

Kvävehushållning och
kväveförluster
– förbättringsmöjligheter
i praktiskt jordbruk



Kungl. Skogs- och
Lantbruksakademiens
Årg. 143 • Nr 12 • År 2004

TIDSKRIFET

Ansvarig utgivare: Akademiens sekreterare och VD: Bruno Nilsson
Redaktör: Gunilla Agerlid

Kvävehushållning och kväveförluster – förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk

Redovisning av ett projekt inom
Stiftelsen Svensk Växtnäringsforskning



Respektive författare ansvarar för sitt inlägg

Redovisningen sammanställd under medverkan av
agronom Tord Eriksson

Innehåll

Förord	
<i>Bruno Nilsson</i>	7
Kvävehushållning och kväveförluster – förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk	
<i>Karl-Ivar Kumm</i>	9
Kortsiktiga och långsiktiga markbiologiska processer med speciell hänsyn till kvävet	
<i>Jan Persson</i>	67
Kväve – från teori till praktiska frågor	
<i>Göte Bertilsson</i>	95
Indikatorer för bedömning i efterhand av odlingens kvävestatus	
<i>Göte Bertilsson</i>	113

Tidigare utgivna nummer finns uppräknade på omslagaets tredje sida

Förord



BRUNO NILSSON

Sekreterare och VD
Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien

Kväve är livsnödvändigt för växter, djur och människor. Bristande tillgång till praktiskt användbara kvävegödselmedel var länge en begränsande faktor för skördarnas kvantitet och kvalitet.

Kvävet i naturen kan också medföra negativa konsekvenser, t.ex. utlakning till sjöar och vattendrag. Kvävets kretslopp är överhuvudtaget en komplicerad fråga. En viktig faktor i kretsloppet är odlingshistorien. Vissa kvävefraktioner kan t.ex. "lagras" i marken i flera hundra år.

I denna rapport redovisas erfarenheter från ett projekt:

"Kvävehushållning och kväveförluster – förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk", som Stiftelsen Svensk Växtnäringsforskning tagit initiativ till. Projektets syfte var att utifrån aktuell forskning samt tillgänglig kunskap och erfarenhet göra synteser och se vad som kan tillämpas i praktiken.

Projektet inleddes med ett internationellt seminarium: "Nitrogen efficiency in practical agriculture – fundamental processes and how to control them". Detta är publicerat i KSLAT 2000, nr 8.

AgrD Karl-Ivar Kumm, SLU, har varit projektledare. Han har gjort en omfattande litteraturstudie och placerat in erfarenheterna i ett ekonomiskt sammanhang och även tagit hänsyn till den europeiska jordbrukspolitikens senaste förändring (2004).

För att få en djupare förståelse för de biologiska processer som kvävet genomgår i marken har professor emeritus Jan Persson, SLU, skrivit ett särskilt kapitel om: "Kortsiktiga och långsiktiga markbiologiska processer med speciell hänsyn till kvävet". Kapitlet har bäring mot tillämpningen. I det avslutande avsnittet har AgrD Göte Bertilsson närmast sig de tillämpade delarna under rubriken: "Kväve – från teori till praktiska frågor" och "Indikatorer för bedömning i efterhand av odlings kvävestatus".

Projektet startade under den tid då Jan Persson var ordförande i stiftelsen. Tillsammans med Göte Bertilsson och akademiagronom Tord Eriksson har han varit starkt engagerad i tillkomsten av materialet.

Det är med stor tillfredsställelse jag som nuvarande ordförande i stiftelsen kan presentera denna skrift.

Kvävehushållning och kväveförluster

– förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk

Karl-Ivar Kumm



Innehåll

Sammanfattning och slutsatser	13
Bakgrund, syfte och metod	16
Åtgärder inom nuvarande och förändrad markanvändning	17
God markvård	18
Ändrad markanvändning	20
Vallodling	20
Skog	24
Våtmark	25
Gödslingsrekommendationer	26
Behovsanpassad tillförsel av mineralgödsel	29
Val av kvävegödselmedel	31
Uppdelning av kvävegivan	32
Precisionsgödsling	34
Precision vid spridning av mineral- och stallgödsel	36
Snabb nedbrukning och jordkontakt för stallgödsel	37
Stallgödsel till öppen jord heller än till vall	39
Torvinblandning och direktspridning av djupströgödsel	39
Vårspridning av stallgödsel	40
Flytgödselseparering	42
Bortförsel av kväverika skörderester	43
Nedbrukning av kvävefattiga skörderester	43
Fånggrödor och senarelagd jordbearbetning	44
Kontrollerad dränering	45
Åtgärder mot ammoniakförluster från stallar och gödsellager	46
Anpassad proteinutfodring till mjölkkor	47
Låg kvävegödsling och större vallareal i områden med billig mark	48
Fasutfodring och rena aminosyror till svin	50
Serogrisproduktion (SPF-produktion)	52
Animalieproduktionens lokalisering	54
Några jämförelser mellan konventionellt och ekologiskt jordbruk	56
Referenser	57

Kvävehushållning och kväveförluster

– förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk

Sammanfattning och slutsatser

Syftet med projektet "Kvävehushållning och kväveförluster – förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk" är att utifrån befintlig kunskap söka praktiskt möjliga åtgärder för att förbättra kvävehushållningen och därmed minska kväveförlusterna. I första hand söks åtgärder som förbättrar eller i varje fall inte försämrar lönsamheten. Då det inte är säkert att åtgärder inom växtodling och stallgödselhantering är tillräckliga för att nå uppställda miljömål så behandlas även åtgärder inom markanvändning och animalieproduktion. De viktigaste slutsatserna sammanfattas i följande punkter:

Optimala kvävegivor: Kvävegödsling avpassad till vad som är ekonomiskt optimalt till den enskilda grödan på det enskilda fältet är ett första steg för att begränsa kväveförlusterna inom ramen för pågående jordbruksdrift. Utlakningen minskar relativt lite om gödslingen sänks under denna nivå, men ökar kraftigt om den överskrids.

Beakta stallgödselns kort- och långsiktiga verkan: För att fastställa behovet av mineralgödselkväve är det nödvändigt att beakta den kort- och långsiktiga verkan av eventuell stallgödsel. Stallgödselns kortsiktiga kväveverkan motsvarar dess ammoniuminnehåll minus eventuell immobilisering i omsättbart material i gödseln. Den långsiktiga verkan påverkas av hur länge och i hur stora mängder stallgödsel använts. På en gård med 1 ton ts

stallgödsel per ha och år (t.ex. 0,4 mjölkkor eller 7 slaktsvinplatser) är den långsiktiga kväveeffekten cirka 5 kg N/ha om produktionen pågått i 10 år efter en lång kreaturslös period och 12 kg N/ha eller mera om den pågått 50 år eller längre. I sammanhanget bör påpekas att det finns skäl för gårdar som använder fodersäd till egna djur att använda högre total kvävegiva än gårdar som säljer fodersäden. Orsaken är bl.a. att egen skörd, som ersätter inköpt fodersäd, har högre nettovärde än fodersäd som säljs. Transportkostnader och handelsmarginaler utgör skillnaden.

Grundgiva och behovsanpassad tilläggsgiva: Det är svårt att redan tidigt på våren förutsäga den kommande grödans utveckling och därmed dess kvävebehov. Genom en relativt liten grundgiva, som vid god årsväxt kompletteras med tilläggsgivor längre fram, kan man avvakta och justera utifrån årets väderlek och grödans utveckling. På så sätt minskar risken för överoptimal gödsling och därmed onödig gödselkostnad och utlakning vissa år och underoptimal gödsling och skördeförluster andra år. Å andra sidan innebär en sådan uppdelning kostnader för att fastställa behov av och sprida tilläggsgivor. Uppdelning av kvävegivan är lönsam i brödsädsodling i de flesta fall och till fodersäd om maskinkostnaderna är fasta och arbetet har låg alternativkostnad då tilläggsgödsling är aktuell. Om maskinkostnaderna är rörliga och arbetets alternativkostnad hög så är lönsamheten mera tveksam i fodersäd.

En grundgiva av stallgödsel som motsvarar 50–70% av kvävebehovet kompletterad med en behovsanpassad giva av mineralgödsel-kväve under vegetationsperioden leder till bättre växtnäringsutnyttjande än större stallgödselgivor. En sådan strategi förutsätter en måttlig djurtäthet.

Precisionsgödsling ger möjlighet till ytterligare förbättring av kväveutnyttjandet: Det kan förekomma stora skördevariationer och därmed stora variationer i ekonomiskt optimal kvävegiva inom ett och samma fält. Variationen kan beaktas genom bl.a. växtplatsanpassad N-sensorstyrd kompletteringsgödsling. Sådan kompletteringsgödsling är viktig för gott kväveutnyttjande inte minst efter en grundgiva av stallgödsel som kan ha varierande kväveeffekt.

För att begränsa hektarkostnaderna för precisionsgödsling krävs stora gårdar, maskinsamverkan eller entreprenörer. För den enskilde lantbrukaren kan det vara lönsamt att anlita entreprenör särskilt om arbets- och maskinkostnaderna för alternativet med egen gödsling är rörliga. Om precisionsgödslingen utvidgas till flera grödor inklusive fodersäd och vall kan utrustningen få större årlig användning och kostnaderna reduceras.

Exakt spridning av mineral- och stallgödsel: Alla åtgärder för att fastställa grödans kvävebehov blir mer eller mindre meningslösa om inte gödslingen sedan utförs med rimlig precision. Moderna mineralgödselspridare har hög precision om underhåll och inställningar görs rätt. Undersökningar visar emellertid att spridningen i praktiken i många fall har väsentligt högre variationskoefficient än vad som är möjligt med rätt inställning och rätt körteknik. Resultatet blir onödigt kväveutlakning och sämre lönsamhet.

För flytgödsel förbättras möjligheterna att sprida med hög precision och små ammoniakförluster genom släpslans- eller myllningsaggregat. De ekonomiska förutsättning-

arna för sådan spridning liksom snabb nedbrukning av ytspridd gödsel är bättre på större lantbruk än på mindre. Genom maskinsamarbete eller anlåtande av entreprenör kan även mindre gårdar få tillgång till sådan teknik till rimlig kostnad. I Danmark sprider entreprenörer huvuddelen av flytgödseln trots att de danska djurbesättningarna i allmänhet är stora. Entreprenörerna sprider gödsel på olika gårdar med olika grödor och jordarter vid olika tidpunkter, vilket möjliggör kostnads-effektivt utnyttjande av maskinkapacitet.

Fånggrödor och senarelagd jordbearbetning: Det är mineraliseringen av markkväve på hösten efter skörd snarare än kvävegivor upp till ekonomiskt optimal nivå som leder till förhöjd kväveutlakning. Denna utlakning kan minskas med hjälp av senarelagd jordbearbetning, vilket minskar mineraliseringen, och genom odling av fånggrödor, som tar upp en del av tillgängligt mineralkväve.

En alternativ åtgärd för att minska kväveutlakningen på hösten är att bruka ner kvävefattiga skörderester såsom stråsädeshalm som binder tillgängligt kväve. För att denna bindning skall få större omfattning fordras att halmen är finfördelad och väl inblandad i jorden. Den jordbearbetning som krävs för detta kan emellertid öka mineralisering och omöjliggöra fånggrödor.

Fånggrödor är företagsekonomiskt lönsamma med nuvarande miljöstöd särskilt på vissa lättare jordar där de kan ha positiv effekt på kommande grödors avkastning. Stöden till fånggrödor och vårplöjning har emellertid en tvetydig effekt på utlakningen i vissa fall eftersom de ökar incitamenten att odla spannmål i stället för vall eller skog som läcker mindre.

Vårspridning av stallgödsel: 100% vårspridning av flytgödsel ger mindre kväveutlakning än 50% vårspridning och 50% höstspridning särskilt på lättare jordar i Sydsverige, men kräver större lagringskapacitet och kan ge skördeförluster till följd av packningsskador

särskilt på lerjordar. Större lagringskapacitet och 100% vårspridning kan i enstaka fall (sandjord i Sydsverige, svin, försumbara packnings-skador) vara lönsam i en nybyggnadssituation där man redan från början bygger en behållare för ett års lagringskapacitet. Däremot är det klart olönsamt att komplettera en befintlig behållare genom att bygga ytterligare en som möjliggör ett års lagring i synnerhet om vårspridning dessutom ger skörde-förluster.

Effektivt proteinutnyttjande genom fasutfodring och rena aminosyror: Genom fasutfodring, sänkt proteinhalt i kombination med tillsats av rena aminosyror och effektivare foderutnyttjande kan man sänka kväveinnehållet i svingödsel med 30–40% jämfört med vad som ibland förekommer i praktiken. Liknande förutsättningar finns i fjäderfäproduktionen. Sådant effektivt proteinutnyttjande kan vara ett kostnadseffektivt alternativ till större lagringskapacitet och ökad vårspridning av stallgödsel. Fasutfodring baserad på hemmablandning av egen fodersäd och inköpt koncentrat har goda ekonomiska förutsättningar om produktionen har så stor omfattning att foderberedningen inte blir för dyr per ton.

Effektivt proteinutnyttjande genom samarbete mellan mjölk- och kviggårdar: Mjölkgårdar med kraftigt kvävegödselade eller klöverrika betes- och slåttervallar kan ha svårt att undvika stora proteinöverskott till sinkor och rekryteringskvigor. Proteinöverskott leder till onödigt mycket kväve i gödseln och därmed ökad ammoniakavgång och utlakningsrisk. Problemet kan i vissa fall motverkas genom att man överlåter kviguppfo-dringen och eventuellt också sinkohållningen till en annan gård med proteinfattigare bete och grovfoder. Samarbetet kan vara lönsamt för både mjölkgården och kviggården vid lämplig prissättning. Mjölkgården kan inom ramen för given areal och byggnad hålla flera kor och

uppfo-dring av rekryteringskvigor kan vara lönsammare än köttproduktion för samarbetspartnern.

Mera nötkött i skogsbygder med billig mark och låg kvävegödsling: Nötköttsproduktion har bäst ekonomiska förutsättningar i bygder med billig mark där man kan odla billigt bete och grovfoder utan, eller med låg, kvävegödsling. Nötköttsproduktion baserad på sådant bete och grovfoder ger väsentligt lägre ammoniakförluster och kväveutlakning än produktion baserad på vallar som tillförs mycket kväve via mineralgödsel eller biologisk fixering. Lokalisering av nötköttsproduktion till skogsbygder med billig mark kan alltså minska både produktionskostnaderna och kväveförlusterna. I jordbruksbygder med hög alternativkostnad för åkermark krävs höga skördar, och därmed hög kvävetillförsel, för att markkostnaden per kg bete och grovfoder inte skall bli för hög.

Mera svin och fjäderfä i spannmålsbygder med styva jordar långt från känsliga havsområden: Ny svin- och fjäderfäproduktion på nu djurlösa spannmålsgårdar borde ha god ekonomisk konkurrenskraft gentemot ytterligare ökad produktion i redan djurtäta regioner där tillkommande produktion måste baseras på dyrare inköpt fodersäd och där ytterligare gödsel leder till kostnader. På tidigare djurlösa gårdar kan gödseln bli en viktig humus- och växtnäringskälla.

Europeisk animalieproduktion skulle ge mindre kväveutlakning om en del av produktionen överfördes från djurtäta regioner med lätta jordar och milt fuktigt klimat till nu djurlösa spannmålsgårdar på lerjord i bl.a. inre Mellansverige. Utlakningen ger dessutom mindre miljökada om den sker inne i landet än i närheten av eutrofieringskänsliga havsområden. En stor del av utlakat nitratkväve avlägsnas nämligen genom retention i vattendrag, sjöar och våtmarker innan vattnet når havet. Även miljökadorna av ytterligare

ammoniakutsläpp torde vara mindre om de sker i Mellansverige än om de sker i djurtäta och intensivt odlade regioner med redan hög ammoniakbelastning. Kvävednedfall kan öka virkesproduktionen i områden med kvävebrist, vilket är normalfallet i nordliga skogar. Däremot skadar det skogen i områden som redan har hög kvävedeposition. I ett europeiskt miljöperspektiv kanske det inte finns för mycket djur i Sydsverige, men för lite längre norr ut och för mycket i vissa länder och regioner söder och väster ut.

Höga skördar och permanent vegetation på friställd areal: En mindre åkerareal med höga hektarskördar kan ge lika hög totalskörd och lägre kväveförluster än en större åkerareal med lägre hektarskördar. För höga hektarskördar krävs bl.a. bra växtföljder, tillräcklig dränering, undvikande av packningsskador, gott växtnäringstillstånd och effektiv bekämpning av växtskadegörare. Ur vattenvårdssynpunkt är det angeläget att överföra starkt läckagebenägen åker från odling av spannmål och andra ettåriga grödor till permanent vegetation såsom vall eller skog.

Omställning till extensiv vall, som eventuellt bara putsas, underlättas när arealstöden till bl.a. spannmål ersätts av regionalstöd som är frikopplade från produktion. Ur miljösynpunkt är det bäst om vallen skördas och skörden förs bort särskilt på läckagebenägen mark. Frikopplingen av stöden kan göra att extensiv vall blir ett mycket kostnadseffektivt sätt att minska läckaget särskilt på marker med relativt låg skördenivå och när maskiner och arbete är rörliga kostnader.

Ekologisk produktion: Ekologisk produktion kan ge lägre kväveläckage per ha men större läckage och ammoniakavgång per producerad enhet än konventionell produktion. Ekologisk köttproduktion baserad på klöverrika vallar ger väsentligt större utlakning och ammoniakavgång per kg kött än konventionell svinproduktion med precisionsteknik.

Bakgrund, syfte och metod

Enligt miljö kvalitetsmålet "Ingen övergödning" skall kväveutsläppen till havet minska med 30% från 1995 års nivå till år 2010. Modellberäkningar visar emellertid att kväveutlakningen från svensk åkermark inte minskade mellan åren 1995 och 1999. Det återstår därmed ett omfattande krav på minskning fram till år 2010 (Jordbruksverket, 2002). På lätta jordar klarar varken konventionellt eller ekologiskt jordbruk med normal produktionsinriktning av att uppfylla målet på högst 10 mg N per liter avrinnande vatten (Torstensson et al., 2000).

Modellberäkningar visar också att ammoniakavgången från det svenska jordbruket minskade med 5% mellan åren 1997 och 1999. Enligt miljö kvalitetsmålet skall utsläppen av ammoniak i Sverige minska med minst 15% från 1995 års nivå till år 2010. Minskningen av ammoniakutsläppen från jordbruket har alltså gått i rätt riktning mot målet. De minskade ammoniakutsläppen förklaras emellertid till betydande del av att antalet nötkreatur och svin minskat under perioden (Jordbruksverket, 2002). Då importen av kött ökat kraftigt de senaste åren (Jordbruksverket, 2001c) har kanske inte ammoniakutsläppen av svensk livsmedelskonsumtion minskat särskilt mycket. Köttimporten innebär att vi exporterar miljöproblem i form av kväveutsläpp.

Syftet med projektet "Kvävehushållning och kväveförluster – förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk" är att utifrån befintlig kunskap söka praktiskt möjliga åtgärder för att förbättra kvävehushållningen och därmed minska kväveförlusterna. I första hand söks åtgärder som förbättrar eller i varje fall inte försämrar lönsamheten. Lyckas man inte finna åtgärder som förenar bättre kväveutnyttjande med acceptabel lönsamhet så kommer vi antingen att missa uppställda miljömål eller exportera kväveföroreningsproblem till andra länder genom ökad livsmedelsimport.

Utifrån litteraturstudier beskrivs olika åtgärder för att förbättra kvävehushållningen och minska kväveförlusterna. I många fall antyds åtgärdernas företagsekonomiska konsekvenser med hjälp av enkla kalkyler. Härvid beaktas att den enskilda gårdens planerings-situation i form av befintlig arbetskraft, maskin-kapacitet, byggnadssituation och markkostnader har stor betydelse för åtgärdernas lönsamhet och genomförbarhet. Åtgärder inom både nuvarande och förändrat produktions-system undersöks. Förändring av markan-vändning, utfodring och animalieproduktion-ens lokalisering behandlas relativt ingående trots att dessa åtgärder hittills uppmärksam-mats relativt lite i strävan att minska kväve-förlusterna. De praktiska möjligheterna att förbättra kvävehushållningen illustreras i vissa fall med erfarenheter från verkliga gårdar.

Åtgärder inom nuvarande och förändrad markanvändning

Bruttoutlakningen av kväve i Götaland och Svealand minskade från 77 000 ton år 1985 till 55 000 ton år 1994 enligt Johnsson och Hoffmann (1996). Knappt hälften av denna minskning förklarar man med åtgärder inom på-gående markanvändning, t.ex. behovsanpas-sad kvävegödsling, ändrad spridningstid för stallgödsel, ändrad jordbearbetning och all-männa framsteg inom växtodlingen. Över hälften av minskningen förklarar man med förändrad markanvändning, främst övergång från spannmål till vall och nedläggning av åkermark.

Jordbruksverket (2000a) har beräknat möj-ligheterna att ytterligare minska kväveutlak-ningen från jordbruket i Syd- och Mellansve-rige fram till år 2005 och 2020. Man gör bedöm-

ningen att det är möjligt att minska utlakning-en 5 000 ton till år 2005 och 10 000 ton fram till år 2020 i huvudsak inom ramen för gängse jordbruksdrift¹⁾. Större reduktion kräver enligt verket mycket stora ingrepp i jordbruks-driften i de tre sydligaste länen. De åtgärder som verket föreslår till år 2020 sammanfattas i tabell 1. Förändrad markanvändning (minskad åkerareal, permanent träda och anlägg-ning av våtmarker) står för nästan hälften av den förväntade utlakningsminskningen. Åt-gärder inom ramen för pågående jordbruks-drift (minskad N-gödsling, ändrad tid för stall-gödselspridning och jordbearbetning samt fånggrödor) svarar för drygt hälften.

Ett program för att minska jordbrukets ammoniakutsläpp med drygt 7 000 ton fram till år 2010 (Jordbruksverket, 1999a) är av-gränsat till åtgärder inom stallgödselhante-

Tabell 1. Sammanfattning av Jordbruksverkets (2000a) förslag för att minska kväveutlakningen 10 000 ton per år fram till år 2020 samt några kommentarer till förslagen. De olika kommentarerna dokumenteras i olika avsnitt längre fram i texten.

Åtgärd	Ton N	Kommentarer
Minskad åkerareal	1 800	Väsentligt större minskning är möjlig
Permanent träda	500	
Våtmarker	2 100	Kräver miljöstöd
Minskad N-gödsling	3 400	
Stallgödselspridning sen höst eller vår	1 340	Kan ge jordpackningsskador
Fånggröda	390	Kräver miljöstöd
Utebliven höst-bearbetning	480	Kräver miljöstöd
Summa	10 010	

¹⁾ Uppgifter om olika åtgärders effekter på kväveförluster till miljön refereras på en rad ställen i rapporten. De förväntade kväveförlusterna är beräknade med olika modeller och baseras på olika antaganden. Detta gör att de refererade beräkningsresultaten inte alltid är inbördes jämförbara.

ringen i form av täckning av gödselbehållare, övergång till flytgödsel, förbättrad spridningsteknik och snabbare nedbrukning. Förbättrad anpassning av proteinutfodringen till djurens behov eller andra åtgärder inom husdjursproduktionen ingår inte i programmet.

Naturvårdsverket (1997) har i en framtidsstudie bl.a. undersökt en vision med ett hög-avkastande precisionsjordbruk. Tack vare ökade hektarskördar och djur med effektivare foderomvandling så beräknas det endast behövas 1,2 Milj ha åker år 2021 i denna vision för att producera lika mycket livsmedel som vi idag producerar på 2,5 Milj ha aktivt brukad åker. I visionen beräknas 0,6 Milj ha av den friställda åkern bli använda för energiodling medan 0,7 Milj ha kan användas för naturvårdsändamål eller skog. I denna vision beräknas kväveutlakningen minska med 30 000 ton eller till knappt hälften av nuvarande nivå. Även ammoniakförlusterna beräknas minska kraftigt. De minskade kväveförlusterna beror främst på minskad åkerareal samt djur som utnyttjar foderkvävet bättre. I Naturvårdsverkets ekologiska framtidsvision minskade kväveförlusterna inte lika mycket som i precisionsjordbruksvisionen på grund av att en väsentligt större areal behöver odlas och mera nötkreatur måste hållas i den ekologiska visionen för att uppnå en viss produktionsvolym.

Nuvarande danska system för att minska kväveförlusterna ger incitament till effektiv kvävehushållning inom ramen för valt produktionssystem. Däremot ger det mindre incitament till att välja produktionssystem med särskilt hög kväveeffektivitet och låga kväveförluster (Jacobsen et al., 2002b). De danska bestämmelserna för stallgödsel stimulerar inte till att minska kväveutsöndringen per gris utan inriktas på att minska förlusterna från det kväve som lämnar djuren (MaskinBladet Online 10 Juni 2002).

Nuvarande svenska system har likheter med det danska så till vida att stimulansåtgärder till förändringar inom markanvändning

och utfodring inte har lika framträdande roll som åtgärder inom gödselhantering och pågående växtodling. Samtidigt visar utvecklingen 1985–1994 (Johnsson och Hoffmann, 1996), Jordbruksverkets (2000a) beräkningar för år 2020 och Naturvårdsverkets (1997) framtidsstudie att markanvändningen och djurskötseln har stor betydelse för kvävehushållningen. Naturvårdsverkets studie visar att god markvård, som möjliggör höga skördar och därmed överföring av åker till bl.a. fleråriga energigrödor och naturvårdsändamål, kan bidra till minskade kväveförluster till miljön.

God markvård

I ett internationellt seminarium som inledde arbetet i föreliggande kväveprojekt konstaterade professor Erik Steen Jensen, Danmarks Veterinär- och Lantbohöjskole, att 2 ha vete som ger 5 ton per ha läcker mera än 1 ha som ger 10 ton plus 1 ha som överförs till skog. För att få höga skördar per ha fordras goda naturliga förutsättningar i form av jordart och nederbörd, men även biologiskt bra växtföljder, tillräcklig dränering, gott växtnäringstillstånd och undvikande av packningsskador från tunga maskiner framförda på fälten vid olämplig tidpunkt är viktiga för höga skördar. För att få bästa kväveutnyttjande fordras att alla växtnäringssämnen finns tillgängliga i optimal mängd och att växtskadegörarna är under kontroll (Johnston, 2000).

Bedömningar baserade på resultat från olika fältförsök tyder på att spannmålsskördarna på lerjordar i övervägande öppet bruk idag skulle vara väsentligt högre om jordarnas struktur och fysikaliska egenskaper vore lika bra som för ett halvsekel sedan. Dagens spannmålsskördar på sådana jordar skulle då kunna uppnås med 15–30% lägre kväveinsats enligt Johansson (1994 och 1996). Övergång från ensidig spannmålsodling till välbalanserade växtföljder med betydande vallinslag skulle emellertid medföra förlorade specia-

liserings- och stordriftsfördelar på många gårdar. Om övergång från ensidig spannmålsodling till allsidig växtodling med vall, lågt räknat, leder till 10% högre arbets- och maskinkostnader per ha så ökar kostnaden minst 300 kr/ha (SLU:s områdeskalkyler och Databok). 15–30% lägre kväveinsats innebär en väsentligt mindre besparing, eller 100–200 kr/ha. Dessutom skulle allsidig produktion med djur leda till bundenhet och svårigheter att ha annat arbete vid sidan av jordbruket. Lönsam övergång till växtföljder med vall torde därför kräva samarbete mellan t.ex. spannmåls- och mjölkgårdar (Samuelsson, 2003) eller mycket stora företag som kan uppnå storleksfördelar i såväl spannmåls- och vallodling som den djurproduktion där vallfodret förädlas.

Packningsskador från tunga maskiner gör att växterna utnyttjar växtnäringen sämre, vilket antagligen ökar utlakningen (Arvidsson, 1991). Packningsskador kan också flerdubbla denitrifikationsförlusterna samtidigt som de sänker skördarna (Bakken et al., 1987). Förbättrad dränering leder dels till högre skördar, dels till mindre denitrifikationsförluster (Peoples et al., 1995). God dränering och undvikande av packningsskador bidrar verksamt till att minska emissionen av växthusgasen N₂O (Smith et al., 1997).

Pilotgårdar inom Odling i Balans (www.odlingibalans.com) har tack vare bl.a. god markvård och hög precision i odlingen väsentligt högre skördar och mindre kväveutlakning per ha än genomsnitt för svenskt jordbruk. Tabell 2, som bygger på modellberäkningar, antyder att utlakningen per ha och i synnerhet per kg producerad spannmål är väsentligt lägre på pilotgårdarna än på en genomsnittlig svensk gård. Även förbrukningen av kemiska bekämpningsmedel och drivmedel är lägre per ha och särskilt per kg produkt på pilotgårdarna än för genomsnittligt svenskt jordbruk.

Pilotgårdarna har biologiskt välbalanserade växtföljder, vilket bidrar till höga skördar och begränsad användning av bekämpnings-

medel. Kreaturslösa pilotgårdar odlar vall för fröproduktion eller höförsäljning. Man får in fånggrödor i den utsträckning det är möjligt med hänsyn till jordart, andel höstsäd och utsädesodling. På de djurhållande pilotgårdarna är djurtätheten måttlig. En av gårdarna säljer överskott av stallgödsel för att undvika överoptimala givor. En valldominerad mjölk-

Tabell 2. Grödfördelning, hektarskördar, kväveutlakning, hektardoser kemiska bekämpningsmedel och drivmedelsförbrukning som genomsnitt för pilotgårdar i Odling i Balans. "Samtliga gårdar" avser genomsnitt för hela Sverige utom för kväveutlakning där Norrland inte ingår. Alla värden är medeltal för år 1999 utom för kväveutlakning som avser år 2000 för pilotgårdarna och normalutlakning år 1994 för samtliga gårdar. Vallskörd för samtliga gårdar avser första skörd år 1997.

	Pilotgårdar	Samtliga gårdar
Grödfördelning, %		
Höstspannmål	23	16
Vårspannmål	31	26
Vall	10	36
Övriga grödor	28	10
Träda	8 ¹	12
Skörd, kg/ha		
Höstvete	6 600	6 300
Vårkorn	4 400	3 800
Vall	8 400	4 300
Kväveutlakning ²		
Höstvete	15	≥20
Vårkorn	15	≥30
Kemiska bekämpningsmedel		
Antal hektardoser/ha ³	1,9	2,5
Drivmedel, l/ha i spannmål	75	90

¹. Dessutom areal omställd till bl.a. salix.

². Medeltal för pilotgårdar både med och utan stallgödsel. För samtliga gårdar är den beräknade utlakningen i odlingssystem med endast handelsgödsel och både handelsgödsel och stallgödsel cirka 20 respektive 40 kg för höstvete. För vårkorn är motsvarande värden 30 respektive 60 kg.

³. Avser pilotgårdar med enbart växtodling eller växtodling och svin samt totala åkerarealen exkl. vall för samtliga gårdar.

Källa: Egen sammanställning utifrån Odling i Balans (2001a och 2001b) Jordbruksstatistisk årsbok, Statistiska meddelanden MI 31 SM 0001, Johnsson och Hoffmann (1996) och SLU:s områdeskalkyler.

gård har förbättrat stallgödselutnyttjandet genom att köpa till en spannmålgård i grannskapet där en stor del av gödseln sprids. Delade kvävegivor tillämpas för att anpassa totalgivorna till årsmånen och minska risken för kväveförluster. Flera tillämpar fasutfodring med frekvent foderbyte till svin och fjäderfä.

Ändrad markanvändning

Naturliga och seminaturliga ekosystem med permanent vegetation förlorar mindre kväve till luft och vatten än brukad åker med mera öppen kvävecykel (Jensen och Ambus, 2000). Clarholm (2002) konstaterar att odlingsystem som domineras av ettåriga grödor såsom spannmål skapar förutsättningar för stor nitratutlakning medan vall och andra perenna odlingsystem läcker mindre. Hon förklarar den mindre utlakningen med att vallen kan ta upp kväve under större del av året och att de perenna vallrötterna leder till en kontinuerligt högre koltillgång i marken. Det senare medför att kväve kan bindas i större utsträckning. I projektet "Åkermarkens ekologi" uppmättes väsentligt mindre utlakning från vall än från spannmål. Däremot var ammoniakavgången och denitrifikationsförlusterna större från vall än från spannmål (Andrén et al., 1989).

Perenn spannmål skulle ha samma positiva effekt som fleråriga vallar. Lovande utvecklingsarbete av sådan spannmål pågår i bl.a. USA. Men det kommer att dröja länge innan högavkastande odlingsmaterial finns tillgängligt för kommersiell odling. Då flerårig spannmål måste avsätta mycket energi för att utveckla kraftigt rotsystem är det tveksamt om den någonsin kommer upp i den ettåriga spannmålets avkastningsnivå (Scheinost et al., 2001).

Ekman (2002) har funnit att permanent träda ingår i den kostnadseffektiva åtgärds kombinationen om man vill uppnå en kraftfull reduktion av utlakningen på sandjord i Sydsverige. Ekman ifrågasätter dock om det är samhälls-

ekonomiskt motiverat att låta en del av åkermarken ligga i permanent träda på lång sikt. Han ställer frågan om skogsplantering på en del av arealen kanske skall ingå i en långsiktig kostnadseffektiv åtgärds kombination för att minska kväveläckaget.

Även Brady (2002) har funnit att minskning av den odlade arealen är ett samhällsekonomiskt mera kostnadseffektivt sätt att minska läckaget än att t.ex. odla spannmål med fånggrödor och senarelagd jordbearbetning. Hans slutsats är att man bör odla där avkastningen är högst per enhet kväveförorening i stället för att driva ett mindre effektivt jordbruk på större areal. Han förmodar att en lågintensiv markanvändning såsom permanent betesvall med begränsad gödsling kan vara ett bra alternativ till att lägga ner jordbruksmark.

Stöd till omställning från öppen växtodling till skog och extensivt bete ingick i den svenska livsmedelspolitiken åren före Sveriges EU-inträde år 1995. Långsiktig uttagning av åkerjord mot ekonomisk ersättning i särskilt föroreningskänsliga områden liksom skogsplantering av jordbruksmark ingår i den danska Vandmiljøplan II (Danmarks Miljøundersøgelser och Danmarks Jordbrugs Forskning, 2002).

Vallodling

Vallar ger väsentligt lägre utlakning än öppen växtodling så länge de ligger. Övergång från öppen växtodling med ettåriga grödor till mångårig extensiv vall har, åtminstone temporärt, minskat kväveutlakningen med 60–80% i en rad fält- och lysimeterförsök i Väst-europa (Simmelsgaard och Djurhuus, 1998; Lord et al., 1999; Shepherd och Webb, 1999).

I intensiv vallodling anrikas emellertid stora mängder organiskt material (Paustian et al. 1990; Karlsson, 2002). Denna anrikning av organiskt material medför att mycket N kan mineraliseras när t.ex. betesvallar odlas upp (Corré et al., 2001). Det är troligt att de ökade nitralter i vatten man konstaterat i Storbritannien under senare årtionden till stor del

kan förklaras av att stora arealer vall och bete plöjdes upp och övergick till öppen växtodling under andra världskriget och därefter förblivit i öppet bruk (Johnston, 2000). Om vallarna däremot är ogödslade så byggs mindre organiskt material upp och N-mineraliseringen efter uppodling blir därför väsentligt mindre än från en gödslad betesvall (Gill et al., 1995).

Thomsen och Christensen (1998) fann att senareläggning av vallbrottet från hösten till påföljande vår kan minska utlakningen första året men öka den påföljande två år. Det senare kan motverkas genom att ha marken be vuxen den andra och tredje vintern efter vallbrott.

Klöver kan binda över 300 kg N per ha och år genom biologisk fixering (Ericsson, 1988). Klöverrik vall kan därför ge lika hög skörd utan kvävegödsling som gräsvall som tillförs 150 kg N/ha mineralgödsel. Dessutom är klövern väsentligt protein- och därmed kväverikare än gräs (Kornher, 1982). Cirka en tredjedel av det kväve klövern binder återfinns i rotsystemet och införlivas med markens kväveförråd. Efter mineralisering kan kommande grödor i större eller mindre utsträckning tillgodogöra sig en del av detta kväve (Ericsson, 1988). Klövervallar underlättar därför växtodling med liten eller ingen användning av mineralgödselkväve i synnerhet som det proteinrika fodret bidrar till att öka kväveinnehållet i stallgödseln. Ekologiskt jordbruk utnyttjar denna möjlighet.

Trots att ökad odling av klövervallar skulle minska användningen av mineralgödselkväve är det inte troligt att detta skulle minska kväveförlusterna till miljön. Utlakningen från produktionssystem med baljväxter, som fixerar sitt eget kväve, är nämligen lika stor som läckaget från system med gräsvallar, som tillförs samma mängd kväve via mineralgödsel enligt Jarvis (1993). Han har funnit att det är kväveflödet genom mark, växter, foder, djur och gödsel som bestämmer förlusterna och inte kvävet ursprung. Enligt Stout et al.

(2000) kan baljväxter eventuellt ge lägre utlakning under år med god nederbörd (och frisk klöver) än kvävegödslade gräsvallar, men väsentligt högre under torrår. Orsaken är att mineralgödselgivorna kan anpassas till årsmånen, medan kväveutbudet från baljväxtbakterier och nedbrytning av baljväxtrester är svårare att styra.

Växtmaterial som håller på att brytas ner avger ammoniak. Whitehead et al. (1988) har för rajgräs uppskattat dessa ammoniakförluster till 20–47% av växtresternas kväveinnehåll. Andelen kväve som förlorades som ammoniak låg i övre delen av detta intervall för kväverikt och i nedre delen av intervallet för mindre kväverikt växtmaterial. Detta visar att hög kvävetillförsel, som ger N-rikt växtmaterial, kan leda till betydande ammoniakförluster från t.ex. oskördad vallåterväxt. Kvävegödslad gräsvall och i synnerhet luservall uppvisade också väsentligt högre ammoniakförluster än stråsäd i ett mellansvenskt försök (Rosswall et al., 1990). Även då kväverik vallbiomassa utnyttjas av betesdjur på hösten uppkommer stora kväveförluster via urin till miljön (Aarts et al. 2000a och b).

Denitrifikationsförlusterna i form av kväve- och lustgas är väsentligt högre från vall (12–15 kg/ha och år) än från spannmål (5 kg/ha och år) enligt svenska försök (Rosswall et al., 1990). Skiba et al. (1996) beräknar för brittiska förhållanden att förlusterna av lustgas (N_2O) är särskilt stora från betesvall medan de är väsentligt lägre från slåttervall och ännu lägre från spannmål.

Betesvallar som inte kvävegödslas ger mycket små kväveförluster. De sammanlagda förlusterna från utlakning, ammoniakavgång och denitrifikation inskränks till cirka 10 kg N/ha från ogödslade betesvallar enligt brittiska modellberäkningar. Vid 200 kg mineralgödselkväve per ha blir de sammanlagda kväveförlusterna 50–100 kg N/ha. Vid ännu högre kvävegivor ökar förlusterna ytterligare i snabb takt (Scholefield et al., 1991). Bussink (1994) rapporterade tredubb-

ling av ammoniakförlusterna då kvävegödslingen till mjölk Kobete ökade från 250 till 400 kg N/ha.

Vallfodret måste ha någon lönsam användning om vallodlingen skall bli ekonomiskt hållbar. Det är härvid ett problem att kraftfoder i allt större utsträckning har ersatt vallfoder i mjölkproduktionen. Kraftfoderandelen i mjölkornas totala foderförbrukning ökade från 23% år 1950 till 50% år 1980 mätt i energitermer (Oscarsson, 1989). Fram till mitten av 1990-talet ökade kraftfoderandelen ytterligare till cirka 55% (Emanuelsson, 2001).

Att producera mjölk på enbart vallfoder går, men avkastningen per ko blir väsentligt lägre än med normala foderstater. I ett försök har kor, som med normal foderstat mjölkar åtminstone 9 000 kg/år, mjölkat cirka 6 000 kg på enbart vallfoder. I det aktuella försöket kalvade korna på hösten. Vid vårkalvning torde det gå relativt sett bättre utan kraftfoder då vårkalvande kor har tillgång till näringsrikt bete under perioden med den högsta mjölkavkastningen (Johansson et al., 2002). Då arbets- och byggnadskostnaderna per ko inte blir väsentligt lägre om man endast använder grovfoder leder den sänkta avkastningen till ökade kostnader per kg mjölk. Däremot framhåller Johansson et al. (2002) att en foderstat med vallfoder plus lite kraftfoder kan vara ekonomiskt försvarbar.

I Naturvårdsverkets (1997) framtidsstudie, som bygger på djurmaterial och produktionsteknik som antas vara tillgänglig år 2021, jämförs mjölkproduktion med 40% respektive 60% vallfoder. Korna med den högre vallfoderandelen antas få bättre hälsa och flera kalvar innan de slaktas. Aveln i detta alternativ antas också betona hållbarhet och köttgenskaper mera än aveln i alternativet med hög kraftfoderandel. Trots att "vallfoderkorna" förutsätts mjölka väsentligt mindre än "kraftfoderkorna" (9 000 resp. 11 000 kg) beräknas de förras produktionskostnad endast bli några öre högre per kg mjölk. Om högre vallfoderandel leder till växtföljdsfördelar samtidigt

som priset på kalvar för köttproduktion och landskapsvård ökar så kan lönsamheten bli likvärdig för de två alternativen. Denna framtidsstudie tyder alltså på att det kan bli möjligt att återgå till högre vallfoderandel i mjölkproduktionen utan att det behöver leda till kostnader i mjölkproduktionen. För att detta också skall leda till minskade kväveförluster till miljön krävs måttligt kvävegödslade gräsvallar eller att man kan tillvarata restkvävet från klövervallar på ett effektivt sätt.

Vallfoderanvändningen kan också öka genom övergång från kraftfoderintensiv gödtjursuppfödning till grovfodertjurar eller stutar med två betessäsonger före slakt. Ett stort företagsekonomiskt hinder för en sådan övergång är emellertid de höga arbets- och byggnadskostnaderna i vallfoder- och betesbaserade uppfödningssystemer vid de besättningsstorlekar och byggnadslösningar som är vanliga i Sverige. Hög arbetsåtgång och byggnadskostnad per dag slår nämligen igenom mera på en stut som slaktas vid två år än på en gödtjur som slaktas redan vid ett års ålder. Enligt SLU:s områdeskalkyler är de samlade arbets- och byggnadskostnaderna per producerad stut cirka 6 500 kr medan de är 3 200 kr för en gödtjur. Större besättningar som minskar arbetsåtgången per uppfödningdag och enklare byggnader som minskar byggnadskostnaden per uppfödningdag skulle förbättra de extensiva vallfoderbaserade uppfödningssystemernas konkurrenskraft.

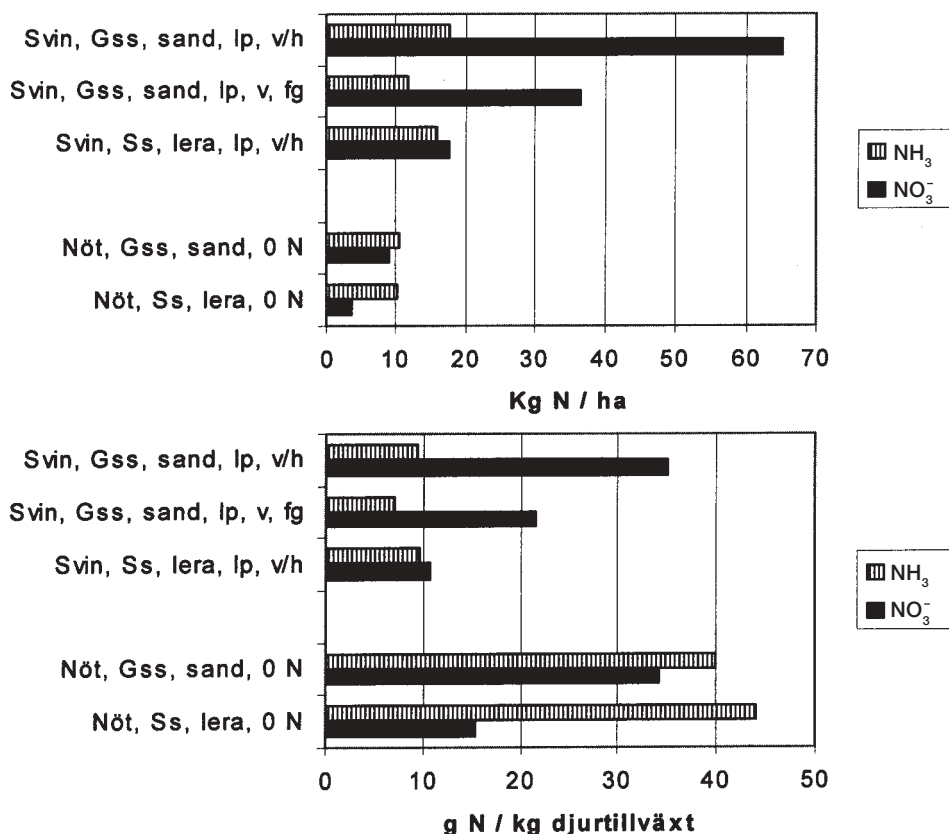
Karlsson (2002) har genom beräkningar med den så kallade ICBM-modellen funnit att övergång från fodersädsodling och svinproduktion till betesdrift på ogödslade vallar på sandjord i södra Sverige sannolikt minskar kväveutlakningen från drygt 40 kg/ha till 5 kg/ha på kort sikt och till endast 1 kg/ha på lång sikt. Orsaken till att utlakningen minskar mera på lång än på kort sikt är att ogödslad vall, med dess låga produktion, inte kan upprätthålla markens mullhalt. På kort sikt sker därför en nettomineralisering på cirka 15 kg N/ha och år, vilken bidrar till bl.a. viss utlakning. På

lång sikt (> 30 år), när den organiska poolen är i balans med det nya odlingsystemet, blir förlusterna till miljön endast tillförseln genom atmosfäriskt nedfall minus bortförsel genom djurtillväxt. Huvuddelen av förlusterna till miljön beräknas ske till atmosfären varför utlakningen beräknas inskränka sig till cirka 1 kg/ha. Den långsiktigt sänkta mullhalten gör

att det inte blir någon utlakningsökning om den ogödslade betesvallen återförs till öppen växtodling i framtiden.

Figur 1 visar att utlakningsminskningen vid övergång från fodersädsodling och svinproduktion till betes- och vallbaserad nötköttsproduktion starkt påverkas av produktionstekniken och produktionens lokalisering. Vid

Figur 1. **Exempel** på ammoniakavgång och nitratutlakning i svin- och nötköttsproduktion på sandjord i nederbördsrika delar av Götalands södra slättbygder och på lerjord i Svealands slättbygder. Nötköttsproduktionen är dikobaserad och innefattar slutuppfödning av tjurar. Gödseln sprids på den areal där fodret odlas. Övre delfiguren visar kväveförlusterna per ha och nedre delfiguren per kg djurtillväxt.



Teckenförklaringar:

lp = låg proteinutfodring genom multifasutfodring av blandningar med tillskott av rena aminosyror.

v/h = spridning av halva stallgödselmängden på våren och halva på hösten och nedbrukning efter 12 timmar

v = spridning av all stallgödsel på våren och nedbrukning efter 1 timme.

fg = fånggröda.

0 N = mineralgödsel N används inte.

Källa: Kumm 2003 a och b.

svinproduktion kan utlakningen bli så hög som 65 kg N/ha på sandjordar i nederbördsrika delar av Götalands södra slättbygder. Med kostnadskrävande stallgödselhantering och odling av fånggrödor kan utlakningen vid svinproduktion minska till cirka 35 kg N/ha. Vid nötköttsproduktion baserad på bete och slåttervall, vilka ej tillförs mineralgödsel, blir utlakningen knappt 10 kg N/ha. På längre sikt, när den organiska poolen är i balans med det nya odlingsystemet utan kvävegödsling, kan minskningen bli ännu större. Driftsomläggningen från svin till extensiv nötköttsproduktion leder alltså till 25–50 kg N/ha lägre utlakning på kort sikt och ännu större minskning på längre sikt på de aktuella sydsvenska jordarna. Beräkningarna bygger på att gödseln sprids på den areal där fodret odlas och att man tillämpar låg proteinutfodring till svinen. Vid koncentrerad svinhållning baserad på stor mängd inköpt foder och vid högre proteinutfodring blir utlakningen större. I sådana fall blir utlakningsminskningen vid övergång till extensiv nötköttsproduktion större.

På lerjordar i Svealands slättbygder minskar utlakningen väsentligt mindre vid övergång från svinproduktion till extensiv nötköttsproduktion. Orsaken är att även fodersådsodling och svinproduktion ger liten utlakning på dessa jordar.

Nedre delfiguren visar att extensiv nötköttsproduktion inte ger lägre utan snarare högre utlakning än svinproduktion per kg djurtillväxt. Orsaken är att djurtillväxten per ha är mycket lägre i extensiv nötköttsproduktion än i svinproduktion. Dessutom ger svinproduktionen väsentligt lägre ammoniakförluster per kg djurtillväxt än nötköttsproduktion. Övergång till extensiv nötköttproduktion är därför inte en åtgärd för att minska kväveförlusterna från produktionen av den totala köttmängd vi äter. Däremot kan det vara ett sätt att minska utlakningen på särskilt utlakningsbenägna jordar i miljökänsliga områden.

De företagsekonomiska konsekvenserna av att övergå från öppen växtodling till vall påverkas starkt av den enskilda gårdens planeringssituation. Med nuvarande (2004) arealstöd till spannmålsodling är en sådan driftsomläggning mycket olönsam på många gårdar. Tabell 3 antyder emellertid att övergång från spannmålsodling (representerad av vårkorn med skördenivån 4 200 kg per ha) till permanent vall kan bli lönsam i många fall vid frikoppling av arealstöden, så att de utbetalas oberoende av produktionsinriktning bara marken hålls i hävd. Tabellen förutsätter att vällen endast putsas för att uppfylla krav på bevarad hävd. Kan vallskörden utnyttjas på lönsamt sätt förbättras vallens lönsamhet.

Övergång till extensiv vall är klart företagsekonomiskt lönsam vid de förutsättningar tabellen bygger på om arbets- och maskinkostnaderna är rörliga, vilket de förr eller senare torde bli på de flesta gårdar. I sådana fall kan man minska kväveutlakningen utan någon kostnad. Så länge arbets- och maskinkostnaderna är fasta är emellertid fortsatt spannmålsodling företagsekonomiskt bäst vid antagen skördenivå. Om driftsomläggningen leder till att kväveutlakningen minskar med 20 kg N per ha och minskningen per kg är värd 50 kr per kg N så blir omläggningen lönsam även vid fasta maskin- och arbetskostnader, om brukaren får ersättning för miljönyttan. 50 kr/kg N motsvarar alternativkostnaden för en del andra åtgärder för att minska kväveläckaget (Jordbruksverket, 2000a).

Skog

Areal som friställs från livsmedelsproduktion kan användas för bl.a. energiskogsodling, som läcker väsentligt mindre än vanliga jordbruksgrödor (Christersson, 1998; Elowson, 1999). Även vanlig skog och permanent gräsvall läcker lite jämfört med öppen växtodling (Addiscott et al. 1991). GräsvalLEN ger dock indirekta kväveförluster genom djuren och gödseln. Skog har inte denna indirekta nack-

Tabell 3. Exempel på företagsekonomiska konsekvenser i kr per ha av att övergå från spannmålsodling till permanent vall vid regionstöd som utbetalas oberoende av markanvändning bara marken hålls i hävd. Regionstödet är det samma för spannmål och vall och påverkar alltså inte jämförelsen. Markens avkastningsförmåga i spannmålsodling antas vara 4 200 kg per ha. Kostnadsdata är hämtade från SLU:s Databok och Områdeskalkyler. Miljönytta i vissa fall är beräknad enligt texten ovan.

	Arbete och maskiner fasta kostnader	Arbete och maskiner rörliga kostnader
+ Minskade kostnader		
Utsäde, växtnäring, bekämpning, drivmedel, torkning, ränta m.m. i spannmålsodling	3 000	3 000
Arbete och maskiner	0	2 500
- Minskade intäkter		
Spannmål 4200*0,90	3 800	3 800
- Ökade kostnader		
Utsäde och putsning av vall	100	300
= Lönsamhetsförändring	- 900	+ 1 400
+ Miljönytta i vissa fall	1 000	1 000
= Lönsamhetsförändring om brukaren fick ersättning för miljönyttan	+ 100	+ 2 400

del. Salix och andra snabbväxande lövträd som bevattnas med kväverikt dräneringsvattnet kan ta upp 200 kg N/ha och år. Vattnet kan tas från dammar där kväverikt dräneringsvattnet från åkermark samlas upp (Christersson, 1998; Elowson, 1999).

Skogsodlingens lönsamhet påverkas starkt av framtida virkespriser och alternativkostnaden på kapital (räntan), vilka båda är svåra att förutsäga. Eriksson (1991) beräknar att granplantering på tidigare jordbruksmark kan ge en årlig ersättning till marken på 190–1105 kr/ha vid 3% real ränta. Variationen beror på olika antaganden om framtida virkespriser och virkeskvalitet. Vid 5% real ränta nedvärderas de framtida virkesintäkterna mera än vid en lägre ränta och ersättningen till marken blir cirka noll vid granplantering. Plantering av snabbväxande lövskog såsom hybridasp eller självsädd lövskog kan ha minst lika god lönsamhet som granplantering tack vare tidigare virkesintäkter respektive lägre kostnader. Snabbväxande lövskog, som kan slut-

avverkas redan efter 15–30 år med gott ekonomiskt utbyte, har också fördelar framför gran om man ”snabbt” vill gå tillbaka till livsmedelsproduktion (Kumm och Andersson, 1991; Kumm, 2002a).

Nuvarande (2004) arealersättning till bl.a. spannmålsodling liksom regionersättning som förutsätter att marken hålls i jordbrukshävd gör att beskogning av åker knappast är företagsekonomiskt intressant trots att det möjligen kan vara ett samhällsekonomiskt mycket konkurrenskraftigt alternativ att minska kväveförlusterna till miljön.

Våtmark

Den mängd kväve som når fram till havet från jordbruket består av det som lakas ut från fälten minus det som försvinner i vattendrag, våtmarker och sjöar längs vägen. Sedan mitten av 1800-talet har ett stort antal våtmarker och sjöar i jordbrukslandskapet torrlagts och sänkts. I och med detta har en reningskapacitet på i storleksordningen 30 000 ton N/år

gått förlorad. Att återskapa våtmarker är ett sätt att rena bort en del av det kväve som trots andra åtgärder utlakas från jordbruksmarken (Hoffmann et al., 1999).

År 1998 var 1 200 ha våtmarker och småvatten anslutna till miljöstödsprogrammet (Jordbruksverket et al., 1999). Enligt Miljömålskommitténs (SOU 2000:52) mål för "myllrande våtmarker" bör minst 10 000 ha våtmarker och småvatten anläggas i odlingslandskapet de närmaste 10 åren. Här sammanfaller alltså målen för kvävereduktion och biologisk mångfald.

I sina beräkningar av möjligheterna att minska kväveläckaget antar Jordbruksverket att ytterligare 12 000 ha åker överförs till våtmarker. En skattning anger att kvävereduktionen per ha våtmark uppgår till 200 kg i södra Götaland och 150 kg i övriga Götaland och i Svealand. Vid dessa antaganden skulle utökad våtmarksareal reducera utlakat kväve med 2 100 ton (Jordbruksverket, 2000a). Avskiljningen skulle kunna bli betydligt högre om kvävereduktion görs styrande vid lokalisering och utformning av nya våtmarker. Våtmarker för kväveavskiljning bör anläggas där koncentrationerna i tillrinnande vatten är höga och sommarflödet utgör en betydande del av årsavrinningen. Dessa förhållanden förekommer framförallt i Halland och Skåne (Wittgren et al., 2002).

Kostnaden för anlagda våtmarker innefattar investering i markarbeten, underhåll av våtmarken och alternativkostnaden för mark som omvandlas till våtmark. I 1989 års priser har Byström (1998) uppskattat dessa kostnader till 355, 148 respektive 3 012 kr per ha och år (multiplicera med 1,5 för att få kostnaden i 2003 års penningvärde). Den dominerande kostnaden enligt denna skattning är alltså alternativkostnaden för åkermark som förloras. Som framgått av tidigare avsnitt i föreliggande rapport kan markkostnaden bli väsentligt lägre särskilt för sämre åkermark på lång sikt då maskin- och arbetskostnaderna blir helt rörliga.

Kostnaden för markarbeten vid anläggning av våtmarker kan variera inom vida gränser beroende på de lokala markförhållandena. Enligt Lantmannen nr 9 1999 kan anläggningskostnaden variera mellan 4 000 och 400 000 kr per ha beroende på lokala markförhållanden. Vid 30 års avskrivningstid och 6% realränta motsvarar detta 250–25 000 kr per ha och år. Anläggningskostnaden är lägre i kuperad mellanbygd och högre i slättbygder där det fordras mera grävningssarbete för att skapa en våtmark. Det är dock i slättbygder med stor kvävebelastning som våtmarkerna gör störst miljönytta. Där täcker nuvarande (2004) miljöstöd knappast kostnaden för att anlägga våtmark.

Gödslingsrekommendationer

Att inte överskrida gällande rekommendationer för kvävegödsling är ett första steg för att begränsa kväveförlusterna inom ramen för pågående jordbruksdrift. En rad försök och beräkningar visar att utlakningen minskar relativt lite om gödslingen sänks under normal (ekonomiskt optimal) nivå, men ökar kraftigt om denna nivå överskrids (Kjellerup och Dam Kofoed, 1983; Bergström och Brink, 1986; Bertilsson, 1989; Lord och Mitchell, 1998; Kirchmann et al., 2002). Försök i höstvetete visar att ekonomiskt optimal kvävegiva ger låga restkvävemängder efter skörd, men att mängden restkväve ökar betydligt vid så stor kvävegiva att grödan inte till fullo kunnat utnyttja den (Kjellquist, 2002). Jordbruksverket (2001b) konstaterar att kväveutnyttjandet är fortsatt bra vid ekonomiskt optimala kvävegivor, även om det är något sämre än vid lägre givor.

Med utgångspunkt från befintlig statistik bedömer Jordbruksverket (2000a) det som troligt att kvävegödslingen för närvarande i medeltal överstiger rekommenderade givor med 10%. Överoptimala givor har ofta samband med att stallgödsel ingår i växtodlingen.

Genom gödslingsrådgivning, eventuellt kompletterad med gödselräkenskaper, samt minskad proteingödsling till brödvete beräknar verket att kväveutlakningen kan minska 3 400 ton fram till år 2020. Jordbruksverket beräknar att utlakningsminskningen inskränks till 2 100 ton om skatten på kvävegödsel tas bort. Kraven på tillräcklig proteinhalt i brödsäd kan också göra att den verkliga minskningen reduceras.

Försäljningen av mineralgödselkväve till svenskt jordbruk minskade kraftigt från mitten av 1980-talet till början av 1990-talet. Därefter har försäljningen minskat relativt lite (Jordbruksstatistisk årsbok, 2003) trots gödslingsrådgivning och ökat ekologiskt jordbruk.

Det föreligger ett samband mellan å ena sidan användning av kemikalier för bekämpning av skadesvampar och skadeinsekter och å andra sidan effekten av kvävegödsel. Användning av sådana kemikalier gör att kvävegödslingen får större skördeökande förmåga i t.ex. höstvetete. Därmed höjs den ekonomiskt optimala kvävegivan (Mattsson, 1987; Larsen och Wiik, 1992; Wiik, 2002).

Nya sorter och odlingsmetoder liksom förändrade prisrelationer och produktkrav ger anledning till att fortlöpande revidera rekommendationerna. Ett problem i sammanhanget är att gödslingsförsöken minskat under senare år, varför rekommendationerna till stor del bygger på äldre försöksmaterial.

Rekommendationerna kan fastställas på många olika sätt. Ett vanligt sätt är att utgå från beräkningar av ekonomiskt optimal N-giva baserade på gödslingsförsök och priser på produkter och gödsel. Dessa mera generella optimigivor korrigeras sedan utifrån förväntad skörd när man fastställer gödslingsrekommendationer. Ju högre skörd som förväntas desto högre är den rekommenderade kvävegivan.

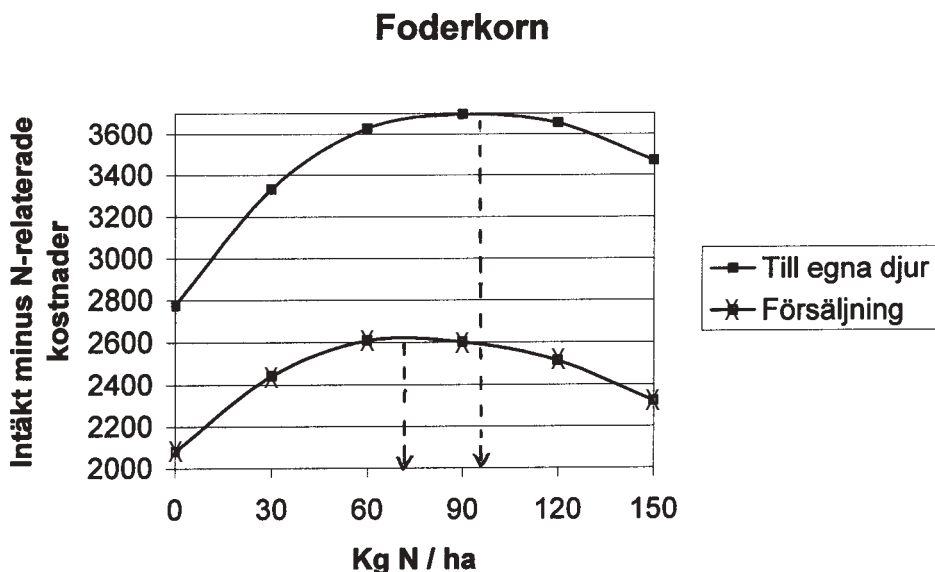
Jordbruksverkets (2002b) beräkningar av optimal kvävegödsling till stråsåd bygger bl.a. på produktionsfunktioner skattade utifrån gödslingsförsök och kvoten mellan gödselpris och nettopris för produkterna. Nettopri-

set är spannmålspriset reducerat med rörliga skördeberoende kostnader. Dessa kostnader skattades inför år 2002 till 20 öre/kg kärna och består av PK-kostnad (6 öre/kg), tröskning (2 öre/kg), torkning (8 öre/kg) och frakt (4 öre/kg). Nettopriset för korn blir då $95 - 6 - 2 - 8 - 4 = 75$ öre/kg. Beräknad optimal N-giva till korn blir 77 kg N/ha vid detta nettopris och ett gödselpris på 7,50 kr/kg N.

Mycket talar för att den ekonomiskt optimala kvävegivan till fodersäd kan vara högre på gårdar som använder produkten till eget foder än på gårdar som säljer fodersäden. Om alternativet till framgödslad egen fodersäd är inköpt fodersäd blir priset i kalkylen nämligen inte försäljningspriset utan inköpspriset, t.ex. 110 öre/kg korn. Dessutom bortfaller fraktkostnaden om man använder säden hemma på gården. På gårdar med hög djurtäthet torde dessutom PK-kostnaden vara noll då man har riklig tillgång på gödsel utan lönsam alternativ användning. I en sådan planeringssituation blir nettopriset för spannmål $110 - 2 - 8 = 100$ öre/kg. Det högre nettopriset gör att den ekonomiskt optimala N-givan blir högre än på djurlösa gårdar som säljer fodersäden. Detta framgår av Figur 2 som bygger på samma försöksmaterial som använts av Jordbruksverket (2002b) samt ovan beräknade nettopris. Figuren visar också att den företagsekonomiska förlusten av att ligga på en underoptimal giva, t.ex. 50 kg N/ha, är väsentligt större på gårdar som odlar egen fodersäd. Samtidigt är kostnaden att ligga över optimum mindre på dessa gårdar än på gårdar som säljer fodersäden. Skälen till något högre kvävegivor på djurgårdar ökar ytterligare om framgödslet merprotein har ett värde.

I figur 2 är eventuella merkostnader för skörd vid liggsäd inte beaktade. Om höga kvävegivor ger liggsäd vissa år och detta leder till långsammare tröskning och högre torkningskostnader så kan optimum förskjutas mot lägre kvävegivor. Kurvornas flacka förlopp runt sina maximipunkter gör att en 10%-ig ökning av dessa kostnader (cirka 150

Figur 2. Exempel på samband mellan kvävegiva till foderkorn och företagsekonomisk lönsamhet på gårdar som utnyttjar kornet till egna djur respektive säljer det. Försöksmaterial och nettopriser på produkten enligt texten ovan.



kr/ha) kan minska det verkliga optimum väsentligt.

Utifrån mera generellt beräknat optimum och korrigering för förväntad skördenivå anger Jordbruksverket (2002b) rekommenderade kvävegivor. Så t.ex. är verkets rekommendation för korn 70 kg N/ha vid en förväntad skörd på 4 ton/ha och 90 kg N vid 5 ton. För brödhöstvete är rekommendationen 115 kg N/ha vid 5 ton/ha förväntad skörd och 135 kg N/ha vid 6 ton/ha förväntad skörd. Korrektionen är alltså 20 kg N/ton kärna. Mattsson och Kjellquist (1992) fann i en analys av höstveteförsök att korrektionen för avkastningsnivå bör vara något lägre eller 15–16 kg N/ton kärna. Engström och Gruvaeus (1998) fann på motsvarande sätt att korrektionen bör vara 14 kg N/ton.

Spannmålens proteinhalt stiger betydligt med kvävegödslingen även vid höga givor. Detta har stor betydelse vid odlingen av brödvete. För att få högsta pris på brödvetet krävs nämligen att proteinhalten överstiger en viss

nivå. Under denna nivå är priset väsentligt lägre. Resultatet blir att odlarna stimuleras till att använda relativt höga kvävegivor för att med stor säkerhet komma över den aktuella proteinhaltsgården. Bakgrunden till proteinhaltskravet är att industriell brödbakning kräver en relativt hög proteinhalt. Hembakning, kexbakning och sprittillverkning av vete klarar lägre proteinhalt. Inte heller fodervetet behöver ha hög proteinhalt. Kontraktsodling eller sortering av olika vetepartier utifrån slutanvändarens krav skulle alltså kunna begränsa kvävegödslingen på del av vetearealen. Där emot skulle en sänkning på hela vetearealen leda till att kvarnarna vore tvungna att importera mera proteinrikt vete för att tillgodose bageriernas kvalitetskrav (Rydberg, 2001).

Jordbruksverkets (2001b) skattning av optimal kvävegiva till gräsvall vid 2–3 skördar ligger på drygt 150 kg/ha. Från gödselindustrin föreslås 210–300 kg till gräsvall och 170–240 kg till klöver/gräsvall (Växtpressen, augusti 2001).

På mjölkgårdar där vallfodret har ett högt förädlingsvärde samtidigt som det råder knapphet på mark eller marken har hög alternativkostnad kan den ekonomiskt optimala kvävegivan vara ovan nämnda 150–300 kg. Ännu högre kvävegivor till gräs förekommer också i länder såsom Nederländerna och Storbritannien. I svenska skogs- och mellanbygder är däremot marken ofta så billig att det är lönsammare att producera vallfoder på en större areal än att gödsla fram höga hektarskördar med höga kvävegivor. Miljöstöd till öppet odlingslandskap i skogsbygder stimulerar också till att använda mera mark och förhållandevis mindre mineralgödsel för att producera en viss mängd vallfoder. Å andra sidan kan transportkostnaderna i åkerglesa bygder tala för att koncentrera foderodlingen till närheten av djurstallet.

På många köttgårdar i skogs- och mellanbygder torde de ekonomiskt optimala kvävegivorna till vall ligga långt under de som är optimala på mjölkgårdar i slättbygder med höga markkostnader. Orsaken är köttjurens lägre behov av protein, låg alternativkostnad för marken och bidrag som förutsätter en relativt stor areal per djur.

Behovsanpassad tillförsel av mineralgödsel

Lämplig tillförsel av mineralgödselkväve kan beräknas enligt följande modell:

- + Rekommenderad N-giva för aktuell gröda och jord vid förväntad avkastningsnivå
- + Korrigering för egen fodersäd (jfr Figur 2)
- Långsiktig N-leverans från stallgödsel i växtföljden (jfr Fig. 3)
- N-effekt av stallgödsel till årets gröda
- Avdrag för förfrukt (t.ex. klöverrik vall)
- +/- Justering för såtid
- = Behov av mineralgödselkväve

En del av kvävet i stallgödseln kan utnyttjas av årets gröda, nämligen ammoniumdelen

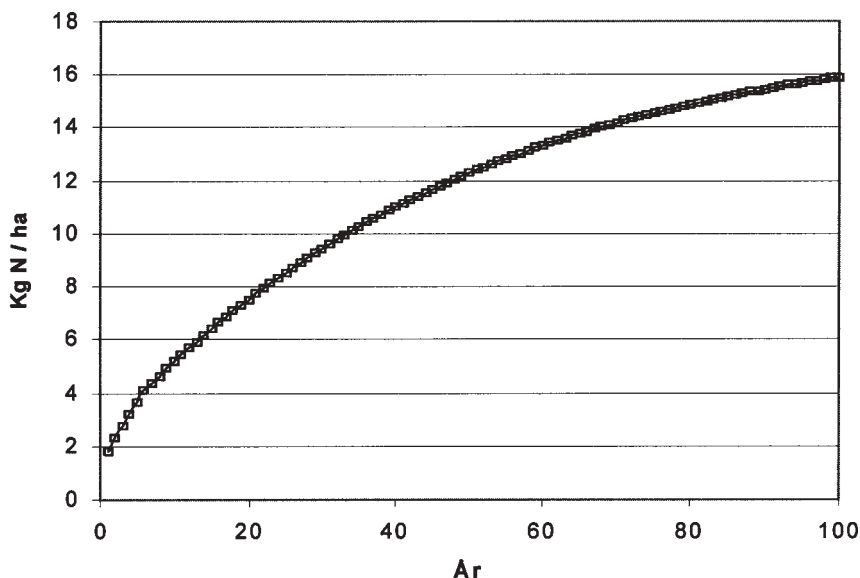
och en del av proteinkvävet som snabbt mineraliseras till ammoniumkväve. Det är emellertid inte allt ammoniumkväve som i alla lägen kan utnyttjas av årets gröda. En del kan byggas in i humussubstansen och stabiliseras. Denna mineraliserings- och stabiliseringsprocess är i stort sett avslutad efter 1–2 år. Vad som då finns kvar representerar stallgödselns långsiktiga verkan. Dess verkan vid olika lång regelbunden stallgödselanvändning framgår av figur 3.

Vid regelbunden stallgödselanvändning i växtföljden under 10 år kan den långsiktiga kväveleveransen från mineralisering av mullsubstanser bildade vid omsättningen av stallgödselns organiska substans uppskattas till 5 kg N/ha och år vid tillförsel av i medeltal 1 ton torrssubstans stallgödsel per ha och år. Vid mera långvarig regelbunden användning ökar den långsiktiga kväveleveransen. Vid 50 års användning blir den 12 kg N per ton stallgödsel ts årlig tillförsel. Denna stallgödselmängd motsvarar enligt Jordbruksverket (2001b) 0,4 mjölkkor eller 0,9 dikor eller 1,0 ungnöt > 1 år eller 1,7 ungnöt < 1 år eller 1,7 suggor i produktion eller 7 slaktsvinplatser eller 80 värphöns.

Stallgödselns långsiktiga kväveleverans talar för att man bör använda mindre mineralgödselkväve på djurgårdar. I föregående avsnitt visades emellertid att den totala kvävetillförseln till fodersäd bör vara något högre på gårdar som använder säden till egna djur än på djurlösa gårdar som säljer säden. De två korrigeringarna torde i många fall ta ut varandra. I så fall bör man inte korrigera för stallgödselns långsiktiga N-verkan när man utifrån generella gödslingsrekommendationer beräknar behovet av mineralgödsel N till fodersäd på djurgårdar.

Stallgödselns långsiktiga inverkan på behovet av mineralgödselkväve till höstvetet framgår av en ekonomisk utvärdering gödslingsförsök på gårdar med olika djurtäthet. På gårdar med 2 djurenheter per ha var den optimala mineralkvävegivan 80 kg/ha medan den var 100 kg på gårdar med 1 djurenhet per

Figur 3. Långsiktig årlig kväveleverans från mineralisering av organisk substans från tillförsel av i medeltal 1 ton torrsbstans stallgödsel per ha och år. Det antas att 1 ton torrsbstans stallgödsel innehåller 18 kg organiskt kväve varav 10% mineraliserar år 1, 3% av vad som återstår varje år mineraliserar åren 2–5 och 2% av vad som återstår varje år mineraliserar åren därefter enligt uppgifter från professor Jan Persson, SLU.



ha och 120 kg på gårdar utan djur och stallgödsel. Den ekonomiskt optimala mineralkvävegivan minskar alltså med 20 kg per djurenhet och ha. Det bör observeras att dessa skillnader belyser stallgödselns långsiktiga effekt. Stallgödselns "omedelbara" verkan förstärker skillnaderna mellan djurfria och djurtäta gårdar ytterligare (Mattsson och Kjellquist, 1992).

Kväveeffekten av stallgödsel till årets gröda baseras på kvarvarande ammoniumkväveinnehåll i gödseln efter förluster i stall, under lagring och efter spridning. Dessa förluster varierar inom vida gränser beroende på bl.a. gödselslag, lagringsteknik och spridningstidpunkt. Kväveinnehållet i utsöndrad träck och urin påverkas också av utfodringen. Dessa förhållanden kommer att behandlas mera i rapportens stallgödselavsnitt.

Vissa grödor ger ett positivt N-förfruktsvärde till kommande gröda. Detta värde är följande antal kg N/ha enligt Jordbruksverket

(2001b) om den kommande grödan är vårsådd: Stråsådd 0, våroljevaxter 15, ärter 30, potatis 10, sockerbetor om blasten nedbrukas 25 och klöver-gräsvall vid sen plöjning 30. I verkligheten är det stora variationer runt dessa medelvärden beroende på bl.a. väderleksbetingelserna det enskilda året.

Tidig vårsådd innebär bättre utnyttjande av växtsäsongen och leder vanligen till högre skörd. Vid sådd av vårsådd upp till 10 dagar tidigare än normalt bör därför kvävegivan öka med 1 kg/ha och dag. Vid sådd av vårsådd upp till 10 dagar senare än normalt bör man minska givan med 1 kg/ha och dag (Jordbruksverket, 2001b).

Studier på gårdar i ett vattenavrinningsområde i Halland (Joelsson, 1998) tyder på att man inte alltid anpassar givorna av mineralgödsel till stallgödselanvändning, förfrukt och sannolik skördenivå. Även om kväve- och fosfortillförseln i genomsnitt inte väsentligt översteg beräknat behov på de studerade gårdar-

na, så låg de verkliga givorna på vissa skiften långt över beräknat behov.

I ekologiskt jordbruk används inte syntetiskt framställt mineralgödselkväve ("konstgödsel"). I denna odlingsform är därför god stallgödselhantering och odling av kvävesamlande grödor utomordentligt viktiga för kväveförsörjningen. Dessutom köper det ekologiska jordbruket in växtnäring baserad på bl.a. bagerijäst, köttbenmjöl och torkad kycklinggödsel.

Val av kvävegödselmedel

Nitratkväve har i många fall bättre effekt än ammoniumkväve. En orsak är att spridning av ammoniumhaltiga gödselmedel eller urea, som snabbt hydrolyseras till ammoniak, kan resultera i betydande ammoniakavdunstning särskilt på sandjordar och jordar med högt pH-värde (Brady, 1984; ECETOC, 1994). Ammoniakförlusterna kan emellertid motverkas genom nedbrukning eller radmyllning, vilket inte är möjligt vid övergödning i växande gröda.

Ammoniumkvävet sämre verkan beror också på att det kan fixeras på lerpartiklar och sålunda undandras växterna. Vid torr väderlek kan ytspritt ammoniumkväve också adsorberas i utbytbar form i det torra ytjordlagret, medan nitratkväve förs ner till växtrotterna även av små nederbörds mängder (Persson et al., 1975). Å andra sidan utlaskas

nitratkväve lättare. Under vissa betingelser, t.ex. täta vattenmättade jordar kan nitrat även bortgå i form av kvävgas eller dikväveoxid (Ericsson, 1969). En del av det ammoniumkväve som fixerats i lermineral kan åter bli växttillgängligt på längre sikt (Nömmik, 1954).

Den ekonomiskt optimala kvävegivan till stråsäd spridd vid normal tidpunkt är 15–20% lägre för nitratgödselmedlet kalksalpeter än för N 28, vars kväve består av 50% nitrat och 50% ammonium. Vid optimal giva för respektive gödselmedel är skördens storlek ungefär den samma. Då ammoniumkväve är billigare än nitratkväve blir gödslingsnettot (= skördeintäkt minus gödselkostnad) också ungefär det samma i många fall (Gruveaus, 1994). Nitratgödselmedel har komparativa fördelar efter svaga förfrukter och vid sen spridning och på styva lerjordar, speciellt om de inte är stallgödslade (Nilsson, 1992).

Nedan ges exempel på lönsamhetsjämförelse mellan N28 och kalksalpeter. Kalkylen tyder på något bättre lönsamhet för kalksalpeteralternativet om även dess kalkverkan beaktas. Detta alternativ gav också, i det aktuella försöket, praktiskt taget lika hög skörd som N28-alternativet med betydligt lägre kväveinsats. Kväveförlusterna till miljön bör alltså bli mindre med kalksalpeter.

Om ammoniumkväve kombisås, det vill säga tillförs djupmyllat i koncentrerade strängar, så förbättras dess effekt jämfört med effekten vid vanlig nedbrukning. Den optimala

Tabell 4. Exempel på jämförelse mellan ammoniumnitratgödselmedlet N28 och nitratgödselmedlet kalksalpeter. Kalkylen bygger på försök i vårkorn 1993–1995 (Johnson, 1998). Vid beräkning av skördeintäkten antas nettopriser (= försäljningspris minus rörliga skördeberoende kostnader) vara 0,77 kr/kg. Gödsel- och kalkpriser är hämtade från SLU:s Databok.

	N 28 nedbrukad före sådd	Kalksalpeter övergödslad vid ettbladsstadiet
N-optimum, kg/ha	105	85
+ Intäkt, kr/ha	5744*0,77 = 4423	5717*0,77= 4402
- Gödselkostnad, kr/ha	105*6,10 = 641	85*7,80 = 663
-/+ Kalkverkan, kr/ha	-71*0,50= -36	60*0,50= 30
= Gödslingsnetto, kr/ha	3746	3769

kvävegivan är ungefär den samma för kombi-sådd N28 eller NPK som för kalksalpeter (Gruvaeus, 1994). Radmyllade ammoniumgödselmedel ger ungefär samma skördeeffekt som kalksalpeter som övergödslas efter uppkomst. Positiva effekter av radmyllning har erhållits i vårsäd, potatis och sockerbeter (Mattsson, 1993).

Bäst effekt av radmyllning har man i östra Sverige med dess torra klimat och till viss del även i norra Sverige med dess korta växtsäsong. Effekten är mindre i södra och västra Sverige. Dessa regionala effekter kan förstås om man beaktar att en del ytligt nedharvad gödsel hamnar i torra zoner där det inte är åtkomligt för grödan. Med radmyllning får man en koncentration av gödseln i en zon som håller tillräckligt med markfukt för att växterna snabbt ska tillgodogöra sig näringen (Mattsson, 1993).

Uppdelning av kvävegivan

Det är svårt att redan tidigt på våren förut-säga den kommande grödans utveckling och därmed den optimala kvävetillförseln. Genom

en relativt liten grundgiva, som vid god års-växt kompletteras med tilläggs-givor längre fram, kan man avvakta och justera utifrån årets väderlek och grödans utveckling. På så sätt minskar risken för överoptimal gödsling och därmed onödigt gödselkostnad, liggsäd, svampsjukdom och utlakning vissa år och underoptimal gödsling och därmed skörde-förluster och för låg proteinhalt andra år (Kjellquist, 1999). Å andra sidan innebär en sådan uppdelning merkostnader för att fast-ställa eventuellt behov av tilläggs-givor och kostnad för att sprida dessa tilläggs-givor.

I tabell 5 ges exempel på företagsekono-miska konsekvenser av att dela upp kvävegivan till vårkorn i en grundgiva och en senare kompletteringsgiva i stället för att ge allt kväve i en enda grundgiva vid sådd.

Tabellen antyder att delad giva kan vara lönsam i foderkorn vid fasta kostnader för arbete och maskinkapital, alltså då det finns arbetskraft, traktor och mineralgödselsprida-re som saknar lönsam alternativ användning då kompletteringsgödsling är aktuell. Där-emot förefaller delad giva ha tveksam lönsam-het om arbets- och maskinkostnaderna är rörliga. I detta senare fall måste uppdelningen

Tabell 5. Exempel på företagsekonomiska konsekvenser av att dela upp kvävegivan till vårkorn i en grundgiva på 90 kg/ha och en kompletteringsgiva på 30 kg/ha i stället för att ge 120 kg/ha i en enda grundgiva vid sådd. Kalkylen bygger på 117 försök under 1980-talet enligt Bertilsson (1988). Vid beräkning av skördeintäkten antas nettopriser (= försäljningspris minus rörliga skördeberoende kostnader) vara 0,77 kr/kg. Spridningskostnaden är beräknad utifrån SLU:s Databok och områdeskalkyler och förutsätter buren centrifugalspridare med 20 meters arbetsbredd och storsäck.

	<i>Arbete och maskiner fasta kostnader</i>	<i>Arbete och maskiner rörliga kostnader</i>
+ Ökade intäkter		
Ökad skörd	57*0,77 = 44	57*0,77 = 44
+ Minskade kostnader		
Mindre liggsädsrisk	>0	>0
- Ökade kostnader		
Extra spridningstillfälle ¹	0,29*92 = 27	0,29*400 = 116
= Lönsamhetsförändring, kr/ha	>17	> -72

¹ 0,29 tim/ha * kostnad för drivmedel och rörligt traktorunderhåll respektive total arbets- och maskinkostnad.

av kvävegivan leda till väsentligt mindre liggsäd och därmed lägre skörde- och torkningskostnader för att uppdelningen av kvävegiva skall vara lönsam. Ökat fodervärde vid ökad proteinhalt kan möjligen också bidra till lönsamhet i delad giva. I en annan mindre försöksserie i vårkorn efter stråsäd på kreaturslösa gårdar (Bertilsson, 1988) var skördeökningen av uppdelad giva så stor att uppdelningen var entydigt lönsam även vid rörliga arbets- och maskinkostnader.

Högre skörd och högre proteinhalt vid samma totala kväveinsats vid uppdelad giva innebär att det blir mindre restkväve efter skörd och därmed mindre risk för kväveförluster till miljön.

I de analyserade försöken har man tillämpat kompletteringsgödsling varje år oberoende av väderlek och grödans utveckling. Lönsamheten av att dela givan kan förbättras om kompletteringsgödslingen görs behovsprövad det enskilda året. Det eventuella behovet av kompletteringsgödsling fastställs då genom att man går ut och inspekterar fältet i slutet av stråskjutningen. Härvid kan man använda hjälpmedel såsom Kalksalpetermätaren, som förenklat kan beskrivas som en klorofyll- eller "grönfärgsmätare" (Kjellquist, 1999). Mätaren ger snabbt svar på om mera kväve behövs eller ej och hur stor en eventuell kompletteringsgiva bör vara. Kostnaden för inspektion med hjälp av Kalksalpetermätaren är arbete plus kapitalkostnad (inköpspris 12 000 kr) och årlig licensavgift för mätaren. Mätningen tar inte längre tid än det tar att gå över fältet enligt Halmø (2001). Det är dock resurskrävande att kartera kvävebehovet på olika delar av fältet på detta sätt och sedan anpassa kompletteringsgödslingen efter det ofta varierande behovet med konventionell spridningsteknik. Möjligheterna att lösa detta problem med ny teknik behandlas i avsnittet "Precisionsgödsling" längre fram i rapporten.

I höstvetete är det vanligt att senare dela upp kvävegivan i två eller flera delgivor. Om ett

höstvetebestånd är tunt på våren till följd av utvintring eller svag etablering på hösten, kan det finnas skäl att gynna bestockningen genom en tidig startgiva (Jordbruksverket, 2001b). Å andra sidan antyder försök i Syd- och Mellansverige att tidiga startgivor inte givit skördeökningar trots att bestånden i försöken varit relativt glesa samtidigt som sena kompletteringsgivor varit lönsamma även bortsett från merbetalning till följd av ökad proteinhalt. Orsaken till de tidiga startgivornas låga effekt torde vara förluster till luften genom denitrifikation (Kudsk, 2000). Samtidigt menar Kudsk att summan av eventuell startgiva plus huvudgiva bör begränsas för att undvika kväveförluster och liggsäd. Grödans eventuellt resterande kvävebehov bör enligt honom läggas som en eller två kompletteringsgivor under stråskjutningen då man bättre kan uppskatta hur stor skörden, och därmed kvävebehovet, blir. Jordbruksverket (2001b) förordar också sena kompletteringsgivor om det finns förutsättningar att nå hög skörd samtidigt som man vill uppnå hög proteinhalt, och därmed bättre betalning av brödvete. Men verket menar också att huvudgiva plus eventuell startgiva är tillräckligt vid måttliga skördeförväntningar och utan krav på att nå viss proteinhalt.

Genom att ge potatis en mindre mängd kväve vid sättningen och resterande mängd senare gynnas knöltillväxten på bekostnad av blastutvecklingen. Även sjukdomstrycket minskar och potatisens kvalitet kan förbättras. En annan fördel är att utlakningsrisken minskar. Detta hänger samman med potatisens grunda rotsystem i kombination med odling på lätta jordar (Andersson, 1999). Carlsson et al. (1996) har i en litteraturstudie, som omfattar en rad svenska och utländska potatisförsök, funnit att delad kvävegiva i flertalet fall givit högre skörd än samma mängd som engångsgiva. Den kompletterande gödslingen kan baseras på mätningar med kalksalpetermätaren även i potatis (Huss, 1999).

Precisionsgödsling

Beräkningar av ekonomiskt optimal kvävegiva och därmed gödslingsrekommendationer bygger i allmänhet på sammanställningar från gödslingsförsök som utförts på olika ställen under ett antal år. De statistiska samband mellan kvävegiva och skörd som skattas på detta sätt har "mjuka" förlopp. Meravkastningen av ökad kvävegödsling förefaller vara relativt konstant i breda intervall runt optimum. Detta talar för att gödslingen kan variera inom ett relativt brett intervall kring optimum utan att lönsamheten påverkas särskilt mycket (jfr Figur 2). Om så verkligen är fallet skulle det alltså inte kosta särskilt mycket att sänka gödslingen en bit under ekonomiskt optimum. Det kostar heller inte särskilt mycket att ligga lite för högt.

Bertilsson (1989) har emellertid framhållit att avkastningskurvorna för enskilda fält enskilda år ofta har en relativt brant linjär stigning upp till optimum för att därefter stiga obetydligt. Brytpunkten ligger i vissa fall på en låg kvävenivå och i andra fall på en avsevärt högre. I de förra fallen innebär en hög kvävegiva onödiga merkostnader som endast resulterar i obetydliga merintäkter. I de senare fallen skulle en låg kvävegiva leda till stora intäktsminskningar. Vid precisionsgödsling försöker man anpassa givornas storlek så att de hamnar så nära optimum som möjligt inte bara på varje fält utan också på varje del av fältet varje år.

Det kan förekomma stora skördevariationer och därmed stora variationer i ekonomiskt optimal kvävegiva inom ett och samma fält. Skördenivån är i många fall lägre bl.a. på vändtegar, kring åkerholmar och på infarter än på övriga delar av fältet. I en studie konstaterades att den ekonomiskt optimala kvävegivan varierade mellan 75 och drygt 150 kg N/ha på ett och samma fält (Thylén, 1994). Resultat som redovisas av Lantmännen och Hydro (2002) tyder på att kvävebehovet till höstvetete kan variera mellan 70 och 220 kg N/ha

inom ett och samma fält. Man ger också exempel på hur olika förfrukter och varierande effekt av stallgödsel kan leda till varierande behov av kompletterande kvävegödsling inom ett fält.

Teknik har utvecklats i syfte att beakta variationen i kvävebehov genom växtplatsanpassad grundgödsling vid sådd och kompletterande övergödsling som bestäms av grödans utveckling. Det är angeläget både ur företagsekonomisk och miljömässig synpunkt att denna teknik vidareutvecklas och får större precision. Växtplatsanpassad grundgödsling kan ske med hjälp av skördekartering på fältens olika delar och variabel gödselspridning anpassad till resultat från sådan kartering tidigare år. Skördekartering i spannmål innebär att man under skördens gång kontinuerligt registrerar och dokumenterar avkastning och skördeetröskans position med hjälp av GPS. Insamlade data får sedan påverka gödselgivorna på fältens olika delar kommande år (Tyhlén, 1999). Ett problem med denna metod är att skördekartorna kan uppvisa mycket olika mönster olika år. Förutom skörd tidigare år kan även lerhalt, pH-värde och markens mineralkväveinnehåll på våren på fältets olika delar användas för att fastställa lämplig grundgödsling. För att fastställa mineralkväveinnehållet på ett tillfredsställande sätt skulle det troligen behövas mer än 50 jordprov per ha, vilket kräver utveckling av sensorer för mätning on-line för att bli ekonomiskt möjligt (Algerbo et al., 2000).

Kompletterande övergödsling efter grödans uppkomst kan styras av en N-sensor. Sensorn är monterad på traktorns framsida och mäter grödans kvävebehov med hjälp av optisk reflektans utifrån bladens klorofyllinnehåll och beståndets täthet. Gödselutmatningen anpassas momentant under pågående körning. Kvävet styrs över till de delar av fältet där det gör störst nytta. Genom att variera kvävegivan över fältet minskar risken att vissa delar av fältet får för mycket kväve. Sensorn har i försök, som ännu legat endast

ett fåtal år, givit högre skörd, jämnare proteinhalt, mindre liggsäd samt högre kväveutnyttjande och därmed mindre risk för kväveförluster till miljön (Lantmännen och Hydroagri, 2002).

I tabell 7 visas en kalkyl för att anlita en entreprenör med N-sensor för kompletteringsgödsling i höstvetete. Kalkylen antyder god lönsamhet särskilt om arbets- och maskinkostnaderna för alternativet med egen kompletteringsgödsling är helt rörliga. Men även om eget arbete samt egen traktor och mineralgödselspridare saknar lönsam alternativ användning vid tiden för kompletteringsgödsling så kan det vara lönsamt att anlita en entreprenör med N-sensor om antagandena i tabeller stämmer överens med verkligheten. Lönsamheten förbättras om den växtplatsanpassade sensorstyrda gödslingen leder till högre proteinhalt, högre rymdvikt och mindre liggsäd.

Ökad skörd vid samma totala kväveinsats gör att det blir mindre restkväve efter skörd då sensorn används. I försök som redovisas av Lantmännen och Hydro (2002) har kväveupptaget i sensorgödslade försöksled varit

4,4 kg N/ha högre än i konventionellt gödslade försöksled. Beräkningar utförda av Albertsson (2003) antyder dock att utlakningsminskningen vid sensorstyrd gödsling uppgår till högst cirka 2,5% per ha – alltså 1 kg N/ha på en jord med 40 kg N/ha normalutlakning.

Sensorn kan med fördel användas på fält som stallgödslats. Mineralgödsel fördelad med hjälp av sensorn kan då kompensera för stallgödselns ofta ojämna spridning, kväveinnehåll och kväveeffekt (Halmø, 2002; Lantmännen och Hydro, 2002).

N-Sensorn har hittills främst använts i höstvetete, men lovande prov har också gjorts i höst- och vårkorn, rågvete, höstoljeväxter, potatis och frövall (Anderson och Kudsk, 2001). Jonsson (2002) förutsäger att sensorn på längre sikt kan ge stor nytta även i fodersäds- och vallodling.

Utifrån litteraturstudier och beräkningar för danska förhållanden har Pedersen (2003) analyserat de företagsekonomiska och miljömässiga förutsättningarna för olika former av precisionsgödsling inklusive N-sensorn. Han gör bedömningen att kväveutlakningen kan minska med 0–4 kg/ha i stråsäd vid preci-

Tabell 6. Exempel på företagsekonomiska konsekvenser av att anlita entreprenör med N-sensor i stället för egen spridning vid kompletteringsgödsling i höstvetete, kr/ha och år. Data är hämtade från Halmø (2002) samt beträffande kostnad för egen mineralgödselspridning från SLU:s Databok.

	<i>Kostnad för eget arbete och egna maskiner</i>	
	<i>fasta</i>	<i>rörliga</i>
+ Ökade intäkter		
Ökad skörd	170*0,90 = 150	170*0,90 = 150
Ökad / jämnare proteinhalt	0–130	0–130
Högre rymdvikt	≥0	≥0
Kvävekarta	30	30
+ Minskade kostnader		
Inbesparad egen spridning	0,29*92 = 27	0,29*400 = 116
Mindre liggsäd (lägre trösk- och torkningskostnader)	≥0	≥0
– Ökade kostnader		
Spridning med N-sensor, inkl. inställelsekostnad (entreprenör)	200	200
= Lönsamhetsförändring, kr/ha	≥7–137	≥96–226

sionsgödsling. Skördeökningen beräknas till 50–200 kg kärna per ha. Både utlakningsminskning och skördeökning påverkas starkt av inomfältvariationen och hur omfattande teknik som används. Vid styrning av mineralkvävegivan med hjälp N-sensor och skördekartering på fält med liten inomfältvariation beräknas utlakningsminskningen bli 1 kg N och skördeökningen 50 kg kärna. Vid styrning av både mineralkväve- och stallgödselgivan med hjälp av N-sensor, skördekartering och jordprov på fält med stor inomfältvariation beräknas utlakningsminskningen bli 4 kg N och skördeökningen 200 kg kärna. Jämfört med konventionell spridning beräknas den företagsekonomiska merkostnaden för styrning av mineralkvävegivan med hjälp av N-sensor och skördekartering bli 330 DKK på gård med 100 ha och 150 DKK på gård med 500 ha spannmål. Vid styrning av både mineralkväve- och stallgödselgivan med hjälp av N-sensor, skördekartering och jordprov beräknas merkostnaden till 490 och 230 DKK vid respektive gårdsstorlek. Vid dessa antaganden är precisionsspridning inte företagsekonomiskt lönsam i något fall. Vid 500 ha och fält med stor inomfältvariation är dock precisionsspridningen samhällsekonomiskt motiverad om utlakningsminskningen värderas till 25 DKK per kg N.

Vissa lantbrukare som skaffar utrustning för precisionsgödsling kan vara intresserade av att bli entreprenör som precisionsgödselar även åt andra lantbrukare. I den utsträckning dessa deltidsentreprenörer har arbetskraft och utrustning med låg alternativkostnad när precisionsgödsling är aktuell torde de tjäna pengar på entreprenadverksamheten även om betalningen är relativt låg. Många växtodlingsgårdar med stor arbets- och maskinkapacitet anpassad till arbetstoppar höst och vår torde ha sådan överkapacitet. Om precisionsgödslingen dessutom utvidgas till flera grödor inklusive fodersäd och vall kan utrustningen få större årlig användning och kostnaderna reduceras ytterligare i entreprenad-

verksamhet. Minskade kostnader medför större efterfrågan på precisionsgödsling och större efterfrågan gör det möjligt att fördela fasta kostnader på en ännu större areal och därmed sänka kostnaderna och öka användningen ytterligare. I och med att precisionsgödsling minskar kväveförlusterna till miljön bör det vara ett samhällsintresse att stimulera till en sådan positiv utveckling.

Precision vid spridning av mineral- och stallgödsel

Alla åtgärder för att fastställa grödans kvävebehov med hög precision blir mer eller mindre meningslösa om inte gödslingen sedan utförs med rimlig precision. Vid spridningen måste lantbrukaren ha kontroll över utmatad mängd, spridningsbild, avstånd mellan kördrag och kantspridning.

Variationskoefficienten, som är ett uttryck för ojämnheten i spridning tvärs körriktningen, bör inte överstiga 10% för mineralgödselspridare. Detta klarar moderna spridare om underhåll och inställningar görs rätt (Hallgard, 1999). Vid en undersökning där spridningsjämnheten studerades vid praktisk drift erhöles emellertid variationskoefficienter mellan 15 och 60%. Medeltalet var 30%. Vid 29% variationskoefficient reduceras avkastningen med 120 kg/ha jämfört med helt jämn spridning. Vidare ökar läckaget på en sandjord med 3 kg N/ha och på en lerjord med 1 kg N/ha (Lundin et al., 1997).

Det räcker inte med bra spridare och rätt inställning. För att kunna sprida mineralgödsel jämnt måste också dess fysikaliska kvalitet vara god. Granulernas kornstorleksfördelning, medeldiameter och tryckhållfasthet liksom mängden damm och produktens homogenitet och flytegenskaper är viktiga i sammanhanget (Frostgård, 2002).

Problemen med att sprida mineralgödsel jämnt intill men inte över åkerholmar, vägar och bäckar blir mindre för varje år eftersom

utrustning och metoder för kantspridning blivit effektivare (Hallgard, 1999). Det finns olika tekniker för att justera spridaren innan kantdraget körs. Vissa kräver att spridningen tillfälligt avbryts för manuell justering av spridaren, medan man på andra spridare kan göra justeringen från förarplatsen. Med tillgängliga spridare kan man emellertid inte nå både miljömässigt och produktionsekonomiskt optimal giva samtidigt. Vid miljömässig optimering (ingen spridning utanför fältkanten) blir det en underoptimalt gödslad zon innanför kanten. Vid jämn och optimal giva ända ut till fältkanten kommer en del gödsel att hamna utanför kanten (Lantmannen, nr 4 2000). Ju mindre fälten är desto större del av gödseln kommer att spridas i kantdrag. Stora välarronderade fält minskar alltså kantproblemen vid gödselspridning.

När det gäller flytgödsel ger marknära applicering med släpslangsramp bättre precision än bredspridning med spridarplatta. Släpslangsrampen medger också spridning i växande gröda och därmed flera tillfällen för spridning under växtsäsongen (Rodhe, 2002).

Utrustning för att mäta och reglera givan vid spridning av flytgödsel kan bestå av en flödes- och hastighetsmätare kopplad till en kontrollbox på vilken önskad giva inställs. Med en styrsignal från kontrollboxen kan en reglerventil ställa flödet så att önskad giva erhålls vid aktuell körhastighet. Systemet kan kompletteras med givare för mätning av N- och P-innehåll i gödseln och med hjälp av GPS kan platsrelaterad gödsling erhållas (Rodhe, 2002). Man kan öka givan där markkartan visar att fosfortillståndet är svagt och minska givan där fosfortillståndet är bättre. På grund av flytgödsels givna proportioner mellan olika ingående näringsämnen är det emellertid svårt att åstadkomma en gödsling som är exakt anpassad till grödans behov av samtliga växtnäringsämnen. Rodhe (2002) ställer frågan om stallgödseln kanske skall förädlas till mera lätthanterliga gödselmedel där näringsinnehållet komponeras så att det motsva-

rar aktuell grödas behov. Detta kommer att behandlas i avsnittet om flytgödselseparering.

Svårigheterna att uppnå jämn spridning i önskad mängd är större för fast och kletig stallgödsel än för mineralgödsel och flytgödsel. Dagens spridare av fast- och kletgödsel ger lantbrukaren mycket begränsade möjligheter att styra givan och åstadkomma en jämn spridning. Fördelningen av fast- och kletgödsel blir ofta ojämn både längs kördraget och i sidled. Höns- och broilergödsel ställer genom sitt höga innehåll av växtnäring extra stora krav på jämn spridning och exakt dosering. Vid spridning av dessa gödselslag måste spridaren dessutom klara att sprida små givor med hög precision (Malgeryd och Pettersson, 2001).

Snabbt införskaffande av nya spridare med förbättrad precision liksom gott underhåll och noggrann inställning av spridarna är viktiga åtgärder för att förbättra stallgödselutnyttjandet och minska kväveförlusterna till miljön. Sådana åtgärder torde i många fall vara lättare att åstadkomma på stora heltidsföretag än på mindre gårdar där jordbruket är en bisyssla.

Snabb nedbrukning och jordkontakt för stallgödsel

Att bearbeta jorden före stallgödselspridning så att gödseln får bra kontakt med öppen jord är en effektiv åtgärd för att minska ammoniakförlusterna. Förlusterna kan halveras jämfört med spridning på obrukad mark (Sommer och Ersbøll, 1994).

Snabb nedbrukning eller direktmyllning av flytgödsel bidrar starkt till att minska ammoniakavgången i samband med spridning. Direktmyllning är dock dyr särskilt på mindre gårdar (Malgeryd et al., 2002) och snabb nedbrukning av flytgödsel med vanliga jordbearbetningsredskap kan vara lika effektiv som direktmyllning för att minska ammoniakförlusterna (Malgeryd, 1996). Snabb nedbruk-

ning är särskilt viktig för flytgödsel som innehåller mera ammoniumkväve än fastgödsel (Sommer och Hutchings, 2001). För fast- och kletgödsel är snabb nedbrukning det enda sättet att minska ammoniakförlusterna vid spridning. Snabb nedbrukning kan vara svårt att genomföra på mindre gårdar som bara har en traktor och en traktorförare. På sådana gårdar kräver snabb nedbrukning ideliga omkopplingar mellan gödselspridare och bearbetningsredskap.

I svenska försök med flytgödsel gav bandspridning i växande gröda och på stubb 40–60% lägre ammoniakavgång än bredspridning (Malgeryd, 1996). I nederländska försök i vall förlorades 60–70% av flytgödselns ammoniumkväve på fyra dagar vid bredspridning medan endast 20% förlorades under samma tid vid bandspridning med släpslang (Huijsman et al., 1997). Vid spridning på öppen jord ger bandspridning en långsammare ammoniakavgång än bredspridning, men den totala emissionen blir i allmänhet den samma om inga ytterligare åtgärder sätts in. Brukar man däremot ned gödseln efter en viss tid, t.ex. 4 timmar, så blir förlusterna vid bandspridning lägre eftersom en mindre mängd hunnit avgår under denna tid (Malgeryd, 1996).

Spridning och nedbrukning av flytgödsel i samma arbetsmoment erhålls med speciella myllningsaggregat som monteras på spridar-tankvagnen. Sådan direktmyllningsteknik gör det möjligt att omedelbart få ned gödseln i vall där nedbrukning med jordbearbetningsredskap inte är möjlig. Direktmyllningen ger också jämn spridning av gödseln över fältet. Försök vid JTI visar att det går att uppnå en halvering av ammoniakförlusterna med sådan direktmyllning jämfört med bandspridning (Rodhe, 2002). Liknande positiva resultat med direktmyllning i vall har erhållits i Nederländerna (Huijsman et al., 1996) och Danmark (Sommer och Hutchings, 2001).

Direktmyllning av flytgödsel i vall kan å andra sidan ge avsevärt större denitrifikationsförluster än spridning på ytan enligt

Thompson et al. (1987). Vid djup myllning i slutna skåra vid fuktiga förhållanden kan denitrifikationsförlusterna uppgå till 50% av gödselns kväveinnehåll (Thompson, 1989). Myllningstekniken är därför mindre lämplig vid spridning på hösten när marken har hög vattenhalt.

Rodhe (2002) redovisar beräkningar för flytgödsel till vall, vilka visar att bredspridning är företagsekonomiskt bättre än direktmyllning och bandspridning särskilt i mindre och medelstora besättningar. Vid 2 000 m³ gödsel (cirka 100 kor) är det beräknade nettovärdet av flytgödseln minus 40 kr/m³ vid direktmyllning, minus 30 kr/m³ vid bandspridning och minus 20 kr/m³ vid bredspridning. Vid mindre gödselvolym är skillnaden till bredspridningens fördel ännu större medan de tre spridningsmetoderna i stort sett är likvärdiga vid 12 000 m³ (600 kor). Det bör observeras att nettovärdet av gödseln är negativt trots att kostnaderna för lagring ej beaktats. Växtnäringsvärdet understiger spridningskostnaden särskilt i mindre besättningar.

För att reducera kväveförlusterna från flytgödsel med hjälp av bandspridning och direktmyllning, utan att lönsamhetsförluster skall uppkomma, fordras stora besättningar, maskinsamarbete mellan flera mindre eller entreprenadverksamhet. Entreprenörverksamhet kan också skapa underlag för generellt snabbt införande av ny teknik för precisionsspridning av stallgödsel medan särskilt mindre lantbruk med egen spridningsutrustning av kostnadsskäl måste behålla äldre teknik under längre tid. I Danmark sprider entreprenörer huvuddelen av flytgödseln trots att de danska djurbesättningarna i allmänhet är relativt stora. Entreprenörerna sprider gödsel på olika gårdar med olika grödor och jordarter vid olika tidpunkter, vilket skapar större flexibilitet och bättre utnyttjande av maskinkapacitet än vad som är möjligt på flertalet gårdar med egen spridning. Konkurrensen mellan entreprenörer bidrar också till låga kostnader för dem som utnyttjar entrepre-

nörernas tjänster. Enligt danska beräkningar och maskinstationstaxor kostar bredspridning av flytgödsel cirka 10 DKK/ton. Bandspridning med släpslangar kostar cirka 12 DKK/ton och radmyllning i vall cirka 19 DKK/ton (Jacobsen et al., 2002b).

Stallgödsel till öppen jord hellre än till vall

Föregående avsnitt visar att direktmyllning av flytgödsel till vall knappast är lönsam med nuvarande teknik trots att ammoniakförlusterna blir mindre än vid ytspridning. Fastgödsel är dessutom omöjlig att mylla i vall. Var och när skall man då sprida gödseln på vallgårdar?

Vid bredspridning i vall täcks en stor del av bladverket av gödsel. Detta innebär att ytan som kan avge ammoniak till luften blir betydligt större än vid spridning på öppen jord. Allra störst blir förlusterna vid bredspridning i vall varma sommarkvar. Nöttflytgödsel spridd till vall på sommaren förlorade 85% av sitt ammoniumkväve i ett försök medan förlusterna vid vårspridning i vall begränsades till 45% (Elmqvist et al., 1996). Malgeryd (1996) rekommenderar därför att stallgödselspridning till vall hellre bör ske på våren än på sommaren och att man, om valmöjlighet finns, hellre bör sprida stallgödseln på öppen jord eller i växande stråsåd.

Risk för försämrad foderhygien är ett problem vid spridning av stallgödsel i vall. Risken för dåligt ensilage är större vid spridning av fastgödsel än vid spridning av flytgödsel eftersom gödselklumpar kan följa med fodret från fält till silo. Denna risk minskar om fastgödseln sprids på hösten, gärna med efterföljande vältning på våren för att sönderdela kokor. Direktmyllning av flytgödsel är det bästa alternativet ur foderhygienisk synpunkt vid stallgödselspridning på vall (Malgeryd et al., 2002). Enligt Malmqvist och Spörndly (1993) är vårspridning av stallgödsel på vall det sämsta alternativet ur hygienisk synpunkt på

mjölkgårdar. Spridning omedelbart efter första vallskörd är bättre ur foderhygienisk synpunkt – men sämre med hänsyn till kväveutnyttjande.

Torvinblandning och direkt-spridning av djupströgödsel

Djupströsystem är djurmiljövänliga och i många fall billiga lösningar bl.a. vid övervinterning av dikor och ungdjur. Å andra sidan är de totala kväveförlusterna från djupströgödsel större än förlusterna i flyt- och fastgödselsystem. Det är främst i stallet och under lagring som djupströgödseln förlorar en stor del av sitt kväve (Jordbruksverket, 1999b). Dessa förluster kan minska genom att blanda ströhalmen med torv, vilket kraftigt minskar ammoniakförlusterna (Jeppsson et al., 1997; Jeppsson, 1999).

Ett annat sätt att minska kväveförlusterna från djupströgödsel är att sprida den direkt utan mellanlagring. Direktspridd djupströgödsel har i danska försök haft signifikant större gödslingseffekt i vårsäd än djupströgödsel som komposterats i mellanlager (Sommer, 2001). Färsk djupströgödsel är emellertid ofta kompakt och halmrik, vilket försvårar direktspridning på fälten. Många fastgödselspridare ger dåliga möjligheter till sönderdelning och jämn spridning av färsk djupströgödsel. Genom mellanlagring (kompostering) bryts gödseln ned och blir lättare att sprida på ett bra sätt. Under mellanlagringen minskar också andelen ammonium av totalkvävet från cirka 25% till 10% eller mindre (Karlsson och Jeppsson, 1995; Karlsson och Salomon, 2001). I en annan undersökning var emellertid ammoniumandelen hela 25% även efter mellanlagring (Jeppsson et al., 1997).

En rad olika undersökningar som refereras av Karlsson och Salomon (2001) tyder på att både färsk och mellanlagrad djupströgödsel är mycket heterogena produkter, vilkas volymvikt och kväveinnehåll varierar inom vida

gränser. Det är därför svårt att uppnå precision i kvävetillförseln med djupströgödsel oberoende av om den är mellanlagrad eller inte. Kväveeffekten av denna typ av gödsel kan också variera kraftigt beroende på årsmånen. Enligt Dilz et al. (1990) kan man räkna med större kväveeffekt under en varm än under en kyligare växtodlingssäsong.

Ett tvåårigt försök i vårsäd på styv lera i Mellansverige med djupströgödselmängder som anpassades efter grödans fosforbehov tyder på obetydliga skördeeffekter av såväl färsk som mellanlagrad djupströgödsel. Det var heller inte några skillnader mellan höst- och vårspridd djupströgödsel. Första året efter spridning gav de djupströgödselade leden samma skörd som det ogödselade kontrollledet och signifikant lägre skörd än ett led som fick 70 kg N som mineralgödsel. Det fanns heller inte någon tydlig efterverkan av djupströgödsel i form av skördeökning år två. Försöket tyder också på att måttliga djupströgödselgivor spridda sent på hösten inte ökar risken för kväveläckage. Jämfört med vårspridning innebär höstspridning mindre risk för jordpackning, förstörd såbädd och kvävefastläggning i början av växtsäsongen (Karlsson och Salomon, 2001).

Vårspridning av stallgödsel

Övergång från höstspridning till vårspridning av stallgödsel innebär att kväveutlakningen minskar, vilket är en fördel för både miljön och lantbrukaren, som kan minska sina inköp av mineralgödselkväve. Merutlakningen vid höstspridning uttryckt som andel av gödselns ammoniumkväve varierar från 10% på vall på mellanlera eller styv lera till 90% på obevuxen sandjord i södra Sverige. Vid spridning inför höstsädd och på obevuxna lättleror och i Mellansverige ligger merutlakningen vid höstspridning jämfört med vårspridning mellan ovan angivna extremvärden (Jordbruksverket, 1999b).

I kalkylen nedan antas att merutlakningen vid höstspridning är 90% av ammoniumkvävet, alltså större än i flertalet fall. Vidare bortses från att en del av gödselns ammoniumkväve förloras till luften både vid höst- och vårspridning. Det antas också att spridningen avser svinflytgödsel som har högre ammoniumandel av totalkvävet än nötgödsel. I svinflytgödsel utgör ammonium cirka 70% av totalkvävet medan motsvarande andel för nötflytgödsel är 60% och för fastgödsel 25% (SLU:s Databok för driftsplanering, 2002). Vid denna ammoniumandel antas 1 ton svinflytgödsel ha en kväveverkan vid vårspridning på 2,50 kg N (Jordbruksverket, 2001a och b). Vid höstspridning på obevuxen mark utlakas enligt ovan 90% eller 2,25 kg N, varför kväveverkan endast blir $2,50 - 2,25 = 0,25$ kg N.

Övergång till att sprida mera eller rent av all stallgödsel på våren innebär också kostnader. Lagringskapaciteten måste utökas. Spridning med tunga flytgödseltunnor tidigt på våren kan leda till packningsskador samtidigt som vårsådden kan försenas. Båda dessa effekter kan minska skörden.

Tabell 7 antyder lönsamheten av att ha ett års lagringskapacitet och 100% vårspridning i stället för ett halvt års lagringskapacitet, 50% vårspridning och 50% höstspridning. Genom det förra alternativet kan mineralgödselkväve för drygt 20 000 kr sparas årligen på en gård med 3 000 ton årsproduktion av flytgödsel. Samtidigt stiger den årliga lagringskostnaden med cirka 18 000 kr i en nybyggnadssituation där man väljer ett års i stället för ett halvt års lagringskapacitet. Om man i stället står inför valet att komplettera en befintlig behållare med ett halvt års lagringskapacitet med ytterligare en lika stor behållare så blir merkostnaden för den utökade lagringskapaciteten drygt 30 000 kr/år. Den större lagringskapaciteten och 100% vårspridning kan alltså vara lönsam i en nybyggnadssituation om skördesänkningar till följd av packningsskador vid vårspridning är försumbara. Beräkningar med STANK-modellen visar emellertid att skadlig

markpackning kan kosta upp till 5 kr per ton flytgödsel (7 500 kr för 1 500 ton) vid övergång till vårspridning. I sådana fall blir 100% vårspridning olönsam även i en nybyggnadssituation. Att komplettera en befintlig behållare med utökad lagringskapacitet är olönsamt även om den skadliga markpackningen är försurbar.

Som ovan påpekats bygger kalkylen på en situation med maximalt gynnsamma förutsättningar för 100% vårspridning. På lerjordar, i Mellansverige, vid nötgödsel eller om höstspridningen sker på vall blir merutlakningen mindre vid höstspridning. Kostnaderna för skadlig markpackning är också större på lerjordar. Övergång till 100% vårspridning är klart olönsam i sådana fall.

För fastgödsel ökar kväveverkan mycket lite vid övergång till vårspridning. Spridning av fastgödsel i vårbruket kan också vålla problem med såbäddsberedningen samtidigt som vårspridning av fastgödsel kan medföra immobilisering av kväve och fördröjd kväveleverans tills grödans kväveupptagning är avslutad. Spridning av fast stallgödsel under hösten inför vårsådd bedöms också vara godtagbar ur miljösynpunkt (Jordbruksverket, 2000a).

Mellansvenska försök på styv lera med fastgödsel till gräsvall gav inga statistiskt säkra avkastningsskillnader mellan höst- och vårspridning. Även när det gäller mängden mineralkväve i jorden på hösten var skillnaderna små mellan höst- och vårspridning. En förändring av spridningsstrategin kan därmed endast marginellt förändra risken för utlakning enligt dessa försök. Det fanns inte någon påvisbar skillnad i avkastning mellan vall som fått enbart mineralgödsel (160 kg N/ha) och vall som förutom denna mängd mineralgödsel fick 25 ton fastgödsel/ha (Rodhe et al., 2000). Även ett tidigare försök antyder obetydlig skördeförändring vid gödsling med både mineral- och stallgödsel jämfört med enbart mineralgödsel. Detta försök tyder till och med på att stora fastgödselgivor (40 ton/ha) kan sänka vallskörden (Rodhe et al., 1995). Norska försök visar på skördeökningar åren närmast efter det då fastgödseln spreds, vilket kan förklaras av att denna gödsel verkar långsamt (Tveitnes, 1979).

Måttliga djupströgödselgivor spridda sent på hösten torde inte öka risken för kväveläckage. Jämfört med vårspridning innebär höstspridning mindre risk för jordpackning, förstörd såbädd och kvävefastläggning i början

Tabell 7. Exempel på företagsekonomiska konsekvenser för en sydsvensk svingård på sandjord av att sprida 3 000 ton flytgödsel på våren i stället för att sprida 1 500 ton på obevuxen jord på hösten och på 1 500 ton på våren. Det vänstra fallet i tabellen avser en nybyggnadssituation då det inte finns någon behållare i utgångsläget medan det högra fallet avser utbyggnad vid en anläggning där det finns en 1 500 ton behållare i utgångsläget. Investeringskostnader enligt Jacobsen et al. (2002b). Kalkylräntan antas vara 7% och avskrivningstiden 20 år.

	<i>Nybyggnad</i>	<i>Utbyggnad</i>
+ Minskade kostnader		
Mindre N-inköp	$1\,500 \cdot 2,25 \cdot 6,10 = 20\,600$	$1\,500 \cdot 2,25 \cdot 6,10 = 20\,600$
- Ökade kostnader		
Större lagringskapacitet	18 100	31 800
- Minskade intäkter		
Sänkt skörd pga packningsskador	0-7 500	0-7 500
= Lönsamhetsförändring, kr/år	+2 500 - -5 000	-11 200- -18 700

av växtsäsongen (Karlsson och Salomon, 2001).

Flytgödselseparering

Genom att separera flytgödseln koncentreras dess växtnäring i en eller flera faser som lättare kan transporteras till spridning på fält långt från djurstallet och den egna brukningsenheten. På så sätt minskar behovet av lokal spridningsareal. Behandlingen minskar också smittspridnings- och luktproblem som är förknippade med traditionell gödselhantering. Intresset för gödselseparering är stort i djurtäta länder som Danmark och Nederländerna. Man ser det som ett sätt att kunna bibehålla nuvarande djurantal när kraven på spridningsareal skärps vid traditionell gödselhantering, eller ha flera djur utan att öka sitt arealinnehav. Det råder delade meningar bland politiker i Danmark om önskvärdheten i att separera gödsel. Förespråkarna ser det som ett viktigt framsteg att kunna transportera gödselns växtnäring dit den gör störst nytta, medan motståndarna varnar för att tekniken leder till en storskalig, nästan jordlös, svinproduktion som slår ut traditionell produktion (Hyologisk, nr 1 2002).

Förutsättningarna för storskalig, nästan jordlös, svinproduktion med gödselseparering illustreras med ett nederländskt företag som har 4 200 saggor i integrerad produktion men endast 45 ha egen mark. Innan man separerade gödseln var kostnaden för att bli av med den 170 kr per m³. Med nuvarande separationsanläggning har kostnaden, inklusive transport till avlägsna spridningsarealer, reducerats till 100 kr per m³ ursprunglig flytgödsel. Den nästan rena vattenfasen från anläggningen används för bevattning av energiskog. Tack vare storleksfördelar, biologiskt väl fungerande produktion och egen foderberedning ligger den totala produktionskostnaden per kg tillväxt i integrerad produktion så lågt som 7,70 kr (=10,50 kr/kg slaktad vikt vid 73% slakt-

utbyte), trots återstående nettokostnader för att bli av med gödseln (Hyologisk, nr 1 2002). Som jämförelse kan nämnas att svenska gris-köttetspriset inte ger full långsiktig kostnadstäckning vid priset 12,40 kr/kg slaktad vikt enligt SLU:s områdeskalkyler för år 2003.

Separering av flytgödsel kan ske på olika sätt och drivas olika långt. Vid ettstegsseparatoring erhålls en fast och en flytande fraktion med hjälp av skruvpress, dekantercentrifug, skiktning eller sedimentation. Den flytande fraktionen kan sedan delas upp i koncentrerad växtnäring och praktiskt taget rent vatten med hjälp av t.ex. förångning, omvänd osmos, ultracentrifugering och/eller ammoniakavskiljning (Hyologisk, nr 1 2002).

Den anläggning som används i det ovan beskrivna nederländska svinföretaget omvandlar flytgödsel till följande slutprodukter: Vatten 75%, flytande NPK koncentrat 13%, flytande N-koncentrat 2% och humus 10%. Av den ursprungliga gödselns växtnäring innehåll återfinns i NPK-koncentratet 21% av N, 20% av P och 90 % av K. N-koncentratet innehåller 52% av ursprungligt N. I humusen hamnar 25% av N, 79% av P och 10% av K. Vid ett årligt utnyttjande på 18 000 m³ flytgödsel blir totalkostnaden 70 SEK per m³. Härav utgör energiförbrukningen (48 kWh) drygt 20 SEK. Resten är i huvudsak ränta och avskrivning på anläggningen (Uppgifter från Funki Manura A/S).

Andra separationskoncept innefattar biogasproduktion och ger sålunda ett energiöverskott förutom olika växtnäring- och humusfraktioner. Energin kan användas både för elproduktion och för uppvärmning av stallar och bostäder (Uppgifter från Dansk Biogas A/S). Vid ettstegsseparatoring, där uppdelning endast sker i fast- och flytande fas, ligger kostnaden på 10–25 SEK per m³ ursprunglig flytgödsel. I Danmark finns ännu ingen utvecklad marknad för de separerade gödselprodukterna, vilket det däremot finns i USA (Hyologisk, nr 1 2002; Maskinbladet, 25 januari 2002).

Tack vare att gödseln efter separering är billigare att transportera kan den spridas på

olika arealer som kan ligga långt från djurstallet. Den separerade gödseln är dessutom uppdelad i olika fraktioner med olika växtnäringsprofil, vilket gör att den kan tillföras grödor på ett sätt som väl svarar mot deras näringsbehov. Övergivor av kväve och fosfor, som ger liten växtnäringsnytta men stor miljörisk, kan alltså undvikas.

Danska studier visar att långtgående separering av svinflytgödsel är olönsam under nuvarande förhållanden. Kostnaderna väger tyngre än fördelarna. För lönsamhet fordras billigare anläggningar, ännu högre pris på mark för gödselspridning i djurtäta områden och/eller högre transportkostnader för att bli av med gödseln. Bättre lönsamhet i svinproduktionen och därmed incitament att öka produktionen ytterligare liksom ytterligare skärpning av arealkraven för gödselspridning skulle förbättra gödselsepareringens ekonomiska förutsättningar (Jacobsen et al., 2002a).

Bortförsel av kväverika skörderester

Kväverika skörderester såsom betblast och ärthalm kan ge upphov till ökad utlakning under höst och vinter om de lämnas kvar och brukas ned på fälten (Jensen, 1996; Jensen och Ambus, 2000). Av 71 kg N/ha i betblast som lämnades kvar efter skörd i danska försök förlorades 9–13 kg genom utlakning medan 7–11 kg återfanns i skörden hos följande två års grödor. Denitrifikationsförlusterna var mindre än 10 kg N. Minst hälften av kvävet i betblasten tycks alltså ha ansamlats i markens kvävepol (Thomsen och Christensen, 1996).

I engelska försök ökade kväveutlakningen 5–15 kg/ha första året och 9–10 kg/ha andra året om skörderesterna efter sockerbetor lämnades kvar på fältet. Utlakningen var dock förvånansvärt liten om man beaktar att cirka 125 kg N återfördes med blasten. Skörde-

rester efter ärter hade inte lika stor effekt i dessa försök. De ökade utlakningen med cirka 5 kg N/ha (Mitchell et al., 2001).

Betblast och ärthalm som, om de lämnas kvar på fälten, kan bidra till nettomineralisering och utlakning av kväve under höst och vinter kan användas som foder varefter växtnärningen återförs till åkern via stallgödsel vid lämplig tidpunkt (Jensen och Ambus, 2000). Detta var en viktig foderkälla i äldre jordbruk, men har nu förlorat kraftigt i betydelse. På kreaturslösa gårdar skulle tillvaratagande av skörderester endast leda till kostnader. I Storbritannien används emellertid betblast liksom bete på stubbåkrar och fånggrödor som foder till lamm under höst och tidig vinter (Uppgifter från Meat and Livestock Commission).

Nedbrukning av kvävefattiga skörderester

Genom nedbrukning av kvävefattig stråsådes-halm kan utlakningsbart kväve i marken bindas av markmikroorganismer. För att denna immobilisering av kväve skall få större omfattning fordras dock att halmen är finfördelad och väl inblandad i jorden. I laboratorieexperiment med finfördelad och homogent inblandad halm har 12–16 kg N immobiliserats per ton halm. Under fältförhållanden är dock immobiliseringen betydligt lägre eller 2–4 kg N/ton halm (Jensen och Ambus, 2000). Den jordbearbetning som krävs för homogen inblandning av halmen kan emellertid öka mineraliseringen av humus. Stubbearbetning tidigt på hösten, bl.a. för att bruka in skörderester, har i försök givit betydligt större utlakning än sen höstplöjning eller vårplöjning (Stenberg och Aronsson, 1999). Thomson och Christensen (1998) fann att nedbrukning i stället för bortförsel av halm kan minska utlakningen första vintern men öka den påföljande vinter varför summaeffekten blev obetydlig.

Fånggrödor och senarelagd jordbearbetning

Det är mineraliseringen av markkväve på hösten efter skörd snarare än kvävegivor upp till ekonomiskt optimal nivå som leder till förhöjd kväveutlakning. Mineraliseringen på hösten kan minskas med hjälp av senarelagd jordbearbetning och fånggrödor kan ta upp en del av tillgängligt mineralkväve på hösten.

Försök på lerjord i norra Götaland har visat att en tredjedel av årets kvävemineralisering sker under den period när marken oftast är obeväxt. På lätta jordar i södra Götaland sker hälften eller mer av årets mineralisering under den årstid då marken normalt är obeväxt (Lindén, 1994).

Kvävemineraliseringen efter skörd gynnas av jordbearbetning. Vid jordbearbetning tillförs mer luft till marken, vilket gynnar markorganismerna. Växtrester blandas också med jorden och blir mer tillgängliga för nedbrytning. Jordens struktur bryts upp och nya ytor blir tillgängliga för mikroorganismerna. Allt detta bidrar till att jordbearbetning påskyndar nedbrytning och kvävemineralisering. Speciellt tidig höstplöjning när jorden fortfarande är varm ökar mineraliseringen. Sen höstplöjning kan, om det blir kall vinter, ge ungefär samma effekt som vårplöjning med mindre utlakningsrisk under vinterhalvåret. Dessutom sker den uppskjutna mineraliseringen under följande växtsäsong (Lindén och Wallgren, 1993; Stenberg och Aronsson, 1999).

Flera svenska och danska försök visar att kväveutlakningen minskar kraftigt om man odlar fånggrödor i kombination med övergång från tidig höstplöjning till plöjning sent på hösten eller på våren (Lewan, 1994; Lindén, 1994; Møller Hansen och Djurhuus, 1997; Stenberg och Aronsson, 1999; Thomsen och Christensen, 1999). Lewan (1994) samt Thomsen och Christensen (1999) visar emellertid att utlakningen åter kan öka om man efter några års odling av fånggrödor återgår till odling utan fånggrödor. Det råder ännu be-

tydande osäkerhet om hur upprepad odling av fånggrödor långsiktigt påverkar kväveutlakningen. Mycket av denna osäkerhet har samband med vad som händer vid nedbrytning och mineralisering av resterna av fånggrödorna (Kirchmann et al., 2002).

Fånggrödor sås normalt in i huvudgrödan och har sin huvudsakliga tillväxt efter dess skörd. I vårsäd är 4–8 kg engelskt rajgräs per ha lämpligt fånggrödeutsäde. I vårsäd kan fånggrödeutsädet blandas med säden i sålådan eller sås från separat frölåda i samma arbetsmoment. Men fånggrödan kan också sås vid separat körning med såmaskin mellan vårsädens sådd och uppkomst. När vårsädens förväntade kärnavkastning är under 4–4,5 ton/ha kan man använda det senare alternativet eller relativt låg utsädesmängd för att inte riskera påtagliga skördesänkningar. Normalt har fånggrödan då liten eller ingen effekt på vårsädens avkastning (Bergkvist och Ohlander, 2001). Stenberg och Aronsson (1999) fann ingen skördesänkning med fånggröda. Genom ofta återkommande fånggrödor i växtföljden bevarar man mera kväve i marken, vilket på lång sikt troligen medför att kvävegödslingen kan minska något (Lövgren, 1989). På sandjord i Danmark fick man cirka 10 procent högre skörd med fånggrödor över en fyraårsperiod. På lerig sand var avkastningen oförändrad (Møller Hansen och Djurhuus, 1997b).

Bortfall av stubbkultivering på hösten, på grund av fånggröda, ökar möjligheterna för kvickrot att uppföras, vilket kan ge skördesänkning i följande grödor. Men en kraftig och väletablerad fånggröda kan delvis hålla tillbaka kvickroten. Det är dock troligt att ökad användning av fånggrödor leder till större behov av kemisk bekämpning av kvickrot (Stenberg och Aronsson, 1999).

Det är viktigt att undvika liggsäd som skulle skada fånggrödan. Samtidigt är det viktigt att fånggrödan inte växer upp i huvudgrödan så att skörden försvaras och torkningskostnaderna ökar (Lövgren, 1989).

I höstsäd kan fånggröda sås in före vårbruket. Risken är dock stor att fånggrödan etableras dåligt i höstsäden. Eftersom konkurrensen är svår i höstsäden bör utsädesmängden vara relativt hög eller 6–10 kg rajgräsrö per ha. Om fånggrödan i stället etableras redan på hösten hinner fånggrödan att bygga upp rotsystem och energireserver innan konkurrensen från höstsäden blir för hård. Men då kan insådden i stället orsaka en betydande skördesänkning i höstsäden (Bergkvist och Ohlander, 2001).

Med nuvarande miljöstöd på 900 kr/ha har fånggrödor god företagsekonomisk lönsamhet i synnerhet om arbets- och maskinkostnaderna är fasta. Utan miljöstöd uppkommer dock en förlust på upp till 500–750 kr/ha. Detta är också fånggrödornas samhällsekonomiska kostnad. Jordbruksverket (2000a) räknar med att fånggrödor minskar kväveutlakningen med i genomsnitt 6 kg/ha i Sydsverige. Den samhällsekonomiska kostnaden blir alltså cirka 100 kr/kg N. Denna kostnad kan jämföras med cirka 50 kr/kg N för utebliven höstbearbetning, våtmarker och permanent träda (Jordbruksverket, 2000a). Fånggröda är alltså ett relativt dyrt sätt att minska utlakningen.

Ekman (2002) har också funnit att permanent träda, eller beskogning, är att föredra framför fånggrödor ur samhällsekonomisk synpunkt för att minska läckaget. Hans slutsats är att stödet till fånggrödor och vårplöjning har en tvetydig effekt på utlakningen, eftersom de ökar incitamenten att odla spannmål i stället för att lägga marken i träda eller låta den ligga obrukad. Detta problem har delvis lösts genom att man avgränsat stödet till fånggrödor till län där problemen med kväveläckage är särskilt stora.

Kontrollerad dränering

Dränering av åkermark bidrar till en snabbare och jämnare upptorkning på våren, bättre markbärighet för maskiner och minskad risk för skadlig markpackning. Detta leder till bättre markstruktur och därigenom en bättre genomluftning och genomrotning av markprofilen. Under icke-odlingsäsong kan dock dräneringen begränsas om man därigenom kan vinna andra fördelar.

Reglerad dränering gör det möjligt att variera dräneringsintensiteten efter dränerings-

Tabell 8. Exempel på företagsekonomiska konsekvenser av att odla fånggröda i spannmål enligt egen sammanställning utifrån Lantmannen 3/2001 och 2/2002 samt SLU:s Databok. Kr/ha och år.

	<i>Arbete och maskiner fasta kostnader</i>	<i>Arbete och maskiner rörliga kostnader</i>
+ Ökade intäkter		
Miljöstöd	900	900
Bördighetsförbättring	> 0	> 0
+ Minskade kostnader		
Minskad N-gödsling på sikt	> 0	> 0
– Mindre intäkter		
Skördereduktion	250	250
– Ökade kostnader		
Utsäde	200	200
Sådd	0	≤ 250
Ökad torkningskostnad	50	50
= Lönsamhetsförändring, kr /ha	> 400	> 150

behovet. Genom att placera ståndarrör i brunnar på stamledningarna kan man reglera grundvattennivån i marken. Genom att minska dräneringsintensiteten under perioder då dräneringsbehovet är litet kan vatten sparas och senare utnyttjas av grödorna för ökad tillväxt. Avrinningen och därmed läckaget av bl.a. kväve reduceras därigenom. Av ekonomiska skäl bör fältens lutning vid reglerad dränering inte överstiga 1–2% eftersom större lutning innebär att behovet av reglerbrunnar ökar. Metoden lämpar sig på jordar med relativt hög hydraulisk konduktivitet där reaktionerna på ökat eller minskat dräneringsdjup är snabba (Joel et al., 2003).

Metoden har prövats i USA och Kanada med lovande resultat. I USA tillämpades metoden på 800 000 ha i början av 1990-talet (Evans et al., 1993). Kväveutlakningen har i amerikanska försök med kontrollerad dränering minskat med 45% (10 kg/ha). Det finns emellertid en risk att denitrifikationen ökar och därmed utsläppen av N_2O (Skaggs et al., 1994; Elmi et al., 2000). Men om N_2O avgången endast är 2% av den totala denitrifikationen, så blir den totala påverkan på atmosfären minimal (Kliwer och Gilliam, 1995). Om man beaktar att utlakat kväve förr eller senare denitrifieras, kan man anse att det är bättre att det sker direkt på åkern än att kvävet först orsakar övergödning av vattensystem.

I försök på läckagebenägen mark i Sydsvrige minskade kväveförlusterna genom dräneringssystemet med 20–30 kg/ha vid kontrollerad dränering. Samtidigt ökade skörden och skördens kväveinnehåll. Kväveutnyttjandet förbättrades alltså (Wesström et al., 2001; Wesström, 2002).

Havsmiljökommissionen (SOU 2003:72) gör bedömningen att reglerad dränering skulle kunna användas på cirka 100 000 ha åkermark i Sverige.

Den reglerbara dräneringen är förknippad med betydande investeringskostnader i form av reglerbrunnar. I Finland får lantbrukare miljöstöd för sådana investeringar (Jord- och

skogsbruksministeriet, 2000). Haataja (2000) har funnit att kontrollerad dränering är samhällsekonomiskt lönsam under finska förhållanden om både skördeeffekter och miljönytta beaktas. Hög kvävereduktion ($\geq 20\%$), lång avskrivningstid (≥ 20 år) och låg kalkylränta ($\leq 5\%$) bidrar till god samhällsekonomisk lönsamhet.

Åtgärder mot ammoniakförluster från stallar och gödsellager

Kvävet i färsk urin är bundet i urea som snabbt omvandlas till ammoniak. Ammoniakavdunstningen startar därför nästan omedelbart från färsk urin. Genom frekvent utgödsling och/eller spolning av spalt och golv kan ammoniakförlusterna i stallen minska kraftigt. Spolning leder dock till ökad flytgödselvolymer och därmed ökade lagringskostnader (Monteny, 1996).

Ammoniakavgången är proportionell mot den gödselbemängden ytan (Monteny, 1996). Genom att minska gödselytorna kan därför ammoniakförlusterna minska. De praktiska möjligheterna är dock begränsade eftersom golvytorna, av ekonomiska skäl, redan är begränsade så mycket det går inom ramen för vad som är möjligt enligt djurskyddsföreskrifterna (Jordbruksverket, 1999a).

I god stallmiljö vilar svin på boxens golv och gödslar på dess spaltgolv. Vid alltför hög stalltemperatur händer det dock att djuren vilar på spaltgolvet, för att svalka sig, och gödslar på det fasta golvet. Detta leder till större och under längre tid gödselbemängd yta och därmed ökad ammoniakavgång. Gott stallklimat kan därför minska ammoniakförlusterna (Monteny, 1996).

Ammoniakavgången blir lägre ju lägre temperatur gödseln har. Genom att i samband med om- eller nybyggnad gjuta in rör för dricksvatten i gödselrännornas botten kan man kyla gödseln och därmed minska emissionerna (Sannö et al., 2002). Vid nybyggnad

kan man minska de framtida ammoniakemissionerna till rimlig kostnad även genom att göra djupa (1,2 m) kulvertar under spaltgolv (Jordbruksverket, 1999a).

Ammoniak från fjäderfågödsel avgår mycket långsammare än ammoniak från svin- och nötgödsel. Orsaken är att kvävet i fjäderfågödseln är bundet i urinsyra som omvandlas till ammoniak långsammare än urea i däggdjurens urin. Om fjäderfågödseln torkas genom uppvärmning blir ammoniakbildningen obetydlig (Monteny, 1996). Gödseln kan torkas på mattorna under hönsburar. I slaktkycklingstallar kan ammoniakavgång motverkas genom torrt strömmaterial i tunt lager, uppvärmning av golvet, undvikande av vattenläckage och lägre stalltemperatur i slutet av uppfödningen. För fjäderfågödsel som inte torkas kan man motverka ammoniakförluster i stallet genom att gödsla ut så ofta som möjligt (Jordbruksverket, 1999a).

Luften från djurstallar kan renas från ammoniak i biofilter eller tvättaggregat. Kostnaden är dock hög (Jordbruksverket, 1999). Vid försök har man fått god reningseffekt i biofilter av träflis preparerad med ammoniakbindande bakteriekultur (Sannö et al., 2002).

Utan någon form av täckning blir ammoniakemissionen som andel av totalkvävet cirka 8% från flytgödselbehållare och 40% från urinbehållare. 90% av dessa förluster kan undgå om behållarna förses med tak eller flytande plastduk. Vid täckning med lättklinkerkulor blir reduktionen något mindre eller 70%. Givet dessa siffror, kapitalkostnaderna för de olika täckningarna och priset på mineralgödselkväve är det lönsamt att täcka urinbehållare med flytande plastduk och lättklinkerkulor medan taktäckning av urinbehållare går ungefär jämt ut. Täckning av flytgödselbehållare med någon av de tre nämnda metoderna är däremot klart olönsam på grund av den låga emissionen från flytgödsel även då täckning saknas (Karls-son, 1996). Svämtäcke eller 15 cm tjockt halm-lager kan minska ammoniakavgången under lagring av flytgödsel 80% (Sommer et al., 1993).

Bottenfyllning av behållare med svinflyt-gödsel har i försök minskat ammoniakavgången endast marginellt jämfört med toppfyllning. Bottenfyllning är dock en förutsättning för flera av täckningsalternativen (Karls-son, 1996).

Djurens proteinutfodring påverkar ammoniakförlusterna i hela kedjan stall – lager – spridning. Detta behandlas i följande avsnitt.

Anpassad proteinutfodring av mjölkkor

Djuren tillförs kväve via protein i fodret. En del av detta kväve återfinns i mjölk och kroppstillsväxt. Resten hamnar i träck och urin som dels faller på betet, dels blir stallgödsel som sprids på åkrar. Minskad proteinutfodring vid oförändrad produktion minskar alltså kväve-mängden i gödseln. Då ammoniakavgång och kväveläckage från stallgödsel är betydande (Jordbruksverket, 1999b) innebär mindre kväve i gödseln att kväveutsläppen minskar.

En undersökning från 1996 tyder på att man då på mjölkgårdar i vissa delar av Sverige hade en proteinutfodring 25–30% över den officiella rekommendationen. Eliminering av överutfodringen beräknades kunna minska kväveförlusterna från gödseln 30% på aktuella gårdar samtidigt som mjölkintäkt minus foderkostnad skulle öka (Spörndly, 1997).

Gustafsson (2001) jämför två proteinutfodringsnivåer till kor som mjölkar 8 500 kg per år. Den högre nivån motsvarar NRC:s norm. I den lägre är råproteinhalten sänkt 10 g per kg ts. Övergång från NRC:s norm (Amerikansk utfodringsnorm) till den lägre proteinnivån beräknas minska kvävemängden i träck och urin med 10%. Övergång till den lägre proteinnivån beräknas också förbättra lönsamheten i mjölkproduktionen (Gustafsson, 2001). Kor-nas behov av råprotein enligt den lägre proteinnivån samt proteininnehållet i några olika foderslag framgår av följande tabell.

Tabell 9. Behov av råprotein till mjölkkor vid lägre norm enligt Gustafsson (2001) samt proteininnehåll i några foderslag enligt Kornher (1982) och Andersson et al. (1991).

<i>Dag efter kalvning</i>	<i>g råprotein/kg ts behov</i>
0–50	170
51–150	150
151–230	140
231–310	130
311–365	110
<i>Foderslag</i>	<i>innehåll</i>
Gräsbete, 0 kg N/ha	130
Gräsbete, 100 kg N/ha	150
Gräsbete, 200 kg N/ha	170
Bete, ej förvuxet	170–210
Gräsvall skördad två gånger, 0 kg N/ha	100
Gräsvall skördad två gånger, 100 kg N/ha	100
Gräsvall skördad två gånger, 200 kg N/ha	125
Gräsvall skördad tre gånger, 200 kg N/ha	150
Rödklöver-gräsvall skördad tre gånger	170
Fodersäd	120
Halm	40

Vi ser att stora proteinöverskott kan uppkomma om sinkor får sitt huvudsakliga foder från kvävegödslade beten eller grovfoder som tillförts mycket kväve och som skördats tre gånger. Är vallen klöverrik kan proteinöverskottet bli stort även vid låg eller ingen kvävegödsling. Även för kor i senare delen av laktationen kan stora proteinöverskott uppkomma på bete och vid intensiv kvävegödsling. Komplettering med fodersäd och halm eller helsädsensilage gör det lättare att undgå proteinöverskott.

Högmjolkande kor måste ha ett foder som är rikt på bl.a. protein för att produktionen inte skall begränsas. Det föreligger betydande praktiska problem på många mjölkgårdar att ha proteinrikt bete och grovfoder till högmjolkarna samtidigt som man har bete och grovfoder med lägre proteinhalt till sinkor och kor i slutet av laktationsperioden. När det gäller grovfodret underlättas emellertid sådan uppdelning av rundbalsensilage. De är

svårare på gårdar med en ensilagesilo och en höskulle.

Även för ungnöt över 200 kg uppkommer stora proteinöverskott vid klöverrikt eller kraftigt kvävegödslat bete och vallfoder (Andersson et al., 1991; Kornher, 1982). Överskottet blir störst för rekryteringskvigor och stutar som inte skall växa lika snabbt som slakttjurar.

Erfarenheter från en nederländsk försöksgård visar att det är praktiskt mycket svårt att eliminera proteinöverskotten till sinkor och rekryteringskvigor. Man håller därför sinkorna inomhus även på sommaren för att kunna ersätta det proteinrika betet med bl.a. majsensilage. Trots detta överskrider sinkornas proteinbehov med närmare 40%. För ung djuren överskrider proteinbehovet med 180% under betesperioden och med drygt 30% under stallperioden. Det bör i sammanhanget påpekas att kvävegivorna till vallar är så höga som 250 kg N/ha och år på den aktuella gården även efter anpassningarna för att minska kväveförlusterna (Aarts et al., 2000 a och b). Höga markkostnader torde göra lägre kvävegivor och därmed lägre skördenivåer ekonomiskt orealistiska i bl.a. Nederländerna. Vid lägre skörd blir nämligen markkostnaden per kg foder alltför hög. Samma sak torde gälla, om ej i lika hög grad, mjölkgårdar i bättre svenska jordbruksbygder. Detta belyses mera i nästa avsnitt.

Låg kvävegödsling och större vallareal i områden med billig mark

I figur 4 visas exempel på produktionskostnaden för bete och ensilage vid olika markkostnader och kvävegödslingsnivåer. Markkostnaden förutsätts vara ersättning till marken i bästa alternativa användning, t.ex. spannmålsodling. Denna antas vara 2500 kr/ha och år på bättre mark i södra Sverige och 0 i på sämre mark i skogsbygder. Resultaten tyder

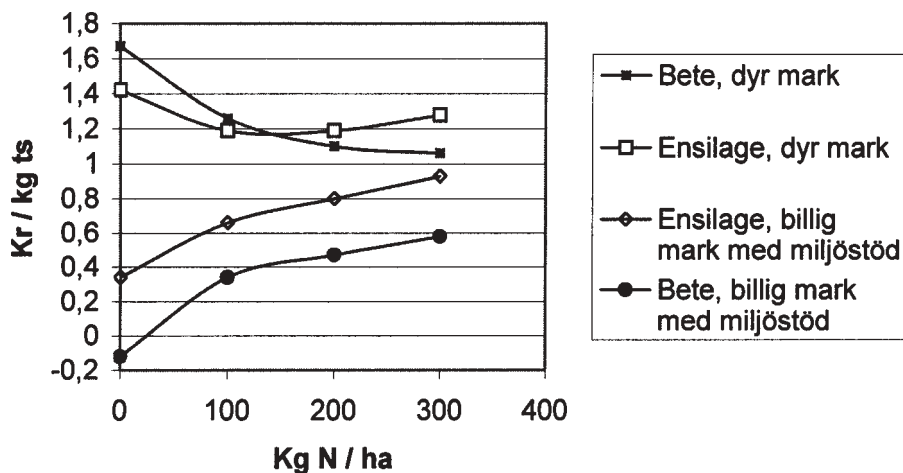
på att man på den bättre och dyrare marken kan sänka produktionskostnaderna genom gödsling upp till cirka 150 kg N/ha till ensilage och genom ännu högre givor till bete. På skogsbygdsåker utan lönsam alternativ användning är emellertid kostnaden både för ensilaget och för betet lägst utan kvävegödsling. Höga arealrelaterade stöd och bidrag är viktiga orsaker till detta. Dessa stöd och bidrag samt avsaknaden av alternativkostnad gör också att den företagsekonomiska produktionskostnaden för bete och ensilage är lägst i skogsbygden. Utifrån dessa resultat kan vi dra bl.a. följande slutsatser:

1. Mjölkgårdar i slättbygder med dyr mark kan kanske tjäna pengar på att låta skogsbygdsåker med billig mark föda upp sina rekryteringskvigor på svagt eller inte alls kvävegödsling och grovfoder. Kostnadsbesparingarna på betes- och grovfodersidan torde i många fall uppväga de djurtransport- och transaktionskostnader

som är förknippade med sådant samarbete. Mjolkproducentens byggnadsutrymme, foderodling och spridningsareal för gödsel räcker dessutom till för flera kor om man lämnar bort kvigor som avvanda kalvar och får tillbaka dem omedelbart före inkalvningen. Smittorisken gör att man bör begränsa samarbetet till ett fåtal besättningar med likartad hälsostatus. Exempel på samarbete som gagnat både mjolkproducenter och kviguppfoärdare redovisas av Kumm och Sigvardsson (1994).

2. På många slättbygdsåker med dyr mark är det troligen ingen större ekonomisk uppoffring att ställa in mjölkkorna tidigt på hösten och på så sätt ersätta bete som kostar t.ex. 1,10 kr/kg ts med en kombination av ensilage för t.ex. 1,20 kr/kg ts och egen fodersäd för 1,00 kr/kg. Flera studier visar att tidig installning minskar kväveförlusterna till miljön. Orsaken är att betet har liten tillväxt på hösten och därmed liten för-

Figur 4. Exempel på produktionskostnad för bete och ensilage på dyr slättbygdsåker (alternativkostnad 2 500 kr/ha och år) och billig skogsbygdsåker (alternativkostnad 0 kr/ha och år och miljöstödd). Bruttoavkastning vid olika gödslingsnivåer är beräknade utifrån Kornher (1982) för den dyrare marken. För den billigare marken antas avkastningen vara 20% lägre. Betesutnyttjandet antas vara 70% av bruttoavkastningen samt fält- och konserveringsförlusterna vid ensilageproduktion 15% av bruttoavkastningen. Skördekostnaderna för ensilage vid olika avkastningsnivåer är hämtade från Lillpers (1996).



måga att ta upp det urinkväve som betesdjuren lämnar under höstbetet (Aarts et al., 2000 a och b; Jarvis, 1993). Detta kväve kan återföras till lämplig åkergröda kommande vår i form av stallgödsel.

3. Nötköttproduktion har bäst ekonomiska förutsättningar i bygder med billig mark där man kan odla billigt bete och grovfoder utan kvävegödsling. Nötköttproduktion baserad på sådant bete och grovfoder ger också väsentligt lägre ammoniakförluster och kväveutlakning än produktion baserad på vallar som tillförs kväve via handelsgödsel eller biologisk fixering hos klöver. Se figur 5. Lokalisering av nötköttproduktion till skogsbygder med billig mark kan alltså minska både produktionskostnaderna och kväveförlusterna. Onödigt hög proteinhalt (och kvävehalt) i fodret är en viktig orsak till att kraftig kvävegödsling eller hög klöverhalt leder till större kväveförluster.

Fasutfodring och rena aminosyror till svin

Slaktsvinens proteinbehov minskar när de blir äldre och tyngre under uppfödningens gång. Trots detta använder vissa uppfödare samma foder under hela slaktsvinsstadiet. Detta leder till en onödigt hög kvävehalt i gödseln under senare delen av uppfödningen.

Fasutfodring innebär att man byter foder under uppfödningens gång. Vid tvåfasutfodring har man en foderblandning i början av uppfödningen och en annan i slutet. Vid multifasutfodring byter man foder oftare, t.ex. en gång i veckan. Det senare alternativet sänker naturligtvis gödselns kväveinnehåll mera än tvåfasutfodring. Multifasutfodringen kan åstadkommas genom att man har två foderblandningar med t.ex. 17 och 13% protein. I början av uppfödningen använder man endast den första blandningen. Under uppfödningens gång ökar man successivt andelen av den

senare blandningen så att den till slut utgör 100%. Multifasutfodring kan också åstadkommas genom att man blandar egen fodersädd med proteinkoncentrat varvid fodersäddandelen successivt ökar under uppfödningens gång.

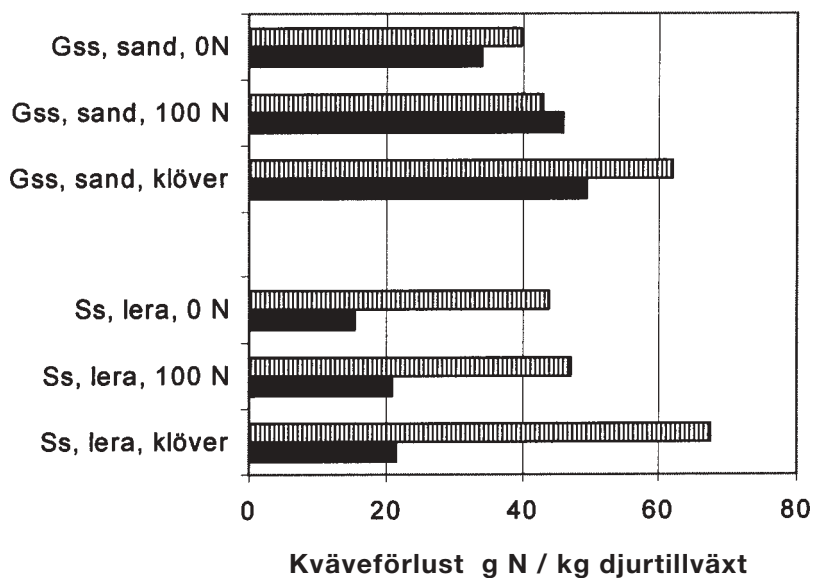
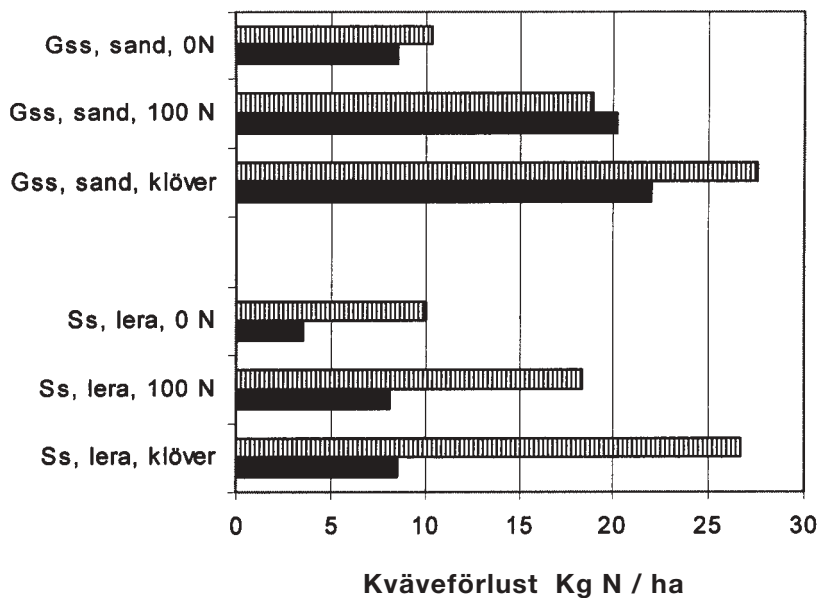
Byte till foder med lägre proteinhalt en gång per vecka har beräknats kunna minska slaktsvinens kväveutsöndring med upp till 50% jämfört med utfodring med ett enda foder under hela uppfödningen (Lenis och Jongbloed, 1999; Paik et al., 1996).

Också modersuggornas proteinbehov varierar under produktionscykeln. Det är högt under digivningen, men väsentligt lägre under sinperioden. Sänkning av proteinhalten under sinperioden kan minska kväveinnehållet i suggornas gödsel med 20% under en produktionscykel (Lenis och Jongbloed, 1999; Paik et al., 1996).

Djuren måste få tillräckliga mängder av alla aminosyror för att tillväxten inte skall begränsas. Spannmål är fattig på vissa viktiga aminosyror men relativt rik på andra. Om man kompletterar spannmål med proteinrika fodermedel så som sojamjöl upp till den nivå att alla aminosyror förekommer i tillräcklig mängd uppstår överskott på andra aminosyror. Dessa överskott kan djuren endast utnyttja som energikälla varvid kvävet förloras i urinen. Genom att komplettera fodret med begränsande aminosyror i ren form kan man hålla en lägre proteinhalt under hela uppfödningen utan att det blir brist på någon aminosyra och därmed lägre produktion. Tillsats av rena aminosyror är en förutsättning för en protein-snål fasutfodring. För varje procentenhet proteinhalten minskar så sjunker kväveutsöndringen via träck och urin 8–10%. (Lenis och Jongbloed, 1999; Paik et al., 1996).

Göransson (2002) räknar med att man i svensk svinproduktion skulle kunna sänka kväveinnehållet i gödseln med minst 30–40% genom fasutfodring, sänkt proteinhalt i kombination med tillsats av rena aminosyror och effektivare foderutnyttjande. Svinens hälsa

Figur 5. Exempel på ammoniakavgång och nitratutlakning i dikobaserad nötköttsproduktion på sandjord i nederbördsrika delar av Götalands södra slättbygder och på lerjord i Svealands slättbygder. Gödseln sprids på den areal där fodret odlas. 0 N och 100 N innebär att ingen respektive 100 kg/ha mineralgödselkväve används till vallar och beten. Klöver innebär klöverrika vallar som ej tillförs mineralgödselkväve. Övre delfiguren visar kväveförlusterna per ha och nedre delfiguren per kg djurtillväxt.



Källa: Kumm 2003 b.

tycks också förbättras vid sparsammare proteinutfodring. Detta visar sig i färre mag-tarm störningar och lungskador (Sveriges Svincenter).

Även i ägg- och slaktkycklingproduktionen finns goda möjligheter att minska proteinintaget och därmed kväveinnehållet i gödseln med hjälp av rena aminosyror och fasutfodring. Fasutfodring inom äggproduktionen innebär att man sänker proteinhalten när hönorna blir äldre och värper mindre. Inom slaktkycklingproduktionen innebär det att proteinhalten sänks under uppfödningens gång när djuren blir tyngre (Ferguson et al., 1998; Keshavarz och Jackson, 1992).

Lägre proteinhalt i fodret leder till att djuren dricker mindre. Detta leder i sin tur till att urin- och därmed flytgodselmängden minskar. Slaktsvinens vattenkonsumtion kan minska 20% och gödselns torrsubstanshalt öka 30% vid övergång från en proteinrik till en proteinsnål foderstat (Lenis och Jongbloed, 1999). Torrsubstanshalten i gödseln ökar ungefär lika mycket som kvävemängden minskar varför kvävekoncentrationen i flytgodseln förblir ungefär oförändrad. Den ökade torrsubstanshalten innebär att koncentrationen av andra växtnäringssämnen än kväve ökar i gödseln. Mindre flytgodselvolym innebär lägre lagrings- och spridningskostnader. Det ekonomiska nettovärdet av gödseln antas bli oförändrat i den företagsekonomiska jämförelse mellan olika proteinutfodringsalternativ som presenteras nedan.

I tabell 10 ges exempel på en företagsekonomisk jämförelse mellan enhetsfoder och fasutfodring. Enhetsfodret innefattar en foderblandning till suggorna hela produktionscykeln, en till smågrisarna och en till slaktsvinen under hela uppfödningen. Enhetsfodret köps färdigblandat. Fasutfodringsalternativet bygger på hemmaberedning av egen fodersäd och inköpt koncentrat.

Exemplet antyder att multifasutfodring med egen fodersäd plus inköpt koncentrat är ekonomiskt fördelaktigt på en svingård som

förbrukar 500 ton foder och odlar cirka 100 ha fodersäd med hektarskörden 4 000 kg. På gårdar med större foderförbrukning och fodersädsareal blir foderberedningskostnaden per kg lägre samtidigt som mängdrabatterna på koncentratet ökar varför multifasalternativet med egen fodersäd ökar sin konkurrenskraft. Å andra sidan försämras lönsamheten vid mindre foder mängder och mindre egen fodersäd. Om den egna foderblandningen görs med låg precision och detta resulterar i försämrad djurtillväxt och/eller ökad foderförbrukning kan lönsamheten försämras väsentligt. Det torde vara väsentligt lättare att uppnå hög precision i större anläggningar än i mindre där man av kostnadsskäl tvingas ha enklare utrustning.

I takt med att svinföretagen blir allt större väljer danska svinuppfödare i allt större omfattning att blanda eget foder utifrån egen fodersäd i stället för att köpa färdigblandat foder (MaskinBladet Online 22 Juli 2002).

Serogrisproduktion (SPF-produktion)

Serogrisproduktion innebär att man föder upp grisar som är fria från ett antal definierade smittämnen. En annan benämning för denna produktion är Specifik Patogen Fri produktion (SPF-produktion). Friskare grisar och därmed kortare uppfödningstid och effektivare foderutnyttjande gör att det blir mindre gödsel per producerad gris. Serogrisar ges som exempel på de mera generella möjligheterna att förbättra kväveutnyttjandet genom friska högproducerande djur.

Före insättning av Serogrisar skall nybyggda stallar foggas med lämpligt desinfektionsmedel. Äldre stallar skall dessutom helt tömmas på djur under minst fyra veckor och skuras noggrant. För att skydda SPF-besättningarna från smitta skall avståndet till närmaste konventionella besättning vara minst 900 meter. Produktionsformen passar därför bäst i inte

Tabell 10. Exempel på förändring av intäkter och kostnader vid övergång från inköpt enhetsfoder till multifasutfodring baserad på egen fodersäd och inköpt koncentrat. Kalkylen avser en besättning som förbrukar 500 ton foder per år, vilket motsvarar cirka 75 suggor i integrerad produktion. I beräkningarna har mängdrabatter vid de olika kvantiteterna inköpt foder beaktats. Dessa rabatter blir större vid inköp av 500 ton färdigfoder än knappt 100 ton koncentrat av olika slag. Prisuppgifter för inköpt foder och kostnader för lagring av fodersäd har erhållits av Sven-Erik Vägermark, ODAL Enköping. Övriga uppgifter är hämtade från i SLU:s Databok för driftsplanering och områdeskalkyler. 2001 års priser.

+ Ökade intäkter		0
+ Minskade kostnader		
Enhetsfoder till suggor	96 000*1,61 =	154 560
Enhetsfoder till smågrisar	44 000*2,18 =	95 920
Enhetsfoder till slaktsvin	360 000*1,69 =	608 400
Transport av fodersäd	404 200*0,03 =	12 130
- Minskade intäkter		
Försäljning av fodersäd	404 200*0,90 =	363 780
- Ökade kostnader		
Lagring av fodersäd	404 200*0,05 =	20 210
Ränta på fodersäd	404 200*0,04 =	16 170
Koncentrat till digivande suggor	8 600*3,07 =	26 400
Koncentrat till sinsuggor	8 000*2,61 =	20 880
Koncentrat till smågrisar	9 000*5,50 =	49 500
Koncentrat yngre slaktsvin	29 700*3,20 =	95 040
Koncentrat äldre slaktsvin	40 500*3,20 =	129 600
Foderberedning ¹	500 000*0,164 =	82 000
= Lönsamhetsförändring, kr/år		+ 67 430

¹ Vid 500 ton årlig foderberedning är kostnaden för kapital, underhåll, energi, arbete och övrigt 0,164 kr/kg. Anläggningen är helautomatiskt styrd och innefattar bl.a. påmatningsskruv för råvaror till vågficka, kvarn, satsblandare och flera silos för koncentrat och färdigfoder. Vid mindre årlig foderberedning ökar kostnaden per kg till 0,269 kr vid 200 ton och 0,445 kr vid 100 ton (SLU:s Databok för driftsplanering).

alltför svintäta områden. Rigorösa bestämmelser gäller för skyddskläder och inslussning av personal i stallar med serogrisar. Samma sak gäller foderleveranser och utlastning av slaktdjur för att förhindra att smitta kommer in via lastbilar som besökt andra svinbesättningar. Strikta regler gäller också för viloperioder för strömedel innan det används och bekämpning av skadedjur för att förhindra smittämnen att nå besättningen. Serogrisproduktion skall vara hel- eller externintegrerad (Vallgård och Wallgren, 1998).

Det bättre hälsotillståndet i serobesättningar gör att man kan räkna med flera avvanda smågrisar per sugga och år än i konventionella besättningar. Snabbare tillväxt och flera avvanda smågrisar per sugga gör att foderförbrukningen från födelse till slakt be-

räknas vara cirka 30 kg lägre i sero än i konventionell produktion. Avräkningspriset per slaktsvin blir något högre tack vare färre slaktanmärkningar och något högre köttprocent hos serogrisarna. Täckningsbidraget per sugga och år i integrerad produktion kan bli drygt 2 000 kr högre i serobesättningar än i konventionella besättningar (Vallgård och Wallgren, 1998).

Mot 2 000 kr högre täckningsbidrag per sugga och år skall ställas ökade kostnader för byggnadsinvesteringar, rengöring, annat merarbete och inköp av avelsdjur. Enligt en sydsvensk gård som ställt om från konventionell svinproduktion till serogrisproduktion var rengörings-, desinfektion- och byggnadskostnader vid övergången cirka 2 000 kr per sugga, vilket motsvarar 200–300 kr per år. I den

löpande produktionen uppkommer merkostnader vid transport av slaktdjur till omlastningsstallet där slakteribilen hämtar dem. Brukaren betonar vikten av att vara alert vid brunstkontroll och seminering så att dräktighetsresultatet blir bra då man i serobesättningar inte kan ersätta icke dräktiga suggor med inköpta livdjur på samma sätt som i konventionella besättningar.

I den nämnda besättningen minskade mängden gödsel per producerad gris med 20% när man övergick till seroproduktion (Wallgren, 2000).

Animalieproduktionens lokalisering

Figur 1 tidigare i rapporten visar att kväveutlakningen är väsentligt mindre från animalieproduktion på lerjordar i Mellansverige än på sandjordar i nederbördsrika delar av Sydsvetige. I Mellansverige finns många djurlösa lerjordsgårdar som nu odlar fodersäd som transporteras till djurtäta regioner inom och utom landet. I Svealands slättbygder finns t.ex. endast 0,5 svin per ha åker trots att växtodlingen i området är starkt inriktad på fodersädsodling. I Götalands södra slättbygder, Danmark och Nederländerna är svintätheten 1,5, 4,4 respektive 6,7 per ha åker (Egna beräkningar utifrån Jordbruksstatistisk årsbok, 2000). Danmark och Nederländerna har dessutom hög koncentration även av andra djurslag. Dessa länder har också milda höstar och vintrar samt i betydande utsträckning lättare jordar där utlakningen kan bli stor särskilt vid så stor djurtäthet att man tvingas ge överoptimala stallgödselgivor. Fodernål och kväveeffektiv serogrisproduktion har också, på grund av större risk för återinfektering, sämre förutsättningar i svintäta regioner och länder än i Mellansverige.

Europeisk animalieproduktion skulle ge mindre kväveutlakning om en del av produktionen överfördes från djurtäta regioner med

lätta jordar och mildt fuktigt klimat till nu djurlösa spannmålgårdar på lerjord i bl.a. inre Mellansverige. Många av dessa mellansvenska gårdar ligger dessutom längre från eutrofieringskänsliga havsområden än svingårdar söder ut och kväveläckage gör större miljöskada om det sker i kustområden än om det sker inne i landet. I det senare fallet avlägsnas nämligen en stor del av kvävet genom retention i vattendrag, sjöar och våtmarker innan det når havet (Ambio nr 6 1994). Retentionen från källa till hav är 0–10% i många sydsvenska kustområden, 40–60% i Mälardalen och 80–100% i stora delar av centrala Götaland och Svealand (Arheimer och Brandt 1998). Olika havsområdets känslighet måste också beaktas när man bedömer miljökonsekvenserna av animalieproduktion på olika ställen. I Östersjön måste kvävebelastningen minska betydligt medan havsområdena norr om Norrtälje knappast är känsliga för kväve (SOU 2003:72). Naturvårdsverkets (1997) framtidsstudie visade att det inte är lika angeläget ur miljösynpunkt att minska kväveutsläppen från jordbruket i mellersta och norra Sverige som i de sydsvenska slättbygdena.

I Mellansverige är dessutom djurstallar och åkrar i stor utsträckning omgivna av skog samtidigt som odlingsintensiteten är relativt låg. Detta minskar ammoniakutsläppens negativa effekter. En stor del av den ammoniak som avgår från gödseln faller nämligen ner och tas upp av vegetation i närområdet, särskilt om denna består av skog. Däremot är det lokala upptaget mindre i utpräglade slättbygdsregioner med intensivt kvävegödslade grödor (Ashman 1998; Sutton et al. 1998). Kvävenedfallet kan öka virkesproduktionen i områden med kvävebrist (Eriksson och Johansson 1993), vilket är normalfallet i nordliga skogar (Tamm 1991). Däremot visar studier från Nederländerna att kvävenedfall skadar skogen i områden som redan har hög kvävedeposition (Boxman, 1998).

I ett europeiskt miljöperspektiv kanske det inte finns för mycket djur i Sydsvetige, men

för lite längre norr ut och alldeles för mycket i vissa länder och regioner söder ut. Mellansvenska spannmålgårdar, som nu drivs utan djur och därför säljer fodersäd och köper all växtnäring via mineralgödsel, borde också kunna producera fläsk billigare än gårdar som köper fodersäden och har problem med göd-selöverskott.

En sugga plus hennes slaktsvin producerar cirka 25 m³ flytgödsel per år. Denna gödsel kan ersätta cirka 60 kg N, 30 kg P och 40 kg K i mineralgödsel under spridningsåret (Jordbruksverket, 2001a och b). Värdet härav är cirka 900 kr, eller 800 kr på en lerjordsgård med litet behov av K. Därtill kommer värdena av långsiktig kväveeffekt (Figur 3) och andra växtnäringssämnen och organisk substans, vilka kan vara betydande på tidigare djurlösa gårdar. Däremot är gödselns marginalvärde obetydligt eller rent av negativt i djurtäta regioner och länder. Många gårdar i Danmark har så stor djurtäthet att de måste avyttra en del av gödseln på andra gårdar för att uppfylla miljölagstiftningens krav på tillräcklig spridningsareal. I regioner med generellt hög djurtäthet betalar den mottagande gården i allmänhet inte något för gödseln och djurhållaren måste dessutom betala transport och spridningskostnaden (Jacobsen et al., 2002a och b). Det nederländska svinföretag som beskrevs i avsnittet om flytgödseparering har en nettokostnad på 100 kr per m³ för att bli av med gödseln. Innan man började separera gödseln var kostnaden ännu högre.

En gård som baserar sin svinproduktion på egen fodersäd kan också spara foderkostnader jämfört med svinföretag som köper fodersäd och sålunda belastas med transportkostnader och handelsmarginaler. Skillnaden kan bli minst 0,10 kr/kg eller drygt 500 kr per sugga plus hennes slaktsvin.

Figur 1 tidigare i rapporten har visat att kväveläckaget är minst 10 g lägre per kg djurtillväxt i svinproduktion på lerjord i Mellansverige än på sandjord i sydvästra Sverige. Alternativkostnaden för andra åtgärder för

att minska kväveläckaget är cirka 50 kr/kg N (Jordbruksverket, 2000a). Vid denna värdering motsvarar 10 g N 0,50 kr. Per sugga plus hennes slaktsvin blir det cirka 1 200 kr/år. Vid de höga gödselgivar som kan förekomma på djurtäta gårdar utanför Sverige kan utlakningen bli ännu högre varvid den miljömässiga fördelen av produktion på mellansvenska lerjordar blir ännu större. Därtill är, som ovan påtalats, miljöskadorna per enhet kväveutsläpp mindre i Mellansverige än i havsnära slättområden med intensivt jordbruk och stort kvävenedfall söder ut.

Tabell 11. Räkneexempel som illustrerar fördelar av att starta svinproduktionen på nu djurlösa spannmålgårdar på lerjord i inre Mellansverige i stället för att utöka produktionen i redan djurtäta regioner med sandjord, milda vintrar och hög nederbörd. Sammanfattning av ovanstående analys.

	<i>Kr per sugga och år i integrerad produktion</i>
Ökat värde av gödsel	≥ 800
Billigare fodersäd	≥ 500
Bättre möjligheter till serogrisproduktion	≥ 0
Mindre kväveläckage	≥ 1200

Tabellen antyder att det bör finnas goda möjligheter att förena lönsamhet och miljöfördelar genom att öka svinproduktionen på mellansvenska spannmålgårdar i stället för i vissa redan djurtäta regioner. Motsvarande torde gälla på fjäderfäsidan.

De svenska djurtäthetsbestämmelserna utgår från att fosfortillförseln inte skall överstiga 22 kg P per ha spridningsareal och år. Denna gödselmängd i form av flytgödsel ger en omedelbar kväveverkan på cirka 50 kg N vid vårspridning (Jordbruksverket, 2001b). Sprids stallgödsel endast på halva den tillgängliga arealen varje enskilt år så blir kväveverkan cirka 100 kg N när den sprids. Detta motsvarar gott och väl det totala kvävebehovet för många grödor (Jordbruksverket,

2001b). Effekten av stallgödsel varierar emellertid med årsmånen och det är dessutom svårt att sprida stallgödsel jämnt. För att undvika stora skördevariationer och oönskad miljöpåverkan bör därför stallgödselgivan begränsas till 50–70% av beräknat kvävebehov (Albertsson, 1995). Slutsatsen blir att en djurtäthet som motsvarar 22 kg P per ha lätt leder till alltför höga kvävegivor. Dessutom är 22 kg P per ha väsentligt över de vanligaste grödornas behov på marker med gott fosfortillstånd, vilket ofta är fallet på gårdar som länge haft stor djurtäthet.

En grundgiva av stallgödsel som motsvarar 50–70 % av kvävebehovet kompletterad med en behovsanpassad giva av mineralgödselkväve under vegetationsperioden leder till bättre växtnäringsutnyttjande än större stallgödselgivor. En sådan strategi förutsätter en måttlig djurtäthet.

Några jämförelser mellan konventionellt och ekologiskt jordbruk

Industriellt framställd lättlöslig mineralgödsel har en avgörande betydelse i det konventionella jordbrukets kväveförsörjning, medan det ekologiska jordbruket inte använder denna kvävekälla. Detta kan till viss del kompenseras med bl.a. odling av kvävesamlande baljväxter och gott stallgödselutnyttjande. Även med sådana åtgärder blir dock de ekologiska skördarna i allmänhet väsentligt lägre än de konventionella. I skånska försök var så t.ex. de ekologiska spannmålsskördarna endast två tredjedelar av de konventionella i kreaturshållande system. I ett kreaturslöst system var skördeskillnaderna ännu större. När det gäller vall var skillnaderna mellan ekologisk och konventionell produktion mindre (Gunnarsson 1999 a och b). I norrländska försök med kreatursdrift och två tredjedelar vall och grönfoder i växtföljden var de ekologiska skördarna minst lika höga som de konven-

tionella (SLU Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap, 2000). Ekologiskt jordbruk tycks alltså ha komparativa fördelar i kreaturshållande system med vall medan dess skördenivåer är låga i spannmålsodling i synnerhet om den drivs utan djurhållning.

Avdelningen för vattenvårdslära vid SLU har på uppdrag av Jordbruksverket utrett om övergång till ekologisk produktion kan minska kväveläckaget (Torstensson et al., 2000). Man sammanfattar resultaten i bl.a. följande punkter:

- Det har inte gått att påvisa att en utökad ekologisk odling skulle bidra med någon säkerställd minskning av kväveutlakningen utöver vad som kan åstadkommas med relativt små förändringar inom den konventionella odlingen.
- Uttryckt som kilo utlakat kväve per hektar blev den genomsnittligt beräknade kväveutlakningen i flertalet fall något lägre i de ekologiska odlingssystemen, men skillnaden är osäker. Små förändringar i endera odlingssystemet kan kasta om förhållandet.
- Den beräknade utlakningen uttryckt per kilo skördat kväve (per producerad enhet) var högre i de ekologiska odlingssystemen.
- På lätta jordar klarar inget av de studerade odlingssystemen att uppfylla EU-haltmålet på högst 10 mg N/l i avrinnande vatten.

Klövervallar och ärter är viktiga för det ekologiska jordbrukets kväveförsörjning genom sin biologiska kvävefixering. Det biologiskt fixerade kvävet kommer också i större eller mindre utsträckning efterföljande grödor tillgodo. Det är stor risk att en del av det kväve, som finns efter en baljväxtgröda, förloras till miljön innan kommande grödor kan tillgoda sig det. Mineralgödsel kan däremot tillföras grödan i rätt tidpunkt och i rätt mängd, vilket talar för att konventionellt jordbruk ger lägre utlakning. Dessutom är proteinhalten i klöverrikt vallfoder ofta mycket hög, vilket bidrar till hög kvävehalt i gödseln och där-

med ökad risk för kväveläckage och ammoniakförluster. Kväveförlusterna från nötköttsproduktion blir därför högre om den baseras på klövervallar än om den baseras på vallar som tillförs måttliga mängder mineralgödselkväve. Se figur 5 tidigare i rapporten. Ekologiskt jordbruk använder heller inte syntetiska aminosyror, vilket minskar möjligheterna till proteinsnål precisionsutfodring av svin och fjäderfä med små kväveutsläpp. Se avsnittet om fasutfodring och rena aminosyror.

En framtidsstudie från Naturvårdsverkets (1997) antyder att de totala kväveförlusterna bleve väsentligt större om det svenska livsmedelsbehovet skulle tillgodoses genom ett framtida ekologiskt jordbruk än genom konventionellt precisionsjordbruk. Mindre behov av odlad areal för att förse den svenska marknaden med livsmedel i det senare alternativet gör att den totala kväveutlakningen blir lägre. Färre nötkreatur liksom precisionsutfodring av protein bidrar också till lägre kväveförluster i framtidsvisionen för det konventionella jordbruket.

Referenser

- Aarts, F., Habekotté, B. och van Keulen, H. 2000a. Managing nitrogen in dairy farming systems. In: Nitrogen efficiency in practical agriculture – fundamental processes and how to control them. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 139:8, sid 89–101.
- Aarts, H. F. M., Habekotté, B. och van Keulen, H., 2000b. Nitrogen (N) management in the “De Marke” dairy farming system. Nutrient cycling in agroecosystems 56: 231–240.
- Addiscott, T. M., Whitmore, A. P. och Powlson D. S., 1991. Farming, fertilizers and the nitrate problem. C. A. B. International. Wallingford.
- Albertsson, B., 1995. Tappa inte kvävet i stallgödseln. Växtpressen februari 1995.
- Albertsson, B., 2003. Utlakning vid användning av N-sensor. PM 2003-03-31.
- Algerbo, P.-A., Thylén, L. och Mattsson, L., 2000. Mineralkvävevariationer inom fält. JTI-rapport Lantbruk och Industri nr 275. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Ambio, 1994. Special issue about wetlands and lakes as nitrogen traps. 23: 319–386.
- Anderson, A., 1999. Delad kvävegiva höjer skörden. Växtpressen, september 1999.
- Anderson, A. och Kudsk, T., 2001. Ett bra år för Hydro N-Sensor. Växtpressen mars 2001.
- Andersson, I., Christensen, S., Eriksson, J.-Å., Gustafsson, B., Hökås, G., Johnsson, S., Karlsson, R., Lindell, L., Martinsson, K., Norrman, E., Swensson, T. and Törnquist, M.: 1991. Nötkött – avel och uppfödning. LT:s förlag, Stockholm.
- Andrén, O., Lindberg, T., Paustian, K. och Rosswall, T., 1989. Ecology of arable land – organism, carbon and nitrogen cycling. Ecological Bulletins No. 40.
- Arheimer, B. och Brandt, M., 1998. Modelling nitrogen transport and retention in the catchments of southern Sweden. Ambio 27: 471–480.
- Arvidsson, J., 1991. Jordpackning – risk för miljön och dåligt växtnäringssutnyttjande. Växtpressen november 1991.
- Ashman, W. A. H., 1998. Factors influencing local dry deposition of gases with special reference to ammonia. Atmospheric Environment Vol. 32, No. 3, 415–421.
- Bakken L. R., Børresen, T. och Njøs, A., 1987. Effect of soil compaction by tractor traffic on soil structure, denitrification, and yield of wheat. Journal of Soil Science 38: 541–552.
- Bergkvist, G. och Ohlander, L., 2001. Tidig insådd ger bra fånggrödor. Fakta Jordbruk nr 19 2001. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala.
- Bergström, L. och Brink, N., 1986. Effects of differentiated applications of fertiliser N on

- leaching losses and distribution of inorganic N in the soil. *Plant Soil* 93: 333-345.
- Bertilsson, G., 1988. Anpassad kvävegödsling – bäst för ekonomi och miljö. *Växtpressen* januari 1988.
- Bertilsson, G., 1989. Nitrogen transformations and nitrogen balances in Scandinavian soils. *Fert Soc, Proc* No 287.
- Bertilsson, G., 1996. Kompletteringsgödsling med kväve som princip. *Växtpressen* maj 1996.
- Boxman A. W., 1998. Ecosystem recovery after decrease in nitrogen input to a Scots pine stand at Ysselsteyn, the Netherlands. *Forest Ecology and Management* 101(1-3): 155-163.
- Brady, N. C., 1984. *The Nature and Properties of Soils*. Macmillan Publishing Company, New York.
- Brady, M., 2002. Fånggrödor eller mindre odlingsareal – ekonomiska styrmedel för minskat kväveläckage. Ingår i *Jordbruk, ekonomi och miljö*, sid 32-39. SLU Kontakt 15. Uppsala.
- Bussink, D. W., 1994. Relationship between ammonia volatilization and nitrogen fertilizer application rate, intake and excretion of herbage nitrogen by cattle on grazed swards. *Fertilizer Research* 38:111-121.
- Byström, O., 1998. Wetlands as a nitrogen sink – Estimation of costs in the Laholm Bay. In: *Topics in environmental economics*. (eds. Boman, M., Brännlund, R., and Kriström, B.), Klüwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Carlsson, H., Larsson, K. och Linnér, H., 1996. Växtnäringsstyrning i potatis. SLU, Avd för hydroteknik, avdelningsmeddelande 3.
- Christersson, L., 1998. Deciduous tree species for energy, fibre and purification of wastewater. In: *Perttu, K. & Obarska-Pempkowiak, H., 1998. Sewage treatment by means of pine, willow, reed, and grass vegetation filters*. Report 61, Department of Short Rotation Forestry. Swedish University of Agricultural Sciences. pp 23-36.
- Clarholm, M., 2002. Nya grepp på kväveläckaget i det 21 århundradet. Material presenterat vid seminarium vid Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien 2002-05-21.
- Corré, W. J., Conjin, J. G. & Aarts, H.F.M. 2001. Nitrogen mineralisation in permanent grassland and grass-maize rotations. 11th Nitrogen Workshop, 9-12 September 2001, Reims. France. Book of Abstracts, p 59-60. INRA. Reims.
- Danmarks Miljøundersøgelser och Danmarks Jordbrugsforskning, 2002. *Jordbrug & Miljø 2. Vandmiljøplan II – baggrund og udvikling*.
- Dansk Biogas A/S. www.dkbiogas.com
- Dilz, K., Postmus, J. och Prins, W. H., 1990. Residual effect of long-term applications of farmyard manure to silage maize. *Fertilizer Research* 26: 249-252.
- ECETOC (European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals), 1994. Ammonia emissions to air in Western Europe. Technical report 62. Brussels.
- Ekman, S., 2002. Bondens beslut påverkar kväveutlakningen. Ingår i *Jordbruk, ekonomi och miljö*, sid 21-31. SLU Kontakt 15. Uppsala.
- Elmi, A. A., Madramootoo, C. och Hamel, C., 2000. Influence of water table and nitrogen management on residual soil NO₃- and denitrification rate under corn production in sandy loam in Quebec. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 79: 187-197.
- Elmqvist, H., Malgeryd, J., Malm, P. och Rammer, C., 1996. Flytgödsel till vall – Ammoniakförluster, växtnäringsutnyttjande, avkastning och foderkvalitet. JTI-rapport Lantbruk & Industri nr 220. Jordbrukstekniska Institutet, Uppsala.
- Elowson, S., 1999. Willow as a vegetation filter for cleaning of polluted drainage water from agriculture land. *Biomass and Bioenergy* 16: 281-290.
- Emanuelsson, M., 2001. Personlig information från Margareta Emanuelsson, Svensk Mjöl AB.

- Engström, L., och Gruvaeus, I., 1998. Ekonomisk optimal kvävegödsling till höstvetete, analys av 160 försök från 1980 till 1997, Serie B Mark och växter, rapport 3. Institutionen för jordbruksvetenskap Skara. SLU.
- Ericsson, J., 1969. Vilken betydelse har ammoniumfixeringen i våra jordar? Växt – Närings – Nytt nr 3 1969.
- Ericsson, J., 1988. Kväve och kvävegödsling. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 373.
- Eriksson, H. och Johansson, U., 1993. Yields of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in two consecutive rotations in southwest Sweden. *Plant and Soil* 154: 239–247.
- Eriksson, L., 1991. Ekonomin vid åkermarksbeskogning. Institutionen för Skog-Industri-Marknad-Studier, rapport 17. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala, Sweden.
- Evans, R.O., Skaggs, W. R. och Gillham, W. J., 1993. Controlled versus conventional drainage effects on water quality. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 121:271–276.
- Ferguson, N. S., Gates, R. S., Taraba, J. L., Cantor, A. H., Pescatore, A. J., Straw, M. L., Ford, M. J. och Burnham, D. J., 1998. The effect of dietary protein and phosphorus on ammonia concentration and litter composition in broilers. *Poultry Science* 77:1085–1093.
- Frostgård, G., 2002. Mineralgödselns fysikaliska kvalitet viktig för avkastningen. Växtpressen oktober 2002.
- Funki Manura A/S. www.funki-manura.com
- Gill, K., Jarvis, S.C. och Hatch, D.J. 1995. Mineralization of nitrogen in long-term pasture soils: effects of management. *Plant Soil* 172:153–162.
- Gruvaeus, I., 1994. Olika kvävegödselmedel ger olika optimal kvävegiva. Växtpressen februari 1994.
- Gunnarsson, A., 1999, a. Försök med olika odlingsformer. Skördar och kvalitet m.m. 1998 inkl. Resultat från tidigare försöksår. Kristianstads läns Hushållningssällskap.
- Gunnarsson, A., 1999, b. Uthållig odling? – erfarenheter från 12 års försök. Konferensrapport, Ekologiskt lantbruk, Alnarp 8–10 november 1999. Centrum för hålligt lantbruk. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Gustafsson, A. H., 2001. Högre kväveeffektivitet i mjölkproduktionen genom ändrad utfodring – vad är möjligt att uppnå. Svensk Mjölk Forskning.
- Göransson, L., 2002. Utfodring av grisar – med fokus på miljön. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 141(4): 41–42.
- Haataja, K., 2000. Säättösalaojituksen ja salaojakastelun kustannukset ja hyödyt (costs and benefits of controlled drainage and subirrigation). *Agricultural Economics Research Institute. Working paper* 5/2000. Helsinki.
- Hallgard, C., 1999. Kontrollerad jämn eller ojämn spridning – en målsättning. Växtpressen maj 1999.
- Halmø, S., 2001. Kalksalpetermätaren – ett lönsamt hjälpmedel. Växtpressen mars 2001.
- Halmø, S., 2002. Hydro N-Sensor – ett lönsamt hjälpmedel. Växtpressen mars 2002.
- Hoffmann, M., Johnsson, H., Gustafson, A. och Grimvall, A., 1999. Stor kväveutlakning i 1800-talets jordbruk. Fakta Jordbruk nr 20 1999. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala.
- Huijsman, J. F. M., Hol J. M. G. och Bussink, D. W., 1996. Reduction of ammonia emission by new slurry application techniques on grassland. I: Jarvis, S. och Pain, B. (eds) *Nitrogen emissions from grasslands*. CAB International Wallingford.
- Huss, M., 1999. Bättre odlingsekonomi med kalksalpetermätaren i potatis. Växtpressen, september 1999.
- Hyologisk. Dansk Agrar Forlag A/S, Fredericia.
- Jacobsen, B. H., Hjort-Gregersen, K., Sørensen, C. G. och Hansen, J. F., 2002a. Separering af gylle. Fødevareøkonomisk Institut, rapport 142. København.
- Jacobsen, B. H., Sørensen, C. G. och Hansen, J. F., 2002b. Håndtering af husdyrgødning – en teknisk-økonomisk systemanalyse.

- Fødevarøkonomisk Institut, rapport 138. København.
- Jarvis, S. C., 1992. Nitrogen cycling and losses in clover based pastures. *Herba* 5: 56–59.
- Jarvis, S. C., 1993. Nitrogen cycling and losses from dairy farms. *Soil Use and Management* 9: 99–105.
- Jensen, E. S., 1996. Compared cycling in a soil-plant system of pea and barley residue nitrogen. *Plant and Soil* 182, 13–23.
- Jensen, E. S. och Ambus, P., 2000. Prospects for manipulating crop residues to control nitrogen mineralisation-immobilisation in soil. In *Nitrogen efficiency in practical agriculture – fundamental processes and how to control them* pp 25–42. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 139:8.
- Jeppsson, K.-H., 1999. Volatilization of ammonia in deep-litter systems with different bedding materials for young cattle. *J. Agric. Engng. Res.* 73: 49–57.
- Jeppsson, K.-H., Karlsson, S., Svensson, L., Beck – Friis, B., Bergsten, C. och Bergström, J., 1997. Djupströgödsel för ungnöt och slaktsvin. Rapport 110 från Institutionen för jordbrukets biosystem och teknologi. Sveriges lantbruksuniversitet. Alnarp.
- Joel, A., Wesström, I. och Linnér, H., 2003. Kartläggning av förutsättningarna för reglerad dränering i södra Sveriges kustnära jordbruksområden. Avdelningen för hydroteknik, SLU (manuskript).
- Joelsson, A., 1998. En miljöplan för varje gård. *Växtpressen* februari 1998.
- Johansson, B., Arnesson, A., Johansson, L. och Sundås, S., 2002. Ekologisk mjölkproduktion med 100% grovfoder på Tingvalls försöksgård. Hushållningssällskapet i Göteborgs och Bohus län.
- Johansson, W. 1994. Kolbildning och kolflöden vid odling. Rapport till Stiftelsen Lantbruksforskning. Avdelningen för hydroteknik, Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala.
- Johansson, W., 1996. Markvård – en förutsättning för resurssnål och miljövänlig växtproduktion. *Växtpressen* maj 1996.
- Johnson, B., 1998. Olika kvävegödselmedel har olika effekt. *Växtpressen* februari 1998.
- Johnsson, H. och Hoffman, M., 1996. Normalutlakning av kväve från svensk åkermark 1985 och 1994. *Ekohydrologi* 39. Division of Water Quality Management. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala.
- Johnston, A. E., 2000. Some aspects of nitrogen use efficiency in arable agriculture. In *Nitrogen efficiency in practical agriculture – fundamental processes and how to control them* pp 9-23. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 139:8.
- Jonsson, A., 2002. Vad betyder precisionsodling. Institutionen för jordbruksvetenskap SLU och Svenska Lantmännen FoU (stencil).
- Jord- och Skogsbruksministeriet, 2000. Reglerbar dränering, reglerbar underbevattning, återanvändning av avrinningsvatten. Helsingfors.
- Jordbruksverket, 1999a. Ammoniakförluster från jordbruket – Förslag till delmål och åtgärder. Rapport 1999:23.
- Jordbruksverket, 1999b. Kalkylprogrammet STANK 4.0.
- Jordbruksverket, 2000a. Sektorsmål och åtgärdsprogram för reduktion av växt-näringsförluster från jordbruket. Rapport 2000:1.
- Jordbruksverket, 2000b. Utvecklingen i jordbruket 1999. Rapport 2000:10.
- Jordbruksverket, 2001a. Gödselproduktion, lagringsbehov och djurtäthet i olika djurhållningssystem för grisar. Rapport 2001:13.
- Jordbruksverket, 2001b. Riktlinjer för gödsling och kalkning 2002. Rapport 2001:17.
- Jordbruksverket, 2001c. Marknadsöversikt – Animalier. Rapport 2001:21.
- Jordbruksverket, 2002a. Miljöeffekter av EU:s jordbrukspolitik. Rapport 2002:2.
- Jordbruksverket, 2002b. Riktlinjer för gödsling 2003. Rapport 2002:11.
- Jordbruksverket, Naturvårdsverket och Riksantikvarieämbetet, 1999. Miljöeffekter av

- EU:s jordbrukspolitik. Jordbruksverket, rapport 1999:28.
- Karlsson, S. och Jeppsson, K.-H., 1995. Djupströgödsel i stall och mellanlager. JTI-rapport nr 204. JTI – Institutet för jordbruks och miljöteknik, Uppsala.
- Karlsson, S., 1996. Åtgärder för att minska ammoniakemissionerna vid lagring av stallgödsel. JTI-rapport Lantbruk&Industri nr 228. Jordbrukstekniska institutet. Uppsala.
- Karlsson, S. och Salomon, E., 2001. Djupströgödsel till vårsäd. JTI-rapport Lantbruk och Industri nr 288. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Karlsson, T., 2002. Extensiv vall för att minska kväveutlakningen – effekter på kort och lång sikt. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 141 (4): 27–33.
- Keshavarz, K. och Jackson, M. E., 1992. Performance of growing pullets and laying hens fed low-protein amino acid-supplemented diets. Poultry Science 71:905–918.
- Kirchmann, H., Johnston, J. och Bergström, L., 2002. Possibilities for reducing nitrate leaching from agricultural land. Ambio 31(5): 404–408.
- Kjellerup, V. och Dam Kofoed, A., 1983. Nitrogen fertilization in relation to leaching of plant nutrients from soil. Tidsskr Planteavl 87: 1–22
- Kjellquist, T., 1999. 1998 – ett år med mycket liggsäd. Växtpressen februari 1999.
- Kjellquist, T., 2002. Optimal giva ger låga restkvävemängder. Växtpressen, mars 2002.
- Kliewer, B. A. och Gillham, J. W., 1995. Water management effects on denitrification and nitrous oxide evolution. Soil Science Society of America Journal 59: 1694–1701.
- Kornher, A., 1982. Vallskördens storlek och kvalitet. Inverkan på valltyp, skördetid och kvävegödsling. Grovfoder Forskning – tillämpning. Grovfoder nr 1, sid 5–32. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala.
- Kudsk, T., 2000. Effektiv kvävegödsling till höstsäd. Växtpressen mars 2000.
- Kumm, K.-I. och Andersson, R., 1991. Skog på jordbruksmark. Aktuellt från lantbruksuniversitetet, nr 394. Uppsala.
- Kumm, K.-I. och Sigvardsson, J., 1994. Kontrakterad kviguppfoeding. Rapport 1994:10 Länsstyrelsen i Värmland.
- Kumm, K.-I., 2002a. Hållbart jordbruk – kunskapsammanställning och försök till syntes. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift nr 10 2002.
- Kumm, K.-I., 2002b. Hållbar nöt- och lammköttproduktion – en idéskiss. Institutionen för ekonomi och MAT 21 rapport 2/2002. SLU.
- Kumm, K.-I.: 2003a. Ways to reduce nitrogen pollution in Swedish pork production. Nutrient Cycl. in Agroecosyst 66:285–293.
- Kumm, K.-I., 2003b. Nitrogen pollution from Swedish beef production based on suckle cows. Water, Air, and Soil Pollution 145:239–252.
- Lantmännen och Hydro, 2002. Hydro N-Sensor™, Växtodlingsåret 2002.
- Larsson, H. och Wiik, L., 1992. Odlingssystemförsök i stråsåd – en sammanfattning. 33:e svenska växtskyddskonferensen. Skadedjur och växtsjukdomar, sid 191–201. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Lenis, N. P. och Jongbloed, A. W., 1999. New technologies in low pollution swine diets: Diet manipulation and use of synthetic amino acids, phytase and phase feeding for reduction of nitrogen and phosphorus excretion and ammonia emissions. Asian-Austr J of Anim Sci 12 (2): 305–327.
- 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.
- Lillpers, H., 1996. Vallfoder 2021. Modell för bärgning, konservering och lagring av vallfoder. Länsstyrelsen i Dalarna.
- Lindén, B., 1994. Jordbearbetning och kväveutlakningsrisker. Södra jordbruksförsöksdistriktet, rapport 43. SLU.

- Lindén, B., och Wallgren, B., 1993. Nitrogen mineralization after leys ploughed in early or late autumn. *Swedish J. Agric. Res.* 23: 77–89.
- Lord, E.I., Johnson, P. A. och Archer, J. R., 1999. Nitrate sensitive areas: a study of large scale control of nitrate loss in England. *Soil Use and Management* 15: 201–207.
- Lord, E. I. och Mitchell, R. D. J., 1998. Effect of nitrogen inputs to cereals on nitrate leaching from sandy soils. *Soil Use Manage* 14: 78–83.
- Lundin, G., Thylén, L. och Hoffman, M., 1997. Ökad precision vid spridning av mineralgödsel ger högre skörd. *Växtpressen* november 1997.
- Lövgren, B., 1989. Fånggrödor ger både möjligheter och svårigheter – hur skall de odlas? *Växtpressen* mars 1989.
- Malgeryd, J., 1996. Åtgärder för att minska ammoniakemissionerna vid spridning av stallgödsel. *JTI-rapport Lantbruk och industri* 229.
- Malgeryd, J. och Pettersson, O., 2001. Teknik för jämn spridning och noggrann dosering av kletiga organiska gödselmedel. *JTI-rapport Lantbruk och Industri* nr 285. *JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik*. Uppsala.
- Malgeryd, J., Karlsson, S., Rodhe, L. och Salomon, E., 2002. Lönsam stallgödselhantering – teknik för växtnäringshushållning, kvalitet och ekonomi. *Teknik för lantbruket* 99. *JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik*. Uppsala.
- Malmqvist, O. och Spörndly, R., 1993. Stallgödsel till slåttervall. *Aktuellt från Lantbruksuniversitetet* nr 417. Uppsala.
- MaskinBladet. www.maskinbladet.dk
- Mattsson, L., 1987. Kvävegödslingseffekt i höstvete med och utan behandling med CCC, fungicid och insekticid. *SLU avdelningen för växtnäringlära*, Rapport 169.
- Mattsson, L., 1993. Kombisådd och radmyllning. I: *Växtodlings- och växtskydds dagar* i Växjö den 8 och 9 december 1993. *Södra jordbruksförsöksdistriktet* 40: 9:1–9:7. *Sveriges lantbruksuniversitet*.
- Mattsson, L. och Kjellquist, T., 1992. Kvävegödsling till höstvete på gårdar med och utan djurhållning. *Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för växtnäringlära*, rapport 189. *Sveriges lantbruksuniversitet*.
- Mitchell, R., Webb, J. och Harrison, R., 2001. Crop residues can effect N leaching over at least two winters. *European Journal of Agronomy*, 15:17–19.
- Monteny, G., J., 1996. Technical possibilities to reduce ammonia emissions from animal husbandry. In O. van Cleemput et al. (eds.) *Progress in Nitrogen Cycling Studies* 483–490. *Kluwer Academic Publishers*.
- Møller Hansen, E och Djurhuus, J., 1997. Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil & Tillage* 41: 201–219.
- Naturvårdsverket 1997. *Det framtida jordbruket*. Rapport 4755. Stockholm.
- Nilsson, H., 1992. Kväveoptimum till höstvete och höstraps. Val av N-gödselmedel. *Meddelande från södra jordbruksförsöksdistriktet* nr 39. *Sveriges Lantbruksuniversitet*. Alnarp.
- Nömmik, H., 1954. Fixation and defixation of ammonium in soils. *Acta Agriculturae Scandinavica* 7: 395–435.
- Odling i Balans, 2001a. Tolkning av miljönyckeltal i växtodlingen. *Vallåkra*.
- Odling i Balans 2001b. Lars Törner, personligt meddelande.
- Oscarsson, G., 1989. Fakta, erfarenheter och synpunkter angående betet. *Bete i jordbrukets och landskapsvårdens tjänst*. Seminarium den 24 oktober 1989. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien*.
- Paik, I. K., Blair, R. och Jacob, J., 1996. Strategies to reduce environmental pollution from animal manure: Principles and nutritional management – a review. *Asian-Austr J Anim Sci* 9(6): 615–635.

- Paustian, K., Andrén, O., Clarholm, M., Hanson, A.C., Johansson, G., Lagerlöf, J., Lindberg, T., Petersson, R. och Sohlenius, B. 1990. Carbon and nitrogen budgets of four agroecosystems with annual and perennial crops, with and without N fertilization. *Journal of applied ecology* 27:60–84.
- Pedersen, S. M., 2003. Precision farming – Technology assessment of site-specific input application in cereals. Ph.D. dissertation. Department of Manufacturing, Engineering and Management. Technical University of Denmark.
- Peoples, M. B., Freney, J. R., och Mosier, A. R., 1995. Minimizing gaseous losses of nitrogen. I: Nitrogen fertilization in the environment (P. E. Bacon, ed.), pp. 565–602. Marcel Dekker, New York.
- Persson, J., Johansson, O. och Jónsson, L., 1975. Kvävehushållning vid användning av ammoniumhaltiga gödselmedel. Rapporter från avdelningen för växtnäringslära nr 95. Lantbrukshögskolan. Uppsala.
- Rodhe, L., 1998. Spridning av stallgödsel till vall. Ny teknik – nya möjligheter. Teknik för lantbruk nr 70. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.
- Rodhe, L., 2002. Teknik för mindre kväveförluster vid stallgödselhantering. Ingår i Mindre kväveförluster i foderodling, foderomvandling och gödselhantering. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 141 (4): 43-52.
- Rodhe, L., Pauly, T. och Sundberg, M., 2000. Fastgödsel till vall. JTI-rapport Lantbruk och Industri nr 268. Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Rodhe, L., Salomon, E. och Rammer, C., 1995. Spridning av fast- och kletgödsel till vall. JTI-rapport nr 93. Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Rosswall, T., Berg, P., Bergström, L., Ferm, M., Johansson, C., Klemedtsson, L., och Svensson, B. H., 1990. Inorganic nitrogen cycling processes and flows. *Ecological Bulletins* 40: 128–152.
- Rydberg, I., 2001. Miljöskatt på bullar – utopi eller morgondagens verklighet? SLU, Länsstyrelsen i Uppsala län och Jordbruksverket.
- Samuelsson, J., 2003. Samverkan mellan mjölk- och spannmålsproducenter. Examensarbete 323, Institutionen för ekonomi SLU.
- Sannö, J.-O. m fl, 2002. Mindre ammoniak från mjölkgård – flytgödsel bättre än fastgödsel. FAKTA Jordbruk nr 9 2002. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Scheinost, P. L., Lammer, D. L., Cai, X., Murray, T. D. och Jones, S. S., 2001. Perennial wheat: the development of a sustainable cropping system for the US Pacific Northwest. *American Journal of Alternative Agriculture*, 16: 147–151.
- Scholefield, D., Lockyer, D. R., Whitehead, D. C. och Tyson, K. C., 1991. A model to predict transformations and losses of nitrogen in UK pastures grazed by beef cattle. *Plant and Soil* 132: 165–177.
- Shepherd M. A. och Webb J., 1999. Effects of overwinter cover on nitrate loss and drainage from a sandy soil: consequences for water management? *Soil Use and Management* 15: 109-116.
- Simmelsgaard, S. E. och 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.
- Skaggs, R. W., Brevé, M. A., och Gilliam, J. M., 1994. Hydrologic and water quality impacts of agricultural drainage. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 24: 1–32.
- Skiba, U., Mctaggart, I. P., Smith, K. A., Hargreaves, K. J. och Fowler, D., 1996. Estimates of nitrous oxide emissions from soil in UK. *Energy Conversion Management* 37: 1303–1308.
- SLU, Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap, 2000. Öjebprojektet: Ekologisk produktion av livsmedel.

- SLU Områdeskalkyler och Databok. <http://www.agriwise.slu.se/databok2K1/kalkyler2001/kalkyler.htm>
- Smith, K. A., McTaggart, I. P. och Tsuruta, H., 1997. Emissions of N₂O and NO associated with nitrogen fertilization in intensive agriculture, and the potential for mitigation. *Soil Use and Management*, 296–304.
- Sommer, S. G., 2001. Effect of composting on nutrient loss and nitrogen availability of cattle deep litter. *European Journal of Agronomy* 14: 123–133.
- Sommer, S. G., Christensen, B. T., Nielsen, N. E. och Schjørring, J. K., 1993. Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry: Effects of surface cover. *Journal of Agricultural Science* 121: 63–71. Cambridge.
- Sommer, S. G., och Ersbøll, A. K., 1994. Soil Tillage Effects on Ammonia Volatilization from Surface-Applied or Injected Animal Slurry. *Journal of Environmental Quality*, 493–498.
- Sommer, S. G. och Hutchings, N. J., 2001. Ammonia emissions from field applied manure and its reduction. *European Journal of Agronomy* 15:1–15.
- SOU 2000:52. Framtidens miljö – allas vårt ansvar.
- SOU 2003:72. Havet – tid för en ny strategi. Slutbetänkande från Havsmiljökommissionen.
- Spörndly, R., 1997. Varför slösa med protein? Vem lurar vem? *Husdjur* 8/97, sid 74.
- Stenberg, M. och Aronsson, H., 1999. Plöj senare och minska risken för kväveutlakning. Fakta Jordbruk nr 2 1999. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala.
- Stout, W. L., Fales, S. L., Muller, L. D., Schnabel, R. R. och Weaver, S. R., 2000. Water quality implications of nitrate leaching from intensively grazed pasture swards in the north-east US. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 77: 201–210.
- Sutton, M. A., Milford, C., Dragosits, U., Place, C. J., Singles, R. J., Smith, R. I., Pitcairn, C. E. R., Foeler, D., Hill, J., ApSimon, H. M., Ross, C., Hill, R., Jarvis, S. C., Pain, B. F., Phillips, V. C., Harrison, R., Moss, D., Webb, J., Espenhahn, S. E., Lee, D. S., Hornung, M., Ullyett, J., Bull, K. R., Emmett, B. A., Lowe, J. och Weys, G. P., 1998. Dispersion, deposition, and impacts of atmospheric ammonia: quantifying local budgets and spatial variability. *Environmental Pollution* 102, S1 (1998) 349–361.
- Sveriges Svincenter. Den Nya Tidens Foder. Svalöv.
- Tamm, C. O., 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. *Ecological studies*, 81. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong and Barcelona.
- Thompson, R. B., 1989. Denitrification in slurry-treated soil: Occurrence at low temperatures, relationship with soil nitrate and reduction by nitrification inhibitors. *Soil Biol. Biochem.* 21: 875–882.
- Thompson, R. B., Ryden, J. C. och Lockyer, D. R., 1987. Fate of nitrogen in cattle slurry following surface application or injection to grassland. *Journal of Soil Science* 38: 689–700.
- Thomsen, I. och Christensen B., 1996. Availability to subsequent crops and leaching of nitrogen in ¹⁵N-labelled sugarbeet tops and oilseed rape residues. *J. Agric. Sci. Camb.* 126, 191–199.
- Thomsen, I. K. och Christensen B. T., 1998. Cropping system and residue management effects on nitrate leaching and crop yields. *Agriculture Ecosystems & Environment* 68: 73–84.
- Thomsen, I. K. och Christensen, B. T., 1999. Nitrogen conserving potential of successive ryegrass catch crops in continuous spring barley. *Soil Use and Management* 15: 195–200.
- Thylén, L., 1994. Skördevariationer inom fält. *Växtpressen* augusti 1994.
- Thylén, L., 1999. Tekniksystem för växtplatsanpassad odling. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 138 (9):13–20.

- Thylén, L. och Mattsson, L., 1997. Skördevariationers och den optimala kvävegivans kontinuitet inom enskilda fält. Rapport 233, JTI, Uppsala.
- Torstensson, G., Gustafson, A., Bergström, L. och Ulén, B. 2000. Utredning om effekterna på kväveutlakning vid övergång till ekologisk odling. Ekohydrologi 56. Avdelningen för vattenvårdslära. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Torstensson, G. och Håkansson, M., 2001. Kväveutlakning på sandjord – motåtgärder med ny odlingsteknik. Ekohydrologi 57, Avdelningen för vattenvårdslära. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Tveitnes, 1979. Store husdyrgjødselmengder per arealeining til grønforvekstar og eng. Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole, vol. 58, nr 25.
- Wallgren, P., 2000. Etiska, ekologiska och ekonomiska synpunkter på sjuklighet bland grisar i Sverige. Svensk Veterinärtidning 52 (13): 658–694.
- Vallgård, J. och Wallgren, P., 1998. Vägledning för serogrisproduktion. Vallerums Lantbruk, Ransta och Statens Veterinärmedicinska Anstalt, Uppsala.
- Wesström, I., Messing, I., Linnér, H. och Lindström, J., 2001. Controlled drainage – effects on drain outflow and water quality. *Agricultural Water Management* 47: 85–100.
- Wesström, I., 2002. Controlled drainage – Effects on subsurface runoff and nitrogen flows. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria* 350. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Whitehead, D. C., 1995. Grassland nitrogen. CBA International. Wallingford, UK.
- Whitehead, D. C., Lockyer, D. R., och Raistrick, N. (1988). The volatilization of ammonia from perennial ryegrass during decomposition, drying and induced senescence. *Annals of Botany* 61: 567–571.
- Wiik, L., 2002. Olika insatser av fungisider och kväve i höstvet. *Växtpressen* mars 2002.
- Wittgren, H. B., Arheimer, B. och Tonderski, K. S., 2002. Kväveavskiljning i våtmarker: Effekter och regionala skillnader. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 141:4, sid 53–62.

Kortsiktiga och långsiktiga markbiologiska processer med speciell hänsyn till kvävet

Jan Persson



Innehåll

Inledning	71
Den organiska substansens omsättning	73
Uppbyggnad av organisk substans	73
Den organiska substansens nedbrytning	73
Humusbildning	74
Nitrifikation	76
Nettoeffekt av kvävet mineralisering och immobilisering	76
Remineralisering	82
Denitrifikation	84
Stallgödselns kväve- och humuseffekt	85
Ammoniakavdunstning	86
Försurning och kalkverkan – effekt av biologiska processer	88
Markandning	88
Kvävet mineralisering (ammonifikation)	89
Nitrifikation	89
Denitrifikation	89
Växternas näringsupptag	89
Stallgödselns kalkverkan	89
Oxidation av reducerat svavel	90
Ammoniumfixering	90
Sammanfattning	91
Referenser	93

Inledning

Tack vare undersökningar under lång tid och i flera länder känner man ganska väl de processer som reglerar kvävet tillgänglighet. Man känner exempelvis hur temperatur och fuktighet inverkar och man känner vilka organismgrupper som är verksamma i olika situationer osv.

Problemet är att odlaren inte känner effekten av dessa faktorer när han ska fatta beslut om exempelvis gödsling. Ändå måste ett beslut fattas. Det perfekta svaret kan man inte åstadkomma bland annat eftersom informationen om ovan nämnda faktorer saknas när beslutet ska fattas.

Med hjälp av känd kunskap om nedbrytning, mineralisering/immobilisering i relation till N-halt, substratkvalitet, stabilisering av C och N, remineralisering av stabiliserat N kan man trots allt göra en rimlig bedömning. Mikrofloran betraktas som en arbetande enhet, vars arbete beror på de förutsättningar vi ger den. En viktig begränsning hos materialet är att tillräcklig hänsyn inte tas till om-

sättbarheten hos olika kväveföreningar. Tidsaspekten när det gäller kvävet mineralisering vid omsättning av färskt organiskt material blir därför diffus. Därmed måste inte bara kvävet upptagning utan också utlakningen beaktas. Ett lättomsättbart kväverikt material kan förorsaka snabb mineralisering vid olämplig tidpunkt. Materialet är relevant för såväl konventionell odling som för ekologisk odling.

I dokumentet ihopkopplas kvävet mineralisering/immobilisering i relation till kolet, kolets och kvävet stabilisering samt kvävet remineralisering.

Uppsatsen har tillkommit inom ramen för en arbetsgrupp vid Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien. Värdefulla synpunkter har lämnats av gruppens medlemmar: Göte Bertilsson, Tord Eriksson och Karl-Ivar Kumm. Detta gäller också om Lennart Mattsson, som dessutom gjort ett förtjänstfullt redigeringsarbete.

Den organiska substansens omsättning

Uppbyggnad av organisk substans

Principerna för kolets kretslopp är välkända. Genom fotosyntesen binds atmosfärens CO_2 under bildning av energirik organisk substans och O_2 . Energin binds i C – C bindningar. Detta klargjordes redan i början av 1800-talet av de Saussure. Han lade grunden till lantbrukskemin genom att använda kvantitativa experimentella metoder. Liebig utökade kunskapen. Det var också han som med stor kraft förde ut budskapet till allmänheten.

Kolet är det näringsämne som ingår i växternas torrsbstans med högst halt – 40–45%. Det ingår i ett stort antal organiska föreningar i växten – sockerarter, cellulosa, proteiner, lignin m.fl. Sammansättningen varierar med art, växtedel och ålder. När den organiska substansen byggs upp tar växten upp, förutom C från atmosfären, NH_4^+ eller NO_3^- och andra näringsämnen från marken via rotsystemet. Kvävet binds direkt till kolet. Det ingår i exempelvis proteiner och aminosyror. Den helt avgörande delen av markens kväve är bundet i organiska föreningar.

Den organiska substansens nedbrytning

Den organiska substansen kan åter brytas ner under bildning av CO_2 och vatten samt upp-tagande av syre. Man säger att kolet mineraliseras (överföres i mineralisk form). Nedbrytningen ombesörjes av mikroorganismer (heterotrofer), djur och växter. Dessa organism-

grupper utnyttjar den organiska substansen som sin energikälla. De energirika C – C bindningarna bryts upp varvid den frigjorda energin kan utnyttjas av organismerna. Utvecklingen av CO_2 är således ett uttryck för att energi frigöres. Också djuren använder organisk substans som energikälla. Genom nedbrytningen sluts kretsloppet. Detta kompliceras emellertid på olika sätt. Växtmaterialet är komplext och dess sammansättning varierar beroende på växtslag, växtedel och ålder. Alla delar i det färskva växtmaterialet angrips inte lika lätt av mikroorganismerna. En del tar slut på någon dag (socker, proteiner). Andra behöver veckor eller någon månad (cellulosa). Ligninet är ännu mer svårömsättbart. Mikroorganismerna kan inte omsätta allt organiskt kol till CO_2 . Det bildas alltid en del omsättningsprodukter, vilka är stabila mot fortsatt mikrobiell nedbrytning. Dessa substanser benämns humussubstanser.

Inte bara kolet utan också kvävet mineraliseras vid den mikrobiella nedbrytningen av organiskt material. Det är protein, nukleinsyror och amino-socker som under inverkan av olika enzymer mineraliseras under bildning av NH_3 . Det är således ammoniak som utgör kvävet mineraliseringsprodukt (inte nitrat). I marken övergår NH_3 till NH_4 . Anledningen är att pH-värdet är relativt lågt i marken. Detta diskuteras mera i detalj under avsnittet ammoniakavdunstning.

Den mikrobiella nedbrytningen av organisk substans leder till att mikrofloran förökar sig. Denna tillväxt och förökning kräver, förutom kol, kväve när ny mikrobbiomassa ska bildas. Det sker en immobilisering av

kväve där dels det mineraliserade "växtkvävet", dels markens förråd av mineralkväve kan utnyttjas av mikroorganismerna.

Humusbildning

Kortsiktigt mineraliseras inte allt kol i den organiska substansen. Utöver mikroorganismer bildas det snabbt omsättningsprodukter. En del av dessa är lättomsättbara och omsätts snabbt av mikroorganismerna. Men det bildas också stabila substanser (humusämnen). Stabiliseringen sker förvånansvärt snabbt. En studie av nedbrytning av gräs visade att 70% av C-mineraliseringen var avslutad efter ett år. Därefter gick mineraliseringen långsamt (Jenkinson, 1977). Humifieringen är således inte en process som avslutas från en dag till en annan, men för praktiska bedömningar kan man räkna med en snabb stabiliserad.

Humussubstansen är inte någon enhetlig fraktion. Bland annat varierar omsättbarheten från några decennier till flera sekler. Skillnaden i omsättbarhet är mycket stor mellan humussubstanserna och det färskväxtmaterialet. I modelleringsarbete har man ofta delat in humusfraktionen i två fraktioner – stabilt och halvstabilt material. Inte heller dessa fraktioner är homogena och väldefinierade.

Humusbildningen är inte i detalj klarlagd. Den teori, som presenteras i flertalet läroböcker lanserades av Flaig (1966). Enligt denna teori utgöres basen i humussubstanserna av fenoliska föreningar. Ligniner är i stor utsträckning uppbyggda av fenoliska substanser. Enligt Flaigs teori är därför lignin en viktig bas för humusbildningen. I mycket växtmaterial är ligninhalten 15–20%. Fenoliska substanser finns emellertid inte enbart i lignin. Mikroorganismerna tillverkar själv sådana substanser och kan därför bidra till humusbildningen. Helt ligninfria substanser (exempelvis socker) har således en viss humuseffekt. Steven-

son (1986) har förenklat beskrivit humusbildningen enligt följande:

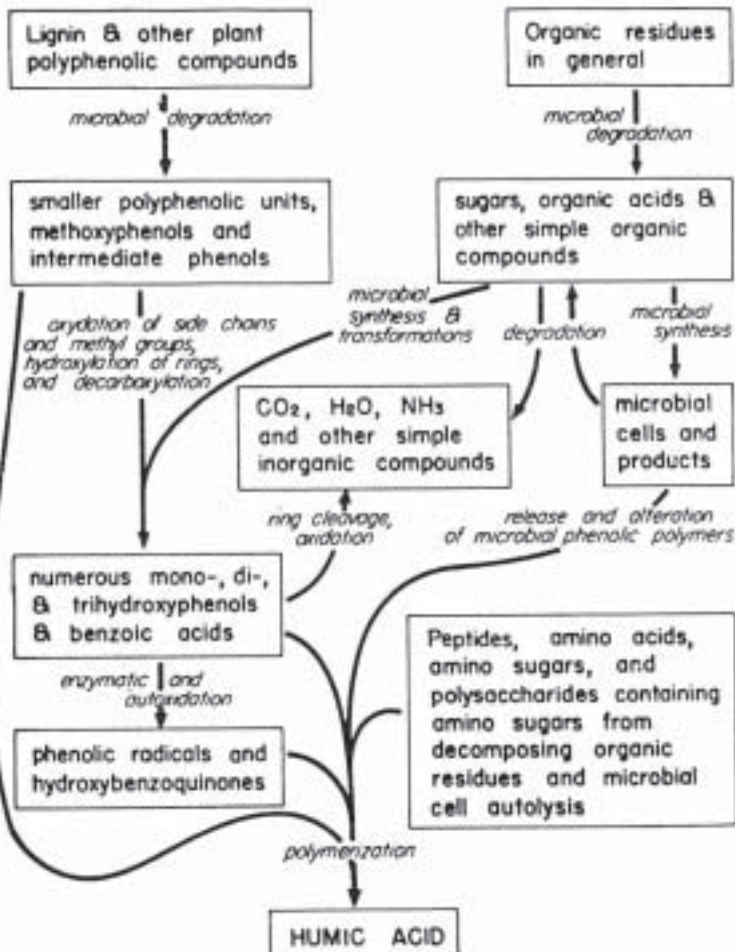
1. Lignin is subjected to oxidative splitting with the formation of primary structural units.
2. The side-chains of lignin-building units are oxidized, demethylation occurs, and the resulting polyphenols are converted into quinones by polyphenoloxidase enzymes.
3. Quinones arising from lignin (as well as from other sources) react with N-containing compounds forming dark-colored polymers.

En mer komplett bild av Flaigs humusteori redovisas i figur 1 (Stevenson, 1986).

Trots att Flaigs humusteori accepteras av flertalet läroböcker finns det invändningar mot den. Genom modern NMR-teknik har man funnit att humussubstanserna inte innehåller större mängder aromatiska föreningar utan att det framför allt är alifatiska föreningar. Detta stämmer dåligt med lignin som råmaterial för humussubstanserna. Baserad på NMR-analyser hävdar Piccolo et al. (1996) att de viktigaste komponenterna i humussyror är alifatiska syror, estrar, alkoholer, alifatiska ligninfragment, polysakarider och polypeptider. Komponenterna har relativt låg molekylvikt. Tvärbundna makromolekyler kan förklaras genom aggregering av blandningar initierade av komplexbildning med metallkationer (Piccolo et al., 1996).

Man kan räkna med att omsättningen resulterar i att motsvarande 20–25% av torrsubstansen i färskväxtrester återfinns i stabilt material. Olika källor uppger olika nedbrytningsgrad (Jansson, 1961, Persson, 1968). Siffran 20%, som används i detta dokument har uppskattats ur Kirchmann et al. (1994). Detta är möjligen en underskattning av humusbildningen. Stallgödsel ger ett större bidrag till humusbildningen beroende på att de mest lättomsättbara delarna har förbrukats under fodermältningen och under lagringen. Svår-omsättbart material såsom lignin har därvid

Figur 1. Övergripande schema för bildning av humussubstanser ur polyfenoler från lignin och syntetiserade av mikroorganismer.



anrikats. I detta dokument räknas med 30%. Humusmaterialets kvalitet anses bestämmas mer av miljöbetingelserna i marken än av det färskas materialets kvalitet. Man finner exempelvis att C/N-kvoten i markens organiska material inställer sig på omkring 10 i mineraljordar med gott närings- och kalktillstånd oberoende av ursprungsmaterialets kvalitet. För vissa substrat krävs det lång tid innan denna jämvikt uppnås.

Det är inte enbart kol som stabiliseras vid nedbrytningen av färskt material. Också

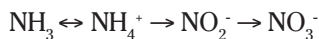
kvävet stabiliseras, vilket framgår ovan av beskrivningen av Flaigs humusmodell. Det är inte några små mängder kväve, som finns stabiliserat i marken. Humussubstanserna i en åkermark i gott närings- och kalktillstånd innehåller 5–6% kväve. En ofta förekommande uppgift i litteraturen är att humussubstanserna innehåller 58% C (detta lär vara en överdriven noggrannhet). Detta ger C/N-kvoten 10 om N-halten är 6%. Jämfört med växtmaterial är N-halten hög i humussubstanserna. Baljväxter, vilka har en för växtmaterial

hög kvävehalt innehåller ca 6 000 kg kväve per hektar bundet i organisk substans. En del finns i levande mikroorganismer (3–5%) och en del i färska skörderester, men huvuddelen, minst 90%, finns i humussubstanser.

På varje jord närmar sig humushalten ett jämviktsläge, som bestäms av tillskottet av nytt humusmaterial och av nedbrytningen, vilken regleras av bland annat jordart, klimat och bearbetning. Vid ändring av förutsättningarna, exempel vid övergång till nytt odlingssystem, närmar sig jämvikten ett nytt läge. Men det tar tid att nå dit. Ju kallare klimatet är desto högre blir mullhalten. När man lägger jungfrulig mark under plog sjunker mullhalten kraftigt under några decennier.

Nitrifikation

Det tål upprepas, att det bildas NH_3 när organiskt kväve mineraliserar. Denna ammoniak representerar emellertid inte något slutstadium i kvävet's processer. Den kan ingå i processer av olika slag. Dessa kommer att uppmärksammas i olika avsnitt längre fram. Här ska kvävet's oxidation till nitrat – nitrifikation beskrivas. Det är framför allt två bakteriearter som svarar för nitrifikationen. Nitrosomonas oxiderar NH_4^+ till NO_2^- (nitrit). Nitrobacter slutför processen genom att oxidera nitrit till nitrat (NO_3^-).



Dessa bakteriegrupper är i högsta grad specialister. Deras energikälla utgörs inte av organiskt material i likhet med heterotroferna (se ovan). De utnyttjar i stället nämnda kväveföreningar som energikälla. Energi som frigörs genom oxidationen används av organismerna för deras livsprocesser. Också i ett annat avseende är nitrifierarna specialister. Vi har tidigare sett att heterotroferna använder organiskt nedbrytbart material inte bara som energikälla utan också som C-källa för sin till-

växt och förökning. Nitrifierarna kan inte använda organiskt material som C-källa. I stället använder de vätekarbonat (HCO_3^-) löst i markvattnet.

Det må tilläggas att en del heterotrofa organismer har förmågan att överföra NH_4^+ till NO_3^- via NO_2^- . Dessa har emellertid långt mindre betydelse för nitrifikationen än Nitrosomonas och Nitrobacter. Under gynnsamma betingelser går nitrifikationen snabbt och fullständigt. Efter 1–2 veckor hittar man normalt inte NH_4^+ i marken. Allt mineralkväve föreligger då som nitrat. Allmänt kan man säga att om mineralkvävet inte behövs för annat, exempelvis immobilisering, så är nitrat slutstation för det mineraliska kvävet i marken.

Faktorer som påverkar nitrifikationen i marken är temperatur, syre, fuktighet, pH-värde och tillgången till ammonium. Normalt sker oxidationen av nitrit snabbare än oxidationen av NH_4^+ . Därför hittar man normalt inte något nitrit i marken. Undantagsvis kan anrikning av nitrit inträffa, nämligen när man av någon anledning erhållit hög halt av ammoniak (NH_3) i marken (mycket NH_4^+ samtidigt med högt pH-värde). Detta inträffar exempelvis efter spridning av urea. Ureans hydrolys ger upphov till sådana förutsättningar. Effekten är dock övergående. Mera om detta längre fram.

Nettoeffekt av kvävet's mineralisering och immobilisering

Det har redan sagts, att omsättning av organiskt material innebär att inte endast det organiskt bundna kolet bryts ner och mineraliserar. Också kvävet är föremål för omsättning och mineralisering. Kvävet's mineralisering leder till bildning av NH_3 , vilket kan oxideras till nitrat. Nitratbildningen är dock inte en del av mineraliseringsprocessen.

Kvävet's kretslopp i marken (det inre kretsloppet) omfattar inte endast mineralisering. En lika viktig process är immobilisering (fastläggning) av kväve. För mikroorganismernas

tillväxt och förökning behöver dessa kväve. Om det inte finns tillräckligt i det organiska materialet, som är föremål för nedbrytning tas detta kväve från mineralkvävet i marken (immobilisering). Samtidigt pågår nedbrytningen av organiskt material, vilket leder till mineralisering av kväve.

Mineralisering och immobilisering pågår således alltid samtidigt. Däremot är det inte säkert att de båda processerna alltid går lika fort. Det är t.o.m. så att detta inträffar ganska sällan. Man kan ha nettomineralisering eller nettoimmobilisering. Det är förutsättningarna för mikroorganismerna, som bestämmer vilket resultatet av de båda processerna blir. Den viktigaste faktorn härvidlag är energisubstratets kvalitet, dess kvävehalt och dess omsättbarhet. Ett kväverikt material innehåller mer kväve än vad mikroorganismerna behöver. Omsättning av ett sådant material resulterar i nettomineralisering. Om materialet är kvävefattigt blir resultatet i stället nettoimmobilisering. Det är allmänt accepterat, att om materialets C/N-kvot är lägre än 20–25 erhålles nettomineralisering. Är C/N-kvoten högre än 20–25 erhålles nettoimmobilisering.

Exempel 1. Ett ton torrsubstans i baljväxtgrönmassa resulterar vid omsättning i 200 kg humussubstanser (20% av torrsubstansen) innehållande 6% N eller 12 kg kväve. Den färska grönmassan innehåller 30 kg N (3%). Allt kväve behövs inte för humusbildningen. Vad som inte behövs nettomineraliseras. Enligt denna beräkning blir 18 kg kväve över. Detta ger en gröngödslingseffekt, som kan utnyttjas av grödan. Eftersom humusbildningen sker snabbt – inom loppet av ett eller två år, blir också gröngödslingseffekten kortvarig. Exemplet visar också att allt kväve i en gröngödslingsgröda inte fullständigt kan användas kortsiktigt av grödan. Humusbildningen kräver sin andel. Å andra sidan medför humusbildningen att markens kväveleverande förmåga ökar långsiktigt.

Ett kvävefattigt organiskt material har för hög halt av kol i relation till kväve. Om omsättningen ska gå problemfritt måste mikroorganismerna därför ta kväve från markens mineraliska kväve (ammonium eller nitrat). Resultatet blir nettoimmobilisering. Även detta kan belysas med ett exempel.

Exempel 2. Ett ton torrsubstans i halm innehåller 0,5% N eller 5 kg kväve. 20% av halmens kol ger upphov till humussubstanser. Detta kräver optimal fördelning av halmen. Detta ger 200 kg humussubstanser med 6% N eller 12 kg kväve. Det saknas således 7 kg kväve för humusbildningen. Detta kväve måste tas från markens förråd av mineralkväve. Om inte mineralkvävet räcker till blir resultatet att det bildas mer CO₂ och färre humussubstanser. Däremot torde inte humussubstansernas sammansättning påverkas. Av uppgifter i litteraturen anges att ett ton halm kan binda 7 kg kväve. Detta stämmer väl med de beräkningar som gjorts i detta exempel.

Jensen (2000) har angivit att upp till 14 kg kväve kan bindas till ett ton halm. Så mycket kväve kan inte bindas enligt här gjorda beräkningar. Humusbildningen kan vara större än de 20% som anges i exemplet. Räknar man med 30% humussubstanser kommer humussubstanserna att innehålla 18 kg kväve, varav 5 finns i halmen. Det betyder att 13 kg binds vid omsättning av halmen. Det är möjligt att kraftig finfördelning resulterar i större utbyte av humus. Ovan relaterade litteraturuppgifter tyder på att så kan vara fallet.

Denna egenskap hos halmen att under nedbrytningen immobilisera kväve har föreslagits som ett medel att binda nitrat på hösten för att därmed förhindra utlakning – en form av fånggröda. I Danmark får man delvis räkna halmen som "grön mark". I Sverige är detta inte fallet. Undersökningar i Skara (Lindén, muntligt) har visat att intensiv stubbearbetning, som är en förutsättning för effektiv im-

mobilisering, leder till ökad mineralisering av humussubstanser. Det kväve, som därvid mineraliseras överstiger den mängd som halmen immobiliserar.

Av exemplet framgår att det är små mängder humuskväve, som bildas vid nedbrytning av en halmgröda eller en baljväxtgröda (i vårt fall 12 kg kväve per ton torrsbstans i växtbiomassa). Att det är fråga om små mängder framgår när man ställer det i relation till den totala mängden humuskväve i ett hektar åkermark (6 000 kg kväve).

Det organiska materialets omsättbarhet är en faktor av stor betydelse för omsättningens nettoeffekt över tiden. Sågså av barrträd är exempel på organiskt material som omsätts långsamt. Materialet är rikt på lignin. Detta gör att nedbrytningen går långsamt, men omsättningen hindras framför allt av att veden innehåller hartser som hindrar mikroorganismernas verksamhet. Fortfarande bestämmer emellertid materialets C/N-kvot om det ska bli nettomineralisering eller nettoimmobilisering, men det tar längre tid innan omsättningen av det färskta materialet är avslutad (Jansson, 1961).

Humussubstanserna utgör ett mycket stabilt material. Man räknar med att 1–2% av humussubstanserna mineraliseras årligen. C/N-kvoten är ungefär 10 hos den organiska substansen. Det betyder att omsättning av humussubstanser alltid resulterar i nettomineralisering. Denna mineralisering resulterar i att 60–100 kg kväve per hektar årligen ställs till grödans förfogande. Omsättningen tar således på humusförrådet. Ska humushalten förbli oförändrad måste nya humussubstanser bildas för att kompensera nedbrytningen. Det är inte alltid som den organiska substansen är i balans. Långvarig vall leder till att relativt lättomsättbara substanser anrikas. När vällen bryts erhålles en betydande nettomineralisering av kväve. Detta är ännu mer markant när jungfrulig mark plöjes för första gången. Vi får anledning att återkomma till detta.

På grund av nitrifikationen finns merparten av kvävet i nitratform. Både ammoniumkväve och nitratkväve kan användas av mikroorganismerna vid omsättning av organiskt material. Normalt föredrar mikroorganismerna ammoniumkväve. När kvävet byggs in i organisk substans av mikroorganismerna är det i huvudsak som NH_2 . Detta kväve har samma valenstal som kvävet i NH_4^+ . Om kvävet tas upp som NO_3^- måste detta reduceras, vilket betyder att energi måste tillföras (jämför energitransformationen i samband med nitrifikationen).

Kvävet inre kretslopp utvecklar sig olika beroende dels på energisubstratets kvalitet (N-halt och omsättbarhet), dels på vilken form av mineralkväve (ammonium eller nitrat) som står till mikroorganismernas förfogande. Normalt ser man inte skillnaderna med hjälp av vanliga analyser, men tar man hjälp av isotopteknik kan detaljerna urskiljas. Exempel 3 får demonstrera detta. Exemplet är taget från laborationsövningarna vid den markbiologiska kursen vid SLU. Det ska belysa hur NH_4^+ -N respektive NO_3^- -N reagerar över tiden och hur energikällans N-halt inverkar på dessa processer.

Exempel 3. Mineralkvävet transformationer i ett jordprov studerades över tiden vid omsättning av ett kväverikt och ett kvävefattigt energisubstrat. När försöket startades tillfördes, förutom substratet, NH_4NO_3 . Försöksplanen var så uppbyggd att gödselmedlet var isotopmärkt på två sätt. I det ena fallet var NH_4 -delen märkt och i det andra var NO_3 -delen märkt. De båda gödselalternativen tillfördes jordprover med stärkelse respektive klöver. Dessutom tillfördes omärkt NH_4NO_3 till ett jordprov där energisubstratet utgjordes av klöver, där det organiska kvävet var isotopmärkt. Försöksplanen framgår av följande uppställning:

Energisubstrat	$^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$	$\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	NH_4NO_3
Stärkelse	2,5 + 2,5 mg N		
Stärkelse		2,5 + 2,5 mg N	
Klöver	2,5+2,5 mg N		
Klöver		2,5+2,5 mg N	
$^{15}\text{Klöver}$			2,5+2,5 mg N

Märkt NH_4^+ och NO_3^- bestämdes i jordproverna efter 4, 9, 16 och 23 dagar. Genom detta arrangemang var det möjligt att spåra *ursprunget* (märkt ammonium-N, märkt nitrat-N och märkt klöver-N) till det mineralkväve som bestämdes efter olika tidsintervall.

Figurerna 2a–2d visar hur det kväve som ursprungligen tillfördes vid starten av försöket omsattes under olika inkubationstider. Detta ursprungskväve återfanns i tre fraktioner: $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ och klöver-N. Dessutom fanns en fjärde fraktion, nämligen den som hade sitt ursprung i humussubstanser. Vid försökets start (0 dagar) fanns endast en fraktion ($\text{NH}_4\text{-N}$ eller $\text{NO}_3\text{-N}$).

När det markbiologiska spelet satte in efter starten uppträdde ytterligare tre fraktioner. Observera att figurernas skalor är olika. Kommentarer i anslutning till respektive figur.

Med stöd av figurerna 2a–2d och tabell 1 kan resultaten sammanfattas sålunda:

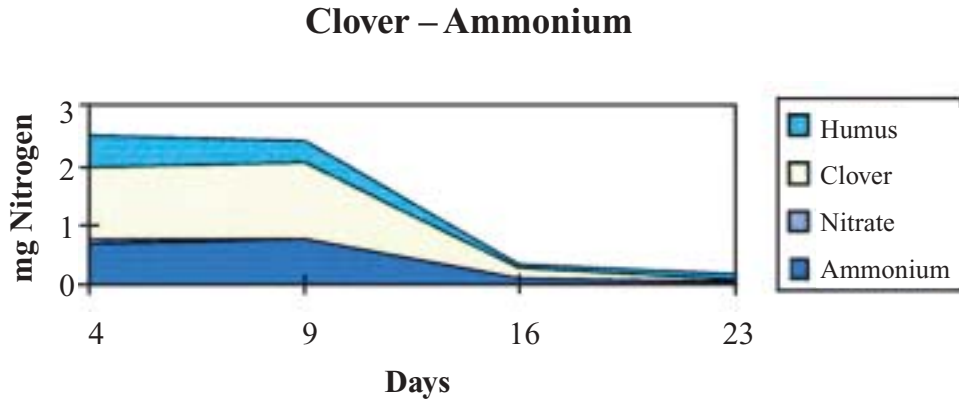
- Båda energisubstraten var mycket lättomsättbara, ett kväverikt och ett kvävefritt substrat.
- En stor del av klöverkvävet mineraliserades snabbt under bildning av ammoniumkväve.
- Samtidigt immobiliserades ammoniumkväve tillfört vid starten som NH_4NO_3 – en god demonstration av mineralisering/immobilisering *turn over*.
- Det tillförda nitratkvävet drogs inte in i kretsloppet vid omsättning av klöver – det behövdes inte för mikroorganismernas kväveförsörjning, mikroorganismerna föredrar ammoniumkväve.
- Mot slutet av försöksperioden ökade mängden nitratkväve som följd av att "klöver-N" och "humus-N" mineraliserades och nitrifierades. Nästan allt mineral-N återfanns som nitrat vid försökets avslutning.
- Den kvävefria stärkelsen förorsakade en kraftig immobilisering. Ammoniumkvävet räckte inte till. Också nitratkvävet tog slut.
- Nettoimmobiliseringen var snabbt övergående. Den övergick i nettomineralisering (det var emellertid fråga om små mängder)
- Endast mycket små mängder av kvävet som härrörde från det tillförda ammoniumnitratet remineraliserades. Det var i stället humuskväve, som mineraliserades.

Undersökningen demonstrerar på ett utmärkt sätt de slutsatser rörande kvävetns inre kretslopp som presenterades av S.L. Jansson på 50-talet. Hans undersökningar blev mycket uppmärksammade (Jansson, 1958). Paul (1981), en av de stora på det markbiologiska området, skrev "Jansson brought together many of the concepts in what is now a classical study of mineralisation – immobilization of soil-N".

Relationen mellan C, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ och organiskt N kan beskrivas med ytterligare ett demonstrationsförsök. Till två uppsättningar jord sattes 5 mg isotopmärkt $\text{NH}_4\text{-N}$. Dessutom tillfördes glykos, en lättomsättbar energikälla, dels en dag före N-tillsatsen, dels 28 dagar före N-tillsatsen. Resultaten redovisas i figur 3 och 4.

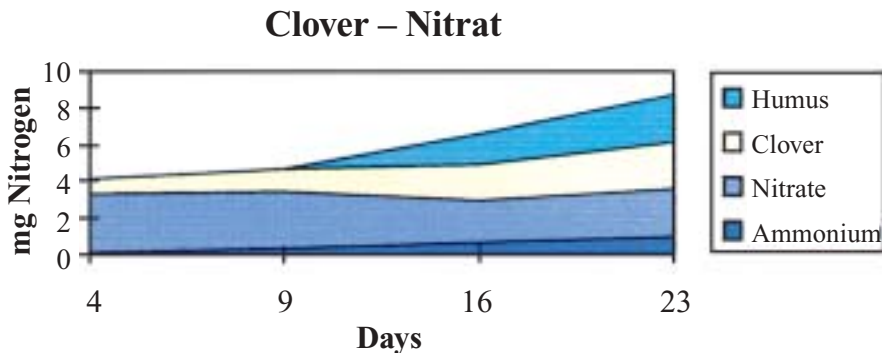
De olika N-formerna bestämdes efter olika tidpunkter och redovisas som staplar i figurerna. Utvecklingen av CO_2 redovisas i en fjärde stapel. En hög stapel representerar hög biologisk aktivitet. Figur 3 visar, att vid god tillgång till lättomsättbar energi återfanns merparten av det märkta kvävet i organisk form redan efter 6 timmar – snabb immobilisering. Samtidigt kan man utläsa en hög biologisk aktivitet. Den avtog emellertid mycket snabbt. Man kan vidare notera att det immo-

Figur 2a. Ammoniumkvävet ursprung vid omsättning av klöver.



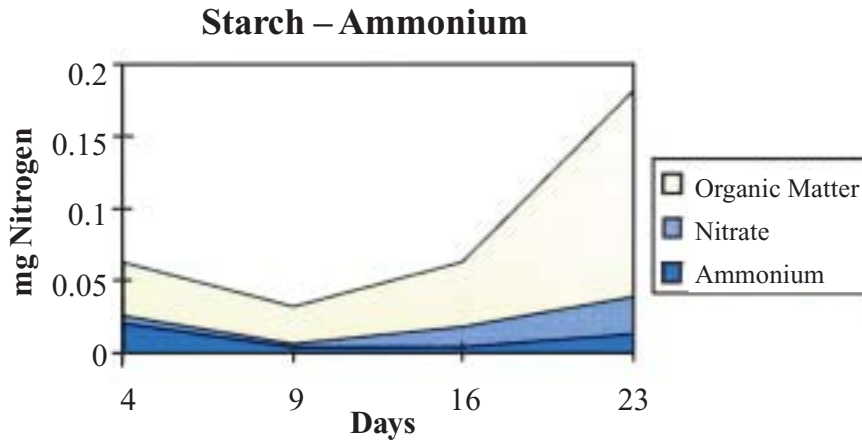
1. Det vid starten tillförda ammoniumkvävet minskade snabbt. Orsaken var immobilisering. Redan efter fyra dagar hade mängden märkt ammoniumkväve minskat avsevärt i jämförelse med startmängden.
2. Någon ammoniumbildning av det märkta nitratkvävet skedde inte. Detta var inte heller att vänta.
3. Nettomineraliseringen av klöver-N var livlig. Klövern är ett lättomsättbart kväverikt material.
4. En del humuskväve mineraliserades snabbt och registrerades som ammoniumkväve.
5. Fram t.o.m dag 9 förblev de olika poolernas storlek ganska konstanta. Summan av de olika poolerna var ungefär lika stor som startmängden av $\text{NH}_4^+\text{-N}$, men nu var ammoniumkvävet sammansatt av kväve från olika ursprung.
6. Därefter minskade poolerna snabbt och nästan fullständigt – nitrifikationen tog över.

Figur 2b. Nitratkväves ursprung vid omsättning av klöver.



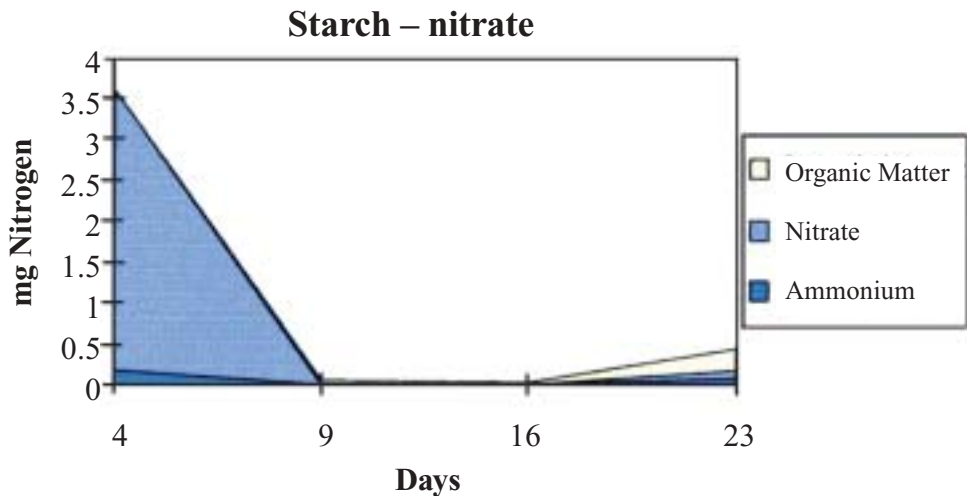
1. Endast en liten mängd nitratkväve härrörde från det ursprungliga ammoniumkvävet. När nitrifikationen kom igång fanns inte mycket märkt ammoniumkväve kvar att nitrifiera. Det immobiliserades vid omsättning av klöver.
2. Poolen med nitratkväve ändrade sig inte mycket över tiden. Det beror på att nitraten inte behövdes. Det fanns ammoniumkväve dels från ursprungligt NH_4NO_3 dels från mineraliserat klöver-N. Mikroorganismerna föredrar ju detta kväve framför nitratkväve.
3. Nitrifikationen av klöverkväve hade börjat redan efter fyra dagar.
4. Humuskväve, som mineraliserades hade helt nitrifierats vid försökets avslutning.

Figur 2c. Ammoniumkvävet ursprung vid omsättning av stärkelse.



1. Det var små mängder ammoniumkväve som fanns, oberoende av ursprung (observera skalan).
2. Det kan noteras att en liten mängd ammoniumkväve återfanns som hade sitt ursprung i nitrat, som tillfördes vid försökets start. Detta kväve måste ha immobiliserats och därefter åter mineraliserats. Reduktion av nitrat-kväve direkt till ammoniumkväve inträffar knappast. (Eftersom det är fråga om mycket små mängder kan man inte utsluta försöksfel).
3. Det mesta kvävet härrörde från humuspoolen och också detta var små mängder.

Figur 2d. Nitratkvävet ursprung vid omsättning av stärkelse.



1. Mycket små mängder nitrat med ursprung från ammoniumkväve återfanns redan efter 4 dagar. Ammoniumkvävet immobiliserades snabbt vid stärkelsens omsättning.
2. Ammoniumkvävet räckte inte för omsättningen av stärkelsen. Också det nitrat som tillsattes vid start immobiliserades under de första 9 dagarna.
3. Det fanns en antydning till remineralisering vid försökets avslutning, men huvuddelen av det mineral-N som fanns vid slutet av försöket hade sitt ursprung från humus.

Tabell 1. Totala innehållet av mineralkväve (märkt och omärkt) vid omsättning av N-rikt och N-fattigt energisubstrat, mg N.

Omsättningstid, dagar	Klöver		Stärkelse	
	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N
0	2,67 ^a	3,71 ^a	2,670	3,710
4	2,53	3,56	0,036	3,380
9	2,44	4,46	0,031	0,039
16	0,34	6,59	0,063	0,025
23	0,16	8,70	0,182	0,433

^a När försöket startades tillfördes 2,5 mg NH₄-N och 2,5 mg NO₃-N. I tabellen redovisas 2,67 resp. 3,71 mg N vid starttillfället. Anledningen till denna avvikelse är att jorden innehöll små mängder mineral-N. Detta måste ingå i kretsloppet.

biliserade kvävet remineraliserades endast i begränsad omfattning trots den snabba nedgången i biologisk aktivitet – en begynnande stabilisering av kvävet.

När energin tillfördes en månad före kvävet blev utvecklingen inte alls lika dramatisk (figur 4). Kväveimmobiliseringen uteblev nästan helt. Det fanns ingen energi som motiverade en immobilisering. NH₄⁺-N förblev i ammoniumform under en stor del av försöksperioden. Vid försökets avslutning hade allt kväve överförts i nitratform – en normal utveckling när mineralkvävet inte behövs av växter eller mikroorganismer.

Remineralisering

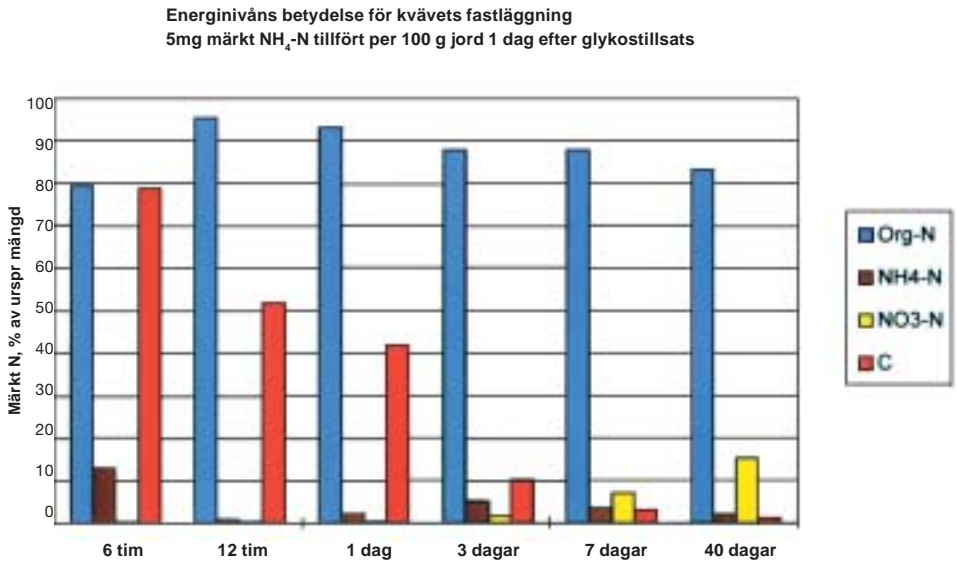
Den biologiska omsättningen leder till att kväve immobiliseras. Om det rör sig om kvävefattigt energisubstrat erhålles en nettoimmobilisering av kväve. Det är relevant att fråga sig när detta kväve kommer tillbaka – remineraliseras. Det har ibland hävdats att man ska plöja ner halmen på hösten. Det är tänkt att detta ska leda till immobilisering av mineralkväve i marken i samband med halmomsättningen. Detta kväve är givetvis skyddat mot utlakning. Det är vidare tänkt att det fastlagda kvävet ska komma tillbaka på våren för att då utnyttjas av grödan. Tyvärr fungerar

inte verkligheten så. Redan 1965 påpekade Bartholomew (1965) att det immobiliserade kvävet till stor del stabiliseras snabbt. I sin bok *Cycles of Soils* sammanfattade Stevenson (1986) ett flertal författare på följande sätt: "Only a small portion of this immobilized nitrogen (< 15%) becomes available to plants during the subsequent growing season, and availability decreases even further in subsequent years".

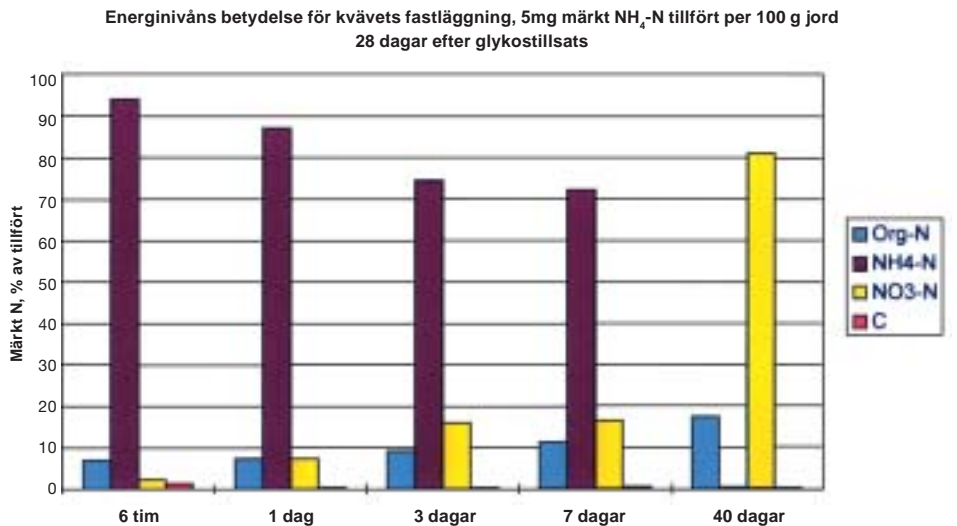
Jansson (1968) genomförde 20-åriga kärnförsök, där isotopmärkt kväve fick omsättas tillsammans med olika energisubstrat. Han beräknade nedbrytningsgraden (nettomineraliseringsgraden) dels hos jordens organiskt bundna kväve, dels hos det immobiliserade märkta kvävet. Generellt fann han att "humuskvävet" mineraliserades något långsammare (ca 1,5% årligen) än det märkta kvävet (2,5% årligen) under de första 5–6 åren. Därefter var skillnaden mellan de båda fraktionerna obetydlig. Någon större skillnad mellan olika energisubstrat fanns inte. Jansson (1968) beräknade halveringstiden för det märkta och det omärkta kvävet ("humuskvävet") vid omsättning av olika organiskt material. Följande uppställning ger några exempel:

	Märkt N	"Humuskväve"
Stallgödsel	27 år	29 år
Färsk träck	33 år	26 år

Figur 3. Energins effekt på kvävet immobilisering. 5 mg $^{15}\text{NH}_4\text{-N}$ tillfördes 1 dag efter glykostiillsats.



Figur 4. Energins effekt på kvävet immobilisering. 5 mg $^{15}\text{NH}_4\text{-N}$ tillfördes 28 dagar efter glykostiillsats.



Jansson sammanfattade resultaten av undersökningen på följande sätt: "The fertilizer nitrogen not removed from the soil during the first and second year after the fertilizer application will turn into a longlasting and slow-acting biological state". A century after the application of inorganic fertilizer N several percent of this N will normally remain in the soil.

Fånggrödan är ett vapen mot utlakning, som under senare år diskuterats och också kommit till användning i praktisk drift. Vanligen består fånggrödan av gräs. Normalt är skörden av en fånggröda ganska liten. Från Västergötland rapporteras 600–800 kg ts per hektar (muntligt B. Lindén). I södra Sverige blir skördarna naturligtvis större. Höstarna är ju längre. Det har ibland hävdats att konsekvent odling av fånggröda kan leda till en "kvävebomb", dvs. en ansamling av humussubstanter skulle kunna leda till en ohämmad kvävemineralisering. Självklart är det så att ökad tillförsel av färskt organiskt material leder till ökad humusbildning och därmed ökad långsiktig kvävemineralisering, men denna ökning, betingad av en fånggröda leder inte till en våldsam mineralisering.

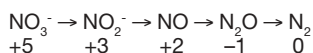
I ett fastliggande försök (35 år) har bland annat 4 000 kg ts i gräs tillförts årligen (Kirchmann et al., 1994). Jämfört med ogödslat försöksled var N-halten i jorden efter 35 år högre i gräsledet (0,13 % resp. 0,18 %) men jämfört med motsvarande tillförsel i halm var skillnaden inte stor (ogödslat halmled 0,16 %, gödslat halmled 0,18 %). Efter 35 år var C/N-kvoten i samtliga behandlingar ungefär 10, dvs. av den storleksordning som man normalt finner i bördig mineraljord. Att de olika färsksubstraten hade olika kvävehalt påverkar inte det stabiliserade materialets kvalitet. Som redan påpekats är verkan av de olika kvävehalterna överstökad på ett par år. Hög halt av kväve ger initialt nettomineralisering (gröngödslingseffekt). Låg halt leder initialt till nettoimmobilisering. Fånggrödan som vapen mot utlakning beror inte på att torrsubstansen har

låg kvävehalt utan på att den växande grödan tar upp mineralkväve på hösten. När denna omsätts efter nedbrukning förorsakar den nog närmast nettomineralisering.

Denitrifikation

Det finns ett flertal bakteriearter i marken som har förmåga att överföra nitrat till gasformiga kväveföreningar. Det är bakterier, som normalt är aerob, dvs. de använder syre vid andningen. Syret används som elektronacceptor för de kemiska processerna varvid vatten bildas.

Vid syrebrist (anaeroba betingelser) kan dessa bakteriegrupper ändra omsättningsmönstret och övergå till att utnyttja kväveföreningar (främst nitrat) som elektronacceptor. Det må påpekas, att det inte är syret i nitraten, som utnyttjas under anaeroba förhållanden. Det är i stället kvävet som reduceras. Vid fullständig denitrifikation sker reduktionen från valenstalet +5 till 0. Genom detta ges bakterierna möjlighet att bryta ner organisk substans för energiförsörjningen. Vid fullständig denitrifikation sker processerna i följande steg:



Av dessa föreningar är NO och N₂O växthusgaser, som kan försvinna innan de utnyttjas för vidare reduktion. Bortsett från detta regleras förhållandet mellan N₂ och N₂O av yttre faktorer såsom pH-värde, fuktighet, temperatur och tillgång till energikälla. Allmänt kan man säga att ju gynnsammare förutsättningarna för denitrifikation är (høgt pH-värde, hög temperatur osv.) desto mer dominerar N₂.

Det skall påpekas att en del av den NO och N₂O som bildas i marken också kan härröra från nitrifikationen.

Denitrifikationen kan spela en viktig roll för växternas kväveförsörjning. Den är mycket

svårbedömd. Förutsättningarna för denitrifikation varierar kraftigt, inte bara över tiden och från fält till fält utan också inom det enskilda fältet på korta avstånd. Det är därför svårt att ange hur stor denitrifikationen är i en viss given situation. Man måste beakta de faktorer som påverkar denitrifikationen. Tät jord, hög vattenhalt och lättomsättbart organiskt material främjar denitrifikationen. Omsättning av organiskt material förbrukar ju syre och kräver annan elektronacceptor när syret är slut. Danska undersökningar har visat att stallgödsel i marken gynnar denitrifikationen (Christensen, 1980, 1983, 1984).

Det kan vara på sin plats att ställa nitrifikationen i relation till denitrifikationen. Det kan ligga nära till hands att uppfatta dessa processer som motsatta. Så är inte fallet. Syftet med de båda processerna är olika. Nitrifikationen utför nitrifierarna för att skaffa energi för sina livsprocesser. Denitrifierarna använder kväve som elektronacceptor för att kunna bryta ner organiskt material och på så sätt skaffa energi för livsprocesserna. Nitrifierarna utgör ett fåtal mycket specialiserade bakterier. Vid denitrifikationen är ett stort antal, normalt aeroba, bakterier verksamma. Dessa kan vid syrebrist ställa om de biokemiska processerna och övergå till att använda kväve som elektronacceptor.

Stallgödsels kväve- och humuseffekt

Stallgödsel är ett brett begrepp. Det omfattar ett stort antal kvaliteter beroende på djurslag, strömedel och hanteringsform. Konsekvenserna av spridning på åkermark varierar beroende på dessa kvalitetsskillnader. I synnerhet fastgödsel ger ofta varierande effekt på skördeutbytet. Denna är en effekt av kolets mängd och kvalitet i relation till organiskt och oorganiskt kväve. Dessutom är det en fråga om hur effektivt man kan förhindra förluster (mera härom i nästa avsnitt).

Stallgödsel är ett organiskt gödselmedel (innehåller organiskt kol) och har därför humuseffekt. Normalt är denna per enhet torrsubstans större än av färska skörderester (exempelvis halm). Detta beror på att stallgödseln innehåller mindre mängder lättomsättbara föreningar. Dessa har i stor utsträckning brutits ner vid fodersmältningen och under lagringen. Ligninhalten blir därför högre än i färskt växtmaterial. Man kan räkna med att minst 30% av stallgödsels organiska substans överföres till stabila humussubstanser.

Stallgödseln är normalt rik på kväve. Beroende på om det är fråga om fastgödsel eller flytgödsel dominerar organiskt kväve eller ammoniumkväve. Betydande delar av kvävet härrör från urinämne $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Detta hydrolyseras under bildning av NH_3 . En del proteinkväve finns också. I flytgödsel kommer kvävet i huvudsak att stanna kvar som $\text{NH}_3 / \text{NH}_4^+$ beroende på att omsättningen är svag i denna anaeroba miljö. I komposterad stallgödsel kommer en stor del av kvävet att avdunsta eller immobiliseras i samband med att träck och strömedel omsätts.

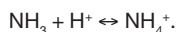
Kväveeffekten hos stallgödsel är svårare att få grepp om än effekten av mineralgödsel. Detta beror på att olika former av kväve ingår men i huvudsak på innehållet av organiskt material. Ibland har man byggt rådgivningen rörande växttillgängligheten hos kvävet på stallgödsels innehåll av ammoniumkväve. Detta är en ungefärlig metod, som förmodligen överskattar kväveeffekten (å andra sidan är det svårt att hitta någon invändningsfri metod). På grund av innehållet av kvävefattigt organiskt material kommer en del av ammoniumkvävet att immobiliseras. Flytgödsel innehåller föga omsatt organiskt material beroende på den anaeroba miljön. Bland annat bildas fettsyror, vilka inte innehåller något kväve. När dessa föreningar kommer i marken efter spridning (miljön blir aerob) omsätts de snabbt under immobilisering av kväve. Å andra sidan innehåller stallgödseln proteiner, vilka förosakar nettomineralisering när de

bryts ner. Ofta har man funnit att kvävebalansen är kraftigt negativ på nötkreatursgårdar – det saknas mycket kväve i balansen.

Ammoniakavdunstning

Ammoniak och ammonium ingår som viktiga komponenter i mark-processer och växternas kväveförsörjning. Ammoniak är dessutom en viktig miljöfaktor. Den är benägen att avdunsta och förflytta sig med vinden och kan därför förorsaka gödslingsseffekt och försurnings-effekt på fel ställe.

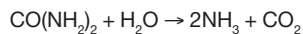
Det föreligger jämviktsförhållande mellan ammoniak och ammonium:



pK_a för denna jämvikt är 9,3. Det betyder att vid detta pH-värde föreligger hälften som NH_3 och hälften som NH_4^+ . Sjunker pH-värdet förskjuts jämvikten åt höger och vice versa. Vid pH 7 föreligger mindre än 1% som NH_3 . pH-värdet är således en viktig reglerande faktor för avdunstningen. När NH_3 avdunstar förskjuts jämvikten åt vänster så att ny NH_3 bildas. Avdunstningen förhindras således inte genom ett lågt pH-värde, men det är klart att ju högre pH-värdet är desto större är NH_3 -poolen och desto större är ammoniakavdunstningen.

I marken är pH-värdet normalt 7 eller lägre. Det betyder att halten av NH_3 är låg. Av denna anledning drabbas inte kvävegödselmedel innehållande NH_4^+ -kväve av stora avdunstningsförluster. Ammoniumkvävet reagerar med markkolloiderna. Inte heller kalkning med karbonathaltiga kalkningsmedel förorsakar stora förluster. Karbonatet förorsakar inga höga pH-värden.

Ett gödselmedel, som kan förorsaka stora ammoniakförluster är urea. I marken undergår urea hydrolys:



Denna hydrolys sker snabbt och leder till en kraftig pH-höjning (8–9). Jämvikten ammoniak/ammonium är långt förskjuten mot ammoniak – ammoniakavdunstning är ofrånkomlig. Denna förlust innebär inte bara allvarlig miljöeffekt utan också försämrade kväveeffekt av gödselmedlet. Vapnet mot avdunstning är snabb nedmyllning av urean. I marken övergår kvävet i NH_4 -form och skyddas av markkolloiderna.

Den största orsaken till ammoniakavdunstning är stallgödsel. I färsk stallgödsel finns merparten av kvävet i form av urinämne (urea). En icke obetydlig mängd finns också i proteiner. Som framgått ovan undergår urea snabb hydrolys under bildning av ammoniak. Här finns förutsättningar för stora ammoniakförluster.

Metoden för hantering av stallgödseln har stor betydelse för hur stora förlusterna blir. Flytgödsel har störst förutsättningar för att skydda ammoniaken. Man kan säga att kemin är på vår sida när det gäller ammoniakförluster från flytgödsel. Ammoniak är mycket löslig i vatten – 1 m^3 vatten kan lösa 800 kg ammoniak. Dessutom är pH-värdet lägre i flytgödsel än i fastgödsel. Som riktvärde kan man säga att pH-värdet i flytgödsel är omkring 7 mot 8–9 i fastgödsel. Det låga pH-värdet i flytgödsel beror på att det i den syrefattiga miljön bildas en stor mängd fettsyror.

Det blir emellertid komplikationer i samband med och efter spridning av flytgödsel. Vatten avdunstar varvid koncentrationen av NH_3 och NH_4^+ ökar. Därigenom ökar ammoniakavdunstningen. Detta enligt Henrys lag som säger att lösligheten av gaser i vätskor vid konstant temperatur är proportionell mot gasens tryck.

När flytgödsel efter spridning hamnar i marken vidtar biologisk nedbrytning av fettsyror. Dessa är mycket lättomsättbara och bryts ner. Därvid försvinner den sura komponenten ($-\text{COOH}$) under bildning av CO_2 . pH-värdet stiger och förutsättningarna för ammoniakavdunstning ökar. Den höga vattenhalten utgör

naturligtvis ett hinder mot avdunstningen och en del kväve immobiliseras vid omsättning av bland annat strömedel och fettsyror.

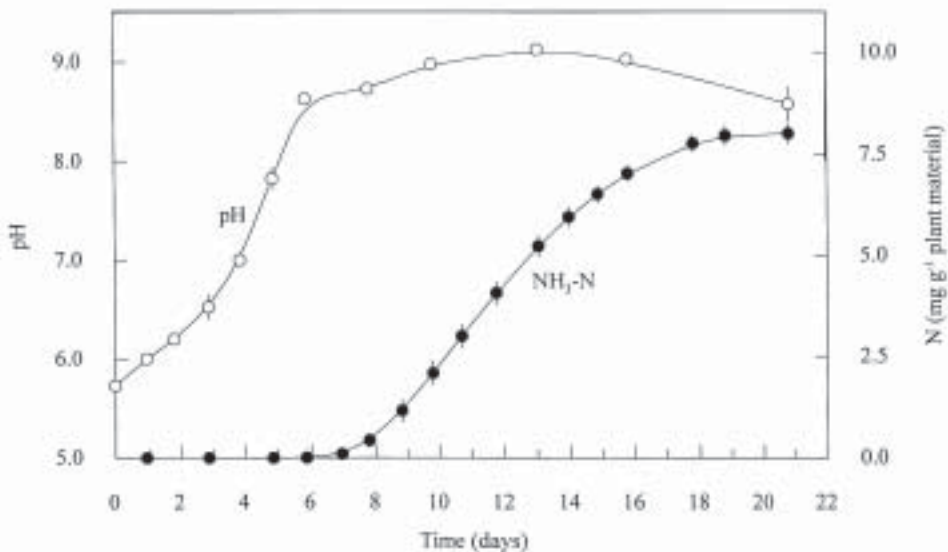
När NH_4^+ fastnar i utbyttbar form sjunker pH-värdet eftersom NH_4^+ -koncentrationen sjunker. Därvid förskjuts jämvikten så att NH_3 -koncentrationen också sjunker.

Förlusterna vid fastgödselhantering är betydligt större beroende på att urinämnet och dess nedbrytningsprodukter inte är lika skyddade för atmosfärens inverkan. Det är fritt för ammoniaken att försvinna. Förlusterna kan bli mycket stora.

Ännu större blir förlusterna när gödseln blir liggande under lång tid i djupströbäddar. Det finns inget som effektivt hindrar frigjord ammoniak att avdunsta. Urinen hamnar på relativt torr halm. Det finns således inget vatten i vilket bildad ammoniak löser sig. Halmen har visserligen stor kapacitet att immobilisera kväve men ureahydrolysen går snabbare än halmnedbrytningen, vilken är en förutsättning för immobilisering.

En annan orsak till ammoniakavdunstning är färskt växtmaterial (gräs, klöver), som ligger avslaget på marken. Så länge växten fortfarande lever fortgår de biokemiska nedbrytningsprocesserna, vilka ska leverera energi till växten. Därvid bildas CO_2 och kväve mineraliseras under bildning av NH_3 . Som en följd av ammoniakbildningen stiger pH-värdet i vävnaden. Denna ammoniak är mer utsatt för avdunstning än om materialet blir föremål för nedbrytning i marken. I marken kommer nämligen en stor del av det mineraliserade kvävet att immobiliseras av de nedbrytande mikroorganismerna. När det är de enzymatiska processerna i växten som förorsakar mineraliseringen finns ingen fälla som kan fånga upp den bildade ammoniaken. Figur 5 demonstrerar sambandet mellan pH-värde och ammoniakavdunstning vid omsättning av grönmasa utan jord (Marstorp, 1995).

Figur 5. Ammoniakavdunstning från blad av *L. Multiflorum* uttryckt som en fraktion av ursprungligt växtmaterial och pH-värde i bladet under inkubation i mörker (Marstorp, 1995).



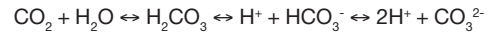
Försurning och kalkverkan – effekt av biologiska processer

Kalktillståndet är nära förknippat med markens basmättnad, dvs, förhållandet mellan baskationer och sura joner. Exempel på de senare är H^+ , $Al(OH)_2^+$, $AlOH^{2+}$, Al^{3+} . Sambandet mellan basmättnadsgrad och pH-värde är starkt. Båda är intensitetsmått. De kan inte tala om hur mycket kalk som behöver tillföras till en viss nivå vid ett givet tillfälle. För detta krävs också ett kvantitetsmått, rätteligen kationutbyteskapaciteten, CEC, men ungefärliga mått kan användas, exempelvis jordart.

Markandning

Mikroorganismernas och växtrötternas oxidation av organiskt material för utvinning av energi leder till att CO_2 -koncentrationen i marken ökar. En del av den i markvattnet lösta koldioxiden reagerar med vattnet och bildar den svaga syran kolsyra, H_2CO_3 . En del av kolsyramolekylerna dissocieras i vätejoner (H^+) och bikarbonatjoner (HCO_3^-). En del av bikarbonatjonerna kan dissocieras i väte-

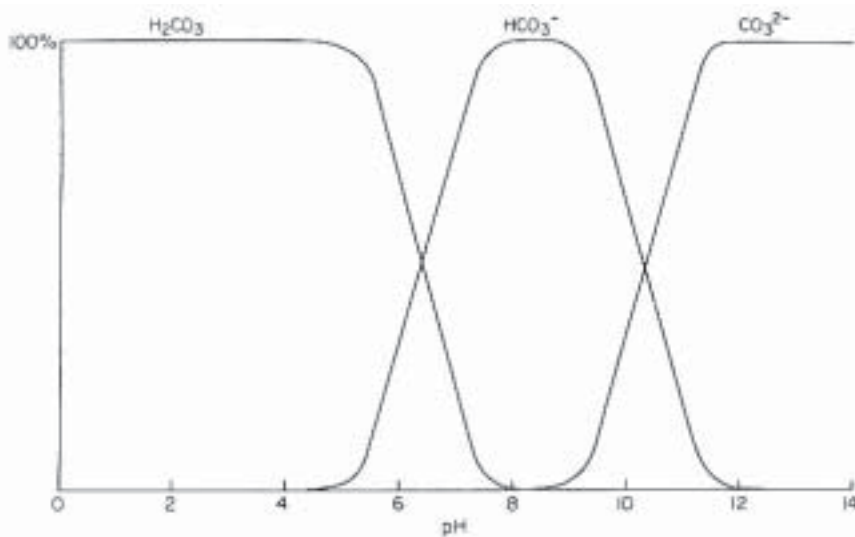
joner och karbonatjoner (CO_3^{2-}). Reaktionerna kan sammanfattas enligt följande:



I vilken riktning reaktionerna inom systemet går bestäms av det aktuella pH-värdet. Figur 6 visar jämviktsförhållandet mellan de olika former, i vilka koldioxid förekommer i vatten. Vid pH 7 är förekomsten av koldioxid delad ungefär i proportionen 20 % CO_2 och 80 % bikarbonat. Vid pH 5.5 är mindre än 10 % i form av bikarbonat och resten i form av koldioxid. Kolsyrans dissociation leder till bildning av H^+ -joner och HCO_3^- -joner. Vätejonen byts in på kolloidkomplexet och ersätter katjoner, främst Ca^{2+} . Dessa bildar lösliga föreningar med HCO_3^- -joner. Bildad $Ca(HCO_3)_2$ är löslig och lakas ut. Därmed har en försurning av kolloidkomplexet åstadkommit. Som en följd av detta blir också markvattnet surare. Det framgår av figuren och diskussionen att koldioxid har betydelse för försurningen endast vid höga pH-värden.

Kolsyran medverkar också vid upplösning av $CaCO_3$ i marken, där sådant förekommer.

Figur 6. Grafisk framställning som visar de tre former koldioxid kan föreligga i och proportionerna mellan dessa vid olika pH-värden.



Upplösningen sker enligt följande reaktionsformel:



Denna reaktion leder inte till att kolloidkomplexets Ca-mättnad påverkas så länge det finns ouplöst karbonat kvar i marken. Därför sjunker inte heller pH-värdet. Ca-utlakningen blir kraftig.

Kvävets mineralisering (ammonifikation)

Kvävets mineralisering leder till bildning av NH_3 ; Protein \rightarrow aminosyror \rightarrow NH_3 . Denna process innebär ingen kalkverkan, vare sig positiv eller negativ. Men i marken med relativt lågt pH-värde reagerar NH_3 med H^+ under bildning av NH_4^+ . Slutresultatet blir kalkverkan.

Nitrifikation

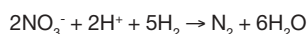
Oxidation brukar åtföljas av pH-sänkning. Detta gäller också om nitrifikationen:



För varje N som oxideras bildas 2 H^+ . Ett kg $\text{NH}_4^+\text{-N}$ förorsakar en försurning motsvarande 4 kg CaO.

Denitrifikation

I marken har denitrifikationen kalkverkan. Det åtgår en H^+ -jon för varje reducerad nitratjon:



Växternas näringsupptag

Generellt och något förenklat gäller att växtupptag av en katjon innebär försurning eftersom en H^+ -jon avges av växten när katjonen tas upp. Å andra sidan medför upptag av en anjon kalkverkan eftersom en OH^- -jon eller en HCO_3^- -jon avges. Normalt tar växten upp mer katjoner än anjoner. Sammantaget innebär därför växtupptaget försurning (Pierre et al., 1973). Relationen mellan upptagna katjoner och anjoner i växten brukar betecknas som basöverskott (excess base, EB). Man kan demonstrera basöverskottet genom att föraska

växtmaterialet. Slammar man upp askan i vatten och mäter pH-värdet finner man att detta är högt. I växten måste naturligtvis elektroneutralitet råda. Därför syntetiserar växten organiska anjoner – organiska syror. När den organiska substansen bryts ner av mikroorganismer försvinner dessa organiska syror. I stället bildas oxider och bikarbonater, vilka representerar växtmaterialets kalkverkan.

Olika växter och olika växtdelar har olika basöverskott. Tabell 2 visar några exempel på växtmaterial med olika basöverskott. Man kan konstatera att baljväxter är kraftigt försurande och att halmen är mer försurande än kärnan. Det sistnämnda hänger ihop med att huvuddelen av katjonerna, Ca och K, finns i halmen samtidigt som anjonen fosfor i huvudsak finns i kärnan.

Tabell 2. Några grödors basöverskott (exkl. kväve). CaO, kg ton⁻¹ ts (G:dotter Beck-Friis & Bäckman, 1988)

Växtmaterial		CaO
Stråsäd	Kärna	0,6
	Halm	9,2
Gräsvall		10,7
Klövervall		45,5

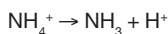
Om skördeprodukterna avlägsnas kvarstår den försurning, som näringsupptaget åstadkommit. Om de däremot återförs till åkern och brukas ner återställs näringsbalansen och kalkbalansen. Av detta följer att stråsäden förorsakar liten försurning om halmen inte bärgas utan brukas ner. Försurningen blir stor om man av någon anledning för bort en baljväxtgröda. Om skörden används till foder och om stallgödseln sprids på åkern återställs balansen.

Stallgödselns kalkverkan

Stallgödselns kalkeffekt är komplex. Sammansättningen varierar och många processer är involverade. Man kan emellertid finna ett

grundkoncept, som kan ligga till grund för beräkningar när det gäller kalkeffekt hos stallgödsel. I detta grundkoncept är kolet, kvävet och metallkationerna centrala.

I stallgödsel finns kvävet ursprungligen i organisk form och i urinämne (urea). Mineralisering av organiskt kväve och hydrolys av urinämne resulterar i kalkverkan. Bildad ammoniak reagerar med 1 H^+ under bildning av NH_4^+ . Detta betyder kalkverkan motsvarande neutralisation av 1 H^+ . Denna kalkverkan måste finnas kvar i stallgödseln på något sätt. I marken kan ammonium oxideras till nitrat. Detta betyder försurning motsvarande 2 H^+ . Nitraten kan tas upp av växten, vilket betyder kalkverkan motsvarande neutralisation av 1 H^+ . Om dessa processer fungerar perfekt har urinämnet och det organiska kvävet ingen kalkverkan eller försurningsseffekt. Men det finns komplikationer. Om ammoniumkvävet immobiliseras i samband med omsättning av organiskt material i stallgödseln erhåller man en försurande verkan, som består om inte kvävet remineraliseras. Någon nettoförändring är det dock inte fråga om eftersom man erhöill motsvarande kalkverkan när ammoniumkvävet bildades. Försurning i matjorden erhålles dock om bildat nitrat lakas ut i stället för att tagas upp av växten. Om nitraten lakas ner i alven och tages upp därifrån får man en kalkeffekt där. Försurning får man också om ammoniak avdunstar.



Detta kan bli en stor post eftersom avdunstningen kan vara stor från stallgödsel. På grund av dessa processer måste man räkna med att urea och proteiner har en viss försurande effekt i stallgödsel.

Precis som i växtbiomassan finns ett basöverskott i stallgödseln. Detta är en kraftigt bidragande orsak till att stallgödseln normalt har en positiv kalkverkan. Som riktvärde kan man ange en kalkverkan om 3 kg CaO per ton stallgödsel.

Oxidation av reducerat svavel

En del mulljordar innehåller betydande mängder reducerat svavel. I samband med odling och i synnerhet i samband med kalkning oxideras detta svavel under bildning av svavel-syra. Detta kan innebära en kraftig försurning. För att kunna ta hänsyn till svavelinnehållet vid planering av kalkning utarbetade Svenska Mosskulturföreningen en metod för kalkbehovsbestämning avsedd för mulljordar. Enligt denna bestämmer man totala mängden utbytbar Ca^{2+} , omräknat till CaO. Denna mängd reduceras med mängden svavel omräknat till SO_3 . Resultatet av denna subtraktion kan bli positiv eller negativ beroende på mängden reducerat svavel. Detta betecknas som nettokalkmängd. Ett stort antal fältförsök visade att nettokalkmängden bör vara 4–6 ton per hektar.

Ammoniumfixering

Ammoniumfixering är ingen biologisk process, men tas kortfattat upp för fullständighetens skull. Ammoniumjonen är positivt laddad. Precis som andra positiva joner kan den bindas i utbytbar form vid markens kolloider (ler och humus). I denna form är kvävet tillgängligt för växten. NH_4^+ kan emellertid bindas hårdare genom att det binds mellan lerskikten (fortfarande med elektrostatiska bindningar). Det är framför allt i illitiska lermineral som detta inträffar. Det fixerade ammoniumkvävet är endast i liten utsträckning tillgängligt för växterna. Kalium reagerar på liknande sätt.

Tabell 3. Skördat gödselkväve (ammonium och nitrat, kg ha^{-1}) vid övergödning med isotopmärkt ammoniumnitrat. (Persson et al. 1975)

Försöksgödsling	Från N28		Från kalksalpeter
	NH_4 -delen	NO_3 -delen	
60	1,8	10,0	21,4
120	5,3	20,7	38,8

Vilken betydelse ammoniumfixering har för växternas kväveförsörjning är osäkert. Det är känt att man måste tillföra mer kväve om man använder ammoniumnitrat än om man använder kalksalpeter när man tillför gödselmedlet som övergödsling. Detta kan vara orsakat av ammoniumfixering. Om så är fallet kan stora mängder fixerat ammoniumkväve finnas på jordar där man under lång tid använt N28 som kvävegödselmedel.

En annan förklaring kan vara att ammoniumkväve utnyttjades dåligt av grödan på grund av att det adsorberades i markytan i utbytbar form. Det är ju vid övergödsling som det föreligger skillnad mellan de båda gödselmedlen. Att adsorption kan vara var en realitet visades under en följd av år i försök där isotopmärkt kväve kom till användning. Sommaren var torr under samtliga år. Exempel på resultat från undersökningen visas i tabell 3.

Det är tydligt att ammoniumkvävet inte togs upp av grödan. Det blev kvar på ytan. En liten mängd regn räckte inte för att grödan skulle komma åt ammoniumkvävet. Samma mängd regn räckte däremot till för att föra ner nitratkvävet till rotzonen. Det var möjligt att extrahera ut icke upptaget mineralkväve med KCl från jorden. Det visar att det inte var fråga om fixerat kväve utan om utbytbar ammoniumkväve (Persson et al., 1975)

Sammanfattning

Inledning

Tack vare undersökningar under lång tid och i flera länder känner man väl de processer som reglerar kvävet tillgänglighet. Man känner exempelvis hur temperatur och fuktighet inverkar och man känner vilka organismgrupper som är verksamma i olika situationer. Problemet är att odlaren inte känner effekten av dessa faktorer när han ska fatta beslut om exempelvis gödsling. Ändå måste beslut fat-

tas. Det måste bli en bedömning. Med hjälp av känd kunskap om nedbrytning/immobilisering i relation till N-halt, stabilisering och re-mineralisering kan man trots allt göra en rimlig bedömning.

Uppbyggnad och nedbrytning av organisk substans

Principerna för kolets kretslopp är väl kända. Genom fotosyntesen binds atmosfärens koldioxid under bildning energirik organisk substans. När den organiska substansen byggs upp tar växten, förutom kol från atmosfären kväve och andra näringsämnen från marken via rotsystemet.

Den organiska substansen kan åter brytas ner under bildning av koldioxid och vatten. Man säger att kolet mineraliserar. Den organiska substansen utnyttjas då som energikälla av mikroorganismer, växter och djur. Utvecklingen av koldioxid är ett uttryck för energiutnyttjande. Olika komponenter i den organiska substansen bryts ner olika snabbt. Inte bara kolet utan också kvävet mineraliserar. Därvid bildas ammoniak.

Humusbildning

Kortsiktigt mineraliserar inte allt kol i den organiska substansen. Omsättningen av det organiska materialet leder till att en del kol stabiliserar – det bildas humussubstanser. Inte enbart kolet stabiliserar utan också kvävet. I själva verket är humussubstanserna rika på kväve. Man kan räkna med att omsättningen resulterar i att motsvarande 20–25% av torrsubstansen i färska växtrester återfinns i stabilt material. Stallgödsel ger ett större utbyte av humus. Humuskvävet utgör markens kväveförråd. Här finns nästan allt kväve i marken (4–8 ton per hektar). Mineraliseringen av kväve leder till att 60–100 kg kväve per ha årligen frigöres för växternas försörjning.

Nitrifikation

När kvävet mineraliseras bildas ammoniak. Ett par mycket specialiserade bakteriearter oxiderar ammoniakkvävet till nitrat. Dessa är specialiserade därför att de inte använder organisk substans som energikälla i likhet med flertalet andra mikroorganismer. De använder i stället ammoniakkväve som energikälla. De är också specialister därigenom att de inte använder organiskt material som kol-källa. I stället använder de bikarbonat. Om det finns mineralkväve i marken, som inte behövs av mikroorganismerna samlas detta i en nitratpool. Nitraten är således slutstation för mineralkvävet.

Nettoeffekt av kvävet's mineralisering och immobilisering

Omsättning av organiskt material innebär att inte endast det organiskt bundna kolet bryts ner och mineraliseras. Också kvävet är föremål för omsättning och mineralisering. Kvävet's mineralisering leder till bildning av ammoniak, vilket kan oxideras till nitrat. Nitratbildningen är dock inte en del av mineraliseringen. Kvävet's kretslopp i marken omfattar inte endast mineralisering. En lika viktig process är immobilisering (fastläggning) av kväve. För mikroorganismernas tillväxt och förökning behöver dessa kväve. Om det inte finns tillräckligt i det organiska materialet, som är föremål för nedbrytning tas detta från mineralkvävet i marken (immobilisering). Samtidigt pågår nedbrytning av organiskt material, vilket leder till mineralisering av kväve. Mineralisering och immobilisering pågår inte alltid med samma hastighet. Ett kväverikt material innehåller mer kväve än vad mikroorganismerna behöver. Omsättningen av ett sådant material leder till nettomineralisering. Om det organiska materialet är kvävefattigt blir resultatet i stället nettoimmobilisering. Humussubstan-

serna är ett stabilt material, som dessutom är kväverikt. Det betyder att omsättning av humussubstanser alltid resulterar i nettomineralisering, vilken emellertid går långsamt på grund av materialets stabilitet.

Remineralisering

Den biologiska omsättningen leder till att kväve immobiliseras. Om det rör sig om kvävefattigt organiskt material som omsätts sker en nettoimmobilisering. Det är relevant att fråga sig när detta kväve kommer tillbaka. Svaret är att på grund av humusmaterialets stora stabilitet kommer det att ta lång tid. Man kan således inte hoppas på att kväve som fastlagts på hösten vid halmomsättning kommer tillbaka i nämnvärd omfattning på följande vår.

Denitrifikation

Det finns flera bakteriearter i marken som har förmåga att överföra nitrat till gasformiga kväveföreningar. Bakterier som normalt lever i en syrerik miljö använder syret vid sin andning. Vid syrebrist kan dessa bakteriegrupper övergå till att använda kväve i sin andningsprocess. Nitratkvävet överföres då till kväveoxider eller till fritt kväve. Denitrifikationen kan medföra betydande kväveförluster. De är emellertid svåra att kvantifiera eftersom förutsättningarna varierar inte bara över tiden utan också inom det enskilda fältet på korta avstånd.

Stallgödsele's kväve- och humuseffekt

Stallgödsel omfattar ett stort antal kvaliteter beroende på djurslag, strömedel och hantlingsform. Resultatet av spridning på åkermark varierar beroende på dessa kvalitetskillnader. Det är en effekt av kolets mängd

och kvalitet i relation till organiskt och oorganiskt kväve. Stallgödsel är ett organiskt gödselmedel (innehåller kol) och har därför humuseffekt. Kväveeffekten hos stallgödsel är svårare att få grepp om än av mineralgödsel. Detta beror på att olika former av kväve ingår men i huvudsak på innehållet av organiskt material. Ibland har man byggt rådgivningen på innehållet av ammoniumkväve. Detta är en ungefärlig metod, som förmodligen överskattar kväveeffekten. På grund av innehållet av kvävefattigt organiskt material kommer en del av ammoniumkvävet att immobiliseras. Flytgödsel innehåller föga omsatt organiskt material beroende på den syrefattiga miljön. Bland annat finns det fettsyror vilka är fria från kväve och förorsakar immobilisering när flytgödseln kommer i syrerik miljö efter utspridning.

Ammoniakavdunstning

Ammoniak och ammonium ingår som viktiga komponenter i markprocesser och växternas kväveförsörjning. Ammoniak är dessutom en viktig miljöfaktor. Den är benägen att avdunsta och förflytta sig. Det föreligger jämviktsläge mellan ammoniak och ammonium vilket är beroende av pH-värdet. Sjunker pH-värdet förskjuts jämvikten mot ammonium och vice versa. Vid pH 7 föreligger mindre än 1% som ammoniak. pH-värdet är således en viktig faktor för att reglera avdunstningen. I marken är pH-värdet normalt under 7. Det betyder att andelen ammoniak är låg. Gödselmedlet urea ger upphov till mycket högt pH-värde. Här föreligger således stor risk för avdunstning.

Den största anledningen till ammoniakavdunstning är stallgödsel. I färsk gödsel finns merparten av kvävet i form av urinämne (urea). Här finns stora förutsättningar för avdunstning. Omsättningen av strömedel (halm) går inte snabbt tillräckligt för att kvävet ska hinna immobiliseras. I flytgödsel är pH-värdet lågt på grund av förekomsten av fettsyror. Men när dessa kommer i marken där syretill-

gången är god omsätts fettsyror och pH-värdet stiger.

En annan orsak till ammoniakavdunstning är färskt växtmaterial, som ligger avslaget på ytan. Så länge växten lever fortgår de biokemiska nedbrytningsprocesserna, vilka ska leverera energi till växten. Därvid omsätts materialet under bildning av ammoniak. Som en följd av detta stiger pH-värdet och ammoniaken avdunstar.

Försurning och kalkverkan

Kalktillståndet är nära förknippat med basmättnadsgraden, d.v.s. förhållandet mellan baskatjoner och sura joner.

Flera biologiska processer har inverkan på kalktillståndet. Markandningen leder till bildning av koldioxid. Denna reagerar med vatten och bildar kolsyra som är en svag syra. Vid högt pH-värde har den försurande effekt i marken.

Kvävets mineralisering leder till bildning av ammoniak, som kan ta till sig en vätejon. Den har således kalkverkan.

Nitrifikation leder till bildning av salpetersyra. Man erhåller en försurning.

Denitrifikation har kalkverkan.

Växternas näringsupptag innebär att växten tar upp fler basiska metallkatjoner än sura anjoner (växten har ett positivt basöverskott). Resultatet blir en försurning.

Normalt har stallgödsel kalkverkan. Det beror på att stallgödsel har stort basöverskott. Men det förekommer komplicerade samspel. Ammoniakavdunstning och immobilisering av kväve kan förrycka resultatet.

Referenser

Bartholomew, W.V. 1965. Mineralization and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In: Soil nitrogen (W.V. Bartholomew and F.E.

- Clark, eds). *Agronomy, Monograph No 10*, 285–306.
- Björnsson, S., Carlsson, C. & Ericsson, Å. 1998. Nitrogen movements in the soil using different energy sources. *Lab. Övningar. Inst. för markvetenskap. Avd. för växtnäringslära.*
- Carlgren, K. & Mattsson, L. 2001. Swedish soil fertility experiments. *Acta Agr. Scand.* 51, 49–78.
- Christensen, S. 1980. Percolation studies on denitrification. *Acta Agr. Scand.* 30, 226–236.
- Christensen, S. 1983. Nitrous oxide emission from the soil surface: Continuous measurement by gas chromatography. *Soil Biol. Biochem.* 15:4, 481–483.
- Christensen, S. 1984. Tab af kvaelstof til luftform ved denitrifikation. *Statens Planteavlsvforsøg Med.* 1803.
- Flaig, W. 1966. The chemistry of humic substances. In: *The use of isotopes in soil organic matter studies. Rep. of the FAO/IAEA Technical meeting, 9–14 Sept. 1963.* Pergamon Press.
- G:dotter Beck-Friis, & Bäckman, C. 1988. Grödans bidrag till markens förurning. *Ex. arb. Inst. för markvetenskap, Avd. för växtnäringslära.*
- Jansson, S.L. 1958. Tracer studies on nitrogen transformations in soil with special attention to mineralisation – immobilization relationships. *Kungl. Lantbr.högsk. annl.* 24, 105–359.
- Jansson, S.L. 1961. Är träavfall växtskadligt? *Lantmannen* 18.
- Jansson, S.L. 1968. On the role of immobilized fertilizer nitrogen in the long-term nitrogen economy of cropped soil. *Festskrift for Hans Laurits Jensen.*
- Jenkinson, D.S. 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil. *V. J. of Soil Sci.* 28, 424–434.
- Jensen, E. S. 2000. Prospects for manipulating crop residues to control nitrogen mineralisation – immobilisation in soil. *Kungl. Skogs.- o Lantbr.- akad. Tidskr.* 139: 8, 25–42.
- Kirchmann, H., Persson, J. & Carlgren, K. 1994. The Ultuna long-term soil organic matter experiment, 1956–1991. *Monograph. Dept. of soil sci. Rep. and Diss.* 17.
- Marstorp, H. 1995. Influence of protein degradation and protein content in a cut *L. Multiflorum* leaves on a delay in ammonia volatilisation. *Swedish J. Agr. Res.* 25, 179–183.
- Paul, E.A. & Juma, N.G. 1981. Mineralization and immobilization of soil nitrogen by microorganisms. In: *Terrestrial nitrogen cycles (eds. Clark F.E. & Rossvall, T.). Ecol. Bull.* 33: 179–195.
- Persson, J. 1978. Kulturåtgärdernas inverkan på markorganismerna – markvård eller markförstöring. *Kungl. Skogs.- o Lantbr.- akad. Tidskr.* 117, 43–48.
- Persson, J. 1985. Grödornas kväveupptagning från olika markdjup. *Betodlaren* 3, 192–119.
- Persson, J., Johansson, O. & Jónsson, L. 1975. Kvävehushållning vid användning av ammoniumhaltiga gödselmedel. *SLU, Inst. för markvetenskap, Avd. för växtnäringslära, Rapport* 95.
- Persson, J. & Mattsson, L. 1993. Effekt av förfrukt och växtföljd på markens kväveleverans. *Norsk Landbruksforskning. Suppl. Nr 16*, 63–70.
- Piccolo, A. Nardi, S. & Coneheri, G. 1996. Micelle-like conformation of humic substances as revealed by size chromatography. *Chemosphere.* 33, 595–602.
- Pierre, W.H. & Banwort, W.L. 1973. The excess-base ratio of various crop species and of parts of plants. *Agron. J.* 65, 91–96.
- Stevenson, F.J. 1986. *Cycles of soils.* John Wiley & Sons.
- Virdung, Ch. 1982. Gödslad torv som odlingssubstrat.– Kväveinnehållets förändring vid lagring. *Kons. avd. Rap. Trädgård* 226.
- Öhrn, S. 1998. Nötkreatur på barkbädd – bädrens kemiska och biologiska egenskaper samt användbarhet som kvävegödselmedel. *Ex. arb. i växtnäringslära nr 110.* SLU. Inst för markvetenskap.

Kväve – från teori till praktiska frågor

Göte Bertilsson



En sammanfattande kommenterande skrivning.
För detaljer och referenser hänvisas till artiklar av
Jan Persson och Karl-Ivar Kumm.

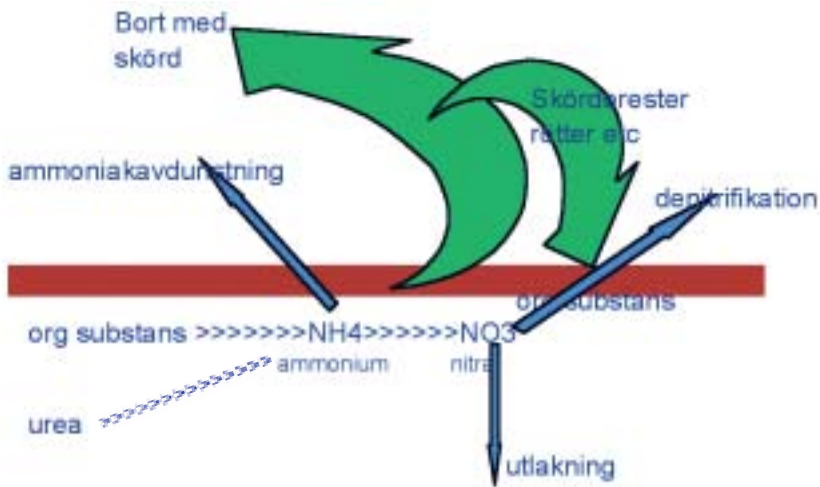
Innehåll

Kväveflöden och omsättningar i mark-växsystemet	99
Kort om hur kvävet förekommer, pooler och deras ungefärliga storlekar	99
Vad händer i marken?	100
Vad händer med tillfört kväve, mineralgödsel och stallgödsel?	102
Om förluster till vatten och luft	104
Hjälpmedel för rätt gödsling	106
Från generella riktlinjer till fältspecifik styrning	107
Behöver vi bekymra oss så mycket om den komplicerade kvävefrågan?	108

Kväve – från teori till praktiska frågor

Kväveflöden och omsättningar i mark-växsystemet

Figur 1. De viktigaste flödena i jordbrukssystemet (kvävecirkulation mark –växt).



Kort om hur kvävet förekommer, pooler och deras ungefärliga storlekar

Organiskt kväve

Detta är ingen enhetlig pool. Det finns allt från humus som är flera hundra år gammal till färskt material från det senaste årets växtlighet, det finns mycket stabila föreningar å ena sidan och stora mängder levande organismer av alla slag å den andra. Det finns en stabil kärna som endast långsiktigt kan förändras men ändå en mycket levande dynamik där mycket kan hända snabbt om förhållandena är gynnsamma för detta.

I normala åkerjordar är förhållandet kol/kväve ca 10/1. Även mullfattiga mineraljordar med en kolhalt på 1% innehåller alltså ca 0,1%

organiskt kväve, vilket betyder ca 3 000 kg organiskt kväve per hektar i matjorden. Alven innehåller också något i de flesta jordar. Normala jordar innehåller 5 till 10 ton organiskt kväve per hektar.

Ammoniumkväve

Ammonium (NH_4^+) är en positivt laddad jon, som kan bindas utbytbar och också bindas (fixeras) mer permanent av lermineralen. Den betar sig i mycket som kalium i marksystemet. Vissa lerjordar kan innehålla betydande mängder fixerat ammonium, tyska analyser har visat på tusentals kg ammoniumkväve per hektar. Detta är säkert inte typiskt för svenska förhållanden, men denna kvävefraktion är nog värd en del uppmärksamhet.

Nitratkväve

Nitrat (NO_3^-) binds inte i marken utan finns i markvattnet. Det transporteras lätt, både till rötter för upptagning och med perkolerande vatten till alven och senare till utlakning. Mängderna blir därmed mycket varierande.

Vatten med över 50 mg nitrat (11 mg nitratkväve) per liter är enligt dagens regler otjänligt som dricksvatten. Vi gör ett räkneexempel med siffran 10 mg nitratkväve/l. 20% vatten i matjordslagret betyder ca 600 000 l vatten per ha. Halten 10 mg/l betyder 6 kg kväve per hektar.

Har man gödlat med 120 kg kväve som nitrat bör medelhalten i matjordens vatten bli ca 200 mg nitratkväve per liter. Man inser lätt att det inte är bra om detta vatten kommer ut i dräneringarna. Man inser också att marken inte kan hålla några större förråd av nitrat, även om det summerat över markprofilen som är tillgänglig för rötterna kan bli en mängd värd att beakta vid gödningen.

Vad händer i marken?

Den organiska substansen – mineralisering och fastläggning

Den organiska substansen, mull eller färskare material, bryts ned, och kan allt efter omständigheterna leverera eller binda kväve. Markens organiska substans fylls på av skörderester, rötter samt av stallgödsel.

Nedbrytningen beror i hög grad på hur marken behandlas. Vid bearbetning kommer luft till och jämvikter rubbas. Mikrobilivet sätter fart. Bäst bevaras den organiska substansen om marken får vara i fred. Därför har de senaste åren tonvikt lagts på att man för att minska kväveutlakning ska uppskjuta höstbearbetning, helst till våren.

Biologisk kvävefixering

Kväve som grundämne finns det nog av. 80% av luften är kvävgas. Lufttrycket är ungefär 1 kg/cm² eller 10 ton per m². Över varje kvadratmeter finns alltså 8 ton kväve. Men detta

luftkväve kan inte användas utan vidare. Växter hämmas av kvävebrist mitt i detta kvävehav, lika väl som skeppsbrutna kan törsta ihjäl ute på havet.

Men vissa växter i kombination med mikroorganismer kan använda luftkvävet. Viktiga är framför allt baljväxterna. Under våra förhållanden kan klöver och lusern binda i storleksordningen 300 kg kväve per hektar årligen. De berikar marken på kväve. Årter fixerar nog för sin egen tillväxt, men inte tillräckligt för att berika marken.

I ekologisk odling är biologisk kvävefixering motorn i odlingsssystemet.

Några andra kvävefixerande system förtjänar nämnas:

Ris kan med hjälp av mikroorganismer i rotzonen fixera luftkväve i betydande mängd, vissa gräs i varmare zoner likaså.

Alen fixerar kväve, även den med hjälp av mikroorganismer.

Blågröna alger i hav och sjöar är kvävefixerande och kan ge betydande näringstillskott.

Såväl alger som vissa bakterier i jord (frilevande kvävefixerare) kan ge vissa små tillskott under gynnsamma omständigheter (storleksordningen 10 kg kväve per hektar).

Nitrifikation

Nitrifikation är ammoniums omvandling, oxidering, till nitrat. I verkligheten förlöper den i två steg. En typ av bakterier tar ett första steg och ger nitrit, andra tar över och producerar nitrat. Det är alltså en rätt komplicerad process. Den påverkas mycket av temperatur och markens pH. Vid pH 7 och 20 grader går den snabbt. Tillsatt ammonium blir nitrat på ett par veckor. Emellertid är förhållandena inte så ideala i de flesta fall. Om vi gödslar i april och jorden har ett pH-värde på 6 kommer inte nitrifikationen att vara klar förrän efter midsommar.

Denitrifikation

Vid denitrifikation omvandlas nitrat till framför allt kvävgas men det kan också bildas di-

kväveoxid, lustgas. Kvävgasen är miljömässigt helt neutral. Dikväveoxid är däremot ett miljöproblem. Den är en växthusgas och den kan också påverka ozonskiktet.

Vid denitrifikation utnyttjar bakterier (flera olika slag) nitraten, som sönderdelas. Denitrifikationen gynnas av lättomsättbart organiskt material och av låg syretillgång. Mycket tyder på att den är stor periodvis, t.ex. efter tillförsel av organisk gödsel under fuktiga förhållanden eller efter ett sommarregn i en med kväve välförsedd gröda. Men den har också betydelse under mer normala förhållanden.

Denitrifikationen är något av ett undflyende frågetecken. Det är svårt att mäta små tillskott av kväve till det oändliga kvävehavet i luften. Konstgrepp att komma förbi ger sina egna frågetecken. Det är lätt att skylla svårförklarliga kväveunderskott på denitrifikationen. Å andra sidan är den en betydande process. Det är ju den som ska rena vatten i de våtmarker som etableras och det är den som tar bort kvävet i reningsverkens kvävesteg. Vi får ta några exempel:

I en engelsk undersökning har man gått igenom ett antal fältförsök med märkt kväve. Man kan bestämma vad som inte återfunnits, och man kan beräkna utlakningen. Resten bör vara denitrifikation plus ammoniakavdunstning, vilken i allmänhet inte är så stor. Man får fram mycket varierande siffror, från 0 till 25% denitrifikation av tillsatt N.

Denitrifikationen kan vara betydande också vid temperaturer kring 10 grader, vilket visas i en annan engelsk rapport.

Svenska försök på 1950-talet (Hans Nömmik): I omsättningsförsök på laboratoriet tillsattes nitrat till jord, som sedan vattenmätades. Allt nitrat försvann på 4–6 dagar i en lera från Moholm, Skaraborg, medan hälften var kvar efter 26 dagar i en lerig mo från Västmanland. Kvävet var isotopmärkt och gasavgången som N_2O och N_2 har mätts. Man kan väl säga att det visar på en stor potential för snabb denitrifikation i vissa jordar. Temperaturen var i dessa försök ca 20 grader, men det

sågs att processen har betydande hastighet även vid 10 och kan pågå även vid 3 grader.

Man kan kanske sammanfatta så att när jord vattenmättas finns stor risk för betydande kväveförluster genom denitrifikation. Detta kan förklara en del konstiga fall med låg gödslingsseffekt. Därutöver finns en mindre dramatisk fortgående kväveförlust genom denitrifikation också utanför vegetationssäsongen. Jorden behöver inte vara totalt vattenmättad för att denitrifikation ska ske. Det bildas lätt fickor med dålig syretillgång även i icke vattenmättad jord.

Ammoniumfixering

Processen innebär att tillsatt ammonium binds av markmineral på sådant sätt att det inte går att få tillbaka med normala metoder. Det fixerade ammoniumkvävet är också otillgängligt för nitrifikationsbakterier. Det kan emellertid i viss utsträckning utnyttjas av växtrötter, möjligen genom att roten genom att ta upp kalium "öppnar upp" mineralskikten och får tag i det mellan dem bundna ammoniumet.

Ammoniumfixering är principiellt en mycket tydlig process. I kärnförsök med en fixerande alvjord kan den direkta gödslingsseffekten av ammonium vara noll. Emellertid blir det inte så tydligt i praktiken. Mullämnen stör processen och mull finns ju i alla matjordar. Och så småningom kan växterna ta kvävet i alla fall.

Det är möjligt och kanske troligt att ammoniumfixeringen spelar viss roll i att nitratkväve oftast ger bättre kväveeffekt än ammoniumkväve. Emellertid borde ju då den fixerade mängden kväve ökas vid långvarig ammoniumgödsling och effekten utjämnas. Detta har inte kunnat spåras.

Ammoniumfixeringen kan behöva tas hänsyn till i vissa fall, när man märker att nitratkväve har tydligt bättre verkan än ammonium. Den kan förklara en del effekter. Tidigare fixerat ammonium kan också ligga bakom oväntat goda skördar utan kvävegödsling. Normalt synes dock inte ammoniumfixeringen behöva

ägnas särskild uppmärksamhet vid gödslingsplaneringen.

Vad händer med tillfört kväve, mineralgödsel och stallgödsel?

Summering av ovannämnda processer

En viktig reaktionskedja för kvävet är organiskt kväve – ammonium – nitrat. Låt oss följa denna och se vad som kan hända.

Vid omsättningen av organiskt kväve kommer inte allt att mineraliseras. En del blir stabiliserad som humus. Hur mycket beror på sammansättning och nedbrytningsförhållanden, och man har nu kunskap tillräckligt för att göra uppskattningar av dessa förlopp kvantitativt (se Jan Persson).

Det som blir ammonium kan sedan gå olika öden till mötes: tas upp av mikroorganismer, tas upp av växter, fixeras till markmineralerna, nitrifieras eller avgå som ammoniak till luften. Utlakning av ammonium kan försummas i alla normala jordar.

Det som blir nitrat kan tas upp av växter (och mikroorganismer), denitrifieras eller utlakas.

Det finns många processer som konkurrerar om kvävet.

Mikroorganismerna är en betydande faktor. De har kapacitet att snabbt ta hand om hundratals kg kväve per hektar om förhållandena är gynnsamma. De föredrar ammonium före nitrat. Efter en uppblomstring kan mikrobmängden minska igen och kvävet levereras tillbaka. I vissa fall kan sådant hända, men normalt går det lugnare till. Mikroorganismerna står också för denitrifikationen som ovan beskrivits.

Rotzonen (rhizosfären) är av särskilt intresse. Det är ett dynamiskt ställe när grödan växer. Nya rötter och rothår bildas snabbt. Rothåren är kortlivade, de dör och levererar organiska ämnen och näring tillbaka till marken. Det kan bli livlig biologisk aktivitet och omsättning. Det är rika tillfällen till både fast-

läggning av kväve, denitrifikation och också mineralisering.

Ammoniakavdunstning ska inte förglömmas, men processen är normalt inte särskilt viktig utom i två fall: organisk gödsel och urea. Om ammoniumhaltiga gödselmedel (NPK eller ammoniumnitratgödselmedel) spritts på marken blir förlusterna normalt försumbara. Enbart i extremfall, om marken har mycket högt pH (över 7) och det är varmt med hög avdunstning kan det bli tydliga förluster, men dessa förhållanden råder sällan när man gödslar. Annorlunda är det för urea. Denna omsätts ganska snart (något dygn) till ammoniumkarbonat varvid pH lokalt stiger, och då sticker ammoniak lätt iväg. Stallgödsel har också högt pH, och vidare kommer dess ammonium inte så lätt i kontakt med markens mineral som absorberar ammoniumet och hindrar dess avgång. Försök har visat att förlusterna från ammoniumrik stallgödsel blir mycket större om den sprids på en växande gröda än om den läggs på "svart jord".

Ammoniak kan också avgå om kväverika skörderester som betblast, potatisblast eller avslagen grönmassa får ligga kvar på markytan och brytas ned.

Växande grödor kan släppa ifrån sig något ammoniak. Det rör sig dock normalt om bara 1–2 kg N/ha.

Hur påverkar applikationssätt och distribution i marken?

Vi gödslar ju med sikte på att grödan ska ta upp kvävet så det kommer till nytta. Och vi har sett ovan att det finns många konkurrerande processer som kan påverka resultatet. Det är därför inte alltid så lätt att riktigt begripa och förklara vad som sker.

Radmyllning, kombisådd

Kvävet lägges här koncentrerat till en sträng. Detta minskar mikroorganismernas möjlighet att komma in i bilden, och likaså minskas markens påverkan överhuvudtaget, fixering etc. Och strängen ligger på sådant djup att

växtrötterna har lätt att komma till, fuktighet finns etc. Detta kan vara några förklaringar till att radmyllning ger bättre kväveutnyttjande. Vidare har vi sett att radmyllning koncentrerar rötterna till gödselsträngen, vilket kan ha sin betydelse för växtens utveckling.

Övergödning

Härmed menas att gödseln bredsprides på växande gröda. För höstsäd blir ju detta det normala. Det är underligt nog en riktigt effektiv metod. Där man har jämfört övergödning till vårsäd med bredspridning och nedmyllning före sådd av samma gödselmedel (kalkammonsalpeter), har övergödningen varit något bättre (gamla försök). Vi har en "övergödningseffekt". Särskilt tydlig är den för kalkalpeter, men den är inte helt bunden till det. Vad beror den då på? Vi har faktiskt inget bra svar. Gödseln hamnar ju på markytan. Där är den rätt opåverkad av markens organismer. De kommer inte till. Där finns inga rötter heller, men så småningom transporteras nitraten ner till rötterna. Ammoniumkväve måste först nitrifieras innan det kan förflyttas i nämnvärd grad. Övergödningseffekten kan dels bero på att marken inte riktigt kommer i läge att konkurrera, dels på att kvävet blir tillgängligt i en för grödans utveckling fördelaktigare takt. Spannmålsskörden och kväveeffektiviteten är inte betjänt av att tidigt tillgängligt kväve förbrukas till en onödigt stor bladmassa. Antagligen minskas också risken för denitrifikation.

Kväveformer: nitrat, ammonium och urea

Nitratkvävet (t.ex. i kalkalpeter) kan inte bindas av markmineralen, det är inte så begärligt för mikroorganismerna som ammonium och det transporteras lätt i markvätskan. Detta kan vara skälen till att det ger högre kväveeffektivitet än ammonium när det används rätt. Och rätt användning av kalkalpeter är till övergödning. Kalkalpeter skall inte harvas ned, då försvinner pluseffekten. Och för radmyllning är kalkalpeter inte alls lämplig.

Varför det är så är inte helt klart, men förklaringar kan tänkas enligt ovan.

Försök har visat att för kalkalpeter kan kväverekommendationen sänkas ca 15% jämfört med ammoniumnitrat/kalkammonsalpeter.

Ammoniumkväve möter större risker i marksystemet, både från mikroorganismerna och markens mineraler. Särskilt på lerrika jordar tycks ammonium fördröjas och reduceras i verkan, vilket kan förklaras med temporär ammoniumfixering. På sådana jordar bör ammoniumrik gödsel brukas ned. Ammoniumkväve hävdar sig bäst på lättare jordar och vid fuktigare och varmare betingelser och vid lång växtsäsong. Det är större skillnad på verkan av kalkalpeter och ammoniumnitrat i Mellansverige än i Skåne.

Urea ombildas snabbt till ammoniumkväve, men den resulterande pH-höjningen ger lätt ammoniakförluster. Urea har osäkrare effekt än ammonium.

Långsamverkande gödselmedel, control release, slow release

Sådana har ingen praktisk användning i jordbruket i dag, men de diskuteras ibland som en önskvärd utveckling. De skulle ju kunna ge det som ofta sagts vara önskvärt, en näringsleverans som stämmer med grödans behov. Men vi får perspektiv på frågan om vi tänker på stråsådens utvecklingskurva. Stråsåden behöver ungefär 20 kg kväve i maj, 60 i juni och 20 första halvan av juli. Sedan får inget gödselkväve vara kvar, för det ger miljöproblem. Tekniskt har man inte lyckats få fram ett sådant gödselmedel som är säkert nog. Det är också så att gödsling i rätt tid med lämpligt gödselmedel normalt är så effektiv att den knappast kan förbättras.

Men visst finns det mindre nischer där denna typ av gödselmedel kan ge fördelar.

Tidpunkter för gödsling, delad giva, precisionsodling

Resonemanget gäller stråsåden om inget annat sägs.

Marken är faktiskt en riskabel plats att lagra kväve på. I princip bör därför kvävet läggas så att tillgängligheten ansluter till grödans behov. Men problemet är ju att man inte kommer åt att ge kväve till grödans rötter när den är i gång att växa. Och ha gödseln i markytan där grödan inte kommer åt den under en torrperiod går inte heller.

Hur hantera detta praktiskt?

Försöken visar otvetydigt att tidig gödsling till höstvetete (mars, tidig april) med full giva ger sämre kväveverkan än en senare (sen april, maj). Det gäller också det vårtorrare Mellansverige. Torra vårar ingår också i försökens medeltal och problemet kan lätt överdrivas, men det är klart att ju längre man väntar desto mer kritiskt blir det om försommaren är torr.

Med denna bakgrund får man hitta en strategi som passar. Den gamla kunskapen var att inte ge kvävet tidigt. Man talade om 10–15 cm stadiet som lämpligt för höstvetete. För ca 20 år sedan blev det en trend att gödsla tidigare för säkerhets skull. Nu vänder det hela tillbaka igen.

”Delad giva” kan betyda många saker. I princip kan det betyda att man ger en del mycket tidigt och en del i normal tid. Men normalt borde det betyda att en del av ”normaltidsgivan” sparas till ett senare tillfälle. Med någon förenkling kan sägas att om man vet precis vad grödan behöver är det inte fel att lägga denna mängd vid optimal tid. Man kan i tillägg behöva ”proteingödsla” i vissa fall och eventuellt lägga en mindre giva tidigt för att hjälpa ett svagt bestånd.

Men nu är det ju så att man vid gödslings-tillfället inte precis vet vad grödan behöver, och då kommer diskussionen om delad giva i ett annat läge. Den bästa strategin blir då en tvåstegsoperation: en grundgiva vid optimal tid som är låg nog att normalt behöva kompletteras, plus en kompletteringsgiva senare där man utnyttjar tillgänglig kunskap och teknik för att bestämma kvävebehovet det aktuella året. På detta sätt kan man åstadkomma en årsmånsanpassning.

Precisionsodlingen utvecklas. Den innebär att man tar hänsyn till fältets ojämnheter och ger varje fläck vad den behöver. Den förutsätter nästan delad giva. Den ger också automatiskt en årsmånsanpassning.

Tillsammans ger precisionsodling och gödsling vid rätta tidpunkter möjlighet till en stor förbättring av kvävet praktiska effektivitet.

Om förluster till vatten och luft

Direkta förluster av utspritt kväve

Tidig spridning ökar risken för att utspritt nitrat ska lakas ut innan grödan tar upp det. Nitraten rör sig ju med vattnet, i storleksordningen ungefär 5 mm nedåt för varje mm vatten som rör sig. Ett regn på 50 mm på tidigare vattenmättad jord skulle alltså kunna flytta nitraten 25 cm i medeltal, och det betyder att kanske 10% har kommit nedanför 50 cm. Och det finns ju risk för större regnmängder. Jämfört med mitten av mars har vi följande skillnader för slutet av april (sydsvenska förhållanden): en och en halv månadsnederbörd mindre, risken för ”extraregn” har minskat, avdunstningen kommer igång och skapar ett magasin som ska fyllas innan det blir någon nedtransport. Det är många faktorer som samverkar till att mycket tidig gödsling ger större utlakningsrisker. Lätta jordar i nederbördsrika områden är särskilt utsatta. Vid riktigt tidig gödsling (t.ex. rapsens första giva) bör ammoniumhaltig gödsel användas (NPK eller ammoniumnitrat).

Outnyttjat kväve efter växtsäsongen

Normalt ska lösligt kväve ta slut under sensommaren under stråsäd och oljeväxter. Om grödan inte har klarat av att ta upp allt finns det ”restkväve” som höjer utlakningen. Om det blir så har det varit missanpassning mellan grödan och gödslingen (grödans utveckling har störts, gödslingen har varit för hög). Det undviks genom anpassning av gödslingen

till mark och gröda, vidare årsmån och helst också fältvariationer.

Detta resonemang gäller spannmål och oljevaxter. Det finns grödor, vissa grönsaksgrödor, som ju skördas på ett helt annat stadium och som för sin utveckling kräver en bra tillgång på lättillgängligt kväve i markkvätskan. Där är det då särskilt viktigt att se till att marken får ett nytt växttäcke efter skörd.

Mineraliserat kväve

Mikrobernas omsättning av markens organiska substans leder till att kväve friställs. Vi har en mineralisering i storleksordningen 50–100 kg kväve per hektar och år. Denna process upphör inte för att grödan slutar växa. Så när stråsäden mognar till under juli månad finns ett par månaders mineralisering kvar, vilket innebär kanske 20–50 kg kväve. Om marken är bar på hösten ansamlas detta kväve och löper stor risk att utlakas. Det är detta som gör utlakningen så svår att kontrollera. Om marken får vara i fred, utan bearbetning, minskar denna mineralisering.

Det är marken som släpper till detta kväve. Det beror inte direkt på gödslingen men i någon mån indirekt. En välgödslad gröda ger mer kväverika rester till marken, kanske en mer kväverik mikroflora. Detta ökar mineraliseringen. En bördigare mark ger mer mineralisering. Det finns ett dilemma. Vi vill ha bördiga mullrika marker men det går inte riktigt ihop med kontroll av utlakningen.

Åtgärder: fånggrödor eller höstgrödor som tar upp detta kväve, ingen tidig höstbearbetning av jorden som ökar mineraliseringen.

Skörderester

Kvävefattiga skörderester som halm (även från raps) behöver kväve från marken för sin omsättning. De innehåller kväve men ger ändå en tendens till att minska utlakningen om de nedbrukas väl. Mycket beror på detta sista. Om de inte blir väl inblandade i jorden märks denna effekt föga. Det är också viktigt med en tidig inblandning. Men – man skulle ju också

undvika att bearbeta för att inte sätta igång en onödig kväveminalisering. Om man inte behöver bearbeta för höstsådd är det bäst ur utlakningssynpunkt att låta marken vara i fred och låta halmen ligga på ytan.

Kväverika skörderester är bl.a. blast av olika slag samt t.ex. rev efter gröna ärter. Vid deras omsättning blir det kväve över och utlakningen kan öka. Kväverika skörderester ska helst inte nedbrukas tidigt utan att en gröda kommer efter. Gäller det hösten ska de nedbrukas så sent som möjligt.

Om kvävet utnyttjande

Som utgångspunkt i diskussionen tas ett exempel från ett långliggande försök i Skåne. Det är som synes medeltal av 12 år med olika grödor, mest spannmål och sockerbetor. Kväve i gödsel, skörd, skörderester och utlakning har mätts, övrigt är beräknat. Det bör observeras att någon denitrifikation inte är med, men antagligen finns den. Då måste mineraliseringen vara i motsvarande grad högre.

I figur 2 redovisas siffror dels för ledet med ca 100 kg N (något varierande beroende på gröda) dels ledet utan kvävegödsling.

Tillfört med gödsel är 106, bortfört med skörd är 98. Det är ett litet överskott, men man får nog ändå sammanfatta att kvävet utnyttjats bra. Och det finns möjligheter till

Figur 2.



förbättring, varav följande åtgärder är uppenbara:

Bättre anpassning efter årsmån. I försöket har ju på förhand bestämda givor använts.

Bättre gödslingsteknik, t.ex. radmyllning i stället för bredspridd och nedharvad kalkammonsalpeter.

Mer konsekvent användning av kalksalpeter.

Ofta räknas emellertid utnyttjande på ett annat sätt: Utan gödsling skördades 46 kg kväve. Efter tillförsel av 106 skördades 98, dvs 52 kg mer. 52 kg av 106 betyder 49% utnyttjande. När man räknar på detta sätt får man en missvisande bild av kvävet funktion. Emellertid kan metoden ha sitt värde vid jämförelser mellan olika gödselmedel och tekniker.

Marken har bidragit med 57 kg N vid grödans uppväxt, men den får tillbaka 49 med skörderesterna. Också där är det nästan i balans i det gödslade ledet. I det ogödslade däremot blir det ett betydande underskott. Mullen har levererat 77 men den får bara 20 tillbaka.

Utlakningen skiljer inte särskilt mycket mellan leden.

Sedan finns tillförsel från atmosfären, ca 15 kg N. Detta kommer ju under hela året. Det bör förstås tas med i totalbalanser, men om man bara räknar på grödans balans är det tveksamt att ta med den fullt ut. Det kommer ju mest när det inte finns någon gröda på marken.

Hade nu stallgödsel använts, hade där funnits en komponent till: organiskt kväve direkt till markens förråd.

Hjälpmedel för rätt gödsling

Rätt gödsling betyder att anpassa både efter mark och gröda. Marken ger en grundförsörjning. Om denna grundförsörjning är betydande behövs inte så stora tillskott och vice versa. Grödan bestämmer hur stort behovet är. Det är rätt självklart att det behövs mera kväve för 8 ton vete än för 4.

Nu är förstås inte allting rättfram och enkelt. Markens egenskaper bestämmer också grödans utveckling och skörd. En bra förfrukt kan lämna extra kväve till följande gröda, men den kan också öka skörden. Det blir två motriktade påverkningar på gödslingsbehovet och det kan tänkas att det inte ändras alls. Vidare kommer kvalitetskrav in och behöver beaktas för många grödor.

Men trots alla komplikationer finns en hel del hjälpmedel och tekniker att använda.

Inverkan av beräknad skörd, förfrukt, såtid, mullhalt m.m.

Detta ger hållpunkter för att korrigera rikt-givan.

Dagens kunskap är samlad i Jordbruksverkets publikation Riktlinjer för gödsling och kalkning.

Mineralkväve i markprofilen (kväveprofil, N-min)

Det finns skäl att minska givan om värdet är över 40 och öka om det är under 30. Försöken säger att man inte ska korrigera fullt utan med 0,5 kg N för varje kg N i markprofilen. Detaljer i Jordbruksverkets Riktlinjer.

Ett annat sätt att utnyttja kväveprofilen är att jämföra med egna tidigare värden. Då använder man en egen standard, och detta kan vara säkrare.

Kväveprofilen justerar grundgivan för gödslingsplaneringen.

Växtanalys

En växtanalys indikerar om växten känner en relativ brist på något ämne, t.ex. kväve. Ett problem med tolkningen är att normalhalten ändras med tiden, och därför måste analysvärdet noga bindas till ett visst utvecklingsstadium. Laboratorier har egna paketylösningar på denna fråga.

Om man bara analyserar nitrat i växtsaften är utvecklingsstadiet mindre kritiskt. Flera olika förfaranden har prövats, och flera kan vara till hjälp. S.k. nitratstickor är en snabb-

metod som kan användas direkt i fält, men metoden kräver viss fältmässig justering. Tala med rådgivningen.

Växtanalysen är mest användbar för att justera en ev. kompletteringsgiva. Metoder anpassade för mycket tidig analys har prövats men är inte i bruk i dag.

Kalksalpetermätare, klorofyllmätare

En enkel fältmässig metod som känner av växtens kvävesituation. Man mäter på enskilda blad. Metoden måste kalibreras i fältförsök för den aktuella sorten. Det finns kalibreringar för flera viktiga grödor och sorter. Tala med rådgivningen eller gödselleverantören.

Kalksalpetermätaren kan användas för att styra kompletteringsgödslingen.

Kvävesensor

Sensorn arbetar med samma princip som kalksalpetermätaren, men på avstånd av några meter. Den känner alltså av hela beståndet. Med denna metod kan man också mäta beståndets biomassa och få en indikation på skördenivån. Sensorn kan antingen direkt styra en gödselspridare eller köras separat för att göra en doseringskarta för senare användning.

Nollruta

Kvävemängden i nollrutans gröda indikerar hur mycket marken har kunnat ge utan hjälp av årets gödsling. Den summerar kväveprofil, förfruktskväve och mineralisering.

Problemet är att när man får värdet är det för sent att korrigera gödslingen. Det blir en erfarenhet att använda nästa år.

För att förenkla förfarandet har utvecklats en metod att bestämma kväveupptagningen genom att mäta strålängden och jämföra nollrutans gröda med den normalgödslade (Hydro Nollruta). Denna metod är enkel nog att använda i flera upprepningar och år från år. Genom att man då får en bättre helhetsbild kan man få större säkerhet. Det gäller bara att åstadkomma en gödslingsmista.

Datormodeller

Om man har kännedom om processerna i marken kan man beräkna vad som sker. Modeller används med stor framgång för att uppskatta utlakning under olika förhållanden. Kan de även användas för att beräkna gödslingsbehov i en enskild situation? I princip är svaret ja, men i praktiken är det svårt med data. Även forskare skulle ha svårt att ange för ett fält representativa data för t.ex. vattenhalt och porvolym i markprofilens olika lager. Emellertid har modellarbetet gått framåt och man har kommit långt i att förklara vad som sker, och i att göra mer allmänna beräkningar. Det är möjligt och troligt att modeller kan komma att användas mer direkt i en nära framtid.

Från generella riktlinjer till fältspecifik styrning

I flera tidigare avsnitt i denna skrift har behandlats åtgärder för att anpassa den aktuella gödslingen på grundval av uppgifter och data från det specifika fältet och att även kunna gå vidare till att beakta variationer inom fältet. Det är absolut nödvändigt att gå i denna riktning om man ska kunna kombinera ett effektivt jordbruk i våra trakter (fuktigt klimat med utlakning) med låga kväveförluster.

Vi vet att det är stora skillnader i gödslingsbehov mellan olika år och olika fält. Och detta måste vi komma åt.

Gårdsdata som övergripande kvävebalans ger en ram.

Fältets historiska data, tidigare skördar, förfruktseffekter, nollrutedata, ger en ytterligare bakgrund.

Fältets aktuella data, som kväveprofil, ger grund för årsvis korrigering.

Grödans aktuella data, beståndets utveckling, kvävehalt i växt, data från kalksalpetermätare och kvävesensor, ger grund för anpassning efter beståndet på platsen och dess aktuella villkor det enskilda året.

En ny möjlighet antyds i en annan artikel i denna skrift: att systematiskt använda tillgängliga data från tidigare år och skördar, särskilt proteinhalter. Om sådana data sätts samman med övriga data från fältet år från år får man en starkare bakgrund för fältanpassning. Vad som behövs för att komma vidare här är ett praktiskt användbart system för att registrera och använda dessa data, och här pågår visst arbete inom ramen för Odling i Balans.

Kan direkt mätning av kväveutlakning på fältet vara en möjlighet? En pilotstudie inom Odling i Balans ser lovande ut. Här har använts s.k. nitratstickor, som direkt indikerar nitrathalten när man testar t.ex. dräneringsvatten. Man får i alla fall en indikation på om det vatten som kommer från ett specifikt fält är lågt eller högt i nitrathalt. Det ger direkt besked om läget, ett besked som hänför sig till ens egna åtgärder och ens eget fält. Sådan information är särskilt värdefull.

Behöver vi bekymra oss så mycket om den komplicerade kvävefrågan?

Kvävetillgången är i hög grad styrande för skörden, och att konstant ligga på en tillräckligt låg miljösäker nivå är inte ekonomiskt hållbart i längden.

Kväve är å andra sidan en betydande ekologisk och miljömässig faktor. Att konstant ligga på en nivå med överskottsmarginal är inte acceptabelt ur den synvinkeln.

Kvar finns då bara alternativet att anpassa efter bästa möjliga kunskap, och det är just vad denna skrift handlar om. Forskningens uppgift är att ta fram kunskap och metoder för att föra utvecklingen vidare. Men om detta ska kunna tillämpas i tillräcklig utsträckning fordras också att marknadens och politikens spelregler anpassas så att detta blir möjligt och eftersträvansvärt.

Indikatorer för bedömning i efterhand av odlingens kvävestatus

Göte Bertilsson



Innehåll

En möjlighet till gårds- och fältspecifika korrigeringar?	113
Proteinanalyser av skördeprodukter	113
Kvävebalanser	115
Nollrutor	123
En samlad bedömning med hjälp av olika indikatorer	125

Indikatorer för bedömning i efterhand av odlingens kvävestatus

En möjlighet till gårds- och fältspecifika korrigeringar?

En efterhandsbedömning kan inte användas för direkt styrning av en åtgärd, men den kan ge en bas för planering av kommande åtgärder. Exempel på en sådan indikator är grödans protein- eller kvävehalt. Hit kan också räknas kvävebalanser och nollrutur, vilka ger en uppfattning om mark-växtsystemets egen kväveleverans.

Värdet av sådana efterhandsindikatorer beror naturligtvis på deras förmåga att beskriva något som är av värde för kommande planering av åtgärder. Troligen kommer värdet att öka med upprepade bestämningar i tiden. Emellertid återstår att se vilken tillförlitlighet de har och vilken nytta de kan göra i gödslingsplaneringen.

Några av dessa parametrar får man så att säga till skänks. De bestäms ändå i den ordinarie verksamheten, som t.ex. brödspannmålens proteinhalt. I andra fall kan de bestämmas till en liten extrakostnad. Vad som behövs är att samla informationen och sätta den i ett system så den kan sammanfattas.

För studier, kalibrering, av efterhandsindikatorer kan man komma långt genom att använda befintliga försöksdata, data som skaffats för andra ändamål. Mycket finns att hämta i befintliga försöksdatabaser.

Här diskuteras kortfattat tre indikatorer av olika typ:

- *Proteinanalyser av skördeprodukter*
- *Kvävebalanser*
- *Nollrutur*

Proteinanalyser av skördeprodukter

Proteinhalten definieras som skördeproduktens kvävehalt gånger en viss faktor (6,25 eller 5,7 beroende på gröda). Den speglar alltså direkt kvävehalten. Att det finns ett samband mellan proteinhalt och kväveförsörjning är därför nästan självklart. Men det finns komplikationer. Kväveutbudet, från mark och gödsling, i förhållande till grödans utveckling är också avgörande. En mark eller gödsling som ger god kvävetillgång sent på säsongen kan ge höga proteinhalter trots att grödan tidigare lidit av kvävebrist. Stark brist på ett näringsämne ger ofta låg skörd men ändå höga halter, och det gäller också kväve. Det finns fallgropar om man bara ser på proteinhalter, men om man tar hänsyn också till skördens kvantitet och den gödsling som använts kan sådana tolkningsfel undvikas.

Säger proteinhalten tillräckligt för att kunna användas för praktiska tolkningar? Det var frågan i den pilotstudie som redovisas nedan. Databakgrund från Hydro Agri fältförsök.

Resultaten redovisas här i diagramform. Ett värde representerar ett försöksled i ett försök ett visst år. Alla värden är medtagna. Inget försök till matematisk förenkling har gjorts, utan värdena får tala för sig själva. Det bör betonas att ett enskilt värde för t.ex. kväveprofil (restkväve) eller proteinhalt oftast utgöres av mätningar i endast ett led (ibland parcell) på ett försök. Det är naturligt med en stor variation, och med tanke på detta är resultaten oväntat regelbundna.

En viktig tanke var att se om proteinhalten kan kopplas till gödslingens anpassning i skalan överoptimal – lagom – underoptimal. En ur miljösynpunkt överoptimal gödsling ökar restkvävet i marken.

Ett första steg var därför att se på sambandet mellan proteinhalt och restkväve. Detta gav överraskande tydliga resultat. Under en viss proteinhalt är restkväve nästan aldrig förhöjt. Men nu finns inte restkvävemätningar i så många försök. Däremot görs alltid skörde-mätningar. Det är därför av intresse att se på sambandet proteinhalt – skördeökning för ytterligare kväve. I diagrammen är det också tydligt och logiskt. Ju högre proteinhalten är desto lägre och osäkrare är skördeökningen för ytterligare kväve. Så länge man har en tydlig (ungefär ekonomisk) skördeökning ökar inte proteinhalten över det värde där restkvävet riskerar ökas. I så fall kan ju frågan utvärderas också med hjälp av enbart skörde-data, utan restkvävebestämningar. Och då kan de flesta kväveförsök användas för utvärdering av proteinhalt (eller annan skördeparameter) som indikator av kvävestatus.

Vad som redovisas här är en pilotundersökning. De värden som anges är mycket provisoriska och ska ses mest som en indikation på möjligheter.

Höstvete

Preliminärt kritiskt värde för möjlig miljö-påverkan: 12% protein. Säker nivå 11%.

1979–81 drevs en omfattande fältförsöks-serie i södra och mellersta Sverige med olika kvävenivåer till höstvete. Utöver skörde- och proteinbestämningar bestämdes kväve i markprofilen vid olika tidpunkter, också efter skörd. En förhöjning av mineralkväve i markprofilen efter skörd visar på en potentiell utlaknings-risk. Därutöver kan en ökad utlakning upp-komma genom senare mineralisering, och denna sekundära effekt av odlingsåtgärderna kommer inte med.

Kväve i markprofilen efter skörd har plot-tats mot proteinhalt i figur 1 (alla värden) och

figur 2 (kontrollerna utan kvävegödsling ute-slutna). I intet fall har förhöjda markkväve-halter registrerats om grödans proteinhalt var under 11% (figur 2). Också området 11–12% tycks ganska säkert.

I figur 1 finns några punkter med förhöjda markkvävevärden också vid lägre protein-halter. Dessa hör till ogödslade kontrollrutor på kreaturshållande gårdar. En möjlig förklar-ing kan vara att en sämre rotutveckling här har lett till ett sämre utnyttjande av det mark-kväve som mineraliserats under sommaren. Här uppstår naturligtvis en tolkningsfråga som antagligen kan lösas i det enskilda fallet genom att ta hänsyn till skörd och ev. nollrutor.

En kontroll av resultaten från 1979 har gjorts med en mindre serie från 1999, men med nyare sorter. Figur 3 visar dessa resultat, och de stämmer väl med de tidigare.

Figur 4 presenterar ett annat samband från de senare försöken: potentialen för skörde-ökning för ytterligare kvävegödsling vid olika proteinhalter. Vid proteinhalter över 11% led-de ytterligare kväve inte i något fall till skörde-ökning. Det kan noteras att detta motsvarar den nivå som bedömts miljösäker mot bakgrund av markkvävemätningar. Det visar på en möjlighet att använda kväveförsökens stegvisa skördeökningar för att tolka kväve-statusen när markkvävedata saknas.

Korn

Preliminärt kritiskt värde för möjlig miljö-påverkan: 12 % protein. Säker nivå 11%.

För korn finns tillgängliga data för skörde-ökningar och proteinhalt. Figurerna 5 och 6 visar dessa samband för två försöksserier. Visst finns variation, men ovan givna tolkning synes inte oberättigad. Värdena blir desamma som för vete.

Höstraps

Proteinhalten har här mätts i mjölet efter olje-extraktionen.

Preliminärt kritiskt värde för möjlig miljö-påverkan: 39% protein i mjöl. Säker nivå 38%.

Endast få markkvävemätningar finns tillgängliga. Den kombinerade informationen från figurerna 7 och 8 ger ovanstående preliminära tolkning.

Figur 9 visar sambandet kvävebalans – markkväve. En kvävebalans (gödsling minus kväve i frö) som är mindre än 80 har inte lett till ökat markkväve.

Vårrops

Preliminärt kritiskt värde för möjlig miljöpåverkan: 48 % protein i mjöl. Säker nivå 47%.

Den kombinerade informationen i figurerna 10 och 11 har lett till ovanstående tolkning.

Figur 12 visar sambandet kvävebalans – markkväve. En kvävebalans mindre än 55 har inte påverkat markkvävet.

Diskussion

Det måste betonas att detta är ett pilotarbete med preliminära bedömningar och metoder. De kritiska värdena har bestämts visuellt i diagrammen. Emellertid är datamaterialet förvånande homogent när man beaktar det faktum att varje punkt i diagrammen representerar en mätning (skörd, proteinhalt eller markkväve) för ett individuellt led på en viss försöksplats. Inget urval eller rensning i materialet har gjorts.

Det är troligt att sorten kan påverka resultaten, och detta måste kontrolleras. Emellertid har någon sortpåverkan inte varit tydlig i det material som hittills använts. Vidare bör fördelning av kväve och gödslingstidpunkter spela roll. Det får vidare utvärderas hur de påverkar den tolkning som här är aktuell.

Vad som kallas "kritiskt värde för miljöpåverkan" ska inte direkt sättas i samband med miljöproblem. Det indikerar i stället en möjlig risk eller en situation som kräver åtgärd i form av t.ex. fånggrödor. Emellertid tycks "säker nivå" kunna tolkas som ett värde under vilket kvävetillförseln till grödan inte lett till merutlakning utöver den långsiktiga bördighetskomponenten.

Det finns säkert avvikelser från den bild som kommit fram i denna pilotundersökning. Årsmåner, sorter och odlingsbetingelser som inte råkat bli representerade i de försöksserier som använts kan ge annat resultat. Det är också viktigt att man har perspektiv, att man ser inte bara på ett analysvärde utan sätter in det i sitt sammanhang.

Som nämnts finns underlag för utvidgad kalibrering lätt tillgänglig i befintliga försöksdatabaser.

Diagrammen finns på kommande uppslag.

Kvävebalanser

Vad menas med en kvävebalans? Några olika typer.

Gårdsbalans

Kväve som går in till gården jämfört med kväve i produkter ut. Om det går mer in än ut är det antingen förluster eller upplagring. Detta är ett viktigt diagnosinstrument, som kommer fram genom bl.a. dataprogrammet Stank.

Fältbalans, långsiktig

Ett exempel visas i artikeln "Kväve – från teori till praktiska frågor", fig 2.

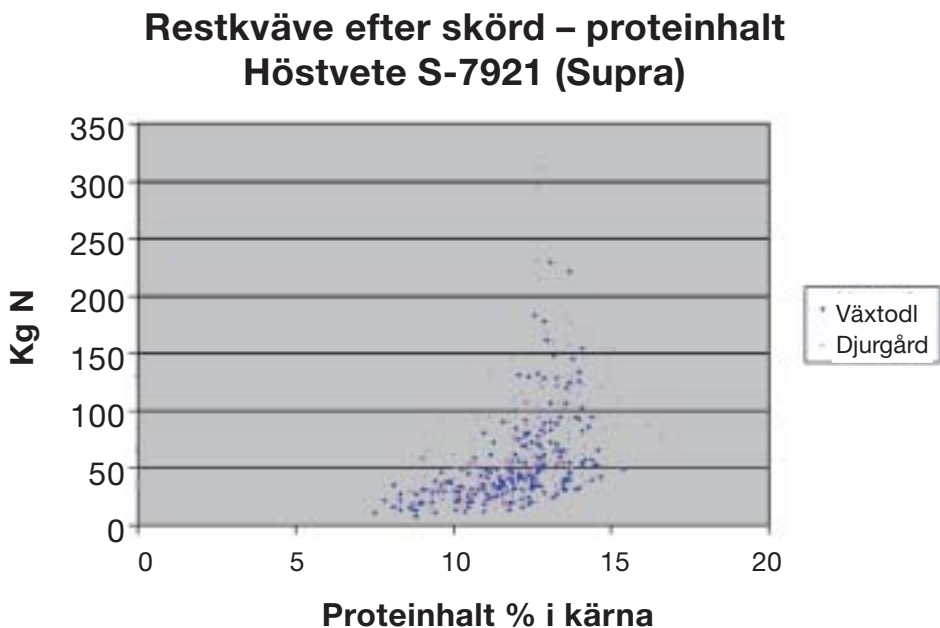
Det är också en kartläggning av vad som går in resp ut. Alla mätbara eller beräkningsbara flöden är viktiga.

Grödbalans, ettårig

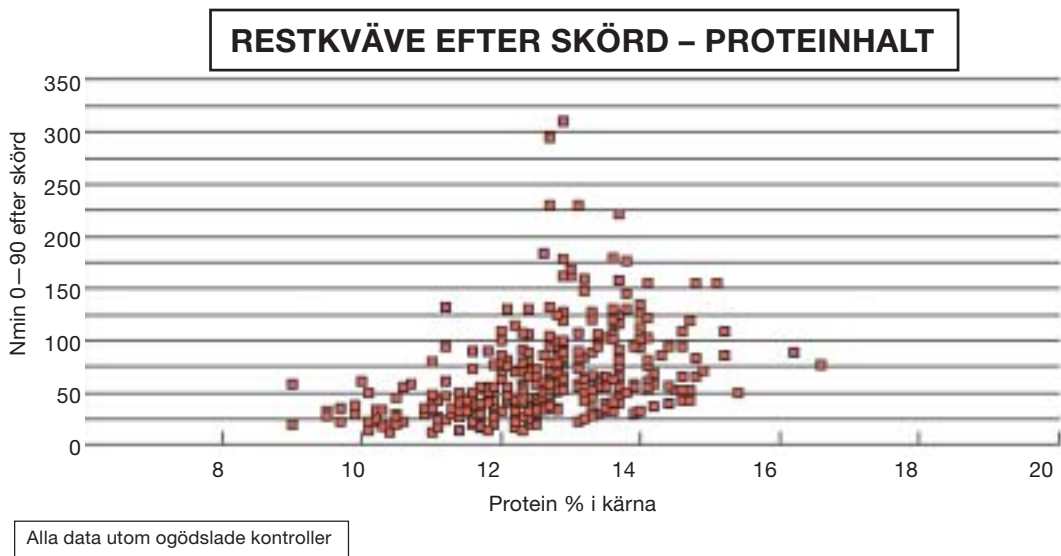
Tillförsel till grödan är mineralgödsel, ammoniumkväve i stallgödsel plus årets mineralisering från stallgödsel, kväve från atmosfären (tas oftast med men egentligen är det tveksamt. Varför skall en korngroda belastas med kvävet i vintersnön?). Biologisk fixering framräknas och tas med.

Bortförsel är skördeprodukten, vilket ibland kan innefatta halm etc. Det är viktigt att definiera vad som tagits hänsyn till.

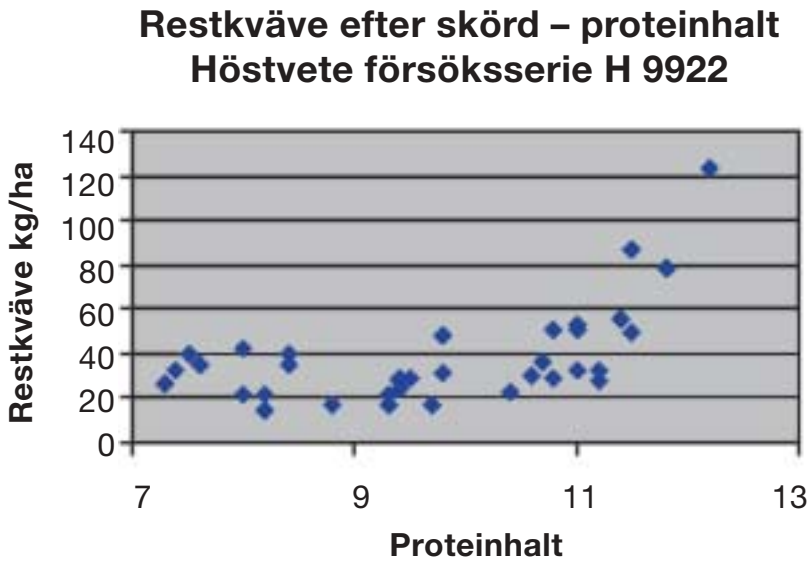
Figur 1. Restkväve i markprofilen (0–90 cm) efter skörd vid olika proteinhalter. Data från individuella försöksled med olika kvävegivor. Försök i höstvetete 1979–1981, serie S-7921. (Supra). Försöken styrdes till gårdar med resp utan stallgödsel. Alla försöksled ingår.



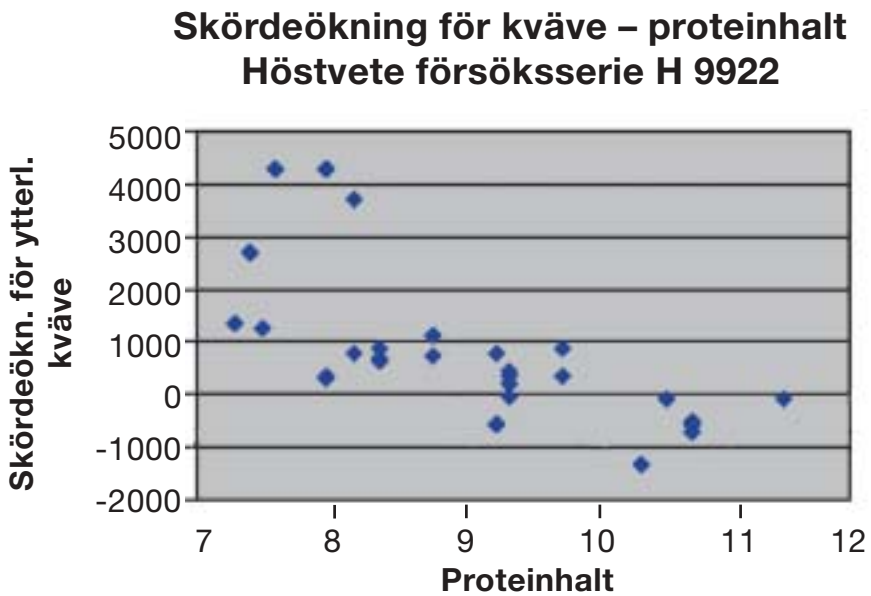
Figur 2. Restkväve i markprofilen vid olika proteinhalter. Samma underlag som för figur 1, men utan de ogödslade leden.



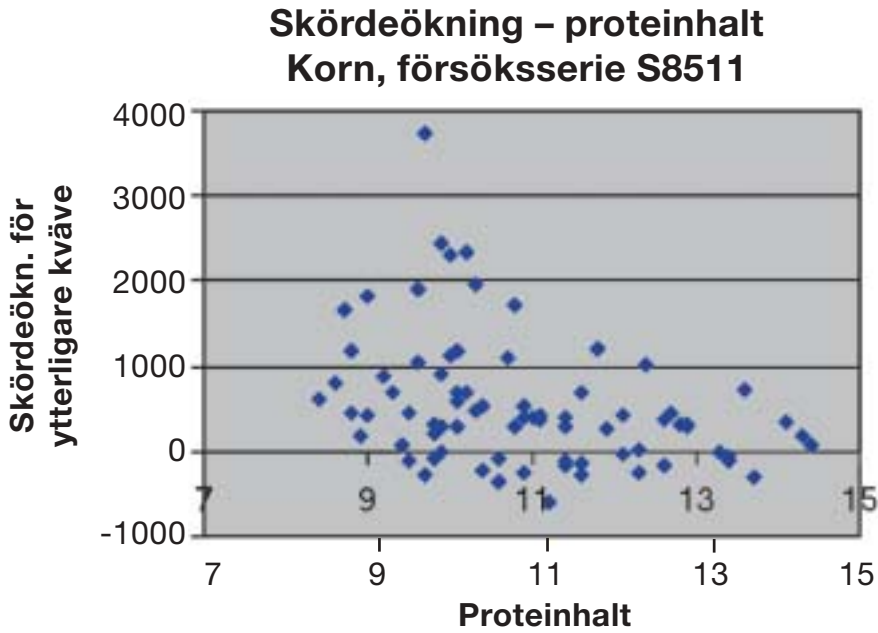
Figur 3. Restkväve i markprofilen vid olika proteinhalter. Höstveteförsök H-9922.



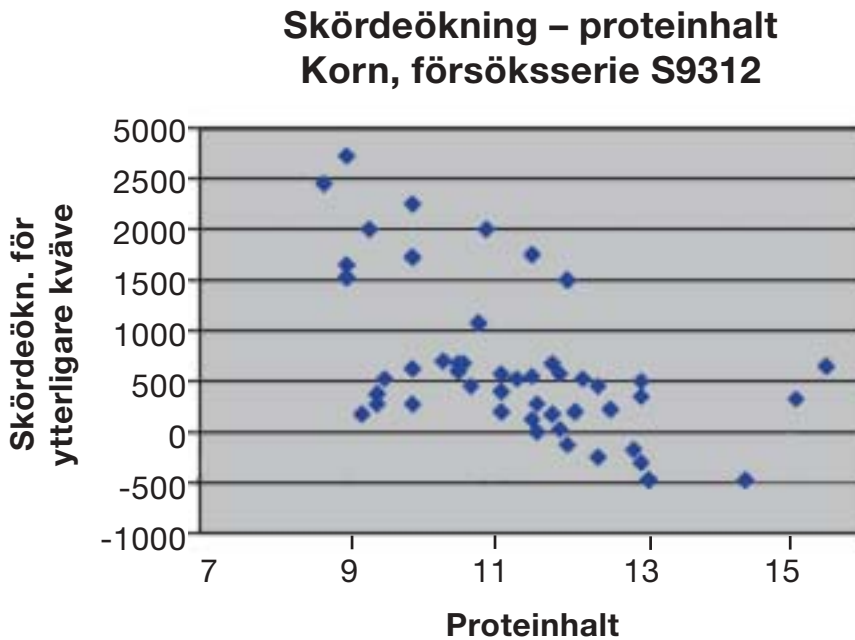
Figur 4. Skördeökning för ytterligare kväve vid olika proteinhalter. Höstveteförsök H-9922.



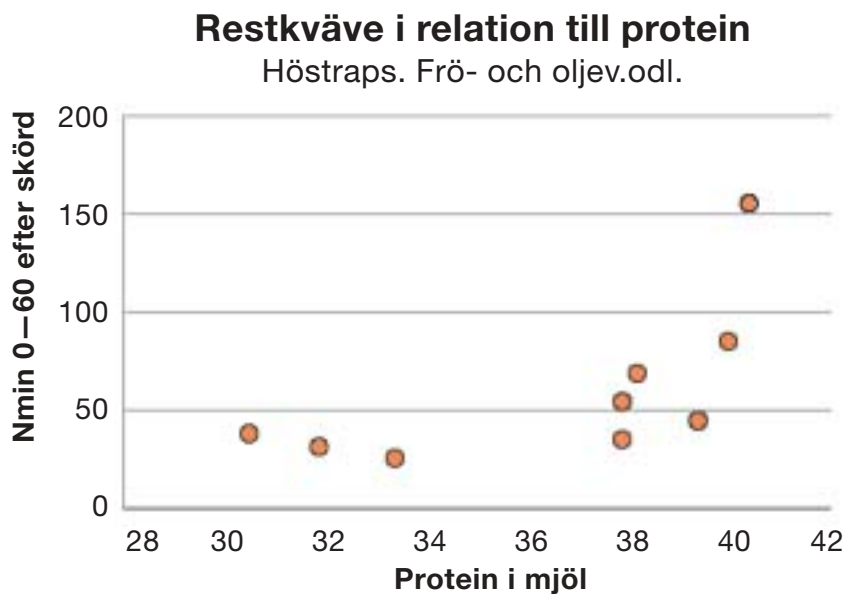
Figur 5. Skördökning för ytterligare kväve vid olika proteinhalter. Kornförsök S-8511.



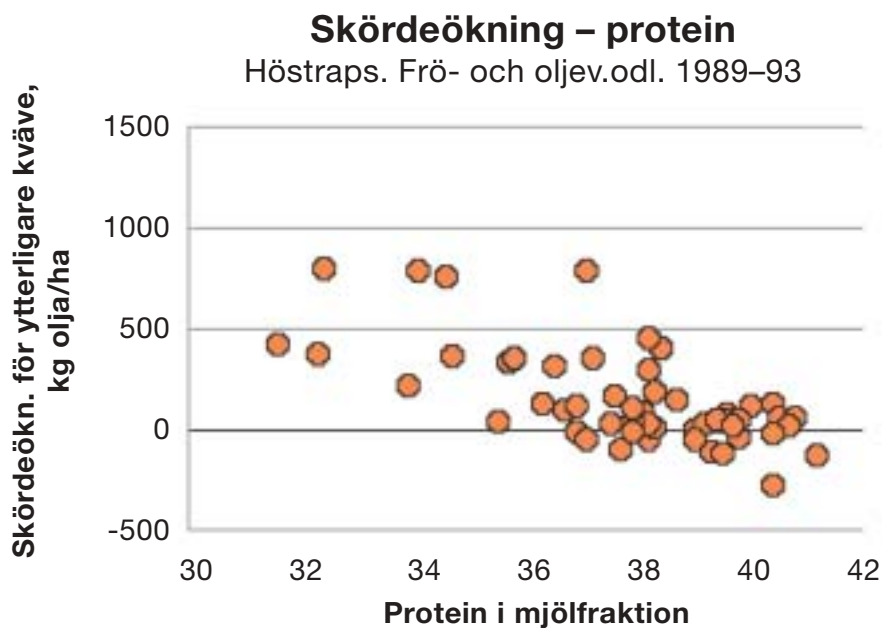
Figur 6. Skördökning för ytterligare kväve vid olika proteinhalter. Kornförsök S-9312.



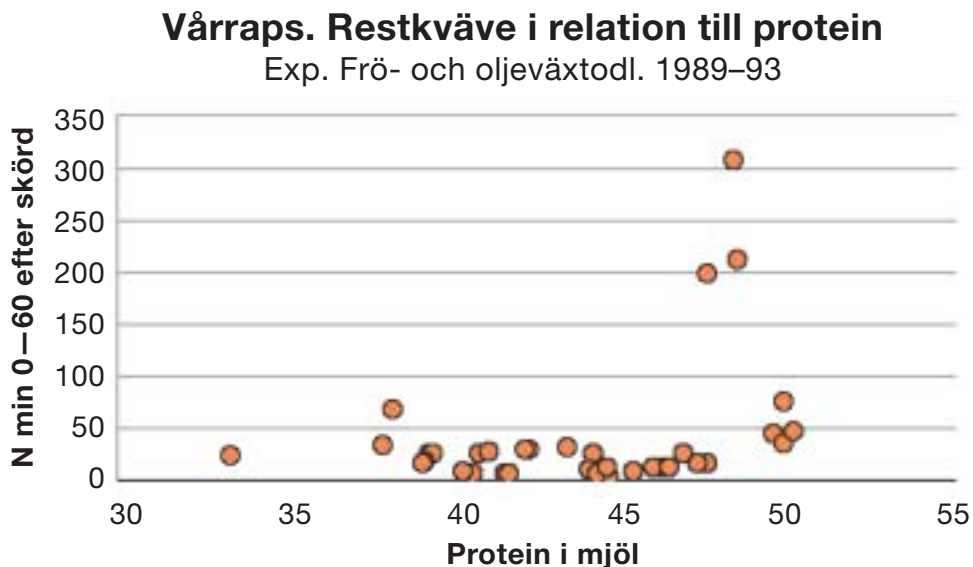
Figur 7. Restkväve i markprofilen vid olika proteinhalter (i mjölkfraktion). Höstraps. Frö- och oljeväxtodlarna 1978–93.



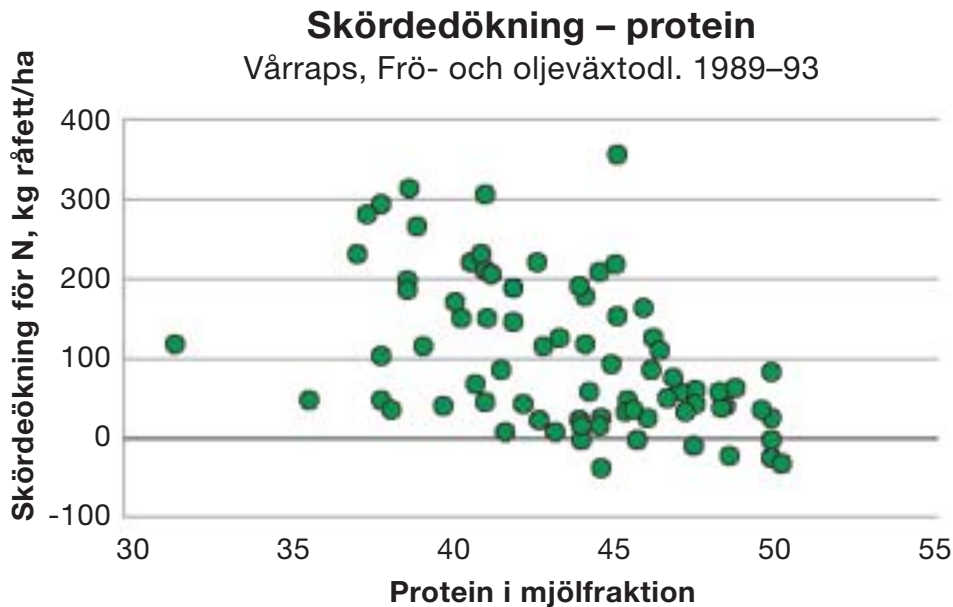
Figur 8. Skördeökning för ytterligare kväve vid olika proteinhalter (i mjölkfraktion). Höstraps. Frö- och oljeväxtodlarna 1989–93.



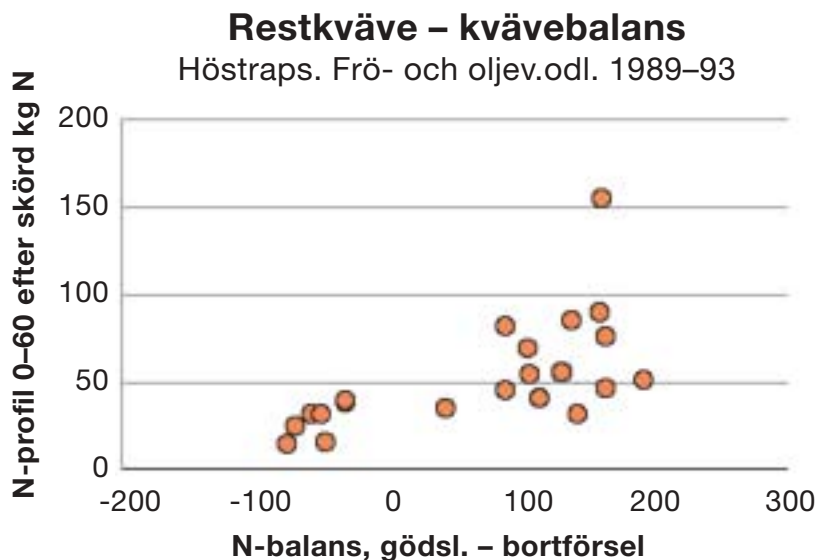
Figur 9. Restkväve i markprofilen vid olika proteinhalter (i mjölfraction). Vårrops. Frö- och oljeväxtodlarna 1978–93.



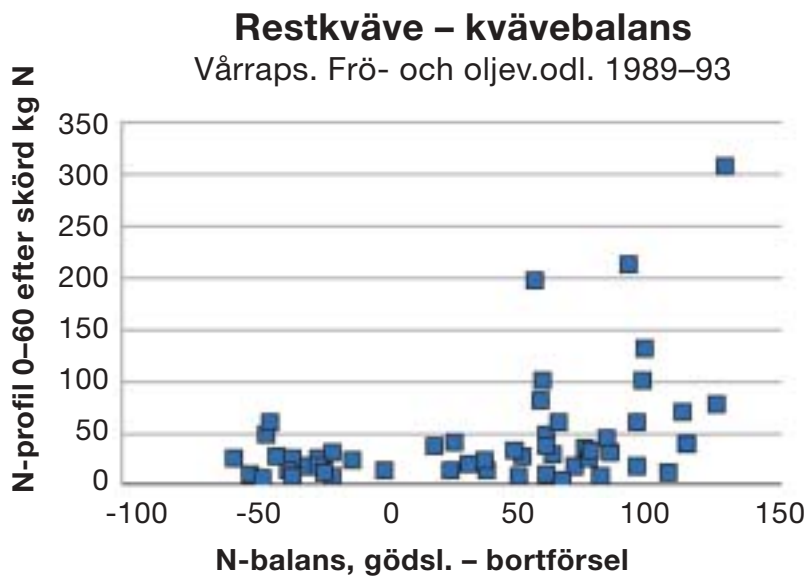
Figur 10. Skördeökning för ytterligare kväve vid olika proteinhalter (i mjölfraction). Vårrops. Frö- och oljeväxtodlarna 1989–93.



Figur 11. Restkväve i markprofilen vid olika kvävebalans (gödsling minus innehåll i frö). Höstraps. Frö- och oljeväxtodlarna 1989–93.



Figur 12. Restkväve i markprofilen vid olika kvävebalans (gödsling minus innehåll i frö). Vårraps. Frö- och oljeväxtodlarna 1989–93.



Grödbalans gödsling

Tillförsel med gödsel respektive bortförsel med skördeprodukt. Kan ge ett bra mått på gödslingens funktion när inte stallgödsel komplicerar bilden.

Vad säger kvävebalansen?

Ett par exempel på grödbalans gödsling

I diagram 11 och 12 visas grödbalans gödsling (gödsling minus bortförsel med frö) och sambandet med restkväve efter skörd i försöksserier med höst- resp. vårraps. Det är uppenbart att kvävebalansen säger en del. Förhöjda restkvävemängder börjar uppträda i höstraps när balansen överstiger ungefär 80 kg N/ha och för vårraps vid ungefär 60. Men diagrammen visar också att restkväve kan vara lågt vid kvävebalanser nära 200. Sambandet är inte strängt. Det påverkas av mark, väder m.m. Men nog är det tydligt att höga balanser ökar risken för kväveförluster.

Exempel på ettåriga grödbalanser

Odling i Balans kartlägger växtnäingsflödena på gårdarna. Följande data är hämtade ur rapporten "Tolkning av miljönyckeltal i växtodlingen". För år 2000 är i denna rapport redovisat dels kväveutnyttjande grödvis, dels beräknad utlakning grödvis. Det är nu viktigt att komma ihåg att detta är medeltal för samma gröda på olika gårdar, vidare att t.ex råg finns mest på lättare jordar osv. Utlakningen gäller hela året och är beräknad med modellen SoilN (SLU, Avd för vattenvård). Kvävebalansen uttrycks alltså som kväveutnyttjande, dvs % av tillfört kväve som finns i skördeprodukten. Tillfört kväve definieras som i grödbalans, ettårig enligt ovan.

Tabell 1 är sammansatt av data från sidorna 18 och 21 i rapporten från Odling i Balans.

Hade kväveutnyttjandet, kvävebalansen, varit utslagsgivande skulle de lägsta utlakningssiffrorna legat överst i tabellen. Men så är det inte. Grödan och vad som skördas ger mycket större utslag i kvävebalansen. Den

Tabell 1. Kväveutnyttjande och kväveutlakning, kg N/ha, för olika grödor, Odling i Balans. Grödorna är rangordnade efter kväveutnyttjande.

Gröda	Kväveutn. %	Ber. utlakn.
Råg	100	34
Korn	98	17
Ensilage, 15% klöver	95	18
Vårvete	80	15
Höstraps	78	30
Höstvete bröd	74	15
Fabrikspotatis	70	32
Ensilage 20% klöver	65	14
Havre	65	15
Matpotatis	60	37
Purjolök	60	44
Oljelin	57	25
Socketbetor	48	17
Vårraps	42	24
Ängssvingel frö	30	12

kväverika sockerbetsblasten kommer inte med för den plöjs ned, gräsfrö ger inte så många skördade kilon men ängssvingelns berikning av marken med växtmassa och rötter är desto större osv. Dessutom betyder jordarten mycket för utlakningsberäkningen, vilket ger högt värde för råg och potatis.

Tabellen illustrerar att kvävebalanser måste tolkas med balans. Enstaka årsvärden säger inte så mycket, långsiktiga balanser desto mer. En serie balanser från t.ex. fältförsök kan ge indikation på kvävetts funktion och förlustrisker och är ett viktigt utvärderingsinstrument för olika behandlingar.

Kvävebalanser som indikator

Som nämnts ovan kan inte enstaka värden tillmätas stor betydelse. Men om man fältvis följer kvävebalansen, genom att t.ex. med hjälp av växtodlingsprogrammet ta fram en löpande kvävebalans, får man en djupare information om fältet. Om man t.ex. regelmässigt måste tillföra 50% mer än som tas bort och ändå har låga proteinhalter finns någon förlustpost eller upplagring att ta hänsyn till. Man får en sorts diagnos man kan arbeta

vidare med. Eller omvänt, särskilt på stallgödselgårdar, man får kanske en indikation på att systemet innehåller mer kväve än man trodde, vilket kan tas hänsyn till.

Nollrutor

Om mineralisering

Markens organiska material bryts ned av markmikrober. Då frisläppes näringen den innehåller, bl.a. kväve. Detta brukar kallas mineralisering. Den organiska substansen blir mineralämnen.

Mineraliseringen beror naturligtvis både på markens egenskaper (mullhalt, mullegenskaper, biologisk aktivitet), vädret (fuktighet och temperatur) och den tid man räknar med. Tidigt korn som avmognar i juli får mindre del av mineraliseringen än betor som växer sent på hösten. Men det är klart att markens mineralisering fortsätter även efter kornets mognad, och det frisläppta kvävet löper stor risk att utlakas.

Mineraliseringen kan vara låg, 30 kg kväve/ha under säsongen, och den kan vara hög, över 100. Självklart bör detta påverka gödslingsbehovet. Gödslingsråd grundas på normalvärden (medelvärden från försöken), ungefär 50 kg.

Hur kan mineraliseringen bestämmas?

Mycket arbete har lagts ned på att bestämma mineraliseringen. Mullhalten säger något, men det är ett grovt och osäkert mått. Man har provat extraktioner och kemisk analys, man har försökt med inkubation (lagring av prover under definierade förhållanden) och mätning av hur mineralkvävet ökar. Någon bra och användbar metod har man emellertid inte fått fram.

Om man mäter vad grödan tar upp på en ogödslad yta fångar man ju upp mineraliseringen. Som bakgrund kommer också tillgängligt mineralkväve, men det gör ju ingenting, för grödan har nytta av det också. Det finns

dock ett problem med nollrutan: den ger inte besked förrän sent på säsongen när det är för sent att justera gödslingen. Dessutom är det omständligt om man ska skörda den och skicka in prover för analys, vilket varit den gängse metoden.

I slutet av 1980-talet lanserades ett nollrutesystem. Det blev dock för omständligt och dyrt att klippa ax, väga och skicka in för analys. Det var synd för principen är bra. Nollrutan är ett bra sätt att bättre lära känna den mark man brukar.

En ny nollrutemetod

En fråga är vilken precision i nollrutebestämningen som behövs. Och vilken precision ger skörd och analys av en liten skörderuta? Mineraliseringen beror också på väder och vegetationstid.

Det är uppenbart att man kommer en bit på väg bara genom att titta på nollrutan. Är den blek och grödan låg eller är den rentav så bra att den ogödslade rutan är svår att hitta? Men man kunde kanske på ett enkelt sätt komma ett steg längre:

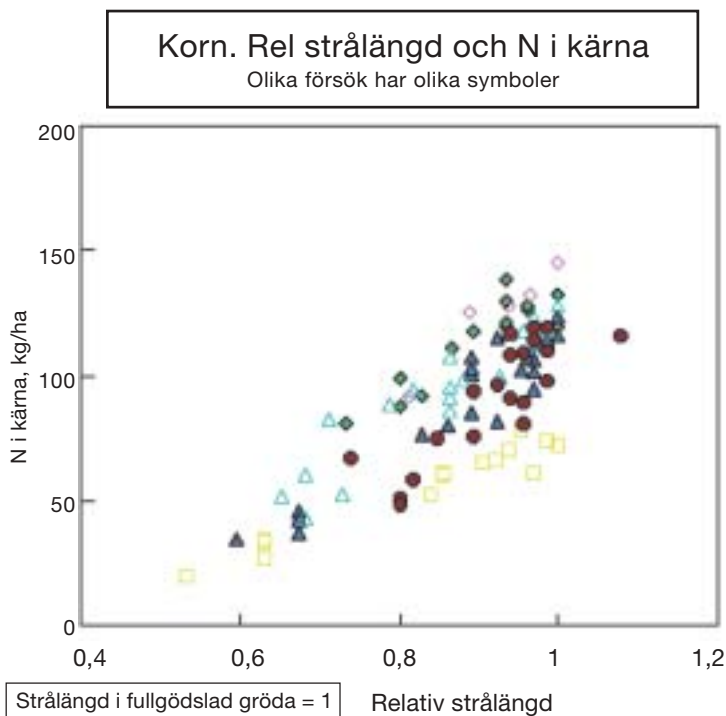
- Mätning av strållängden i kväveförsök med graderad gödsling från noll och uppåt.
- Uppmätta strållängder sätts i relation till i försöket uppmätt skörd och kväveupptagning.

Ett resultat för korn framgår av diagram 13. På den horisontella axeln finns relativ strållängd, nollrutans strållängd dividerad med normalbeståndets. På den lodräta axeln mängden kväve i kärna, kg/ha.

Det är uppenbart att man med detta samband inte får en precis bestämning, men den kan räcka. I gengäld är metoden så enkel att man kan kosta på sig flera rutor på fältet och på det viset få en bättre bild än vad man får av en noggrannare mätning på en ruta.

Det finns data för korn (se ovan) och höstete. Sorten bör naturligtvis spela in, och metoden kanske ska kalibreras för olika sorter. Men om man använder relativ strållängd

Figur 13. Samband mellan kväve i kärnskörd och strårlängdskvot (nollruta/normalbestånd). Korn. Varje punkt representerar ett försöksled.



som ovan, minskar sortens påverkan. Hur man gödslar normalbeståndet påverkar också. Stor kvävetillförsel tidigt ger längre strå än en senare gödsling eller komplettering. Emellertid gör detta inte mer än kanske 15 kg N.

Hur göra?

1. Etablera och märk ut en gödslingsmista. För centrifugalspridare kan man avskärma marken med en presenning. Om rutan är minst 2 gånger 2 meter är man säker på att inte få påverkan av omgivningen, men i övrigt spelar formen ingen roll. Har man exaktspridare kan den vara mindre.

Se till att rutan märks ut, dels så man säkert hittar den, dels så att man inte gödslar över den vid ev. senare gödslingar.

2. När säden har slutat växa och börjar gulna, ta en tumstock och mät strårlängden: från marken till axets nedre del.

Man kan antingen mäta ett 20-tal enskilda strån och ta medeltalet eller sätta sig på huk och syfta fram ett värde för beståndet. Gör detta dels på nollrutan, dels på omgivande gödslat bestånd.

Mätningen kan göras när som helst före skörd, bara beståndet har slutat växa.

3. En direkt utvärdering fås på www.hydroagri.se
4. Fortsätt med nollrutor årligen, men det är viktigt att de inte ligger på samma ställe. Rutan ska spegla normaldriften. Det kan bli något olika värden på samma fält år från år vilket också ger intressanta perspektiv.

En samlad bedömning med hjälp av olika indikatorer

De tre nämnda indikatorerna, proteinhalter, kvävebalanser och nollrutor, har liksom alla fältmässiga mätningar sina begränsningar. De påverkas av gröda och olika årsmånsomständigheter och är också utsatta för variation. En enstaka mätning har begränsat värde.

Ett exempel:

En svinproducerande gård har över en period av några år, proteinhalter över 12%, positiva

kvävebalanser fältvis på 60–100 kg och nollrutor som ger 50 kg N över det normala. Då har man ett bra underlag för att justera gödslingsplaneringen. Och man behöver inte dra det så långt. Redan ett par års proteinhalter säger en hel del.

Det viktiga är att tänka fältvis och ta vara på historien. Med små modifikationer bör växtodlingsprogrammen kunna användas för att hålla reda på och presentera också data från tidigare år.

Förteckning över tidigare utgivna nummer

År 2003; Årgång 142

- Nr 1 Det sydsvenska landskapet, framtidsvisioner och framtidsutsikter SAMT Idéer för framtidens skogslandskap
- Nr 2 Viltets positiva värden
- Nr 3 Inför toppmötet i Johannesburg
- Nr 4 Kapital för landsbygdsföretagare
- Nr 5 Kompetensförsörjningen i svenskt jordbruk
- Nr 6 Fiskets miljöeffekter – kan vi nå miljömålen?
- Nr 7 Verksamhetsberättelse 2002
- Nr 8 De glea strukturerna i den globala ekonomin – kunskapsläge och forskningsbehov
- Nr 9 Tro och vetande om husdjurens välfärd (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 10 Svenska satsningar på ökad träanvändning (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 11 Kapital för landsbygdsföretagare (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 12 Feminisering av Moder natur? Östrogener i naturen och i livsmedel
- Nr 13 Crop and Forest Biotechnology for the Future
- Nr 14 Landskap och vindkraft – i medvind eller motvind (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 15 Lantbrukskooperationen – Hållbar företagsidé eller historisk parentes
- Nr 16 Utvecklingen i Polen
- Nr 17 Mid Term Review Vad händer i Sverige när EU ändrar jordbrukspolitik?
- Nr 18 Soil and surface water acidification in theory and practice
- Nr 19 Skogsindustrins råvaruförsörjningskedja – pågående utveckling och utblickar mot andra branscher
- Nr 20 CAP och folkhälsan
- Nr 21 Vilda djur i stadsmiljö – Tillgång eller problem? –
- Nr 22 Översvämningar och deras orsaker
- Nr 23 Sötvattenfisk – Framtidens resurs (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 24 Mat med mervärden – Goda affärer (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 25 Hur planeras boendet på landsbygden? OCH Trädgården som rekreation och terapi (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 26 Det nya uppdraget – högre utbildning för landsbygd och landskap (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 27 Hör göken han gal – Hur kan ekologiskt lantbruk och samhället gynna den biologiska mångfalden? (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 28 Den svenska modellen för husdjursavel och dataregistrering samt datautnyttjande inom husdjurs- och växtodlingsområdet (Enbart publicerad på www.ksla.se)

År 2004; Årgång 143

- Nr 1 Ecosystem services in European agriculture – theory and practice
- Nr 2 Vad gör vi när vi inte vet? (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 3 Ekologiskt Forum mönstrar köttet och marknaden (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 4 Jordbruk – ekologi – samhälle (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 5 LBU-programmet, skogen och landsbygden – till vilken nytta? (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 6 Framtida forskning inom den gröna sektorn (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 7 Ekologisk produktion med miljönytta (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 8 Har jord- och skogsbruk en roll i framtidens kultur? (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 9 Aktuella trämekaniska alternativ (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 10 Mat för livet eller dödlig diet? (Enbart publicerad på www.ksla.se)
- Nr 11 Verksamhetsberättelse 2003
- Nr 12 Kvävehushållning och kväveförluster – förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk

Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift (KSLAT) har, under olika namn, utkommit sedan 1813, då akademien grundades. Från och med 1994 utges KSLAT som en nummerad serie av skrifter (15–20 häften/år) med egna titlar. Innehållet består huvudsakligen av dokumentering från akademiens sammankomster och seminarier – även debattnummer förekommer – och speglar akademiens verksamhetsområde; de areella näringarna och till dessa knutna verksamheter.

Prenumerationspris 350 kr/år.

Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien
Drottninggatan 95 B, Box 6806, 113 86 Stockholm
Tel 08-54 54 77 00, Fax 08-54 54 77 10, Postgiro 18 32 80 - 7