näringsomsättning och utlakning. Dessa modeller, t ex SOILN-modellen (Johnsson m.fl., 1987), är ofta mer komplicerande och heltäckande av näringsflödena i marken än de empiriska. De kan också beskriva tidsförloppen av olika processer. Utlakningsberäkningen som presenteras här har till största delen en empirisk grund och bygger på de mätdata och erfarenheter som finns från fältförsök i Sverige. Man kan se utlakningsberäkningen som en sammanfattning av erfarenheterna från försöken, och som ett verktyg för att ge en helhetsbild av orsakerna bakom kväveutlakningen. Utvecklingen har under arbetets gång gått mot ett ökat inslag av processtänkande. I utlakningsberäkningen används förutom resultat från försöksverksamhet också data som tagits fram med SOILN-modellen i ett projekt där utlakningen för olika regioner i Sverige beräknats (Johnsson & Mårtensson, 2002).

INTRODUKTION TILL BERÄKNINGSMETODEN

Kväveutlakningens storlek beror till stor del på de naturgivna förutsättningarna på den aktuella platsen. Sådana förutsättningar är t ex nederbörds- och temperaturförhållanden samt jordart. Dessa naturgivna förutsättningar råder vi inte över och de sammanfattas under begreppet *Grundutlakning*. Risken för utlakning beräknas sedan med fokus på hur olika odlingsåtgärder påverkar kväveutlakningen. De odlingsfaktorer som bedöms ha avgörande betydelse för kväveutlakningen är:

Tidpunkt för bearbetning

Gödselgiva i förhållande till grödans behov

Tidpunkt och teknik för spridning av stallgödsel

Gödning med handelsgödsel på hösten

Höstväxande gröders kväveupptag

Grödors kvävefterverkan

Nyheter i utlakningsberäkningen

Beräkningsmetoden som presenteras här är en vidareutveckling av utlakningsberäkningen som använts i Jordbruksverkets rådgivningsprogram STANK (SJV, 2001). Som information för dig är bekant med utlakningsmodulen i STANK (version 4) så har vidareutvecklingen inneburit att utlakningsuppskattningen blivit mer flexibel och heltäckande av olika odlingssituationer. Synsättet är mer dynamiskt och bygger på konceptet "kvävetillgång kontra kvävebehov" där en anpassning görs till olika odlingssituationer och klimatförutsättningar. Några av de viktigaste förändringarna jämfört med den tidigare versionen av beräkningsmetoden listas här:

1. Större upplösning hos grundutlakningen. Den redovisas för varje kommun i fem lerhaltsklasser.
2. Inget grundutlakningstillägg på djurgårdar.

3. Grödornas effekt är ej längre uttryckt som faktor av grundutlakningen:
 - Kväverika grödor kan ge upphov till ökad utlakning.
 - Höstväxande grödor minskar utlakningen genom ett kvävebehov på hösten.
4. Underdosering med kväve leder till minskad utlakning, inom vissa gränser.
5. Vid höstspredning av gödsel tas förutom ammoniumkväveinnehåll hänsyn till tidpunkt och teknik.
6. Vårspredning av stallgödsel leder till ökad utlakning p g a sena effekter av gödselns organiska material.
7. Effekten av stallgödelspredning på hösten, vårvallbrott m.m. ger sin utlakningseffekt under rätt år.

Växtföljdspektivet är en viktig utgångspunkt

För att bedöma utlakningsrisken i odlingen är det viktigt att ha ett helhetsgrepp över växtföljden. Utlakningen beror inte bara på den gröda som stått på fältet under odlingssäsongen. Förfrukter och tidigare gödslingar kan ha stor betydelse för läckagets storlek. Likaså kan odlingsåtgärder inför nästa gröda, t ex gödsling och höstsådd ha stor betydelse för utlakningssituationen. Det är också viktigt att tänka på att man i utlakningsberäkningen utgår från en sorts normalsituation när det gäller utlakning. Därför ligger det nära till hands att använda modellen för att få ett grepp om hur läckaget ser ut i gårdens vanliga växtföljd med de gödslingar och skördenivåer man normalt har. Det kan naturligtvis också vara intressant att titta på risken för utlakning för en situation som råder på gårdens alla skiften under ett enskilt år. Då måste man komma ihåg att det är just risken för utlakning som beräknas, oberoende av de specifika förhållanden som råder under det enskilda året. För att kunna göra en rättvis bedömning av situationen under ett enskilt år är det viktigt att se bakåt i tiden för att få med förfruktseffekter av tidigare grödor och gödslingar.

BESKRIVNING AV UTLAKNINGSBERÄKNINGEN

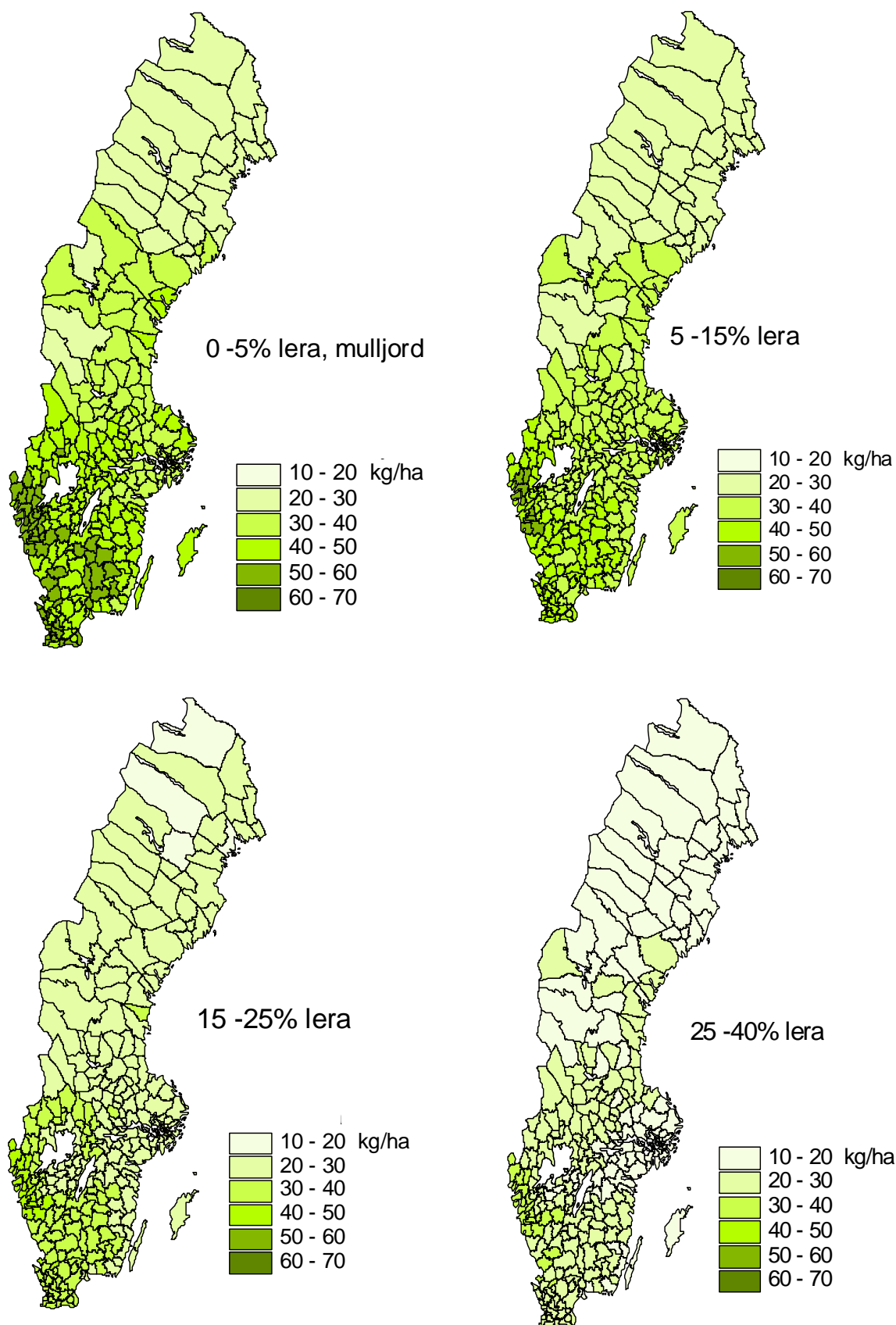
Utlakningsberäkningen kan enkelt beskrivas så här:

1. Grundutlakning
 2. * Faktor för bearbetningstidpunkt
 3. +/- Effekt av gödslingsintensitet
 4. + Effekt av gödsling på hösten
 5. - Effekt av höstväxande gröda
 6. + Efterverkansseffekt av gröda och stallgödsel
- = **Utlakning**

Utgångspunkten är grundutlakningen som innehåller de naturgivna förutsättningarna för utlakning (för en given odlingsituation) på olika platser i landet. Sedan beräknas den påverkan på utlakningen som är knuten till olika odlingsåtgärder. Först modifieras grundutlakningen beroende på vid vilken tidpunkt jordbearbetning gjorts efter grödan som stod på fältet under sommaren. Under punkt 3 konstateras sedan hur gödslingen varit i förhållande till grödans behov. Om gödslingen har legat över rekommenderad giva ger detta en pluspost till utlakningen och om den legat under blir det en minuspost. I de följande stegen görs en bedömning av hur ansamlingen av utlakningsbart kväve blir i marken under hösten. Tillförsel av mineralkväve med handelsgödsel och stallgödsel, kväveupptaget hos en höstväxande gröda samt efterverkansseffekter av årets och föregående års gröda och stallgödsel är de poster som ingår i denna bedömning. Beroende på jordart och nederbördsförhållanden beräknas vilken effekt ett överskott eller underskott av kväve i marken får för utlakningen. Här nedan följer en genomgång av de olika stegen i beräkningen. Detaljerade beräkningsformler redovisas i bilaga 1 och fullständiga tabeller i bilaga 2.

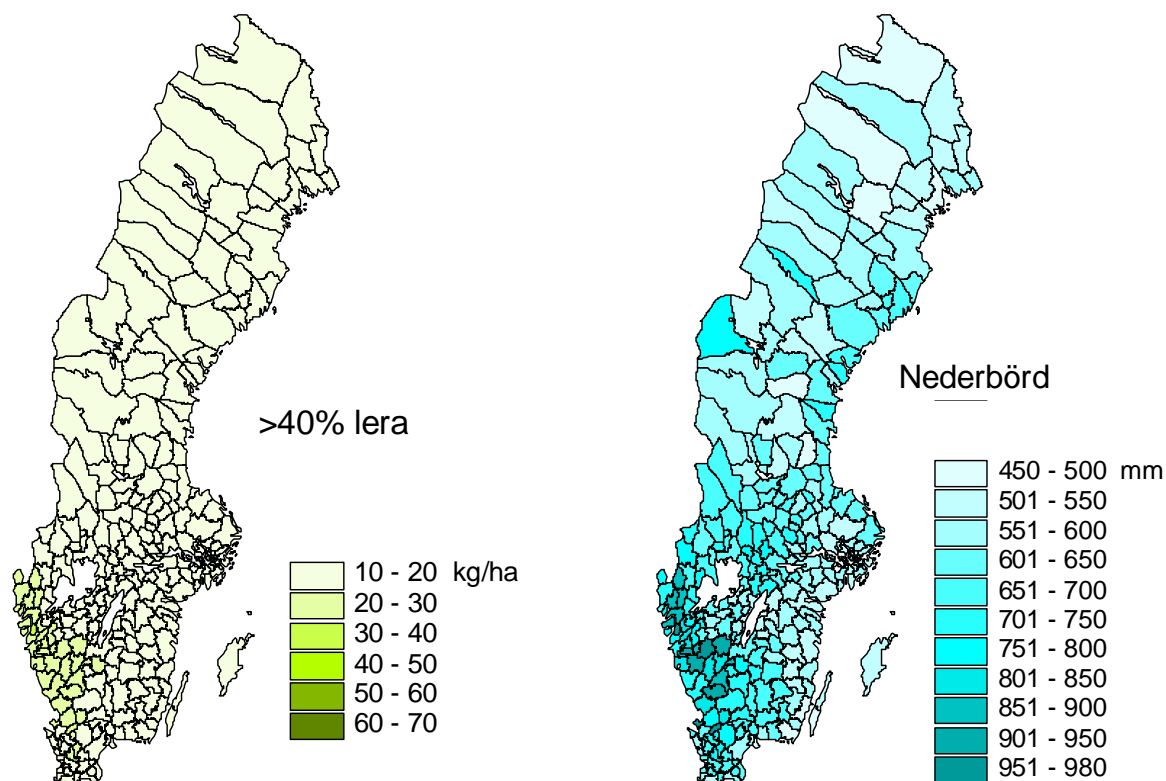
1. Grundutlakning

Som bas i beräkningen används den s.k. grundutlakningen. Grundutlakningen representerar den utlakning man normalt kan vänta sig från stråsädesodling med normala givor handelsgödsel och där första bearbetning efter skörd sker i september – oktober. Varje kommun har en egen grundutlakning med uppdelning på fem lerhaltsklasser. I figur 1 visas grundutlakning i de olika jordartsklasserna. Grundutlakning för alla Sveriges kommuner redovisas i tabellform i bilaga 2.



© Lantmäteriet. Ur GSD, Dnr 507-98-4720

Figur 1. Kommunvis grundutlakning för de fem olika lerjordklasserna samt årsmedelnederbörd enligt SMHI (1961-90). Kommunutlakning visas även i Bilaga 2. Figuren fortsätter på nästa sida.



© Lantmäteriet. Ur GSD, Dnr 507-98-4720

Fortsättning av Figur 1. Kommunvis grundutlakning för de fem olika lerjordklasserna samt årsmedelnederbörd enligt SMHI (1961-90). Kommunutlakning visas även i Bilaga 2.

Tabell 2. Utlakning (1977-2001) uppmätt i miljöövervakningsprogrammet "Observationsfält på åkermark" samt utlakning i fältförsöken inom projektet "Utlakningsförsök för långsiktig kontroll av odlingssystem med vintergrön mark"

Observationsfält på åkermark ¹⁾	Gårdstyp	Lerhalt (%)	Långtidsmedel -värde av utlakning från obs-fält och fältförsök	Utlakning från obs-fälten anp. efter avrinning som använts i TRK-projektet ⁶⁾	Grundutlakning enligt beräkningsmetoden
Trelleborg	Växtodling	17	32	37	32
Klippan	Mjolk	38	19	33	26
Laholm	Växtodling	10	45	48	46
Hjo	Nöt	26	20	20	19
Vadstena	Växtodling	12	18	28	31
Norrköping	Nöt	38	11	8	17
Norrköping	Nöt, svin	65	8	13	11
Flen	Mjolk	35	12	12	19
Östersund	Mjolk	34	15	15	20
Umeå	Blandat	5-15	10	18	28
Försöksfält	Plats				
Lomma	Lönnstorp, led C ²⁾	23	27 (1993-2003)		34
Laholm	Mellby, led C ⁴⁾	6	50 (1990-2002)		46
Lidköping	Fotegården led A ^{3, 4)}	7	36 (1993-2002)		38
Skara	Lanna ⁵⁾	50	9 (2000-2003)		13

1) Johansson & Gustafson (2003), 2) Hessel Tjell m.fl. (1999), Aronsson & Torstensson (2003), 3) Lindén m.fl. (1999)

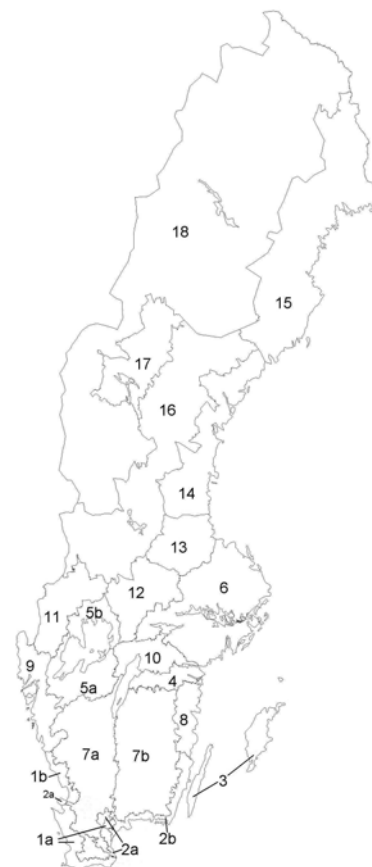
4) Aronsson m.fl. (2003), 5) Aronsson (2000), 6) Johnsson & Mårtensson (2002)

Så beräknades grundutlakningen

Grundutlakningen för kommunerna har tagits fram genom bearbetning av de beräkningar som gjorts vid Avdelningen för vattenvårdslära av kväveläckaget från Sveriges åkermark inom det s.k. TRK-projektet (Johnsson & Mårtensson, 2002). I detta projekt beräknades s.k. normalutlakning för Sverige baserat på en indelning av landet i 22 s.k. utlakningsregioner, figur 2. Utlakningsciffrorna har justerats för att representera stråsädesodling (medeltal av alla stråsädeslag) där vall ej finns med som förfrukt och där gödslingen överensstämmer med grödans behov. Sammanvägningar har också gjorts för att få en indelning i fem jordartsklasser. Utifrån utlakning i de 22 regionerna har kommunvärden tagits fram genom att för varje enskild kommun i en region väga utlakningen efter kommunens nederbörd i förhållande till regionen i övrigt.

Stämmer det med verkligheten?

Det enda vi med säkerhet vet är att de beräknade siffrorna av grundutlakning inte stämmer med verkligheten, särskilt inte under ett enskilt år. De direkta mätningar som gjorts av kväveutlakning säger inte heller de hela sanningen och är väldigt få i förhållande till alla de situationer som ska täckas in. Frågan är snarare om de värden som tagits fram är tillräckligt tillförlitliga för det aktuella syftet. Grundutlakningen är framtagen med en konsekvent metod som bygger på omfattande beräkningar som gjorts med modellverket SOILNDB (Johnsson m.fl., 2002). Där har man använt den information som finns tillgänglig beträffande klimat (20-årig serie), jordarter, gröd användning, gödsling, skördar m.m. Denna metod utvecklas kontinuerligt och det är möjligt att uppdatera siffrorna med tiden. Om dessa beräkningarna kan man läsa mer i en rapport från SNV (Johnsson & Mårtensson, 2002). Faktiska mätningar av kväveutlakning har framför allt gjorts i södra Sverige. Dels finns på några platser speciella utlakningsförsök och dels finns mångårig data från miljöövervakningsprogrammet "Observationsfält på åkermark". En jämförelse av beräknad grundutlakning och mätdata görs i tabell 2. När det gäller observationsfälten representerar utlakningsvärdet inte grundutlakningssituationen utan är ett medelvärde av alla år mätningar gjorts med de grödor och den gödsling som förekommit på fälten. På mjölkgårdarna är grödorna till exempel dominerade av vallar vilket generellt ger upphov till mindre utlakning än stråsäd. Hur stor del av det avrinnande vattnet som fångas upp med mätningarna varierar också. I tabellen anges värden som anpassats efter de avrinningsnivåer som använts i TRK-projektet (se ovan).



Figur 2. Indelningen av Sverige i 22 regioner som låg till grund för utlakningsberäkningarna inom TRK-projektet (Johnsson & Mårtensson, 2002)

2. Jordbearbetningsfaktorn

För att ta fram bearbetningens inverkan på utlakningen används en "bearbetningsfaktor" som multipliceras med grundutlakningen. I tabell 3 anges bearbetningsfaktorer för olika jordarter. Ingen direkt justering görs för att ta hänsyn till klimatets inverkan på bearbetningseffekten. Det sker däremot indirekt genom multiplikation med grundutlakningen vari klimatvariationer ingår.

När man anger tidpunkten för bearbetning i modellen är det den första bearbetningen efter skörden av huvudgrödan som avses. Bearbetningstidpunkten som representeras av grundutlakningen gäller perioden 10 september till 10 oktober beroende på läge i landet. Denna tidpunkt betecknas i modellen som medelsen

och har faktorn 1,0. Om bearbetning utförs tidigare ges en bearbetningsfaktor större än 1,0 vilket leder till större utlakning i beräkningarna. Vid senarelagd bearbetning på hösten eller ingen höstbearbetning alls ges en faktor mindre än 1,0 för att dra ned utlakningen. Beteckningarna "vår" och "ingen bearbetning" betyder i denna situation samma sak. Bearbetningsfaktorn används även under punkt 6 i utlakningsberäkningen där efterverkans effekter av nedbrukade växtrester bestäms. Beteckningen "vår" styr där till exempel effekten av vårvallbrott.

Vilken kunskap finns om bearbetningens inverkan på utlakningen?

Det finns ett flertal studier, särskilt på lätta jordar som visar att bearbetning tidigt på hösten leder till större utlakning än sen höstbearbetning och vårbearbetning. Av tabell 3 framgår att modellen innehåller sju olika bearbetningstidpunkter med separata värden för varje jordart. Kunskap för att fylla denna matris med värden finns egentligen inte, utan många av dem bygger på logik och antaganden. De få mätresultat som utgör stommen i tabellen är markerade med källhänvisning. De försöksresultat som finns visar att skillnaden i utlakning beroende på bearbetningstidpunkt kan variera ganska kraftigt mellan olika jordarter. På styva leror sker liksom på lättare jordar stor kväve mineralisering när marken bearbetas tidigt på hösten. Studier av Myrbeck m.fl. (2003) visar dock på att en mindre andel av kvävet förloras från markprofilen i lerjord under vintern. Därför skulle sen höstbearbetning inte ge så stor effekt på leror som på lätta jordar, vilket också observerats vid Lanna försöksstation. En bidragande tänkbar förklaring till att tidig bearbetning inte ökar utlakningen nämnvärt kan vara att en större andel av kvävet förloras genom denitrifikation på tyngre jordar. Utebliven bearbetning på hösten har däremot vid Lanna minskat utlakningen lika mycket som på lätta jordar. Att tidigarelägga plöjningen på våren kan dock vara gynnsamt med tanke på mineraliseringsdynamiken i marken och testas i försök. Tabellen kommer att behöva kompletteras när mer kunskap finns. När det gäller mulljord är tillgången till data liten och bearbetningsfaktorn har åsatts samma värden som i lerklassen <5%ler.

Tabell 3. Bearbetningsfaktor för olika jordarter indelade i 5 olika lerhaltsklasser samt en klass för mulljord

Tidpunkt för bearbetning/upptagning	<5 %	5-15%	15-25%	25-40%	>40%	Mulljord	Specifisering
Mycket Tidig höst	1,20	1,20	1,15	1,10 ²⁾	1,10 ²⁾	1,20	Juni - Juli (Trädesbrott)
Tidig höst	1,10	1,10	1,07	1,05	1,05	1,10	1 Aug - 10 sept.
Medelsen höst	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	10 sept. - 10 oktober
Sen höst	0,80	0,8 ¹⁾	0,80	0,90	0,95 ³⁾	0,80	10 okt. - 31 Dec.
Tidig vår	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	1 Jan - 20 mars
Vår	0,60	0,60 ¹⁾	0,65	0,65	0,65 ⁴⁾	0,60	20 Mars - 31 Maj
Ingen bearbetning	0,60	0,60	0,65	0,65	0,65	0,60	T.ex. växande vall, trädor

1) Lewan (1994), Hansen & Djurhuus (1997), Aronsson & Torstensson (1998), Stenberg et al. (1999), Aronsson m.fl. (2003)

2) Myrbeck et al. (2003)

3) Aronsson m.fl. (2003)

4) Torstensson (2003)

Inledande om steg 3-6 i beräkningen

I beräkningsstegen 3-6 i modellen görs först en bedömning av hur mycket utlakningsbart mineralkväve som ansamlas i marken under hösten (utöver det som kan förväntas i grundutlakningssituationen) eller som tas upp av höstväxande gröda. Sedan görs en beräkning av vad detta överskott eller underskott av kväve kan betyda för kväveutlakningen. Av det mineralkväve som finns i marken under senhösten kommer inte allt att utlakas. En del blir kvar i marken och en del kan förloras genom denitrifikation. Här har jordarten en stor betydelse liksom nederbördsmängden och andra klimatförhållanden.

Utlakningsfaktorn, K_f

Hur stor del av ett överskott av kväve i marken som utlakas bestäms med den s.k. utlakningsfaktorn, K_f. Motsatt gäller också att denna faktor anger vad t ex en höstväxande grödas kväveupptag eller underdosering av kväve betyder i form av minskad utlakning. Utlakningsfaktorn är till viss del uppskattad utifrån resultat från absoluta mätningar, men är också grundad på antaganden genom erfarenheter och logiskt tänkande. Vid värderingen av denna faktor har också en viss jämkning med andra delar av modellen

gjorts, t ex bearbetningsfaktorn som har stor betydelse för kvävetillståndet i marken under hösten. Grundvärden för utlakningskonstanten visas i Tabell 4. I antagandena ingår att effekten på utlakningen vid över- eller underskott av kväve i marken avtar med ökande lerhalt hos jorden. Likaså antas nederbörds- och temperaturförhållandena påverka utlakningen. Därför ingår utlakningsfaktorn i kommuntabellen där varje kommun får egna värden utifrån kommunens årsmedelnederbörd och regionens årsmedeltemperatur, bilaga 2.

Tabell 4. Grundvärden för utlakningsfaktorn, K_f , som används för att bestämma effekten på utlakningen av överskott respektive underskott av kväve i marken på hösten. Varje kommun har egna värden utifrån nederbördsmängden i kommunen och årsmedeltemperaturen i regionen

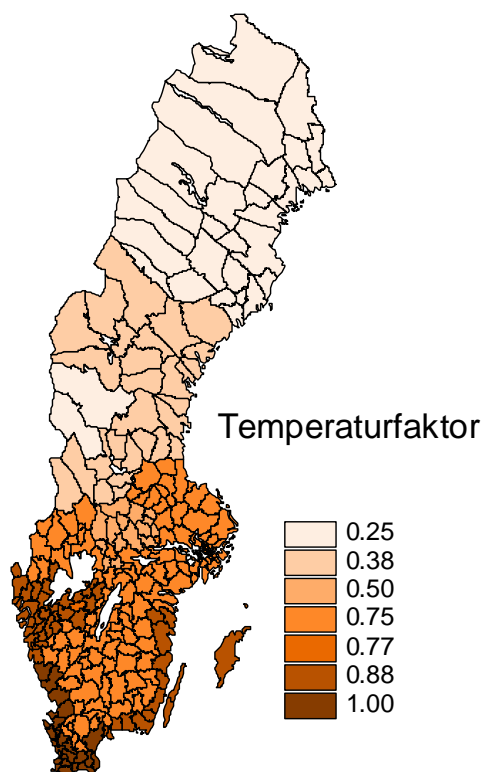
	<5 % ler	5-15% ler	15-25% ler	25-40% ler	>40% ler
Utlakningsfaktor, K_f	0,30	0,28	0,26	0,18	0,13

Temperaturfaktorn, K_{limf}

Temperaturförhållandena har betydelse för många av de faktorer som styr kväveutlakningen, t ex kväveomsättningen i marken, grödornas tillväxtperiod och avrinningsförhållandena. För att ta hänsyn till temperaturvariationerna i olika delar av landet används årsmedeltemperaturen i de 22 utlakningsregionerna som presenterats av Johnsson & Mårtensson (2002) för att ta fram en faktor, K_{limf} , för varje kommun.

Årsmedeltemperaturen varierar mellan 2 och 8 °C i de olika utlakningsregionerna.

Temperaturfaktorn är satt till 1,0 i den sydligaste delen av landet och avtar i proportionellt i förhållande till sjunkande årsmedeltemperatur norröver, figur 3. Den är som lägst 0,25. Värden för de olika kommunernas framräknade temperaturfaktor anges i kommuntabellen, bilaga 2. Temperaturfaktorn finns tillsammans med nederbörd med som en ingrediens för att ta fram utlakningsfaktorer för varje kommun (se ovan under Utlakningsfaktorn). Temperaturfaktorn styr också andra delar i utlakningsberäkningen; effekten av stallgödseltillförsel, grödefterverkan och kväveupptaget hos höstväxande grödor.



© Lantmäteriet. Ur GSD, Dnr 507-98-4720

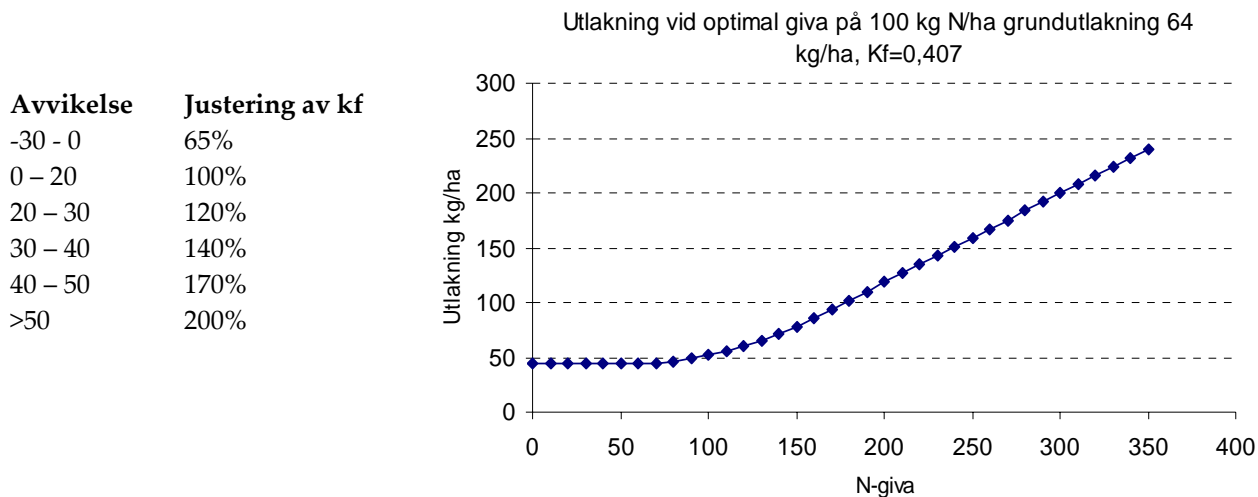
Figur 3. Temperaturfaktorn, K_{limf} , för landets kommuner.

Uppdatering Ekohydrologi s. 13-14, september 2005

3. Effekt av gödslingsintensitet

Inverkan av olika gödslingsnivåer på kväveutlakningen har studerats i ett flertal försök, och det finns olika sätt att beskriva vad en över- respektive underdosering innebär för utlakningen. I en del studier redovisas vad den faktiska kvävegödslingsnivån, oberoende av skördenivån, betytt för kväveutlakningen. Så var det t ex i det långliggande försöket vid Lanna försöksstation i Västergötland där Bergström & Brink (1986) tog fram ett linjärt samband över hur gödselgiva och kväveutlakning hängde samman. Simmelsgaard & Djurhuus (1998) sammanställde danska försök och tog fram en exponentiell funktion som beskriver hur utlakningen påverkas av aktuell giva i förhållande till rekommenderad giva.

För att hantera effekten av givor under och över optimal nivå på ett pedagogiskt och stabilt sätt har Jordbruksverket valt att räkna med ett justerat kf för olika intervall under och över optimumnivån. Justeringen av utlakningen görs till nivån 30 kg under optimal giva. För varje intervall beräknas utlakningsförändringen genom att multiplicera det justerade kf-värdet med avvikelsern. Den maximala marginaleffekten blir 80% av tillfört kväve på den högsta nivån (Båstad) och den lägsta blir 5% (Luleå).



Figur 4. Exempel på hur effekten av olika kvävegivor påverkar utlakningen då den optimala givan satts till 100 kg N/ha

Så beräknas kvävegivan

Jordbruksverkets gödslingsråd (SJV 2003) används för att få fram den giva som rekommenderas för aktuell skördenivå. I gödslingsråden varierar rekommenderad giva ibland beroende på vad grödan ska användas till. Det gäller tex om höstvetete går till foder eller brödsäd. I utlakningsberäkningen görs emellertid ingen sådan skillnad. Kvävegivan består i första hand av det kväve som tillförts med handelsgödsel eller stallgödsel på våren eller hösten. Till givan kommer även av vissa grödor en förfruktseffekt. I Tabell 5 redovisas förfruktseffekter för några grödor. När det gäller stallgödsel beräknas först givan av ammoniumkväve, vilken sedan justeras med avseende på den effektivitet av detta ammoniumkväve man kan förvänta sig beroende på aktuell spridningstidpunkt och teknik. Effektiviteten beror på bland annat hur mycket kväve som förloras genom ammoniakavgång, och baserar sig på ett flertal försök och har länge funnits med i dataprogrammet STANK:s gödslingsplan (se bilaga 3).

Tabell 5. Exempel på förfruktseffekter hos olika grödor

Gröda	Kväveleverans till efterföljande gröda, kgN/ha		
	Höstoljeväxter	Höstsäd	Värsädd gröda
Spannmål	0	0	0
Höstoljeväxter	0	15	0
Våroljeväxter	0	0	0
Ärter	30	30	30
Betor	0	25	25
Potatis	0	10	10
Gräsvall	0	0	0
Vallträda	20	15	10
Stubbträda	25	20	10

Källa: Jordbruksverkets rådgivningsprogram STANK in MIND (2003)

Grödor med flera skördar

I tex vallodling tas flera skördar under året. I modellen beräknas kvävebehov i förhållande till gödselgiva för varje delskörd. Om ett överskott av kväve ges till någon av de första skördarna kommer överskottskvävet att räknas in i givan till den efterföljande skörden. Om ett underskott i en tidig skörd uppstått kommer det inte att kvittas mot ett eventuellt överskott av kväve i en efterföljande skörd.

4. Effekt av gödsling på hösten

Ibland tillförs gödsel på hösten inför kommande års huvudgröda. En gödsling på hösten innebär ofta risk för utlakning eftersom det sker så nära inpå utlakningssäsongen. Det är med pedagogiskt perspektiv viktigt att visa att det är just under direkt efterföljande vinter en ökad utlakning uppstår även om gödseln var menad för nästa års gröda. I utlakningsberäkningen summeras det ammoniumkväve som tillförs på hösten med stallgödsel och eventuellt handelsgödselkväve. När det gäller stallgödsel beräknas hur stor del av ammoniumkvävet i stallgödselgivan som blir tillgängligt för utlakning. Värden för denna fraktion grundar sig på resultat från några studier vid Mellby försöksfält i Halland där stallgödsel spridits vid olika tidpunkter på hösten, och visas i tabell 6. Det är siffror som kommer att uppdateras allteftersom kunskapen kring detta ämne ökar. Vid spridning av stallgödsel tidigt på hösten kommer inte bara en del av ammoniumkvävet att vara växttillgängligt. Även en del utlakningsbart kväve kommer att hinna frigöras från gödselns organiska beståndsdelar under hösten. Även detta inkluderas i tabell 6 och ger en faktor 1,0 vid spridning tidigt på hösten, trots att man sannolikt haft förluster av ammoniumkväve genom ammoniakavgång. Effekten uttrycks som andel av ammoniumkväve men innehåller alltså även ibland effekt av organiskt kväve.

Av det potentiellt utlakningsbara kvävet som härstammar från gödseltillförseln på hösten kommer inte allt att utlakas. Här kommer utlakningsfaktorn in liksom den gör för att bestämma effekten på utlakningen av överdoserat kväve. Mängden kväve multipliceras också med temperaturfaktorn som tar hänsyn till var i landet åkerjorden befinner sig. Den utlakningseffekt som modellen beräknat för den höstspridda gödseln kommer sedan att motverkas av eventuella höstväxande grödor som tar upp kväve under hösten.

Tabell 6. Andel kväve som blir tillgängligt för utlakning under efterföljande vinter vid höstspredning respektive vårspredning av stallgödsel. Vid höstspredning beaktas främst innehållet av ammoniumkväve i gödseln (med undantag för spridning tidig höst se kommentar under tabellen). Vid vårspredning är det främst mineralisering av den organiska fraktionen som bidrar till utlakning (se punkt 6). Ammoniumkvävet i gödseln som sprids på våren beaktas under "effekt av gödslingsintensitet" (punkt 3)

Spridning: tidpunkt och teknik	Höstspredning av stallgödsel: "Andel av ammoniumkvävet ⁽¹⁾ som är tillgängligt för utlakning	Vårspredning av stallgödsel: Andel av den organiska fraktionen som är tillgänglig för utlakning
Vårvinter: Bredspredning	-	0,20
Vårvinter: Bandspredning	-	0,20
Vårbruk: Bredspr. nedbr. 1 tim	-	0,20
Vårbruk: Bredspr. nedbr. 12 tim	-	0,20
Vårbruk: Bredspredning vall, ej nedbr.	-	0,60
Vårbruk: Bandspr. nedbr. 1 tim	-	0,30
Vårbruk: Bandspr. nedbr. 12 tim	-	0,30
Vårbruk: Bandspredning vall, ej nedbr.	-	0,60
Försommar,sommar: Bredspr. vall, ej nedbr.	-	0,70
Försommar,sommar: Bandspr. vall, ej nedbr.	-	0,70
Försommar,sommar: Bandspr. Stråsäd ej nedbr.	-	0,80
Tidig höst: Bredspr. nedbr. 1 tim	1,00 ¹⁾	-
Tidig höst: Bredspr. nedbr. 12 tim	1,00 ¹⁾	-
Tidig höst: Bredspr. ej nedbr.	0,90 ¹⁾	-
Tidig höst: Bredspr. vall	0,80 ¹⁾	-
Tidig höst: Bandspr. nedbr. 1 tim	1,00 ¹⁾	-
Tidig höst: Bandspr. nedbr. 12 tim	1,00 ¹⁾	-
Tidig höst: Bandspr. ej nedbr.	0,90 ¹⁾	-
Tidig höst: Bandspr. vall	0,80 ¹⁾	-
Tidig höst: Mylln. stråsäd	1,00 ¹⁾	-
Tidig höst: Mylln. vall	0,90 ¹⁾	-
Sen höst: Bredspr. nedbr. 1 tim	0,80	-
Sen höst: Bredspr. nedbr. 12 tim	0,70	-
Sen höst: Bredspr. ej nedbr.	0,50	-
Sen höst: Bandspr. nedbr. 1 tim	0,80	-
Sen höst: Bandspr. nedbr. 12 tim	0,70	-
Sen höst: Bandspr. ej nedbr.	0,50	-
Sen höst: Mylln. stråsäd	0,80	-
Sen höst: Mylln. vall	0,80	-
Betesgödsel	-	-

Kommentarer: Värdena i tabellen bygger på uppskattning utifrån resultat som redovisats av Torstensson m.fl. (1992), Lindén m.fl. (1993), Hessel Tjell m.fl. (1999), Torstensson & Håkansson (2001), Aronsson m.fl.(2003), Torstensson & Ekre (2003)

1) I fallet med tidig höstspredning beror faktorn 1,0 inte på att 100% av ammoniumkvävet är tillgängligt för utlakning. En del kväve förloras t ex genom ammoniakavgång. Faktorn inkluderar i detta fall även det kväve som frigjorts från gödselns organiska beståndsdelar.

5. Effekt av höstväxande gröda

En höstväxande gröda minskar mängden utlakningsbart kväve i marken under hösten och motverkar den ökade utlakning som kan uppstå vid höstgödsling eller som resultat av efterverkan av tidigare grödor (se punkt 6). Kväveupptaget hos olika grödor som används i utlakningsmodellen, tabell 7, har skattats utifrån olika studier som gjorts i Sverige. Grödornas tillväxt under hösten varierar förstås beroende på hur länge de kan växa under hösten, vilket i sin tur hänger nära samman med det geografiska läget. Vissa grödors tillväxt är också tydligt beroende av hur stor kvävetillgången i marken är. Kvävefixerande grödor är inte på samma sätt som andra grödor beroende av markkväve för sin tillväxt. Samtidigt finns det studier som visar att dessa grödor i första hand tar markkvävet för sin försörjning. Baljväxter består ofta av mer lättomsättbart växtmaterial än t ex stråsädesgrödor och vallgräs. I vallar och fånggrödor med klöverinslag kan ofta en del

av biomassans kväve frigörs under senhösten då delar av växten dör. För att ta hänsyn till detta i utlakningsberäkningen räknas kvävebehovet för grödor med klöverinslag ned med 0,3 kg kväve per procent klöver. Denna schablonmässiga hanteringen av klöverinslag används också under punkt 6 för att beräkna efterverkans effekter av vallar och fånggrödor. När det gäller oljeväxter kan man också räkna med att kväve ibland frigörs när delar av växten dör under senhösten, vilket finns inbakat i värdet som anges i tabellen. Enligt en litteratursammanställning som gjordes av Hallgren (2003) kan det röra sig om 20-50% av kväveinnehållet i en höstrapsgröda som förloras under vintern.

De värden på kväveupptag hos olika grödor som anges i tabell 7 är utgångsvärden för gröda utan gödseltillförsel på hösten och som odlas i södra Sverige där temperaturfaktorn är 1,0. Beroende på *geografiskt läge* i landet och *kvävetillgång i marken* på hösten justeras sedan kväveupptaget. Ökat kväveupptag på grund av stor kvävetillgång har främst observerats för grödor som höstraps, insädd fånggröda och vall. Grundvärdena i tabell 7 ökas med hänsyn till hur mycket extra kväve som finns tillgängligt i marken. Detta extra kväve kan härstamma från 1) Höstspriden gödsel, 2) Efterverkan av vårspriden stallgödsel, 3) Efterverkan av årets gröda (om bearbetning skett mycket tidig höst) och 4) Efterverkan av föregående års huvudgröda (t ex vall eller oljeväxter). Av det extra kväve som finns tillgängligt i marken kommer för samtliga höstväxande grödor 10-30% att adderas till kväveupptaget. Kväveupptaget tilläts dock inte bli mer än dubbla utgångsvärdet i tabell 7.

Som exempel har en höstrapsgröda som odlas i Skåne med gödsling 50 kg N/ha på hösten enligt Tabell 7 ett "övervintrande" kväveinnehåll på $(55 \text{ kg} + 50 \cdot 0,3) \cdot 1,0 = 70 \text{ kg N/ha}$. Höstraps i Mälardalen, där temperaturfaktorn är 0,75 har enligt beräkningen vid samma gödsling kväveinnehållet $(55 \text{ kg} + 50 \cdot 0,3) \cdot 0,75 = 53 \text{ kg N/ha}$.

Efter att ha justerat grödornas kväveupptag efter tillgången på kväve och efter läget i landet (temperaturfaktorn) beräknas den utlakningsreducerande effekten genom att använda utlakningsfaktorn. För den skånska höstrapsgrödan i exemplet ovan skulle grödan i sig bidra med en minskad utlakning om $70 \cdot 0,306 = 21 \text{ kg N/ha}$ om jordarten var lerig (<5% lera i Lund) och $70 \cdot 0,184 = 13 \text{ kg N/ha}$ om jordarten var mellanlera.

Tabell 7. Exempel på kväveupptag, kg/ha, hos höstväxande grödor (inkl. rötter) vid normal kvävetillgång. Fullständig tabell redovisas i bilaga 2c

Höstväxande gröda	Kväveupptag vid normal kvävetillgång (Värdena justeras efter kvävetillgång och årsmedeltemperatur)	Tillägg på grund av ökad kvävetillgång i marken (% av extra kväve i marken)
Höstsäd	20 ¹⁾	10
Höstoljeväxter	55 ²⁾	30
Vallinsädd	40	15
Insädd fånggröda	40 ³⁾	15
Höstsädd vall	20	10
Eftersädd gräs/sträsädd- fånggröda	15 ⁴⁾	10
Eftersädd oljeväxtfånggröda	45 ⁵⁾	30

1) Lindén m.fl. (2000), Hessel Tjell m.fl. (1998), Aronsson & Torstensson (2003)

2) Aronsson & Torstensson (2003), Engström m.fl. (2000), Torstensson & Håkansson (2001), Hessel Tjell m.fl. (1998), Hallgren (2003)

3) Ohlander m.fl. (1996), Hessel Tjell m.fl. (1998), Hessel Tjell m.fl. (1999), Lindén et al. (1999) Aronsson m.fl. (2003)

4) Torstensson m.fl. (1992), Hessel Tjell m.f. (1998)

5) Oljeväxter som fånggröda får lägre värde än ordinarie höstoljeväxter eftersom såtidpunkten ibland ej är optimal

6. Efterverkans effekt av årets gröda, föregående års gröda och stallgödsel

Grödor lämnar spår efter sig både genom ökad kväveleverans till efterföljande gröda (förfruktseffekt) och genom ökad utlakningsrisk (kallas här efterverkans effekt). Vissa grödor, t ex sträsädd har marginell betydelse medan exempelvis ett vallbrott kan märkas i flera år. Likaså kan de organiska beståndsdelarna i stallgödsel medföra förfrukts- och efterverkans effekter. Efterverkans effekten på utlakningen av en gröda eller

stallgödsel är i hög grad beroende på när växtrester eller gödsel brukas ned och hur temperaturförhållanden är under hösten. I utlakningsmodellen är det tre viktiga situationer som ger efterverkans effekter på utlakningen och som beskrivs nedan. För varje situation beräknas hur mycket mängden utlakningsbart kväve i marken ökar. Mängden kväve multipliceras sedan med bearbetningsfaktorn, temperaturfaktorn och utlakningsfaktorn för att få fram effekten på utlakningen.

1. *Stallgödsel som sprids på våren* kommer under efterföljande höst att ge ett tillskott till utlakningen på grund av frigörelse av utlakningsbart kväve från stallgödseln organiska beståndsdelar. Den fraktion av det organiska kvävet som blir utlakningsbart anges i tabell 6. Dessa värden grundar sig på resultat från några studier vid Mellby försöksfält i Halland där stallgödsel spridits vid olika tidpunkter på våren och sommaren. Det är siffror som kommer att uppdateras allteftersom kunskapen kring detta ämne ökar. Hur mycket av det utlakningsbara kvävet som utlakas beräknas utifrån bearbetningsfaktorn, temperaturfaktorn och utlakningsfaktorn.

2. *Årets huvudgröda* ger efterverkans effekter på utlakningen under efterföljande vinter om bearbetning sker någon gång under perioden mycket tidig höst till sen höst. Om huvudgrödan har en insädd fånggröda kommer den också att ge en efterverkans effekt. I fallet då huvudgrödan är vall med klöverinslag eller då det finns en fånggröda med klöver räknas efterverkanspotentialen upp utifrån mängden klöver i grödan. För skördade vallar och fånggrödor räknas efterverkanspotentialen upp med $0,3 \cdot \text{klöverhalt}$. För EU-träda (gröngödslingsvall) sker uppräknings med $0,6 \cdot \text{klöverhalt}$. Detta är en helt schablonmässig hantering som bygger på kunskapen om att inslag av klöver har betydelse för efterverkans effekten och att effekten är stor efter vallar som inte skördas. Här finns utrymme för förbättringar när kunskapen ökar kring efterverkans effekter av olika typer av vallar. Det gäller inte bara artsammansättning utan exempelvis också hur nyskördad vallen är i samband med nedbrukning. Detsamma gäller efterverkan av övriga grödor som anges i tabell 8. Denna s.k. potentiella efterverkan av olika grödor bygger till stor del på uppskattningar utifrån utlakningsförsöken i södra Sverige. För att bestämma hur stor del av den potentiella efterverkan som kan förväntas ge upphov till utlakning används bearbetningsfaktorn, temperaturfaktorn och utlakningsfaktorn. Värdena i tabell 8 grundar sig i vissa fall på specifika studier av olika grödors inverkan på ansamlingen av mineralkväve i marken efter nedbrukning. I andra fall är det frågan om grova uppskattningar.

3. *Föregående års gröda eller fånggröda* påverkar utlakningen i första hand i de fall bearbetningen sker på våren. Här gäller det att tänka rätt. Här handlar det om bearbetningsfaktorn som är knuten till den föregående grödan, som inte bearbetades alls på hösten. Årets bearbetningsfaktor har inget med detta att göra. I utlakningsberäkningen sker det automatiskt. Effekten av ett vallbrott som gjordes på våren flyttas automatiskt över till vintern efter vallbrottet. I fall med vallbrott som gjorts sent på hösten får man en effekt under vintern efter vallbrottet men också en liten efterverkans effekt vintern därefter (här görs ingen klöverjustering). Detta är svårt att beskriva i text men kanske är lättare att göra visuellt, se exemplet nedan. Den potentiella efterverkan av föregående års gröda, tabell 8, omräknas till effekt på utlakning genom att multiplicera med bearbetningsfaktorn, temperaturfaktorn och utlakningsfaktorn.

Exempel på den del av utlakningen som orsakas av vallens efterverkans effekt vid vallbrott på våren respektive hösten:

a) **Höstvallbrott:** Klöverhalt=30%, Bf (år 1)=0,80, Bf (år 2)=1,0, Klimf=1,0, Kf=0,26.

År 1: vall som bryts i november	År 2: stråsäd	År 3
Utlakning kopplad till År 1= $(40 + \text{klöverjustering}) \cdot Bf_{(\text{år } 1)} \cdot Klimf \cdot Kf = 10 \text{ kg}$		Utlakning kopplad till År 2= $7 \cdot Bf_{(\text{år } 2)} \cdot Klimf \cdot Kf = 1,8 \text{ kg}$

b) **Vårvallbrott:** Klöverhalt=30%, Bf (år 2)=0,60, Klimf=1,0, Kf=0,26

År 1: vall som bryts våren år 2	År 2: stråsäd	År 3
Utlakning kopplad till År 1= 0 kg, vallen står kvar		Utlakning kopplad till År 2= $(10 + \text{klöverjust.}) \cdot Bf \cdot Klimf \cdot Kf = 3,0 \text{ kg}$

Tabell 8. Potentiell efterverkan på utlakningen (kg N/ha) av olika grödor efter bearbetning på hösten eller på våren. Efterverkanspotentialen räknas upp vid klöverinslag. För skördad vall och fånggröda räknas den upp med 0,3 * klöverhalt och för EU-träda med 0,6 * klöverhalt. Fullständig tabell redovisas i bilaga 2c

År 1 Huvudgröda	Potentiell efterverkan på utlakningen höst-vinter år 1	Potentiell efterverkan på utlakningen höst-vinter år 2	
	Av höstbearbetning år 1	Av vårbearbetning år 2	Av sen höstbearbetning år 1
Spannmål	0	0	0
Oljevaxter	20	5	0
Vall	40	10	7
Naturbete	40	20	10
Majs	60	0	0
Färsk-/matpotatis	70	0	0
Fabrikspotatis	50	0	0
Ärter	30	0	0
Konservärter	50	0	0
Åkerböna	15	10	0
Klöverfrövall	70	20	10
Betor	0	0	0
EU-träda, vall	30	20	10
EU-träda, stubb	20	0	0
Isbergssallat	80	0	0
Lök	20	0	0
Bruna bönor	25	10	0
Grönfoder havre/ärt	10	0	0
<u>Fånggröda</u>	Sen höstbearbetning		
Insådd fånggröda	10	5	0
Eftersådd gräs- fånggröda	5	5	0
Eftersådd oljeväxt- fånggröda	10	10	0

RESULTAT AV TESTBERÄKNINGAR

Här nedan presenteras resultat från utlakningsförsök i södra Sverige i jämförelse med värden för utlakning som tagits fram med den här presenterade beräkningsmetoden. De olika odlingsfaktorernas inverkan på utlakningen presenteras i tabellform. Det är viktigt att notera att dessa testkörningar egentligen inte utgör någon oberoende validering av modellen eftersom resultaten i sig ingår som en ingrediens i hela modellbaket. Flerårsmedelvärden av mätningar används hela tiden i exemplen nedan. Vid jämförelse med mätresultat är det viktigt att komma ihåg att utlakningsberäkningen bygger just på en sorts medelsituation. Nedan görs också beräkningar för en konstruerad växtföljd på olika platser i landet som exempel på vilka utslag beräkningen ger.

Två växtföljder på moränlätter i Skåne

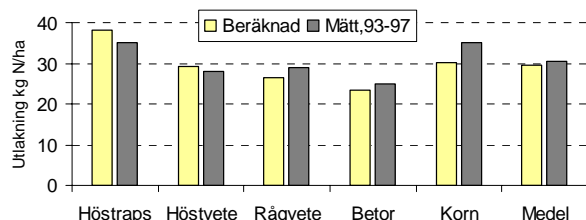
Försöket är beläget på Lönnstorps försöksstation utanför Lund. Sedan 1993 har utlakningen från två växtföljder studerats, tabell 9. Resultaten finns bl. a. redovisade av Aronsson & Torstensson (2003). Testberäkningarna gav resultaten som visas i figur 5.

Tabell 9. Växtföljder i försöket vid Lönnstorp 1993-2003

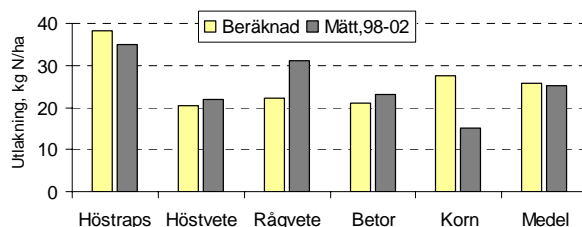
Konventionell växtföljd	Fånggrödeväxtföljd
Höstraps (direktsådd av h-vete)	Havre (bearbetning efter skörd)
Höstvete (bearbetning efter skörd)	Höstvete (insådd av fånggr. på våren)
Rågvete (bearbetning efter skörd)	Vårkorn + fånggröda (sen höstplöjning)
Socketbetor, blasten nedplöjes i nov	Socketbetor, blasten bärgas (sen höstplöjning)
Vårkorn (bearbetning efter skörd)	Vårkorn + fånggröda (sen höstplöjning)

Kf= 0,241 Klimf=1,00	15-25% lera	KONVENTIONELL VÄXTFÖLJD VID LÖNNSTORP					Kväveutlakning	
		Effekt av:					Beräknad	Mätt 93-97
1993-97	Grund- utlakning	Bearbet- ning	Gödslings- intensitet	Höst- gödsling	Höstväxande Gröda	Efterverkan Stallg., gröda		
Höstraps	34	0	4,2	0	-4,8	4,8	38	35
Höstvete	34	0	0	0	-4,8	0	29	28
Rågvete	34	-6,7	-0,9	0	0	0	26	29
Betor	34	-6,7	-4,0	0	0	0	23	25
Korn	34	2,3	0,5	9,6	-16	0	30	35
						Medel	29	30
1998-2002								Mätt 98-02
Höstraps	34	0	4,3	0	-4,8	4,8	38	35
Höstvete	34	0	-8,8	0	-4,8	0	20	22
Rågvete	34	-6,7	-5,1	0	0	0	22	31
Betor	34	-6,7	-6,3	0	0	0	20	23
Korn	34	2,3	-1,6	8,7	-16	0	27	15
						Medel	26	25

Konventionell växtföljd vid Lönnstorp 1993-1997



Konventionell växtföljd vid Lönnstorp 1998-2002

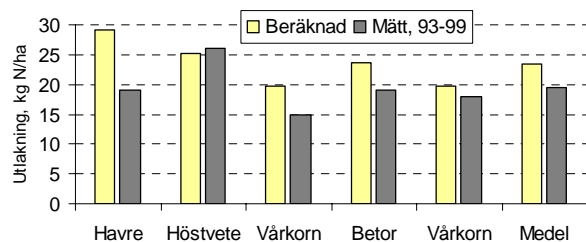


Figur 5. Resultat av testberäkningar för försöket med konventionell växtföljd vid Lönnstorp.

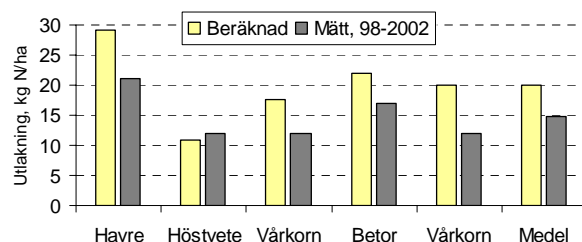
Kf= 0,241 Klimf=1,00	15-25% lera	FÅNGGRÖDEVÄXTFÖLJD VID LÖNNSTORP					Kväveutlakning	
		Effekt av:					Beräknad	Mätt 1993-97
1993-97	Grund- utlakning	Bearbet- ning	Gödslings- intensitet	Höst- gödsling	Höstväxande Gröda	Efterverkan Stallg., gröda		
Havre	34	0	0	0	-4,8	0	29	19
Höstvete	34	-6,7	-2,2	0	0	0	25	26
Korn+fånggr.	34	-6,7	0	0	-9,6	1,9	20	15
Betor*	34	-6,7	-3,6	0	0	0	24	19
Korn+fånggr.	34	-6,7	0,2	0	-9,6	1,9	20	18
						Medel	23	19
1998-2002								Mätt 1998-02
Havre	34	0	0	0	-4,8	0	29	21
Höstvete+fånggr.	34	-6,7	-8,8	0	-9,6	1,9	11	12
Korn+fånggr.	34	-6,7	-1,9	0	-9,6	1,9	18	12
Betor*	34	-6,7	-5,3	0	0	0	22	17
Korn+fånggr.	34	-6,7	0,3	0	-9,6	1,9	20	12
							20	15

* I fånggrödeväxtföljden skördades betblasten vilket inte tas hänsyn till i beräkningarna **Medel**

Fånggrödeväxtföljd vid Lönnstorp 1993-1999



Fånggrödeväxtföljd vid Lönnstorp 2000-2002



Figur 6. Resultat av testberäkningar för försöket med fånggrödeväxtföljd vid Lönnstorp.

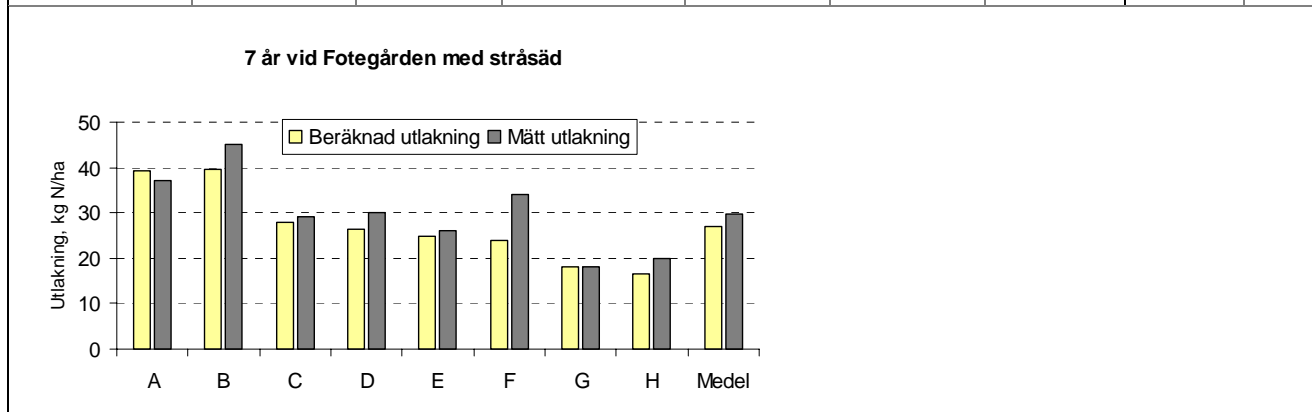
Stråsäd på mojord i Västergötland

I försöket vid Fotegården utanför Lidköping studeras odlingsssystem med insådda fånggrödor, stallgödseltillförsel och olika bearbetningstidpunkter, tabell 10. Här nedan görs en sammanställning av 7 år med vårstråsäd under perioden 1993-2002, figur 7. Dessa resultat har tidigare publicerats av bl a Lindén m.fl (1999) och Aronsson m.fl. (2003).

Tabell 10. Beskrivning av de olika försöksleden vid Fotegården

Led	Bearbetning	Flytgödsel	Fånggröda
A	Sep-okt	-	-
B	Sep-okt	Vår	-
C	Nov-dec	-	Eng. rajgräs
D	Nov-dec	Vår	Eng. rajgräs
E	Mar-apr	-	-
F	Mar-apr	Vår	-
G	Mar-apr	-	Eng. rajgräs
H	Mar-apr	Vår	Eng. rajgräs

Kf= 0,236 Klimf=0,88	5-15% lera	VÅRSTRÅSÄD VID FOTEGÅRDEN					Kväveutlakning	
		Effekt av:		Gödslings- intensitet	Höst- gödsling	Höstväxande Gröda	Efterverkan Stallg., gröda	Beräknad
1993-02	Grund- utlakning	Bearbet- ning						
	38	0	1,3	0	0	0	39	37
	38	0	0	0	0	1,7	40	45
	38	-7,5	4,7	0	-9,2	1,8	28	29
	38	-7,5	2,0	0	-9,2	3,2	27	30
	38	-15	2,0	0	0	0	25	26
	38	-15	0	0	0	1,0	24	34
	38	-15	3,9	0	-9,3	0,6	18	18
	38	-15	1,6	0	-9,4	1,6	17	20
						<i>Medel</i>	27	30



Figur 7. Resultat av testberäkningar för Fotegårdsförsöket.

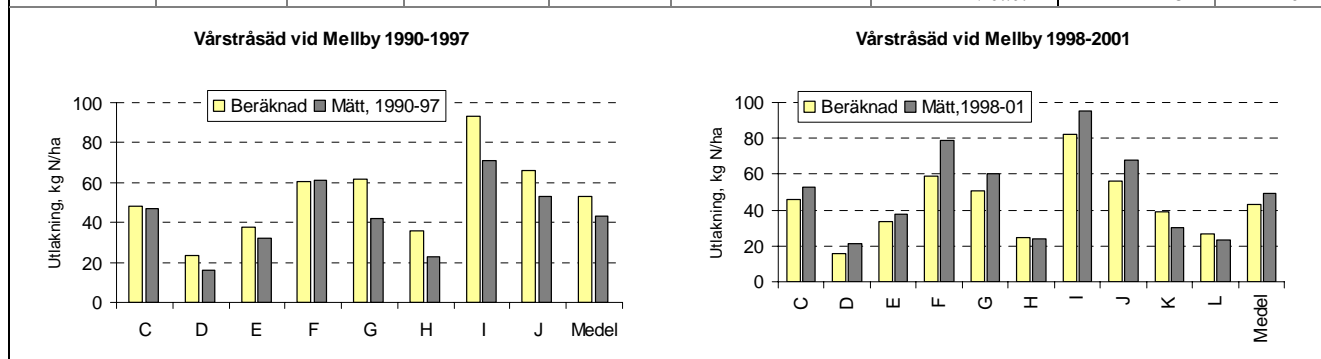
Vårstråsäd på mojord i Halland

Vid Mellby försöksfält i södra Halland har utlakningsstudier bedrivits sedan början av 80-talet. I det äldsta försöket studeras odlingsssystem med insådda fånggrödor, stallgödseltillförsel i olika givor och olika bearbetningstidpunkter, tabell 11. Försöket har bl a rapporterats av Aronsson m fl (2003). Resultaten av testberäkningarna visas i figur 8.

Tabell 11. Beskrivning av de olika försöksleden vid Mellby. Med 1stg menas en flytgödselgiva av ca 90 kg NH₄-N/ha

Led	Bearbetning	Flytgödsel	Fånggröda
C	Sep	-	-
D	Sep	-	Eng. rajgräs
E	Mar-apr	Höst, 1 stg	Eng. rajgräs
F	Mar-apr	Höst, 2 stg	Eng. rajgräs
G	Sep	Vår, 1 stg	-
H	Mar-apr	Vår, 1 stg	Eng. rajgräs
I	Sep	Vår, 2 stg	-
J	Mar-apr	Vår, 2 stg	Eng. rajgräs
K	Nov-dec	-	-
L	Nov-dec	-	Eng. rajgräs

Kf= 0,320 Klimf=1,00	5-15 % lera	VÅRSTRÅSÄD VID MELLBY					Kväveutlakning	
		Effekt av:					Beräknad	Mätt
1990-97	Grund- utlakning	Bearbet- ning	Gödslings- intensitet	Höst- gödsling	Höstväxande gröda	Efterverkan Stallg., gröda	1993-97	1998-01
C	46	0	2,0	0	0	0	48	47
D	46	-19	7,7	0	-13	1,0	23	16
E	46	-19	5,4	20	-16	1,0	38	32
F	46	-19	11	39	-18	1,0	60	61
G	46	0	14	0	0	2,1	62	42
H	46	-19	19	0	-13	2,3	36	23
I	46	0	43	0	0	4,3	93	71
J	46	-19	48	0	-13	3,5	66	53
						<i>Medel</i>	53	43
1998-01								1998-01
C	46	0	0	0	0	0	46	53
D	46	-19	0	0	-13	1,0	16	21
E	46	-19	0	22	-16	1,0	34	38
F	46	-19	7,0	43	-19	1,0	59	79
G	46	0	2,4	0	0	2,1	51	60
H	46	-19	7,8	0	-13	2,3	25	24
I	46	0	32	0	0	4,1	82	95
J	46	-19	38	0	-13	3,5	56	68
K	46	-9,3	2,4	0	0	0	39	30
L	46	-9,3	0,2	0	-13	2,6	27	23
						<i>Medel</i>	43	49

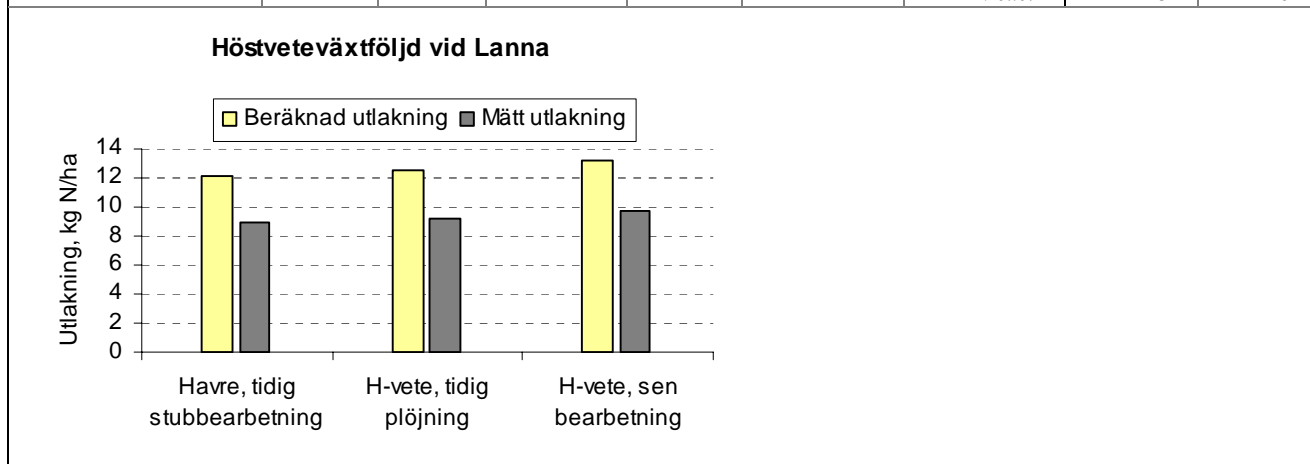


Figur 8. Jämförelse av beräknad och uppmätt utlakning i ett försök vid Mellby försöksstation i Halland.

Höstveteväxtföljd på styv lera i Västergötland

Vid Lanna försöksstation en dryg mil från Skara infördes 2000 en treårig höstveteväxtföljd med utlakningsmätningar (Aronsson m fl, 2003b). Jämförelse av beräknad och mätt utlakning visas i figur 9.

Kf=0,104 Klimf=0,88	>40% lera	HÖSTVETE VÄXTFÖLJD VID LANNA					Kväveutlakning	
		Effekt av:					Beräknad	Mätt
2000-2003	Grund- utlagn.	Bearbet- ning	Gödslings- intensitet	Höst- gödsling	Höstvaxande Gröda	Efterverkan Stallg., gröda	2000-03	2000-03
Havre, tidig stubbearb.	16	0	0,7	0	-1,5	0	12	9
Höstvete, tidig plöjning	16	0	1,1	0	-1,5	0	13	9
Höstvete, sen plöjning	16	-0,7	0,9	0	0	0	13	8
						<i>Medel</i>	13	9

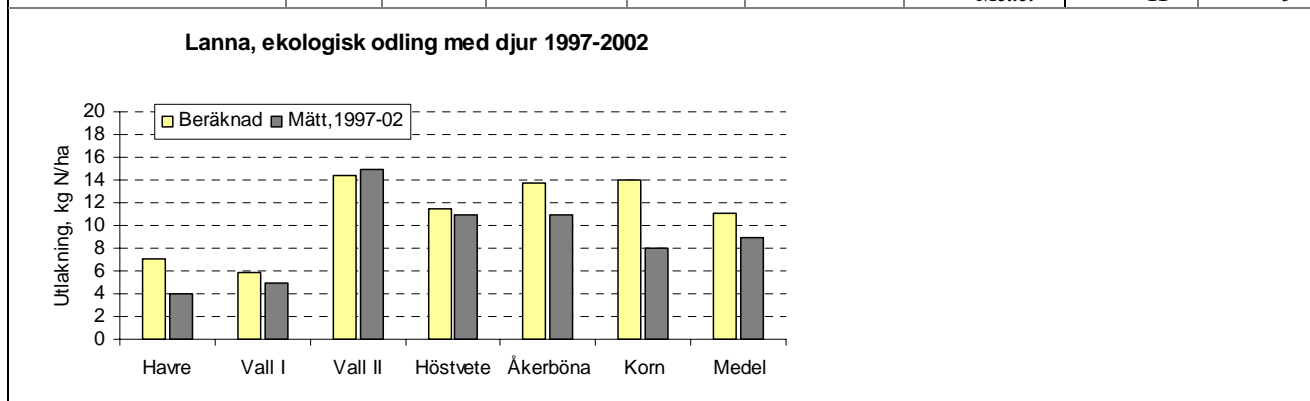


Figur 9. Jämförelse av beräknad och mätt utlakning i ett försök med höstveteväxtföljd vid Lanna försöksstation.

Ekologisk växtföljd på styv lera i Västergötland

Jämförelser av beräknad och mätt utlakning gjordes även i ett försök med ekologisk odling vid Lanna försöksstation, figur 10. Det är en växtföljd med djurhållning som pågått sedan 1997. Resultaten har rapporterats av Torstensson (2003).

Kf= 0,104 Klimf=0,88	>40% lera	EKOLOGISK VÄXTFÖLJD MED DJUR VID LANNA					Kväveutlakning	
		Effekt av:					Beräknad	Mätt
1997-2002	Grund utlagn.	Bearbet- ning	Gödslings- intensitet	Höst- gödsling	Höstvaxande gröda	Efterverkan Stallg., gröda	1997-02	1997-02
Havre + insädd, stg vår	13	-4,6	0,7	0	-2,5	0,5	7	4
Vall I	13	-4,6	-1,0	0	-1,5	0	6	5
Vall II, höstplöjn.	13	0	-2,3	0	-1,7	5,4	14	15
H-vete, sen h-plöj.,stg vår	13	-0,7	-2,4	0	0	1,6	12	11
Å-böna, plöjn. sen höst	13	-0,7	0,3	0	0	1,2	14	11
Korn, plöjn. sen höst		-0,7	-0,1	0	0	1,8	14	8
Stg sommar								
						<i>Medel</i>	11	9



Figur 10. Jämförelse av beräknad och uppmätt utlakning i ett försök med ekologisk odling vid Lanna försöksstation.

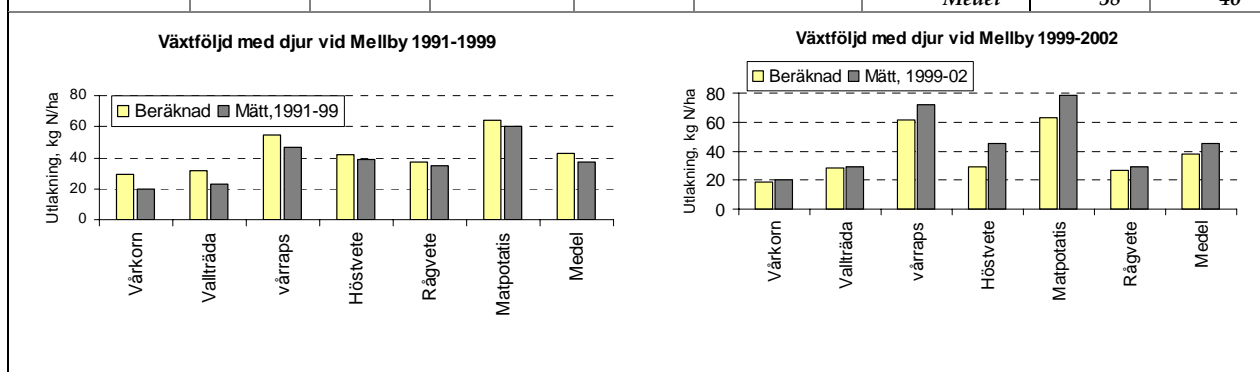
Växtföljd med djur på mojord i Halland

I projektet "Kväveutlakning på sandjord – motåtgärder med ny odlingsteknik" vid Mellby försöksfält i södra Halland studeras en växtföljd med stråsäd, potatis, våraps och vallträda. Försöket har pågått sedan början av 90-talet (Torstensson & Håkansson, 2001; Torstensson & Ekre, 2003). Tidpunkter för bearbetning och spridning av svinflytgödsel framgår av tabell 12. Resultaten av utlagningsberäkningarna visas i figur 11.

Tabell 12. Översikt över tidpunkter för bearbetning och flytgödselspridning i försöket med djur vid Mellby

Gröda 1991-99	Bearbetning	Flytgödsel	Fånggröda	Gröda 1999-02	Bearbetning	Flytgödsel	Fånggröda
Vårkorn	-	vår	Vallinsädd	Vårkorn	-	Vår	Vallinsädd
Vallträda	Mar-apr	Sen höst	-	Vallträda	Vår	Sen höst	-
Våraps	Sep-okt	-	-	Våraps	Aug-sep	-	-
Höstvete	Sep-okt	sommar	-	Höstvete	Vår	Vår + tid. höst	Insädd
Rågvede	Mar-apr	Vår + sen höst	Insädd	Matpotatis	Sep-okt	-	-
Matpotatis	Sep-okt	-	Eftersädd	Rågvede	mars	Sommar	Insädd

Kf= 0,320 Klimf=1,00	5%lera	VÄXTFÖLJD MED DJUR VID MELLBY					Kväveutlakning	
		Effekt av:					Beräknad	Mätt 1991-99
1991-99	Grundutlagn.	Bearbetning	Gödslingsintensitet	Höstgödning	Höstväxande gröda	Efterverkan Stallg., gröda		
Vårkorn+ins.	46	-19	13	0	-13	1,4	29	20
Vallträda	46	-19	2,6	15	-13	0	32	23
Våraps	46	0	0	0	-7,4	16	55	47
Höstvete	46	0	0	0	-6,6	2,3	42	39
Rågvede+fg	46	-19	9,6	11	-13	1,5	37	45
Matpotatis+fg	46	0	-2,9	0	-4,8	26	64	60
						<i>Medel</i>	43	37
1999-2002								1999-02
Vårkorn+ins.	46	-19	0	0	-11	2,1	18	20
Vallträda	46	-19	2,6	8,2	-10	0	28	29
Våraps	46	4,6	-1,6	0	-7,7	20	62	72
Höstvete+fg	46	-19	-1,0	14	-15	3,5	29	45
Matpotatis	46	0	0	0	-6,6	24	63	78
Rågvede+fg	46	-16	6,7	0	-13	3,6	27	29
						<i>Medel</i>	38	46



Figur 11. Jämförelse av beräknad och uppmätt utlakning i ett försök med djurhållning vid Mellby.

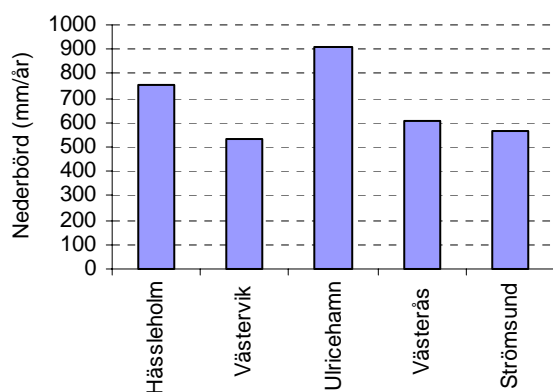
Konstruerad växtföljd på olika platser

Beräkningar gjordes med en konstruerad växtföljd för fem olika plaster för att illustrera den variation som utlagningsberäkningen ger. Den tänkta växtföljden framgår av tabell 13. I Strömsund byttes höstvetet mot vårsäd och vallbrottet gjordes medelsen höst. Beräkningar gjordes för lättlera (15-25% lera) i Hässleholm, Ulricehamn, Västervik, Västerås och Strömsund. Nederbörd och grundutlakning för de olika kommunerna redovisas i figur 12 a och b. Resultaten av utlagningsberäkningarna framgår av figur 13.

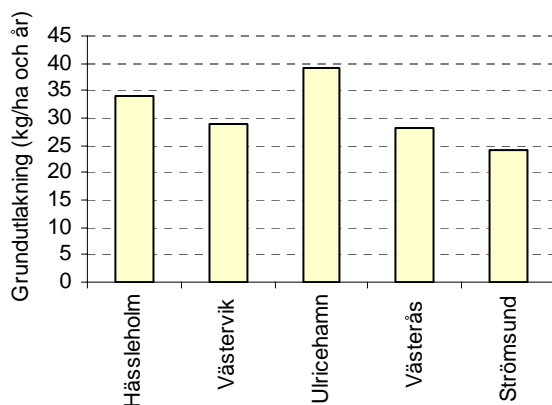
Tabell 13. Grödor, bearbetning och tidpunkter för stallgödselspridning i en konstruerad vallväxtföljd

Gröda, syd-mellan	Bearbetning	Stallgödsel	Gröda Strömsund	Bearbetning	Stallgödsel
Vårkorn	-	Vår	Vårkorn	-	Vår
Vall I	-	Sommar	Vall I	-	sommar
Vall II	Aug-sep	Tidig höst	Vall II	Sep-okt	Sen höst
	Nov-dec	Sommar + sen höst	Vårkorn	Okt	-
Havre	Sep-okt	-	Havre	Sep-okt	vår
Vårkorn	Nov-dec	vår	Vårkorn	Nov-dec	Vår

a)



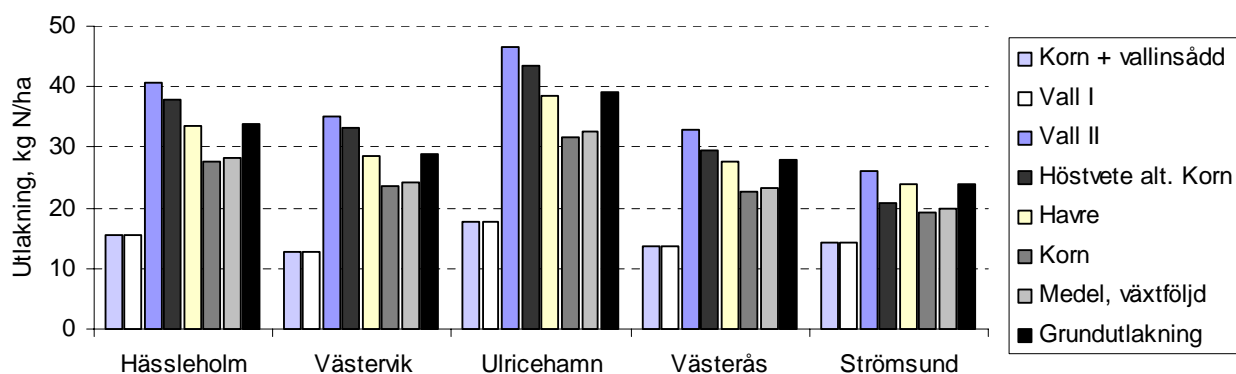
b)



Figur 12. Nederbörd (a) och grundutlakning (b) i de fem kommuner som användes för testberäkningar.

Grundutlakningen på de olika platserna varierar beroende på skillnader i temperatur- och nederbördsförhållanden. Ulricehamn som har störst nederbörd har även den största grundutlakningen. Strömsund har den lägsta grundutlakningen av de fem kommunerna. Nederbörden är visserligen något större än i Västervik, men klimatet i övrigt ger en lägre grundutlakning. Grundutlakningen slår igenom när det gäller medelutlakningen för växtföljden på de olika platserna. När man ser på de enskilda grödorna varierar utlakningen beroende på att olika odlingsåtgärder får olika effekt beroende på var i landet man befinner sig. Det gäller t ex effekten av bearbetning, höstsådd gröda och vallbrott.

Konstruerad växtföljd på 5 platser 15-25% lera



Figur 13. Beräknad kväveutlakning för en konstruerad växtföljd på 5 olika platser i landet.

Sammanfattning

Beräkningarna avviker en del från mätta värden. Det beror förstås delvis på att beräkningarna ska representera en medelsituation, vilket aldrig existerar i verkligheten. Överensstämmelsen är ändå ganska god. I de fall det finns längre mätserier framgår det av resultaten att en överskattning av utlakningen under en period ibland förbyts mot en underskattning under en annan tidsperiod. Det fungerade relativt väl att använda beräkningen för en ekologisk växtföljd. Allteftersom det finns mer mätdata att tillgå kommer mer jämförelser att kunna göras. Dessutom kommer modell användarnas erfarenheter att utgöra en viktig resurs i utvecklingsarbetet med beräkningsmetoden.

REFERENSER

- Aronsson, H. 2000a. Nitrogen turnover and leaching in cropping systems with ryegrass catch crops. Doktorsavhandling. *Agraria* 214. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Aronsson, H. 2000b. Utlakningsförsök för långsiktig kontroll av odlingssystem med vintergrön mark. *Teknisk rapport 56*. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU
- Aronsson, H. & Torstensson, G. 2001. Insådda fånggrödor som redskap att minska kväveutlakningen. *Teknisk rapport 61*. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU.
- Aronsson, H. & Torstensson, G. B. 2003. Höstgrödor – Fånggrödor – Utlakning. Kvävedynamik och kväveutlakning från två växtföljder på moränlättilera i Skåne. Resultat från 1993-2003. *Ekohydrologi 75*, Avdelningen för vattenvårdslära.
- Aronsson, H., Torstensson, G. & Lindén, B. 2003a. 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 74*, Avdelningen för vattenvårdslära.
- Aronsson, H. Torstensson, G. & Lindén, B. 2003b. Utlakningsförsök med höstveteväxtföljd på lerjord i Västergötland, 2001-2003. *Teknisk rapport 73*, Avdelningen för vattenvårdslära, SLU, Uppsala.
- Bergström, L. & Brink, N. 1986. Effects of differentiated applications of fertilizer N on leaching losses and distribution of inorganic N in the soil. *Plant and Soil* 93, 333-345.
- Engström, L., Lindén, B. & Roland, J. 2000. Höstraps i Mellansverige – inverkan av såtid och ogräsbekämpning på övervintring, skörd och kvävehushållning. *Rapport 7, serie B: Mark och växter*. Institutionen för jordbruksvetenskap Skara, SLU.
- Gustafson, Arne. 1996. Kväve och fosfor i mark och vatten en ödesfråga inför 2000-talet. Bidrag från olika källor - jordbruk. Föredrag vid KSLA-seminarium, Marholmen den 22-23 mars 1995. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift, Årg. 135, Nr 3, 47-59*.
- Hallgren, S. 2003. Mineralkväve i marken efter höstraps och efter havre – en fältstudie samt ett inkubationsförsök avseende inverkan av höstraps- och havrehalm på kväveförhållandena i jorden. *Examens- och seminariearbeten nr 9*. Institutionen för jordbruksvetenskap Skara, SLU
- 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 46*. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU.
- Hessel Tjell, K., Aronsson, H., Torstensson, G., Gustafson, A., Lindén, B., Stenberg, M. & Rydberg, T. 1999. Mineralkvävedynamik och växtnäringutlakning i handels- och stallgödslade odlingssystem med och utan fånggröda. Resultat från en grovmojord i södra Halland, perioden 1990-1998. *Ekohydrologi 50*. Avdelningen för vattenvårdslära.
- Johansson, G. & Gustafson, A. 2003. Observationsfält på åkermark. *Teknisk rapport 76*, Avdelningen för vattenvårdslära, SLU
- Johnson, P.A. & Smith, P.N. 1996. The effects of nitrogen fertilizer rate, cultivation and straw disposal on the nitrate leaching from a shallow limestone soil cropped with winter barley. *Soil Use and Management* 12, 67-71.
- Johnsson, H., Bergström, L., Jansson, P.-E. & Paustian, K. 1987. Simulated nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 18, 333-356.
- Johnsson, H. & Mårtensson, K. 2002. Kväveläckage från svensk åkermark . Beräkningar av normalutlakning för 1995 och 1999. *SNV rapport 5248*.
- Johnsson, H, Larsson, M., Mårtensson, K. & Hoffmann, M. 2002. SOILNDB: a decision support tool for assessing nitrogen leaching losses from arable land. *Environmental Modelling & Software* 17 (2002) 505-517.

- Lewan, E. 1994. Effects of a catch crop on leaching of nitrogen from a sandy soil: Simulations and measurements. *Plant and Soil* 166, 137-152.
- 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 kväueupptag under hösten. *Rapport 5, serie B: Mark och växter*. Institutionen för jordbruksvetenskap Skara, SLU.
- Myrbeck, Å. & Arvidsson, J. 2004. Plöjningstidpunktens inverkan på markstruktur, växtproduktion och kväveutlakning på lerjord. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 105. SLU.
- Ohlander, L., Bergkvist, G., Stendahl, F. & Kvist, M. 1996. Yield of catch crops and spring barley as affected by time of undersowing. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* 46, 161-168.
- Simmelsgaard, S.E. & Djurhuus, J. 1998. An empirical model for estimating nitrate leaching as affected by crop type and the long-term N fertilizer rate. *Soil Use and Management* 14, 37-43
- Simmelsgaard, S.E., Kristensen, K., Andersen, H.E., Grant, R., Jørgensen, J.O. & Østergaard, H.S. 2000. Empirisk modell til beregning af kvælstofudvaskning fra rodzonen. *DJF rapport nr 32*. Danmarks JordbrugsForskning, Foulum, Tjele.
- SJV. 2001. Manual till kalkylprogrammet STANK 4.2, november 2001. Statens jordbruksverk 551 82 Jönköping.
- SJV. 2003. Riktlinjer för gödning och kalkning 2004. *Rapport 2003:22*. Statens jordbruksverk 551 82 Jönköping.
- Stenberg, M., Aronsson, H., Lindén, B., Rydberg, T. & Gustafson, A. 1999. Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop. *Soil & Tillage Research* 50, 115-125.
- Torstensson, Arne Gustafson, Börje Lindén, och Gustav Skyggesson. 1992. Mineralkvävedynamik och växtnäring-utlakning på en grovmjord med handels- och stallgödslade odlingssystem i södra Halland. *Ekohydrologi* 28. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU
- Torstensson, G. & Håkansson, M. 2001. Kväveutlakning på sandjord –motåtgärder med ny odlingsteknik. *Ekohydrologi* 57, Avdelningen för vattenvårdslära, SLU.
- Torstensson, G. 2003. Ekologisk odling –Utlakningsrisker och kväveomsättning. Ekologiska odlingssystem med resp. utan djurhållning på lerjord i Västra Götaland. *Ekohydrologi* 73, Avdelningen för vattenvårdslära, SLU.
- Torstensson, G. & Ekre E. 2003. Kväveutlakning på sandjord –motåtgärder med ny odlingsteknik. Miljöanpassad stallgödselanvändning och odling i realistiska odlingssystem. *Ekohydrologi* 71, Avdelningen för vattenvårdslära, SLU.

