



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Börje Lindén

Mineralkväve i marken och kväveutlakning i olika odlingssystem

Resultat från ett fältförsök vid Lanna försöksstation i Västergötland

Soil mineral nitrogen and nitrogen leaching in different cropping systems

Results from a long-term field experiment at Lanna Research Station in south-west Sweden



Ekohydrologi 148

Uppsala 2017

**Institutionen för mark och miljö
Sveriges lantbruksuniversitet**

**Department of Soil and Environment
Swedish University of Agricultural Sciences**

**ISRN SLU-VV-EKOHYD-148-SE
ISSN 0347-9307**

Omslagsbilden visar ett flygfotografi över Lanna försöksstation från 1990-talet. Försöket R3-0056 skymtar i det övre vänstra hörnet, till vänster om det stora, ljusgröna åkerskiftet.

Innehåll

| | |
|---|----|
| Förord | 4 |
| Sammanfattning | 5 |
| Summary | 6 |
| Inledning | 7 |
| Material och metoder | 9 |
| Fältförsök | 9 |
| Stallgödsel | 11 |
| Tillförsel av fosfor och kalium med mineralgödsel | 12 |
| Bekämpning av ogräs och parasiter | 12 |
| Jordbearbetning | 13 |
| Fånggrödor och hantering av växtrester efter ettåriga grödor | 13 |
| Skördebestämning | 13 |
| Studier av avrinning, kväveutlakning och grundvattennivåer | 14 |
| Provtagning av marken | 15 |
| Resultat och diskussion | 17 |
| Beskrivning av jordens egenskaper på försöksplatsen | 17 |
| Väder- och växtodlingsförhållanden vid Lanna 1976-86 | 21 |
| Skördar | 23 |
| Avrinning med dräneringsvattnet årligen och under olika årstider | 27 |
| Uppehåll i avrinningen genom tjäle i marken | 31 |
| Periodvis utlakning av nitratkväve i växtföljd III och VI | 32 |
| Mineralkvävets årstidsvariationer i marken (0-100 cm djup) | 34 |
| Mineralkväve på olika djup i marken (0-100cm) | 43 |
| Mineralkväve inom 0-200 cm djup – provtagningar under vårar och höstar 1976-1986 | 48 |
| Grundvattennivåer | 74 |
| Utlakning av nitratkväve i de sju odlingssystemen | 77 |
| Årlig utlakning av nitratkväve i förhållande till avrinning och mineralkväve i de sju odlingssystemen | 80 |
| Övergripande diskussion och slutsatser | 82 |
| Odlingssystemförsök som experimentell metod | 82 |
| Skördenivåer och kväveförsörjning i de olika odlingssystemen i relation till kväveutlakning | 83 |
| Kväveutlakningens årstidsvariationer i relation till gödslingstidpunkter | 84 |
| Nederbörd, avrinning och kväveutlakning | 85 |
| Mineralkvävets årstidsvariationer i marken och inverkan på nitratkväveutlakningen | 85 |
| Utnyttjandet av mineralkväve på olika djup i marken | 86 |
| Förbättringar av odlingssystemen | 87 |
| Referenser | 88 |

Förord

I föreliggande rapport beskrivs studier 1978-86 av kväve i marken i ett fastliggande odlings-systemförsök (R3-0056) på Lanna Försöksstation i Västergötland. Under 1976-77 utfördes bl.a. förberedande markundersökningar. Initiativet till odlingsystemens utformning togs av förre professorn i växtnäringslära Sven L. Jansson, Avdelningen för växtnäringslära vid dåvarande Institutionen för markvetenskap, SLU, och förre distriktsförsöksledaren Sven Ohlsson, Västra Jordbruksförsöksdistriktet, Lanna. Det blev författarens uppgift som anställd vid dåvarande Avdelningen för växtnäringslära att genomföra förberedelsearbetet, inkl. installation av utrustning för utlakningsmätning, och att sedan utföra studier av odlingsystemens inverkan på bl.a. mineralkväve i marken och på kväveutlakningen.

Försöket sköttes av Lanna försöksstation. Provtagningar av dräneringsvatten, jord och grödor utfördes av personalen vid Lanna, under ledning av lantmästare Rolf Tunared. Han tackas postumt för sina insatser, liksom Sven L. Jansson och Sven Ohlsson.

Uppsala i november 2017
Författaren

Sammanfattning

Mineralkväve (ammonium- och nitratkväve) i marken under olika årstider och utlakning av nitratkväve studerades 1978-86 i ett fastliggande odlingssystemförsök med sju rutor på styv lerjord vid Lanna i Västergötland. Sju system med sexåriga växtföljder ingick med följande grödor och odlingsinriktningar: I) korn med insådd – 4-årig gräsvall – vårraps; stark kvävegödsling: 200 kg N/ha till vall, II) korn med insådd - 4-årig luservvall – vårraps; inget mineralgödselkväve men nötflytgödsel till vårraps och korn, III) korn – vårraps – höstvetete – havre – vårraps – höstvetete; stark kvävegödsling, bl.a. 150 kg N/ha till höstvetete, IV) som III men halverad kvävegödsling, V) korn med insådd – rödklövervall – höstvetete – åkerbönor – havre – foderärter; alternativ (ekologisk) odling utan mineralgödselkväve, VI) kornmonokultur; mineralgödselkväve: ca 100 kg N/ha men halv giva efter svinflytgödseltillförsel) samt VII) kornmonokultur; mineralgödselkväve: ca 120 kg N/ha. Varje odlingssystem hade ett eget dräneringssystem med mätning av avrinning och provtagning av dräneringsvatten för bestämning av nitratkväveutlakning. Provtagningar av jord för bestämning av mineralkväve utfördes vår och höst (medeldatum: 11/4 respektive 13/9) i 20-cm-skikt till 100 cm djup och i 25-cm-skikt på 100-200 cm djup. År 1979-85 bestämdes mineralkväve dessutom inom 0-100 cm i stort sett månadsvis i system III och VI.

I odlingssystem I gav den starkt gödslade gräsvallen en medelskörd på 8.820 kg ts/ha. Skörden av den ogödslade luservvallen i system II motsvarande 90 % därav. Avkastningen av spannmålgrödorna i system III uppgick till i medeltal 5.990 kg kärna per ha. I system IV, V, VI och VII erhöles spannmålsskördar motsvarande i genomsnitt 76, 77, 75 respektive 80 % av dem i system III. Någon utlakning av det gödselkväve som spreds på våren tycktes med något undantag inte uppstå under den aktuella växtsäsongen. I system I, II, III, IV, V, VI och VII blev den årliga nitratkväveutlakningen i medeltal 4,1, 1,4, 7,9, 2,6, 5,9, 7,0 respektive 11,8 kg N/ha. År 1980 drabbades höstvetet i system III av svampangrepp, med nedsatt skörd och ökad utlakning (20 kg N/ha) som följd. I system V (alternativ odling) blev utlakningen större efter leguminoserna (rödklöver, åkerbönor och foderärter) än efter spannmålsgrödorna. Kvävegödslingen till kornet i system VII synes ha varit överoptimal. Beräkningar visade att en ökning av medelavrinningen med 100 mm per år genom klimatförändring skulle öka utlakningen från 7 kg till 10 N/ha som medeltal för system III-VII (utan vallodling).

Mest mineralkväve fanns närmast efter gödslingen på våren. Därefter avtog mängderna, uppenbarligen genom grödornas kväveupptagning. Minst mineralkväve fanns på sensommaren-förhösten, i medeltal för stråsäd 27 kg N/ha inom 0-100 cm djup i system III och VI. Då hade grödorna normalt närmast "tömt" alven på nitratkväve ned till 100-150 cm djup. Mineralkvävet ökade igen under hösten, uppenbarligen genom fortsatt kväveminalisering. Även under vinterperioden (slutet av november till mitten av mars) uppkom tillskott av mineraliserat kväve, trots långa perioder med tjäle. Under vallåren i system I och II återfanns bara små mängder mineralkväve i början av hösten. I system III, VI och VII, där grödornas kvävetillgång var stor eller delvis alltför stor, uppgick mängderna mineralkväve i början av hösten (medeldatum: 13/9) till ca 30-90 kg N/ha (i ett par fall ännu mer) inom 0-200 cm, där mer än ca 50 kg innebär dåligt kväveutnyttjande. Vid alltför stort kväveutbud tog grödorna i första hand tar upp kväve i matjorden och de övre delarna av alven. Mineralkväve lägre ned utnyttjades sämre. Bara en mindre del av mineralkvävet utlakades under vinterhalvåret, medan resten blev kvar, samtidigt som tillskott genom mineralisering uppkom. Detta markkväve kunde till stor del utnyttjas av växterna nästa sommar.

Summary

Soil mineral nitrogen (ammonium and nitrate nitrogen, SMN) in different seasons and leaching of nitrate nitrogen were studied in 1978-86 in a long-term cropping system experiment with seven plots on a clay soil in south-west Sweden. The trial included seven systems of 6-year crop rotations with the following cultivation measures: I) spring barley (undersown) – 4-year grass ley – spring rape; high rates of fertiliser nitrogen: 200 kg N/ha to the grass, II) spring barley (undersown) – 4-year lucern ley – spring rape; no nitrogen fertilisation of the leys but cattle slurry to spring rape and barley, III) spring barley – spring rape – winter wheat – oats – spring rape – winter wheat; high rates of fertiliser nitrogen, e.g., 150 kg N/ha to winter wheat; IV) as III but 50 % of the nitrogen rates, V) spring barley (undersown) – red clover – winter wheat – broad beans – oats – peas; organic farming without application of mineral fertiliser nitrogen, VI) only spring barley (monoculture), ca. 100 kg N/ha of mineral fertiliser nitrogen but 50 % in years with application of pig slurry, and VII) only spring barley (monoculture); nitrogen fertilisation: ca. 120 kg N/ha. Each cropping system (plot) was equipped with a drainage system, with measurement of runoff and sampling of drainage water for determination of nitrate nitrogen leaching. Soil samples for SMN analysis were taken in spring and autumn (mean date: 11/4 and 13/9) down to 200 cm. In 1979-85, SMN was also determined within 0-100 cm soil generally monthly in systems III and VI.

In system I, the DM yield of the intensively fertilised grass averaged 8.820 kg/ha. The yield of the unfertilised lucern ley in system II corresponded to 90 % of the grass yield. On average, the grain yields of the cereal crops in system III amounted to 5.990 kg/ha. In systems IV, V, VI and VII, the yields of cereals corresponded to 76, 77, 75 and 80 % of the level in system III. Obviously no fertiliser nitrogen applied in spring was leached during the following summer, with a few exceptions. The average annual leaching of nitrate nitrogen in systems I, II, III, IV, V, VI and VII amounted to 4.1, 1.4, 7.9, 2.6, 5.9, 7.0 and 11.8 kg N/ha, respectively. In 1980, the winter wheat in system III was damaged by a fungus attack causing lower yield and increased leaching. In system V (organic farming), the nitrogen leaching was larger after leguminous crops than after cereals. The nitrogen fertilisation in system VII obviously exceeded the optimum level. Calculations showed that an increase in the annual runoff by 100 mm due to climate change would increase leaching from 7 to 10 kg N/ha as a means of systems III-VII (without ley production).

Most SMN was found shortly after fertilisation in spring. Then the amounts decreased, obviously due to crop uptake of nitrogen, until late summer or early autumn, when the lowest amounts were found, for cereal crops 27 kg N/ha in 0-100 cm soil, on average, in systems III and VI. At that time the crops normally had taken up almost all nitrate nitrogen down to 100-150 cm. During the ley years in systems I and II, only very small amounts of SMN were found in early autumn. In systems III, VI and VII, frequently with too large nitrogen supply, the crops took up nitrogen mainly from the topsoil and the upper subsoil in these years, leaving SMN largely unused in deeper layers. SMN increased again during autumn due to continued nitrogen release. Obviously only a minor part of the SMN present in the autumn was leached during the following cold season. Also during the winter period (late November-mid March) additions of mineralised nitrogen were registered, in spite of long periods of frost in the soil. Normally, this overwintering nitrogen was largely utilised within root depth in the following growing season.

Inledning

Som nämnts i förordet påbörjades undersökningarna i föreliggande rapport i slutet av 1970-talet. Den valda försöksplatsen, på Lanna försöksstation, kan anses representera stora delar av det mellansvenska lerjordbruksområdet. Studierna gällde som antytts främst kväve i marken i sju odlingsystem eller växtföljder. Utformningen av dessa system hade sin grund i utvecklingen av det svenska jordbruket sedan mitten av 1900-talet.

Under efterkrigstiden kom jordbrukets specialisering igång i stor skala i Sverige (Morell, 2011). På allt fler gårdar såldes djuren, och man övergick där till enbart växtodling. Användningen av handelsgödselkväve och kemiska bekämpningsmedel steg samtidigt och nådde några av sina högsta toppar på 1970-talet (Morell, 2011; Emanuelsson, 2011). Specialiseringen ledde till ensidigare odling, och i Mellansverige övergick man ofta till enbart spannmålsodling. I Sydsverige blev det dock möjligt med mer omväxlande växtföljder, med t.ex. sockerbetor och oljeväxter. Diskussionerna om det s.k. kreaturslösa jordbruket, med mer eller mindre ensidig öppen växtodling, samt dessa odlingsformers inverkan på jordarna vid enbart tillförsel av handelsgödsel (mineralgödsel) ledde redan under 1950-talet till start av de ursprungligen 12 s.k. bördighetsförsöken, varav sex i Skåne och sex i Mellansverige (t.ex. Jansson, 1978, 1987; Mattsson & Carlgren, 1999).

Utveckling av andra former av specialiserad drift blev också aktuell, t.ex. gårdar inriktade på enbart eller nästan enbart mjölk- eller svinproduktion (Morell, 2011). För största möjliga antal mjölkkor, särskilt i skogs- eller mellanbygder med begränsad tillgång till odlad mark eller i områden med sämre förutsättningar för spannmålsodling, tog man sikte på att använda en så stor del av gårdens areal som möjligt för vallfoderproduktion. Liknande kunde gälla specialiserad svinproduktion, där större delen av arealen då behövdes för fodersäd.

De skilda driftsformerna väckte inte bara frågor om olika odlingsinriktningars inverkan på jordarnas hållbarhet utan även farhågor om den yttre miljön. Energiförbrukningen vid framställning av handelsgödsel, särskilt kväve, kom upp till diskussion i samband med den s.k. energikrisen i början av 1970-talet. Kvävegödslingens effektivitet och riskerna för t.ex. kväveutlakning dryftades och började undersökas inom jordbruksforskningen i Sverige under detta årtionde. Bl.a. genomfördes ett utlakningsförsök med stigande mängder handelsgödselkväve till stråsåd, med placering på Lanna försöksstation 1974-83 (Bergström & Brink, 1986). Förbättrat kväveutnyttjande diskuterades internationellt och ledde i Europa till utveckling av den s.k. N_{\min} -metoden i Västtyskland (Scharpf, 1977), Östtyskland (Müller et al., 1977), Danmark (Østergaard et al., 1983), Nederländerna (Neeteson, 1990) m.fl. länder. Metoden avsåg prognoser för anpassning av kvävegödslingen på basis av mängderna mineralkväve (ammonium- och nitratkväve) inom rotzonen på våren. Detta hade bl.a. inspirerats av forskning i Nederländerna om vintervädrets inverkan för grödornas gödselkvävebehov (t.ex. van der Paauw, 1966; Ris, 1975). Liknande undersökningar av betydelsen av övervinterrande mineralkväve i marken för grödornas kväveförsörjning påbörjades också i Sverige (t.ex. Mattsson & Andersson, 1984; Lindén, 1987). Detta utvecklades till s.k. kvävegödslingsprognoser här i landet. Det i denna rapport redovisade försöket på Lanna kom också att ingå i studierna av mineralkväveförhållandena i odlad jord.

Utvecklingen av jordbruket ledde till att två motpoler i jordbrukets utveckling började göra sig gällande under 1970-talet: *programmerad odling* och *alternativ odling* (senare kallad

ekologisk odling). I den programmerade odlingen bedrevs växtodlingen efter ett strängt fastlagt schema, med större växtnärings- och växtskyddsinsatser, oftast insatta i särskilda utvecklingsstadier hos grödan (Servin, 2015). Plansprutningsmodeller lanserades, med målsättningen att uppnå maximal skörd. Åtgärdernas syfte var snarare förebyggande än behovsanpassade.

Som en kritisk reaktion på det s.k. kemikaliejordbruket började intresset för den alternativa odlingen att göra sig gällande (Dlouhý, 1981; Mårald, 2011). Sådana odlingsformer hade dock tidigare börjat vinna insteg här i landet genom privata intresseorganisationer: biodynamisk odling, organisk-biologisk odling och naturenlig odling (Dlouhý, 1981). Utbredningen av alternativa odlingsformer gick ännu mycket långsamt under 1970-talet och täckte 1978 bara 0,04 % av åkerarealen (Mårald, 2011). Organisationen KRAV (Kontrollföreningen för alternativ odling) bildades först i mitten av 1980-talet för certifiering och kontroll av ekologisk odling, inkl. riktlinjer för odlingen (Rundgren, 2016). Vid Sveriges lantbruksuniversitet började forskningen med avseende på utveckling av alternativ/ekologisk odling förhållandevis sent. Till jämförelsevis tidigt genomförda kväveundersökningar inom detta forskningsområde hör studier under 1980-talet av kväveflöden och kvävebalanser i alternativ odling (Granstedt, 1990) och 1989-90 försök med efterverkan av grön gödslingsvallar (Wivstad & Andersson, 1991).

Det här rapporterade försöket på Lanna startades för att studera de nämnda frågorna om specialiserad drift och för att belysa kväveförsörjning, -hushållning och -utlakning i olika odlingsystem. Planen innefattade både konventionella odlingsformer (fem odlingsystem) och ekologiska/alternativa inriktningar (två system). Två av växtföljderna avsåg att belysa växtodlingsfrågor vid specialiserad mjölk- eller köttproduktion genom odling av långvarig vall (dels gräsvall och dels luserngräsvall). De båda alternativa odlingsformerna baserades på nötkreaturshållning och med kväveförsörjning genom baljväxter, i den ena med odling av sådana grödor vartannat år och i den andra med den långvariga luserngräsvallen. Som en motpol till de alternativa systemen ingick en växtföljd med enbart avsalugrödor samt med stark kvävegödsling och större insatser av kemiska bekämpningsmedel, med avsikt att i viss mån efterlikna programmerad odling. Detta odlingsystem jämfördes med ett liknande men med halverad kvävegödsling och mindre kemisk bekämpning. Vidare infördes två monokultursystem med enbart odling av korn, det ena avsett att producera fodersäd till svinproduktion och den andra för enbart avsalu. Projektet kom därmed att innefatta sju olika odlingsystem. Resultat från försöket under åren 1978-90 har redovisats av Haak et al. (1994), bl.a. vad gäller skördar och kvävebalanser. I föreliggande rapport belyses främst på mineralkväveförhållandena i marken under olika årstider samt avrinning och utlakning av nitratkväve.

För att studera kväveutlakning ansågs det nödvändigt med mycket stora försöksrutor. Till detta behövdes separata, rutvisa dräneringssystem och brunnar för uppsamling av dräneringsvattnet från rutorna. En sådan försöksanläggning med sju storrutor (ca 4500 m² per ruta) fanns tillgänglig vid Lanna försöksstation. Detta innebar dock, att de sju odlingsystemen måste studeras utan möjlighet till upprepningar. I andra utlakningsförsök i Sverige vid denna tid och även senare ingick normalt ej heller upprepningar (Bergström & Brink, 1986; Torstensson et al., 1992; Lindén et al., 1999; Aronsson & Torstensson, 2003), bl.a. av kostnads-skäl.

Material och metoder

Fältförsök

Fältet, där odlingssystemen etablerades, tillhör SLU:s försöksstation Lanna på Varaslätten i Västergötland. Platsens läge har följande koordinater: 58° 20' 46,1¹¹ N, 13° 7' 0,9¹¹ E (enligt systemet WGS 84). Angivelsen avser försökets mitt. Matjorden utgjordes av styv lera och alven av mycket styv lera. Försöket omfattade en nettoyta på 273*115 m, uppdelat på sju rutor med ytan 39*115 m (ca 4500 m²). Det fanns separata dräneringssystemen i varje ruta. Dessa försågs med utrustning för rutvis flödesmätning och uttagning av vattenprover för studier av odlingssystemens inverkan på kväveutlakningen.

År 1976 och 1977 utfördes dessa och andra förberedelsearbeten för de sju odlingssystemen (tabell 1 och 2). Dessa år odlades havre respektive höstvetete inom hela försöksarealen, med tillförsel av 100 och 124 kg N/ha i form av kalksalpeter. Hela ytan grundgödslades 1977 med 80 kg P/ha som tomasfosfat. År 1978 såddes vårkorn i hela försöket i och med den egentliga försöksstarten. Denna gröda tillfördes 90 kg N/ha som kalksalpeter i alla systemen. Samtidigt gjordes insådder i kornet för att etablera vallar i tre av de sju systemen: I, II och V (tabell 1 och 2).

Alla odlingssystem innefattade 6-åriga växtföljder, som nämnts med vårkorn som första årets gröda. System I och II avsåg att efterlikna driftsformer med omfattande nötkreaturs-hållning, där marken var tänkt att främst användas för odling av vallfoder till stallutfodring (tabell 1 och 2). System I innefattade här odling av gräsvall (insådd 1978 och 1984 med timotej, 12 kg frö/ha och ängssvingel, 12 kg/ha). Gödningen baserades i detta system på stark kvävetillförsel (tabell 2) med mineralgödsel (kalksalpeter) och med återföring av växt-näring via flytgödsel (tabell 3). I system II var syftet att studera effekten av vall innehållande lusern och gräs (insådd 1978 och 1984 med lusern, 16 kg frö/ha, timotej, 4 kg/ha och ängs-svingel, 4 kg/ha). Grödorna fr.o.m. förstaårsvallan 1979 odlades utan tillförsel av mineral-gödselkväve (tabell 2) men med återföring vissa år av växtnäring med fastgödsel (tabell 3). Efter insåningsåret 1978 följde vallar i fyra år i både system I och II. Dessa plöjdes upp sent på hösten under det fjärde vallåret, varpå vårraps odlades år 6. Trots en viss ekologisk in-riktning i system II utfördes kemisk bekämpning, när vårraps odlades. Efter detta första växt-följdsomlopp (1978-83) följde ett andra omlopp, som här dock bara redovisas under tre år, således t.o.m. andraårsvallarna 1986.

I odlingssystem III och IV odlades avsalugrödor (tabell 1 och 2) i en växtföljd 1978-83 med 1) korn, 2) vårraps, 3) höstvetete, 4) havre, 5) vårraps och 6) höstvetete. Det andra växtföljds-omloppet följdes i tre år t.o.m. 1986, då höstvetete odlades. I system III tillfördes större mängder mineralgödselkväve (t.ex. 150 kg N/ha till höstvetete) i form av kalksalpeter, men i system IV bara hälften därav (tabell 2).

Odlingssystem V gällde studier av en närmast ekologisk odlingsform, med kvävetillförsel baserad på baljväxter och med en växtföljd bestående av 1) korn med insådd (rödklöver, 16 kg frö/ha, timotej, 4 kg/ha och ängssvingel, 4 kg/ha), 2) ettårig vall, 3) höstvetete, 4) åker-bönor, 5) havre och 6) foderarter. Efter det första växtföljdsomloppet 1978-83 studerades även här det andra omloppet t.o.m. 1986 (höstvetete). En viss nötkreaturs-hållning förutsattes i detta system, med produktion av fastgödsel som tillfördes i samband med upplöjning av ettårsvallan och sådd av höstvetete därefter. Vid planeringen av försöket under slutet av 1970-talet var som nämnts den ekologiska odlingen (då vanligen kallad alternativ odling) ganska

Tabell 1. Plan för odlingssystemförsöket R3-0056 på Lanna.

Table 1. Cultivation treatments in the cropping system experiment R3-0056 at Lanna Research Station.

| Ruta <i>Plot</i> | Odlingssystem <i>Cropping system</i> | Produktion och behandlingar <i>Production and treatments</i> |
|---------------------|---|---|
| 1 | I. Kreatursstark drift, huvudsakligen vallodling (gräsvall) <i>Intense cattle production, mainly grass leys</i> | Stark N-gödsling Normal PK-tillförsel Nötkreatur, flytgödsel Kemisk bekämpning Skörd av foder |
| 2 | II. Kreatursstark drift, huvudsakligen vallodling (lusern-gräsvall) <i>Intense cattle production, mainly grass-lucerne leys</i> | Mineralgödselkväve bara 1978 Normal PK-tillförsel Nötkreatur, fastgödsel Viss kemisk bekämpning Skörd av vallfoder och halm |
| 3 | III. Avsalugrödor. Intensiv kvävegödsling <i>Cash crops. High nitrogen fertilisation levels</i> | Stark N-gödsling Stark PK-gödsling Ingen djurhållning Kemisk bekämpning Nedbrukning av skörderester |
| 4 | IV. Avsalugrödor. Svag kvävegödsling <i>Cash crops. Low nitrogen fertilisation levels</i> | Svag N-gödsling Normal PK-gödsling Ingen djurhållning Viss kemisk bekämpning Nedbrukning av skörderester |
| 5 | V. Ekologisk odling, kväve-tillförsel genom baljväxter <i>Organic farming, leguminous crops for nitrogen supply</i> | Mineralgödselkväve bara 1978 Svag PK-tillförsel Nötkreatur, fastgödsel Ingen kemisk bekämpning Skörd av vallfoder och halm |
| 6 | VI. Monokultur (vårkorn), med svinproduktion <i>Monoculture (spring barley), with pig production</i> | Anpassad N-gödsling Normal PK-tillförsel Svinflytgödsel Kemisk ogräsbekämpning Nedbrukning av skörderester |
| 7 | VII. Monokultur (vårkorn), utan djurhållning <i>Monoculture (spring barley), without animal production</i> | Ganska stark N-gödsling Normal PK-gödsling Kemisk ogräsbekämpning Halmbortförsel 1982, -84, -86 |

ny i Sverige, utan allmänt etablerade regler. Utformningen av odlingssystem V följde därmed inte några strikta regler för ekologisk odling, såsom KRAV:s senare införda bestämmelser. År 1979 tillfördes sålunda 90 kg N/ha som kalksalpeter till kornet med vallinsådden. Vidare spreds 21 kg P/ha och 39 kg K/ha som PK7-13 i hela försöket 1984, inkl. system V (se även nedan). Året därpå tillfördes 40 kg P/ha och 128 kg K/ha som PK5-16 i detta system.

Tabell 2. Grödor och tillförsel av mineralgödselkväve (kalksalpeter) 1976-86 i de olika odlingssystemen.

Table 2. Crops and application of fertiliser nitrogen (as calcium nitrate) in 1976-86 in the different cropping systems.

| 1976 | | Förberedelseår: Havre i alla rutor. Gödsling: 100 kg N/ha <i>Preparation year: Oats in all plots. Fertilisation: 100 kg N/ha</i> | | | | | | |
|------|-----------------|---|-------------|------------|----------------|-------------|-------------|------------|
| 1977 | | Förberedelseår: Höstvetete i alla rutor. Gödsling: 124 kg N/ha <i>Preparation year: Winter wheat in all plots. Fertilisation: 124 kg N/ha</i> | | | | | | |
| | | Odlingssystem Cropping system | | | | | | |
| | | I | II | III | IV | V | VI | VII |
| 1978 | Ko ins 90 N | Ko ins 90 N | Ko 90 N | Ko 90 N | Ko ins 90 N | Ko 90 N | Ko 90 N | Ko 90 N |
| 1979 | Gr I 201 N | Lu I | Vr 152 N | Vr 73 N | Rkl | Ko 107 N | Ko 122 N | Ko |
| 1980 | Gr II 204 N | Lu II | Hv 146 N | Hv 74 N | Hv | Ko 55 N | Ko 123 N | Ko |
| 1981 | Gr III 191 N | Lu III | Ha 99 N | Ha 51 N | Åb | Ko 99 N | Ko 114 N | Ko |
| 1982 | Gr IV 205 N | Lu IV | Vr 147 N | Vr 75 N | Ha | Ko 50 N | Ko 113 N | Ko |
| 1983 | Vr | Vr 50 N | Hv 150 N | Hv 75 N | Är | Ko 100 N | Ko 120 N | Ko |
| 1984 | Ko ins 54 N | Ko ins 54 N | Ko 105 N | Ko 54 N | Ko ins | Ko 54 N | Ko 127 N | Ko |
| 1985 | Gr I 200 N | Lu I | Vr 150 N | Vr 75 N | Rkl | Ko 100 N | Ko 120 N | Ko |
| 1986 | Gr II 200 N | Lu II | Hv 150 N | Hv 75 N | Hv | Ko 50 N | Ko 120 N | Ko |

Grödor Crops: Ko = korn *spring barley*, ins = med insådd *undersown*. Gr = gräsvall *grass ley*. Lu = luserngräsvall *grass-lucerne ley*. Vr = vårraps *spring rape*. Rkl = Rödklövergräsvall *grass-red clover ley*. Hv = höstvetete *winter wheat*. Ha = havre *oats*. Åb = åkerböner *broad beans*. Är = ärter *peas*. N = tillförsel av kväve (kg/ha) som kalksalpeter *application of mineral fertiliser nitrogen (kg/ha) as calcium nitrate*.

Odlingssystem VI och VII avsåg 6-åriga växtföljder med enbart odling av vårkorn, således monokulturer (tabell 1 och 2). I system VI förutsattes svinproduktion, med spridning av flytgödsel, medan det i system VII tänktes en drift utan djurhållning (tabell 1). I system VI med spridning av svinflytgödsel (tabell 3) tillfördes mindre givor av mineralgödselkväve (kalksalpeter) än i VII (tabell 2).

Stallgödsel

Nötflytgödsel spreds som nämnts vissa år i system I, nötfastgödsel i II och IV och svinflytgödsel i VI. I tabell 3 redovisas spridningstillfällena och gödselns innehåll av ammoniumkväve (kg N/ha). Givorna av mineralgödselkväve anpassades i flertalet fall till det uppskattade utnyttjandet av stallgödselkvävet. På grund av den stora mängd ammoniumkväve (120 kg N/ha), som tillfördes med flytgödsel på våren 1983 i system I (tabell 3), gavs inget kväve i form av mineralgödsel till detta års gröda (vårraps), tabell 2.

Tabell 3. Tillförsel av ammoniumkväve (kg N/ha) med stallgödsel 1979-86 i odlingsssystem I, II, V och VI samt spridningsdatum (inom parentes). Åren 1976-78 spreds ingen stallgödsel. T.o.m. 1982 tillfördes all stallgödsel på hösten. Fr.o.m. 1983 gjordes spridningarna av nöt- och svinflytgödsel på våren före vårbruket.

Table 3. Application of ammonium nitrogen (kg N/ha) in FYM and slurry in cropping systems I, II, V and VI, and application dates (in brackets). No FYM and slurry were applied in 1976-78. Until 1982, all applications were made in the autumn. From 1983, slurries were applied in spring before soil tillage and sowing.

| År Year | Odlingssystem Cropping system | | | |
|---------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| | I Nötflytgödsel Cattle slurry | II Nötfastgödsel Cattle FYM | V Nötfastgödsel Cattle FYM | VI Svinflytgödsel Pig slurry |
| 1979 | - | - | 39 (5/9) | 133 (11/10) |
| 1980 | - | - | - | - |
| 1981 | - | - | - | 102 (30/9) |
| 1982 | - | 52 (28/10) | - | - |
| 1983 | 120 (26/4) | 53 (30/9) | 35 (30/9) | - |
| 1984 | 50 (21/3) | - | - | 56 (22/3) |
| 1985 | - | - | 39 (4/9) | - |
| 1986 | - | - | - | 50 (18/3) |

Alla tre stallgödselslagen spreds på hösten t.o.m. 1982. Höstspridningen under dessa år avspeglar den tidens praktiska förhållanden i jordbruket, åtminstone vad gäller lerjordar. Fr.o.m. 1983 tillfördes emellertid *nöt- och svinflytgödseln* på våren, före vårbruket. Ändringen skall ses mot bakgrund av tilltagande medvetande vid den tiden om riskerna för förluster av gödselkväve och önskan att förbättra kväveutnyttjandet. Den fortsatta spridningen av *fastgödsel* på hösten i system II och V sammanhänger i hög grad med behovet att kunna bruka ned denna gödsel i marken i samband med höstplöjning. I system V spreds sålunda fastgödsel i samband med vallbrott i början av september 1979 och 1985, med efterföljande sådd av höstvetete.

Tillförsel av fosfor och kalium med mineralgödsel

Som nämnts spreds 80 kg P/ha i form av tomasfosfat i hela försöket 1977. Spridningen ägde rum den 19 september och avsåg förrådsgödsling. Under åren 1978-83 tillfördes varken fosfor eller kalium med handelsgödsel. I april 1984 spreds PK7-13 i en mängd motsvarande 21 kg P/ha och 39 kg K/ha i alla rutor. Redan våren 1985 (den 26/4) utfördes ytterligare en P- och K-gödsling. Beroende på odlingsystem, bortförsel med grödorna samt återförsel med stallgödsel varierades denna gång mängderna på följande sätt: System I: ingen gödsling, II: 200 kg K/ha i form av kalisalt, III: 96 kg P/ha och 96 kg K/ha som PK8-8, IV: 64 kg P/ha och 64 kg K/ha som PK8-8, V: 40 kg P/ha och 128 kg K/ha som PK-5-16, VI: ingen gödsling och VII: 77 kg P/ha och 143 kg K/ha som PK7-13.

Bekämpning av ogräs och parasiter

Kemisk ogräsbekämpning utfördes varje år vid odling av ettåriga grödor i odlingsssystem I, II, III, IV, VI och VII, med då normalt använda preparat i jordbruket. I system II och V gjordes dock inte någon sådan bekämpning i samband med insådd av vall våren 1978. I

växtföljd I, II, III och IV bekämpades även parasiter under år med vårraps. I system III utfördes detta också vid odling av höstvetete. All kemisk bekämpning uteslöts i system V med dess närmast ekologiska odlingsinriktning. Med början 1982 stubbearbetades marken, bl.a. mot ogräs, i de olika växtföljderna under vissa höstar (se nedan).

Jordbearbetning

Efter skörd av de ettåriga grödorna höstplöjdes marken i alla system. Vallbrottet i växtföljd I och II år 1982 skedde likaså genom plöjning (den 28/10), utan föregående stubbearbetning. Härvid plöjdes allt växtmaterial ned, men mängderna grönmassa var mycket små p.g.a. skörd av återväxt så sent som den 5 oktober. Brytningen av den ettåriga klövergräsvalen i system V år 1979 gjordes genom plöjning den 10/9 (efter andraskörd den 30/8), varefter höstvetete ju såddes. Vid nästa vallbrott i detta system (1985) hackades återväxten den 3/9, varpå marken stubbearbetades 4/9 och plöjdes 17/9 inför höstvetesådden. Detta år togs bara en vallskörd i system V (skörd: 20 juni), varefter all återväxt brukades ned i samband med vallbrottet.

Stubbearbetning efter stråsåd och övriga ettåriga grödor skedde inte förrän 1982, då detta gjordes den 17/9 i odlingsystem VI och VII. Vid detta och efterföljande tillfällen utfördes stubbearbetning vid behov för att underlätta halmnedplöjning och för att motverka ogräs. År 1983 stubbearbetades jorden i alla sju systemen den 2 september, år 1984 i system III och V den 30/9 samt 1986 i III, IV och VI den 2/10. Efter kornskörden i odlingsystem VII stubbearbetades marken den 1.9.1982, 23.8.1984 och 3.9.1986 även för att underlätta efterföljande sådd av fånggröda på hösten (se nedan).

Fånggrödor och hantering av växtrester efter ettåriga grödor

I system VII prövades foderraps, höstraps och vårraps som s.k. eftersådda fånggrödor, vilka alltså etablerades efter skörd av kornet. Sådan sådd ägde bara rum tre gånger (den 2.9.1982, 23.8.1984 och 5.9.1986) samt föregicks som nämnts av stubbearbetning. Fånggrödorna hann dock inte växa till sig ordentligt och torde därför inte ha haft nämnvärd inverkan på kväveutlakningen. År 1978 och 1980 skördades kornet först i mitten av september, varför den planerade sådden av fånggröda inte genomfördes. Utfallet av dessa odlingsåtgärder redovisas av dessa olika skäl inte ytterligare i denna rapport. Sådden av fånggrödorna är dock förklaring till att kornhalmen bärgades under åren i fråga i system VII, medan den lämnades kvar i det andra systemet med kornmonokultur (VI). År 1978 och 1984, då korn odlades i alla system, bortfördes halmen även i I, II och V, där vall ju hade såtts in i kornet.

Skördebestämning

Inom de ca 4500 m² stora rutorna skördades vallarna med vallskördemaskin vid 2-3 tillfällen per år, var gång med 10 skördeparceller om vardera 24,0 m² i varje ruta. Skördarna av spannmål, vårraps, ärter och åkerbönor bestämdes med skördetröska, varvid 10 tröskdrag med variation från 28,0 till 36,8 m² gjordes i varje ruta 1979-86. Under förberedelseåren 1976 och 1977, då havre respektive höstvetete odlades i hela försöket, bestämdes dock avkastningen i tre skördeparceller om vardera 86 m² ut i varje ruta. År 1978, då korn såddes i alla odlingsystem, gjordes tre skördedrag om vardera 167 m² per ruta för skördebestämning.

Prover av vallskördarna togs ut rutvis för bestämning av bl.a. totalkväveinnehåll och torrsubstans. Rutvisa kärnprover om 1000 g togs ut för spannmålsanalys med bestämning av bl.a. vattenhalt, renvikt och totalkvävehalt (kjeldahl-N). Sådana analyser gjordes också i rutvisa prover uttagna vid skörd av vårraps, foderärter och åkerbönor. Skördarnas kväveinnehåll har rapporterats av Haak et al. (1994).

Studier av avrinning, kväveutlakning och grundvattennivåer

I försöksrutorna fanns som nämnts åtskilda dräneringssystem. Dikesrören låg på 80-110 cm djup och på 13 m avstånd från varandra i sidled. I varje ruta leddes dräneringsvattnet till en cementbrunn för mätning av avrinningen och provtagning av vattnet, med bestämning av nitratkvävehalterna. Dessa brunnar var 220 cm djupa och försedda med fast cementbotten. Den inre diametern var 90 cm. Dräneringsvattnet leddes in genom ett inloppsrör ca 60 cm över botten. Den utrustning som användes för mätning av vattenflödet och för provtagning av vattnet utformades på basis av ett system, som hade utvecklats vid Askov forsøgsstation i södra Jylland (Kjellerup, 1975). Tekniken var följande:

En dränkbar pump nära botten i varje brunn förde upp dräneringsvattnet via ett rör vertikalt till ca 150 cm över botten, där en horisontellt uppsatt vattenmätare kontinuerligt registrerade flödet. Därifrån leddes vattnet genom ett rör in i en ”stänkkammare” utformad för kontinuerlig uttagning av mindre vattenprover i proportion till vattenmängden. Vid inloppet till stänkkammaren var för detta ändamål det inkommande röret försett med ett munstycke, som splittrade upp vattnet i finare strålar. Inne i kammaren fanns dessutom ett sluttande, smalare rör med millimetertjocka hål på en sida. En liten del av vattnet från pumpen trängde in i dessa hål och fördes via det smala röret ned i en uppsamlingsbehållare. Efter stänkkammaren leddes det övriga vattnet ut till ett avlopp. Uppsamlingsbehållarna tömdes var fjortonde dag för analys av vattnet. Vattenavrinningen registrerades också var fjortonde dag. Vid stora flöden gjordes avläsningarna oftare.

Något ovanför botten på brunnen fanns en *undre* flottör och på ca 50 cm höjd en *övre* flottör. När avrinningen via dräneringsledningarna medförde att vattenståndet i brunnen nådde 50 cm över botten, gav den övre flottören en signal till pumpen att starta och pumpa vatten till vattenmätaren och stänkkammaren. Då vattnet sjunkit till i höjd med den undre flottören, stängdes pumpen av. Den fortsatta avrinningen medförde sedan att vatten på nytt fylldes på i brunnen, tills den övre flottören åter startade pumpen.

De uttagna vattenproverna djupfrysades. Efter upptining bestämdes innehållet av nitratkväve med en Technicon Autoanalyser vid Avdelningen för växtnäringslära, Institutionen för markvetenskap, SLU, Uppsala. Med kännedom om nitratkvävehalten i samlingsprovet från varje mätperiod (14 dagar) och den under denna tid uppmätta vattenmängden beräknades utlakningen av nitratkväve via dräneringsledningarna i varje ruta.

Mätningar av grundvattenytans nivåer ägde rum från april 1978 till november 1986 med normalt 2-3 veckors mellanrum, dock glesare 1985-86. För detta fanns ett s.k. grundvattenrör av plast (med en inre diameter på ca 3 cm) i varje försöksruta, således sju stycken. Rören hade små hål på sidan, så att vatten kunde tränga in. Grundvattenståndet mättes med ett s.k. klucklod. Detta utgjordes av en ca 6 cm lång, rund metallstav med en inåtvänd ursvarvning (”urgröpning”) i den nedre kortänden. Fäst på ett måttband sänktes lodet ned i röret, tills det nådde vattnet. Ursvarvningen gav upphov till ett kluckande läte, när lodet hastigt träffande vattenytan. I detta läge mättes grundvattendjupet med måttbandet, från markytan räknat.

Provtagning av marken

Mineralkvävebestämning inom 0-200 cm djup under höst och vår

För bestämning av mängderna mineralkväve (ammonium- och nitratkväve) i markprofilen i varje odlingsystem togs jordprover ut tidigt på våren och efter skörd på hösten (medel-datum: 11/4 respektive 13/9). Detta skedde fr.o.m. hösten 1979 t.o.m. hösten 1986. Borrkärnor togs då ut till 200 cm djup och delades upp i 20-cm-skikt inom 0-100 cm och i 25-cm-skikt inom 100-200 cm djup. Avsikten med höstprovtagningarna var främst att belysa, hur väl grödorna utnyttjat det växttillgängliga kvävet i marken under växtsäsongen, bl.a. med tanke på kväveutlakningsrisken. Vårprovtagningarna syftade till att beskriva, hur mycket mineralkväve som fanns kvar efter vinterns utlakningsförluster och som sedan stod till förfogande för den efterföljande grödan.

För denna provtagning utsågs vid varje tillfälle tre cirkelrunda delytor (med 2 m radie) inom varje ruta. Dessa ytor låg med ca 10 m centrumavstånd från varandra tvärs över rutorna längs en linje i försökets längdriktning. Vid varje provtagningstillfälle flyttades linjen i rutornas längdriktning, så att tidigare provtagna delytor helt undveks.

Inom varje delyta gjordes sju borrhstick i matjorden (0-20 cm), vilka placerades på cirkelns omkrets i enlighet med de äldre föreskrifterna för markkartering (Johansson, 1963). Dessa sju delprov slogs ihop till ett samlingsprov. På 20-200 cm djup gjordes två stick per delyta och markskikt, med placering mitt emot varandra på cirkellinjen. Efter uppdelning på markskikt enligt ovan slogs dessa båda borrhstick också ihop till skiktvisa samlingsprover i varje delyta. Härigenom erhöles alltid tre delprover för analys per markskikt och ruta. Dessa prover analyserades vart för sig.

Provtagningen i matjorden (0-20 cm) utfördes med markkarteringsborr, s.k. Trekanten-borr (Johansson, 1963; Lindén, 1977). I alvskikten (20-200 cm) användes Nääs-borr (Nääs & Odentun, 1957; Lindén, 1977). Den senare borrhstypen består av ett slutet stålrör med en påskruvad, ringformad stålspets i den nedre änden, där borrhkärnan tränger in. Spetsen har en invändig cirkelformad förträngning, som gör att borrhkärnan får mindre diameter än borren invändigt. Härigenom motverkas att borrhkärnan fastnar i borrhöret och trycks ihop. Sådan hoptryckning medför bl.a., att skiktdjupen inte kan identifieras på rätt sätt. Matjordsborren var så bred att borrhålen blev större än i underliggande skikt. Avsikten var att undvika att matjord blandades in i de provtagna alvproverna, när Nääs-borrarna slogs ned och drogs upp. Två varianter av Nääs-borrarna användes: en kortare för provtagning till 100 cm djup och en längre för 100-200 cm. Eftersom borrhöret är slutet i längdriktningen, ”tömdes” hela borrhkärnan ut genom att borren vändes upp och ned. Härvid lades borrhkärnan ut på ett bräde med djupskala, så att jordprovet i varje skikt kunde identifieras och tas om hand.

Mineralkvävebestämning månadsvis inom 0-100 cm djup

För att följa mineralkvävet förändringar mer detaljerat under årets olika delar i odlings-system III och VI, båda med ettåriga grödor (tabell 1 och 2), gjordes provtagningar där i 20-cm-skikt till 100 cm djup på ovan nämnda sätt och med ungefär en månads mellanrum. Syftet var att 1) belysa grödornas utnyttjande av det växttillgängliga kvävet under olika delar av växtsäsongen och 2) beskriva hur kvävemineralkväveförändringen efter avslutad kväveupptagning påverkade mineralkväveförråden och kväveutlakningsriskerna under den ”vegetationslösa” årstiden (september-april).

Mineralkväveanalys

Jordproverna förvarades djupfrysta fram till analystillfället. De tinades då försiktigt, så att jorden fick en temperatur strax över fryspunkten. Sedan homogeniserades de snabbt i fältfuktigt tillstånd i en jordkvarn försedd med en horisontell propeller. Jordprovet passerade ned genom propellern, som finfördelade provet. Jorden samlades upp i en behållare under propellern. Genast därefter vägdes 60 g homogeniserad jord in och extraherades över natten med 150 mL 2 M KCl, dvs. i jord-vätskeförhållandet 1:2,5 (jmf. Bremner & Keeney, 1966). Ett annat delprov togs ut för vattenhaltsbestämning vid 105°C. I jordextrakten bestämdes ammonium- och nitratkväve kolorimetriskt med en Technicon Autoanalyser vid Avdelningen för växtnäringslära, Institutionen för markvetenskap. Analysvärdena räknades om till kg N/ha skiktvis i marken med beaktande av vattenhalterna i proverna och under antagande att volymvikten i matjorden (0-20 cm) var 1,25 kg/L och därunder 1,50 kg/L.

Beräkning av kvävemineralisering

I odlingsystem III och VI (tabell 1 och 2) beräknades kvävemineraliseringen för perioder under höst, vinter och vår enligt följande (jmf. Lindén et al., 1992a):

$$N_{net} = N_{gr} + N_{slut} - N_{start} + N_{utl}$$

där N_{net} = Beräknad nettomineralisering av kväve under perioden

N_{gr} = Kväve upptaget i gröda under perioden

N_{start} = Mineralkväve i marken (0-100 cm) vid periodens början

N_{slut} = Mineralkväve i marken (0-100 cm) vid periodens slut

N_{utl} = Utlakning av nitratkväve under perioden

N_{gr} (kväve upptaget i gröda) avser här endast kväve i höstvetebrodd i odlingsystem III på hösten. Då höstvetet inte provtogs under hösten, har kväveinnehållet beräknats beroende på denna grödas förmodade kväveupptag i relation till utvecklingsstadiet enligt Lindén et al. (2000). Mineralkväve inom antingen 0-100 cm eller 0-200 cm djup har använts för olika beräkningar av kvävemineralisering.

Jordartsbestämning och växtnäringsanalyser i jord

Prover, som tagits ut för mineralkväveanalys våren 1977 skiktvis till 200 cm djup, utnyttjades också för bestämning av jordart genom mekanisk analys. Bestämningen ägde rum vid dåvarande Avdelningen för hydroteknik, Institutionen för markvetenskap, SLU. För denna analys togs delprover ut ur jordprover från varje försöksruta och slogs ihop till skiktvisa samlingsprov för hela försöket. Motsvarande jordprover uttagna i september 1976 för mineralkväveanalys användes till rutvis bestämning av totalkväve, totalkol (mullhalt) och pH(H₂O) inom de olika markdjupen, vilket skedde vid Avdelningen för växtnäringslära, Institutionen för markvetenskap. Först användes dock dessa prover för rutvis bedömning av rotdjupet hos detta års gröda (höstvete) genom räkning av rötter, se nedan. Senare rotdjupsbestämningar utfördes på samma sätt. Markkarteringsanalyser saknas från förberedelseåren. Däremot finns rutvisa, sådana bestämningar från våren 1986 (bestämning vid dåvarande Statens Lantbrukskemiska Laboratorium, Uppsala). Dessa resultat avser endast samlingsprov av matjord (0-20 cm), baserat på 21 borrstick per ruta. Mullhalterna fastställdes på två sätt: genom bestämning av glödgningsförlust (vid mekanisk analys) och totalkol i jorden, det senare med det traditionella antagandet att kolhalten utgjorde 58 % av markens organiska substans (mullhalt = C * 1,724). Totalkväve i jord bestämdes genom kjeldahl-analys.

Resultat och diskussion

Beskrivning av jordens egenskaper på försöksplatsen

Matjorden inom 0-20 cm djup utgjordes av måttligt mullhaltig styv lera, med drygt 3 % mull (tabell 4 och 5). Alven bestod av mycket styv lera, med ökande lerhalter från 56 % i skiktet 20-40 cm till som högst 64 % på drygt 100 cm djup.

Mullhalten minskade naturligt nog med markdjupet, och under 60 cm fanns 0 % mull enligt bestämningar av glödgningsförlust. Beräkningar baserade på bestämning av totalkol gav däremot mullhalter under 60-cm-nivån på 0,5-0,8 % (tabell 5). Berglund (1996) och Lindén (2015) erhöll i mulljordar likaså högre beräknade mullhalter på basis av totalkolbestämning än vid användning av glödgningsförlust. Detta tyder på att metoderna ger något olika värden. En annan möjlig förklaring till kolet vid totalkolbestämningen är, att fritt kalciumkarbonat kan ha funnits i alven. De höga pH-värdena i alvskikten gör detta ganska troligt (tabell 6). På 60-200 m djup erhöles pH-värden på 6,8-8,0 vid provtagning på hösten 1976. I matjorden fastställdes ett genomsnittligt pH på 6,9 i hela försöket.

Totalkvävehalterna i jorden minskade naturligt nog också med tilltagande markdjup (tabell 5). I matjorden (0-20 cm) fanns det 3,7 ton totalkväve per ha. Under 100 cm djup, där mullhalten ju var låg, erhöles dock så mycket som 0,9-1,0 ton/ha inom varje 25-cm-skikt.

Marken visade sig vid visuella besiktningar ha en struktur med tydlig sprickbildning ned till ca 100 cm djup, dvs. ungefär till dräneringsdjup (se ovan). Även därunder fanns sprickor och kanaler men i avtagande grad med tilltagande djup. Detta spricksystem möjliggjorde uppenbarligen djupt gående rötter hos grödorna (se nedan).

En grov bedömning av rotdjupet vid odling av havre gjordes i borrhärnor uttagna i september 1976 efter skörd av denna gröda (tabell 7a). Studien visade riklig rotförekomst till drygt en meters djup. Därunder avtog rotmängden. Enstaka rötter återfanns dock ned till ca 1,5 m. I jordprover uttagna den 16 september 1981 undersöktes rotförekomsten på samma vis men efter olika grödor (tabell 7b). Det fanns då i allmänhet riklig rotförekomst ned till en meters djup. Därunder minskade rotantalet, och i ruta 1 (gräsvall) samt ruta 3 och 4 (havre i båda) hittades inte några rötter under provtagningsdjupet 125 cm. I ruta 2 (luserngräsvall), ruta 5 (åkerbönor) och ruta 6 (korn) konstaterades enstaka rötter under drygt 1,5 meters djup.

Rotförekomsten vid båda provtagningarna (tabell 7a och b) tyder på så pass djupa rotsystem, att grödorna i allmänhet måste ha kunnat ta upp vatten och växtnäringssämnen till mer än en meters djup, förmodligen i vissa fall ända till omkring 1,5 m. Detta bör ha inverkat på växternas totala kväveutnyttjande och därmed även på kväveutlakningsrisken (se nedan).

Som nämnts saknas markkarteringsdata från försöksstarten. I tabell 8 visas resultatet av sådana analyser efter provtagning av matjorden (0-20 cm) före vårbruket på våren 1986, dvs. det nionde försöksåret. Eftersom jämförelser med ursprungsdata från försökets början inte kan göras, är slutsatser om de olika odlingssystemens inverkan svåra att dra. Det kan dock fastställas, att fosforvärdena i alla odlingssystem låg i P-AL-klass III (P-AL = 4,1-8,0). Alla kaliumhalter motsvarade K-AL-klass III (K-AL = 8,1-16,0). Det lägsta P-AL-värdet fanns i system II och det näst lägsta i system I. Den uteblivna fosforgödslingen 1985 i dessa båda växtföljder (se ovan) kan i viss mån ha bidragit till detta. Det lägsta pH-värdet (6,6) och det näst lägsta (6,8) 1968 återfanns likaså i odlingssystem II respektive I, vilket kan bero på att

Tabell 4. Jordartssammansättning (mekanisk sammansättning, % av jordens torrsubstans) inom 0-200 cm markdjup. Jordprovtagningen ägde rum våren 1977. Resultaten avser analys av skiktvisa samlingsprov för hela försöksytan. Beräkningen av mullhalt här baseras på glödningsförlust.

Table 4. Soil composition, expressed as percentage of total soil DM, within the 0-200 cm soil layer. Soil samples were withdrawn in the spring of 1976. The results are derived from analyses of composite samples from the entire experimental area. Soil organic matter (SOM) data refer to determinations of loss on ignition. Ler = clay, Mjåla = silt, Mo = fine sand.

| Markskikt Soil layer (cm) | Jordartssammansättning Soil composition | | | | Mull- halt SOM | Jordarts- beteckning Swedish designation of soil types |
|---------------------------------|--|------------|----------|-------|----------------------|--|
| | Ler | Mjåla | Mo | Sand | | |
| | Kornstorleksfördelning Partical size distribu- tion, mm | | | | | |
| | <0,002 | 0,002-0,02 | 0,02-0,2 | 0,2-2 | | |
| 0-20 | 44,4 | 31,8 | 15,6 | 5,1 | 3,1 | mmh SL |
| 20-40 | 56,1 | 27,1 | 12,0 | 4,2 | 0,6 | mf MSL |
| 40-60 | 60,1 | 28,3 | 9,1 | 1,8 | 0,7 | mf MSL |
| 60-80 | 61,5 | 25,8 | 11,5 | 1,2 | 0,0 | MSL |
| 80-100 | 61,5 | 28,9 | 9,0 | 0,6 | 0,0 | MSL |
| 100-125 | 63,7 | 26,5 | 9,3 | 0,5 | 0,0 | MSL |
| 125-150 | 60,3 | 29,2 | 9,9 | 0,7 | 0,0 | MSL |
| 150-175 | 62,0 | 28,7 | 8,9 | 0,5 | 0,0 | MSL |
| 175-200 | 59,9 | 28,3 | 11,5 | 0,4 | 0,0 | MSL |

Tabell 5. Totalkväve, total kol och mullhalt på olika djup baserat på dubbelbestämningar av ett samlingsprov per markskikt. Dessa prover togs ut inom hela försöksytan hösten 1976. Mullhalten har beräknats på basis av bestämningar av total kol (= C*1,724).

*Table 5. Total nitrogen, total carbon and SOM at different soil depths based on double analyses of one composite sample withdrawn in the autumn of 1976 from each soil layer within the entire experimental area. SOM was calculated from determinations of total carbon (= C*1,724).*

| Markskikt Soil layer (cm) | Totalkväve Total nitrogen | | Total kol, % av ts Total carbon, % of DM | C/N | Mullhalt, % av ts SOM, % of DM |
|---------------------------------|------------------------------|-----------|---|------|---|
| | mg/g ts | Ton/ha | | | |
| | mg/g DM | Tonnes/ha | | | |
| 0-20 | 1,47 | 3,7 | 1,96 | 13,4 | 3,4 |
| 20-40 | 0,59 | 1,8 | 0,92 | 15,8 | 1,6 |
| 40-60 | 0,38 | 1,1 | 0,37 | 9,7 | 0,6 |
| 60-80 | 0,33 | 1,0 | 0,42 | 13,0 | 0,7 |
| 80-100 | 0,30 | 0,9 | 0,28 | 9,4 | 0,5 |
| 100-125 | 0,24 | 0,9 | 0,26 | 10,7 | 0,5 |
| 125-150 | 0,24 | 0,9 | 0,45 | 18,9 | 0,8 |
| 150-175 | 0,24 | 0,9 | 0,44 | 18,4 | 0,8 |
| 175-200 | 0,26 | 1,0 | 0,39 | 15,2 | 0,7 |

Tabell 6. pH(H₂O)-värden skiktvis i marken, jordprover uttagna hösten 1976. Varje värde utgör medeltal för tre jordprover per ruta och markskikt.

Table 6. pH(H₂O) values in different soil layers, soil samples taken in the autumn of 1976. Each value constitutes an average of three soil samples. Markskikt = soil layer, Medeltal = average, Std = standardavvikelse = standard deviation.

| Markskikt (cm) | Odlingssystem (fr.o.m. 1978)/Försöksruta <i>Cropping system (from 1978)/Experimental plot</i> | | | | | | | Medeltal | Std |
|-------------------|--|------|-------|------|-----|------|-------|----------|-----|
| | I/1 | II/2 | III/3 | IV/4 | V/5 | VI/6 | VII/7 | | |
| 0-20 | 6,4 | 6,5 | 7,0 | 7,1 | 7,1 | 7,0 | 7,0 | 6,9 | 0,3 |
| 20-40 | 6,1 | 6,3 | 7,1 | 7,2 | 7,2 | 7,1 | 7,1 | 6,9 | 0,5 |
| 40-60 | 6,4 | 6,7 | 7,3 | 7,3 | 7,4 | 7,4 | 7,4 | 7,1 | 0,4 |
| 60-80 | 6,8 | 7,0 | 7,5 | 7,4 | 7,5 | 7,5 | 7,5 | 7,3 | 0,3 |
| 80-100 | 7,0 | 7,2 | 7,6 | 7,6 | 7,6 | 7,5 | 7,7 | 7,5 | 0,2 |
| 100-125 | 7,1 | 7,4 | 7,7 | 7,7 | 7,8 | 7,8 | 7,8 | 7,6 | 0,3 |
| 125-150 | 7,2 | 7,7 | 7,8 | 7,8 | 7,9 | 7,9 | 8,0 | 7,8 | 0,3 |
| 150-175 | 7,3 | 7,7 | 7,8 | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 7,8 | 0,2 |
| 175-200 | 7,2 | 7,9 | 7,8 | 7,8 | 7,9 | 7,8 | 7,9 | 7,7 | 0,2 |

Tabell 7a. Bedömning av rotförekomst i alven i de olika försöksrutorna vid jordprovtagning den 15 september 1976 efter havre som gröda detta år. Rotförekomsten uppskattades på basis av antalet funna rötter i borrhärlor (diameter: 25 mm) uttagna med Nääs-borr (totalt 6 borrhärlor på 20-200 cm djup i varje ruta). Mängden rötter i varje alvskikt bedömdes enligt följande skala: 3 = riklig rotförekomst, med rötter i alla borrhärlor (på 20-80 cm djup) eller i 5 av borrhärlorna (på 80-100 cm djup), 2 = rötter i 3-4 borrhärlor, 1 = rötter i 1-2 borrhärlor eller någon enstaka rotbit och 0 = inga rötter funna.

Table 7a. Estimation of root distribution in the subsoil of the different plots at soil sampling on 15 September 1976 following oats. Root occurrence was estimated on the basis of the number of roots found in soil cores (diameter: 25 mm), totally 6 cores within 20-200 cm soil depth in each plot. The amount of roots in each layer was estimated according to the following scale: 3 = abundant root occurrence, with roots in all cores (20-100 cm soil depth) or at least in 5 cores (80-100 cm), 2 = roots in 3-4 cores, 1 = roots in 1-2 cores or only some individual root parts, and 0 = no roots found.

| Markskikt Soil layer (cm) | Odlingssystem/Försöksruta <i>Cropping system/Experimental plot</i> | | | | | | |
|---------------------------------|---|------|-------|------|-----|------|-------|
| | I/1 | II/2 | III/3 | IV/4 | V/5 | VI/6 | VII/7 |
| 20-40 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 40-60 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 60-80 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 80-100 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 100-125 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| 125-150 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 150-175 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 175-200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabell 7b. Bedömning av rotförekomst i alven i de olika försöksrutorna vid jordprovtagning den 16 september 1981 efter olika grödor detta år. Metodbeskrivning: se tabell 7a.

Table 7a. Estimation of root distributon in the subsoil of the different plots at soil sampling on 16 September 1981 following different crops. Method description: see Table 7a.

| Markskikt Soil layer (cm) | Odlingssystem/Försöksruta och gröda Cropping system/Experimental plot and crop | | | | | | |
|---------------------------------|---|--------|-------|------|-----|------|-------|
| | I/1 | II/2 | III/3 | IV/4 | V/5 | VI/6 | VII/7 |
| | Gr III | Lu III | Ha | Ha | Åb | Ko | Ko |
| 20-40 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 40-60 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 60-80 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 80-100 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 100-125 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 125-150 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 |
| 150-175 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 175-200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Grödor Crops: Gr = gräsvall grass ley. Lu = lusern-gräsvall grass-lucerne ley. Ha = havre oats. Åb = åkerbönor broad beans. Ko = korn spring barley.

Tabell 8. Markkarteringsdata i matjorden (0-20 cm djup) vid provtagning våren 1986. Resultaten baseras på dubbelbestämning av ett samlingsprov från varje försöksruta. Mullhalten har beräknats på basis av halten totalkol (= C*1,724).

Table 8. Soil chemical properties in the topsoil (0-20 cm) at sampling in the spring of 1986. The results are based on double analyses of a composite sample from each plot. SOM is calculated on the basis of the total carbon concentration (= C*1.724).

| System Ruta Plot | mg per 100 g lufttorr jord mg per 100 g of airdry soil | | | pH(H ₂ O)* | Totalkol, % av ts Total C, % of DM | Mullhalt, SOM, % |
|------------------------|---|------|-------|-----------------------|---|------------------------|
| | P-AL | K-AL | Mg-AL | | | |
| | I/1 | 5,0 | 9,2 | | | |
| II/2 | 4,4 | 11,5 | 23,8 | 6,6 (6,5) | 2,3 | 4,0 |
| III/3 | 5,2 | 11,8 | 30,0 | 7,2 (7,0) | 2,1 | 3,6 |
| IV/4 | 5,8 | 13,6 | 25,0 | 7,1 (7,1) | 1,8 | 3,1 |
| V/5 | 6,0 | 15,0 | 29,0 | 6,9 (7,1) | 1,8 | 3,1 |
| VI/6 | 6,0 | 14,0 | 34,0 | 7,1 (7,0) | 1,9 | 3,3 |
| VII/7 | 5,9 | 12,7 | 30,0 | 7,2 (7,0) | 1,8 | 3,1 |

*) Värden inom parentes avser provtagning den 15 september 1976, 0-20 cm (jmf. tabell 6). Values in brackets refer to sampling on 15 September 1976, 0-20 cm (cf. Table 6).

pH-värdena redan före försökstarten var lägst i dessa rutor (jmf. tabell 6). I system II (dvs. ruta 2) kan det också ha att göra med lusernens generellt stora kalciumupptagning. Lusern-gräsvall hade ju odlats här under fem av de dittillsvarande åtta försöksåren fr.o.m. 1978. Inget mineralgödselkväve tillfördes under vallåren i system II. Kvävegödslingen med kalksalpeter i de andra odlingssystemen (utom V) kan där ha bidragit till att upprätthålla höga

pH-värden genom detta gödselmedels positiva kalkverkan (jmf. Ericsson & Bertilsson, 1982).

I markkarteringsproverna från 1986 bestämdes även totalkol. De härigenom beräknade mullhalterna i matjorden blev högst i system I och II (4,2 respektive 4,0 %) med vall under fem av dittillsvarande åtta försöksår (tabell 8). Vid provtagning i september 1976, dvs. ca två år före starten av odlingssystemen, fastställdes med samma metod en mullhalt på 3,4 % (tabell 5) på basis av ett generalprov för hela försöksarealen. Det kan givetvis ha funnits variationer i mullhalten inom försöksytan före försöksstarten, men resultaten från 1986 skulle kunna tyda på en viss mullhaltsökning i system I och II (båda med vall) och mindre minskningar i några av de andra systemen (med öppen växtodling) under den gångna tioårsperioden. Den ettåriga klövergräsvalen i system V borde ha haft obetydlig inverkan.

Väder- och växtodlingsförhållanden vid Lanna 1976-86

Som framgår av tabell 9 kännetecknades vintermånaderna januari och februari 1976-86 av medeltemperaturer med minusgrader, med -0,6 och -10,2°C på Lanna som högsta och lägsta månatliga värden. Januari 1983 var ett undantag, då det generellt rådde blidare väder, med +2,5°C. Under vissa år registrerades i genomsnitt flera minusgrader även i december och mars. Månadsmedeltemperaturerna för december, januari, februari och mars 1976-86 uppgick till i genomsnitt -1,7, -3,8, -5,2 respektive 0,0°C vid Lanna. Dessa temperaturförhållanden avspeglar generellt kallare vintrar än senare årtionden. Under exempelvis 10-årsperioden 1998-2007 blev månadsmedeltemperaturerna för december, januari, februari och mars i medeltal 0,0, -0,9, -1,1 respektive 0,2°C enligt uppgifter från Lanna.

Datum för vårsådd registrerades under försöksåren 1978-86. Temperaturförhållandena och upptorkningen under våren medgav sådd av vårsäd i medeltal den 2 maj, med variationer från som tidigast den 16 april 1978 till som senast den 15 maj 1979. Skörden av vårsäd ägde i medeltal rum den 3 september och som tidigast den 11 augusti 1982 samt som senast den 24 september 1979. Med åren kunde skördarbetet generellt utföras allt tidigare.

Nederbörden i april 1976-86 uppgick i medeltal till 31 mm, som lägst 4 mm och som högst 75 mm (tabell 10). Normalvärdet för 1961-90 är 30 mm. I maj 1976-86 fastställdes i genomsnitt 41 mm, vilket var detsamma som normalvärdet. Som minst kom 10 mm år 1978 och som mest 74 mm 1973. Vissa år var april och/eller maj mer eller mindre nedbördsfattiga (tabell 10). Trots detta tillfördes mineralgödselkväve (kalksalpeter) i försöket alltid genom övergödning efter uppkomsten (medeldatum för kvävegödning till vårsäd: 21 maj, som tidigast 9 maj 1979 och som senast 3 juni 1980). Detta gödningssätt grundades på dåtida försök i länet och erfarenheter bland jordbrukarna (Tunared, pers. medd.).

Kvävegödningen ägde således rum närmare tre veckor efter vårsådden. Detta måste ha inneburit minskad risk för kväveutlakning, jämfört med gödning vid sådden. Förhållandet gäller i vart fall nederbördsrikare vårar, särskilt som marken även närmast efter vårbruket har hög vattenhalt och kan riskera att vattenmättas efter kraftigare regn.

Nederbörden under höstmånaderna september, oktober och november varierade också starkt, från som lägst ca 30 mm till som högst omkring 120 mm per månad (tabell 10). Detta måste

Tabell 9. Månadsmedeltemperaturer (°C) vid SMHI:s meteorologiska station Lanna 1976-86. "Normalt" avser månadsmedeltemperaturer för perioden 1961-90.

Table 9. Average monthly temperatures (°C) at Lanna in 1976-86. "Normalt" refers to normal values for the period 1961-90.

| Månad | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| <i>Month</i> | | | | | | |
| Januari | -4,0 | -3,5 | -0,6 | -6,5 | -4,2 | -2,2 |
| Februari | -1,7 | -5,1 | -5,7 | -8,6 | -6,7 | -1,7 |
| Mars | -2,9 | 0,8 | -0,5 | 0,5 | -1,8 | -0,4 |
| April | 4,6 | 2,7 | 4,0 | 4,1 | 5,3 | 5,0 |
| Maj | 11,0 | 10,9 | 11,0 | 10,4 | 10,5 | 12,5 |
| Juni | 14,8 | 15,1 | 15,5 | 15,9 | 15,6 | 13,2 |
| Juli | 17,5 | 15,3 | 15,2 | 14,7 | 15,9 | 15,9 |
| Augusti | 16,3 | 14,4 | 14,4 | 14,2 | 15,1 | 14,8 |
| September | 9,7 | 9,8 | 9,6 | 11,4 | 12,1 | 12,4 |
| Oktober | 6,4 | 8,8 | 7,9 | 5,4 | 5,9 | 6,7 |
| November | 3,7 | 3,0 | 5,9 | 3,2 | 0,6 | 2,3 |
| December | -3,1 | 0,4 | -6,2 | -1,0 | 0,8 | -5,9 |

| Månad | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | Normalt |
|--------------|------|------|------|-------|------|---------|
| <i>Month</i> | | | | | | |
| Januari | -7,8 | 2,5 | -2,3 | -8,5 | -4,4 | -3,1 |
| Februari | -2,1 | -4,8 | -1,5 | -10,2 | -8,6 | -3,4 |
| Mars | 2,9 | 1,7 | -0,8 | -1,1 | 1,1 | -0,3 |
| April | 5,9 | 5,6 | 5,8 | 2,0 | 2,1 | 4,4 |
| Maj | 11,8 | 10,7 | 12,0 | 11,5 | 11,6 | 10,6 |
| Juni | 13,1 | 14,0 | 13,9 | 13,9 | 17,1 | 14,7 |
| Juli | 17,4 | 17,4 | 16,0 | 15,9 | 15,8 | 15,7 |
| Augusti | 16,7 | 16,5 | 16,2 | 15,0 | 13,3 | 14,9 |
| September | 12,5 | 11,7 | 9,9 | 9,8 | 8,6 | 11,0 |
| Oktober | 8,0 | 7,7 | 9,0 | 8,8 | 7,4 | 7,1 |
| November | 4,3 | 1,8 | 3,7 | -0,3 | 5,2 | 2,1 |
| December | 0,6 | -0,1 | 0,9 | -2,5 | -2,2 | -1,4 |

i hög grad ha påverkat den tidpunkt, då avrinningen genom dräneringsrören började. Enligt erfarenhet kunde man på Lanna räkna med begynnande avrinning i oktober-november (Tunared, pers. medd.).

Tabell 10. Månadsnederbörd (mm) vid SMHI:s meteorologiska station Lanna 1976-86. "Normalt" avser månadsmedeltal för perioden 1961-90.

Table 10. Monthly precipitation (mm) at Lanna in 1976-86. "Normalt" refers to average values for the period 1961-90. Hela året = annually.

| Månad <i>Month</i> | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Januari | 29 | 74 | 32 | 31 | 12 | 16 |
| Februari | 6 | 34 | 18 | 24 | 17 | 20 |
| Mars | 19 | 62 | 62 | 30 | 15 | 58 |
| April | 16 | 60 | 4 | 46 | 24 | 7 |
| Maj | 55 | 43 | 10 | 61 | 20 | 52 |
| Juni | 23 | 11 | 52 | 33 | 84 | 86 |
| Juli | 61 | 97 | 45 | 90 | 53 | 90 |
| Augusti | 16 | 32 | 74 | 69 | 136 | 10 |
| September | 43 | 64 | 102 | 74 | 41 | 61 |
| Oktober | 90 | 79 | 14 | 38 | 78 | 68 |
| November | 49 | 122 | 51 | 76 | 43 | 99 |
| December | 67 | 29 | 21 | 28 | 49 | 19 |
| Hela året | 474 | 708 | 483 | 600 | 573 | 587 |

| Månad <i>Month</i> | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | Normalt |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Januari | 32 | 67 | 61 | 40 | 54 | 37 |
| Februari | 9 | 8 | 13 | 18 | 3 | 24 |
| Mars | 34 | 41 | 11 | 55 | 47 | 29 |
| April | 16 | 41 | 10 | 75 | 41 | 30 |
| Maj | 47 | 74 | 45 | 21 | 23 | 41 |
| Juni | 44 | 34 | 79 | 102 | 26 | 51 |
| Juli | 13 | 10 | 66 | 39 | 54 | 63 |
| Augusti | 78 | 32 | 33 | 58 | 105 | 62 |
| September | 73 | 120 | 92 | 95 | 33 | 65 |
| Oktober | 39 | 45 | 110 | 39 | 36 | 61 |
| November | 96 | 17 | 54 | 42 | 51 | 56 |
| December | 47 | 45 | 31 | 104 | 66 | 39 |
| Hela året | 526 | 535 | 605 | 687 | 538 | 558 |

Skördar

Vallskördarna *i odlingsystem I och II* uppgick i medeltal för de sex ingående vallåren under perioden 1979-86 till 8.820 kg ts/ha (två skördar per år) respektive 7.920 kg ts/ha (tre skördar), tabell 11. Gräsvallen i system I tillfördes ca 200 kg N/ha och år i form av kalksalpeter (tabell 2). I gödslingsråd från Statens Jordbruksverk (Albertsson et al., 2016) rekommenderas nuförtiden 175 kg N/ha till gräsvall vid en avkastning på 9.000 kg ts/ha i ett tvåskördesystem. Kvävegödslingen till vallen i system I kan därför ha varit lite i överkant. Den förhållandevis goda skörden i system II (utan kvävegödsling) innebär, att lusernens kvävefixering möjliggjorde en avkastning motsvarande 90 % av den starkt kvävegödslade gräsvallens.

Tabell 11. Grödor 1976-86 i odlingssystemen och skördar av spannmål, foderärter och åkerböner (kärna, ärter och böner med 15 % vattenhalt), vårraps (frö, 9 % vattenhalt) samt vall (ts).

Table 11. Crops in 1976-86 in the cropping systems and yields of cereals, peas and broad beans (grain, peas and beans with 15 % moisture), spring rape (seeds, 9 % moisture) and leys (DM).

| 1976 | | Förberedelseår: Havre i alla rutor. <i>Preparation year: Oats in all plots.</i> Kärnskörd, medeltal <i>Average grain yield: 4600 kg/ha</i> | | | | | |
|--------------------------------------|----------------|---|------------|------------|----------------|------------|------------|
| 1977 | | Förberedelseår: Höstvet i alla rutor. <i>Preparation year: Winter wheat in all plots.</i> Kärnskörd, medeltal <i>Average grain yield: 5280 kg/ha.</i> | | | | | |
| Odlingssystem <i>Cropping system</i> | | | | | | | |
| | I | II | III | IV | V | VI | VII |
| 1978 | Ko ins 4440 | Ko ins 3950 | Ko 3970 | Ko 3780 | Ko ins 4040 | Ko 4320 | Ko 3860 |
| 1979 | Gr I 10660 | Lu I 9680 | Vr 2600 | Vr 2320 | Rkl 8990 | Ko 4590 | Ko 4360 |
| 1980 | Gr II 11120 | Lu II 7180 | Hv 5540 | Hv 5800 | Hv 6220 | Ko 4410 | Ko 4370 |
| 1981 | Gr III 6960 | Lu III 6310 | Ha 5760 | Ha 4410 | Åb 4560 | Ko 4230 | Ko 3870 |
| 1982 | Gr IV 6750 | Lu IV 8270 | Vr 2410 | Vr 1180 | Ha 4240 | Ko 4210 | Ko 4700 |
| 1983 | Vr 1700 | Vr 2030 | Hv 7930 | Hv 4580 | Är 2410 | Ko 4370 | Ko 4800 |
| 1984 | Ko ins 6880 | Ko ins 6900 | Ko 6470 | Ko 4370 | Ko ins 3700 | Ko 5800 | Ko 6320 |
| 1985 | Gr I 10920 | Lu I 8560 | Vr 1710 | Vr 1090 | Rkl 4010 | Ko 4370 | Ko 5310 |
| 1986 | Gr II 6500 | Lu II 7490 | Hv 6290 | Hv 4490 | Hv 5580 | Ko 4210 | Ko 4540 |

Grödor *Crops*: Ko = korn *spring barley*, ins = med insådd *undersown*. Gr = gräsvall *grass ley*. Lu = lusern-gräsvall *grass-lucerne ley*. Vr = vårraps *spring rape*. Rkl = Rödklöver-gräsvall *grass-red clover ley*. Hv = höstvet *winter wheat*. Ha = havre *oats*. Åb = åkerböner *broad beans*. Är = ärter *peas*.

Den fastgödsel, som spreds i system II, tillfördes vid ett enda tillfälle. Denna gödsling saknade dock betydelse för vallskörden, eftersom spridningen gjordes i samband med att fjärdeårsvallen plöjdes upp senhösten 1982 (tabell 3).

Oavsett vallslag uppgick enligt Sveriges Officiella Statistik (1980-87) de bärgade vallskördarna 1979-86 i dåvarande Skaraborgs län till i medeltal 7.140 kg/ha (angivet med 83,5 % ts), vilket motsvarar 5.960 kg ts/ha. Lägst medelskörd i länet erhöles 1979 (5.800 kg ts/ha) och högst 1980 (6.120 kg ts/ha). Således hävdade sig vallarna i både system I och II väl jämfört med medelförhållandena i Skaraborgs län.

I system I och II såddes vårraps 1983 efter fjärdeårsvallarna. Denna gröda gav en fröskörd (vid 9,0 % vattenhalt) på 1.700 respektive 2.030 kg/ha (tabell 11). I Skaraborgs län blev

medelskördarna av vårraps 1.950 kg/ha under åren 1979-81 enligt Sveriges Officiella Statistik (1980-82), som dock ej redovisar rapsskördar för 1982-86. Den s.k. normskörden för vårraps i Götalands norra slättbygder så sent som 2015 (Sveriges Officiella Statistik, 2015) uppgick till 1.741 kg frö per ha (9,0 % vattenhalt). Vårrapsen i system I år 1983 tillfördes inget mineralgödselkväve utan istället nötflytgödsel på våren (tabell 3). I system II spreds nötfastgödsel senhösten 1982 i samband med vallbrottet (tabell 3), och våren 1983 tillfördes 50 kg N/ha i form av kalksalpeter till vårrapsen (tabell 2). Kväveförsörjningen i båda systemen var uppenbarligen tillräcklig för fröskördar i nivå med det normala för de nämnda odlingsområdena. Gräsvallen i system I torde knappast ha bidragit med nämnvärda kvävemängder genom efterverkan, i synnerhet som vallen plöjdes på senhösten (Lindén & Wallgren, 1993). Kväveeffekten av luserngräsvallen i system II är svår att bedöma, men antas det att dess efterverkan motsvarade en klövergräsvalls, kan det uppskattas att den bidragit med i storleksordningen 30 kg N/ha (jmf. Lindén & Wallgren, 1993) till vårrapsens kväveförsörjning.

I *odlingssystem III och IV* odlades enbart ettåriga grödor (tabell 2). Höstveteskördarna i *system III* varierade från 5.500 kg/ha till 7.900 kg/ha (tabell 11). Medelskördarna av denna gröda i Skaraborgs län 1979-86 uppgick enligt Sveriges Officiella Statistik (1980-87) till 5.020 kg/ha (som lägst 3.770 kg/ha 1981 och som högst 6.360 kg/ha 1985). I nutida rekommendationer från Statens Jordbruksverk (Albertsson et al., 2016) anges som generella riktlinjer för höstveteskördar (brödsäd) på 6.000 och 7.000 kg/ha i norra Götaland tillförsel av 150 respektive 165 kg N/ha. Detta gäller där förfrukten är stråsäd. Med oljeväxter (här vårraps) som förgröda borde nog kvävegivan till höstvetet ha kunnat vara ca 20 kg N/ha lägre, i likhet med efterverkan av höstraps (jmf. Lindén, 2008; Engström, 2010). Tillgången på växttillgängligt jordkväve är dock generellt ganska liten på Lanna (jmf. Lindén et al., 1993, 2006a, 2006b), där jordbruket mycket länge drivits utan djurhållning. Kvävegivan 150 kg N/ha till höstvete torde därför knappast ha varit överdrivet stor.

I system III tillfördes korn och havre 90-105 kg N/ha, vilket gav kärnskördar på ca 4.000-6.500 kg/ha. Dessa båda grödor odlades efter stråsäd. I en sammanställning av en omfattande försöksserie 1967-2004 med kvävegödsling till vårkorn fastställde Mattsson (2006) en genomsnittlig optimal kvävegiva på 89 kg N/ha till denna gröda i norra Götaland, oavsett förfrukt. Detta optimum motsvarades i försöken av en genomsnittlig kärnskörd på ca 4300 kg/ha. Men skördeökningar registrerades för kvävegivor upp till 150-160 kg N/ha. För avkastningsnivåer på 5.000 och 6.000 kg/ha anger numera Jordbruksverket (Albertsson et al., 2016) givorna på 95 respektive 110 kg N/ha. För havre är de rekommenderade givorna något mindre. Kvävegödslingen i system III till korn och därmed även till havre kan därför anses ha legat nära den optimala med hänsyn till de uppnådda skördenivåerna, i synnerhet som förfrukterna var stråsäd.

Vårrapsen i system III tillfördes ca 150 kg N/ha (tabell 2). Detta gav fröskördar (9,0 % vattenhalt) på 1.700-2.600 kg/ha (tabell 11). På basis av fältförsök 1983-92 angav Bengtsson & Cedell (1993) 130-160 kg N/ha som optimal kvävegödsling till vårraps, vilket motsvarades av en skördenivå på 2000-2200 kg frö per ha. Kvävegivan på ca 150 kg N/ha i odlingssystem III kan dock anses vara större än som anbefalls i nutida gödslingsråd från Jordbruksverket (Albertsson et al., 2016). För avkastningsnivåer på 1.500 och 2.500 kg frö per ha (9,0 % vattenhalt) rekommenderas där 100 respektive 120 kg N/ha.

I **system IV**, där växtföljden var densamma som system III men där hälften så stora kvävegivor tillfördes, uppgick skördarna av alla grödor till i medeltal 73 % av dem i III (76 % för spannmål). Ett undantag utgör höstvetet 1980, där avkastningen i IV uppgick till 5.800 kg/ha, jämfört med 5.540 kg/ha i III. Orsaken synes vara ett starkt angrepp av brunfläcksjuka i system III, vilket kan ha gynnats av den större kvävegödslingen där. Detta ledde till försämrat kväveutnyttjande (Haak et al., 1994) och med större kväveutlakning som följd (se nedan).

Odlingssystem V, med leguminoser (ettårig klövergräsvall, åkerbönor och foderärter) vartannat år och utan tillförsel av mineralgödselkväve fr.o.m. 1979, uppgick spannmålsskördarna (höstvetet 2 år, havre 1 år och korn 1 år) i medeltal till 77 % av motsvarande grödor i system III (med höstvetet 3 år, havre 1 år och korn 1 år). I system V gav höstvetet i medeltal 90 % av veteskörden i III. För havre och korn erhöles i genomsnitt 65 % av motsvarande skördar i system III.

I system V hade höstvetet 1980 och 1986 en ganska gynnad ställning, då denna gröda ju såddes efter ettåriga klövergräsvallar och med tillförsel av nötfastgödsel i samband med vallbrottet. Dessa vallar bör ha haft en god kväveefterverkan jämfört med andra förfrukter, då klöverandelen uppgick till 98-99 % år 1979 och 98 % år 1985. De kan därmed närmast jämföras med rena rödklövervallar i fråga om efterverkan. Lindén & Wallgren (1993) fastställde som medeltal för 10 fältförsök en ren kväveefterverkan av andraårs klövervallar och andraårs klövergräsvallar på 36 respektive 31 kg N/ha vid odling av höstvetet som eftergröda. Enligt Ohlander (1988) brukar förstaårs klövervallar ha samma skördestegrande efterverkan som andraårsvallar av samma slag. Vid odling av korn som eftergröda fastställdes i försök vid Ultuna i Uppland och på Lanna en kväveefterverkan av ettårig klövergräsvall motsvarande 68 och 33 kg N/ha (Lindén, 2008, tabell 4 respektive tabell 26). I system V kan det därför förmodas, att de ettåriga vallarnas kväveefterverkan uppgick till i storleksordningen 35 kg N/ha eller rentav mer.

I system V odlades ju kvävefixerande grödor vartannat år (tabell 2). Deras kväveefterverkan utnyttjades genom odling av stråsäd året efter. Sålunda följdes åkerbönona 1981 av havre 1982 och foderärter 1983 av korn 1984. Havren och kornet under nämnda år tillfördes ingen gödsel av något slag. Dessa grödor gav kärnskördar på 4.240 respektive 3.700 kg/ha (tabell 11). Detta är mindre än för samma grödslag i system IV och betydligt mindre än i III, vilket tyder på att dessa baljväxtgrödor hade en ganska måttlig kväveefterverkan, i tillägg till en trolig patologiskt sanerande effekt i grödföljden. Vid odling av korn som eftergröda har foderärter och åkerbönor enligt Ohlander (1988) en generell skördestegrande verkan motsvarande 550 kg/ha, jämfört med när korn odlas efter korn. Enligt utförda undersökningar (Lindén, 1984 och 1987; Engström, 2010) kan man räkna med en kväveefterverkan på 20-30 kg N/ha av foderärter vid odling av stråsäd som eftergröda. Motsvarande kväveeffekt av åkerbönor synes vara i storleksordningen 20 kg N/ha (Nyberg & Lindén, 2008).

System VI och VII avsåg kornmonokulturer. Dessa gav 1979-86 kärnskördar på i medeltal 4.520 kg/ha i VI (som minst 4.210 och som mest 5.800 kg/ha) och 4.780 kg/ha i VII (3.860-6.320 kg/ha). I system VI utgjorde därmed medelskörden 95 % av avkastningen i VII. Av skördeuppgifter för Skaraborgs län från Sveriges Officiella Statistik (1980-87) framgår, att kornskördarna i länet 1979-86 i medeltal uppgick till 3.840 kg/ha. Avkastningen i system VI och VII hävdade sig således väl jämfört med förhållandena i länet. Genomsnittet för VI och VII motsvarade dock ”bara” 74 % respektive 75 % av skördenivåerna för korn och havre i system III.

I system VII tillfördes fr.o.m. 1979 kvävegivor (i form av kalksalpeter) på i medeltal 120 kg N/ha och år (tabell 2). I system VI spreds vartannat år omkring 50 och 100 kg N/ha. Den mindre givan kompenserades genom tillförsel av svinflytgödsel (tabell 3), som även bör ha gett en viss tilltagande kväveefterverkan med åren, allteftersom sådan gödsel tillfördes under försöksperioden. Flytgödseln spreds på hösten åren 1979 och 1981 men därefter före vårbruket på våren.

I nuvarande gödslingsråd från Jordbruksverket (Albertsson et al., 2016) rekommenderas till foderkorn vid skördenivåerna 4.000, 5.000 och 6.000 kg kärna per ha kvävegivor på 75, 95 respektive 110 kg N/ha, där förfrukten är stråsåd. Som nämnts angav Mattsson (2006) en genomsnittlig optimal kvävegiva på 89 kg N/ha till korn i norra Götaland, oavsett förfrukt. Dessa uppgifter tyder på att kvävegödslingen i system VI generellt var tilltagen i överkant, och än mer i VII. Detta är i sin tur troligen den viktigaste orsaken till förhållandevis stor kväveutlakning i system VII och i viss mån i VI jämfört med övriga odlingsystem (se nedan). Vidare kan den ensidiga kornodlingen ha medfört nedsatta skördar (jmf. Odlander, 1988) och därmed sämre kväveutnyttjande.

Skörderesultaten i detta odlingsystemförsök, med varierande grödor, gödselmedel, kvävegivor m.m., visar svårigheten att tolka och dra slutsatser av skördar under en kortare årsräcka såsom här (1978-86). Man kan i ett kortare perspektiv ofta bara se ett visst skördeutslag som resultatet av *samlad* inverkan av flera ingående faktorer (t.ex. årets gröda, förfrukt, stallgödsel och mineralgödselkväve). Det krävs därför att undersökningarna bedrivs under flera växtföljdsomlopp. Haak et al. (1994) redovisar dock resultat från två omlopp i detta försök. Vidare kan jämförelser med skördar i andra sammanhang, såsom ovan gjorts, visserligen visa hur odlingen utfallit, men det går exempelvis inte att fastställa, om kvävegödslingen varit optimal. För detta fordras egentligen gödslingsförsök med stigande kvävegivor årligen och i varje odlingsituation (jmf. Delin, 2005; Mattsson, 2006; Engström, 2010). I de nedan redovisade studierna av mineralkväve i marken och nitratkväveutlakning bör dock resultaten lättare kunna ses som en följd av vissa odlingsåtgärder såsom grödval och kvävegödslingens storlek.

Avrinning med dräneringsvattnet årligen och under olika årstider

I tabell 12 redovisas avrinningen under de nio agrohydrologiska åren 1977/78 – 1985/86 (perioden 1 juli – 30 juni) enligt registreringarna i mätbrunnarna, där dräneringsledningarna mynnade ut. I medeltal för alla år erhöles en avrinning på 191 mm, men variationerna mellan åren var mycket stora. Det förekom också olikheter mellan rutorna, med ökande mängder dräneringsvatten från ruta 1 till 7. Någon jordartsrelaterad förklaring är svår att finna, men det fanns en knappt märkbar lutning inom fältet. Detta märktes under vintrar med tjäle och stående smältvatten ovanpå denna. Då tycktes en viss ytavrinning kunna ske mot rutorna med högre nummer. Den särskilt låga avrinningen i ruta 1 och 2 (tabell 12) kan dock delvis bero på att vall, som ju har lång växtperiod, odlades under sex av de redovisade nio åren. Mindre avrinning vid vallodling har även redovisats av Stjernman Forsberg et al., (2016).

Avrinningen under olika årstider belyses i tabell 13. Sommartid, särskilt i juli och augusti, fastställdes inget eller bara litet vattenflöde via dräneringsrören. Avrinningen började i allmänhet åter någon gång under höstmånaderna september, oktober eller november, men med stora variationer i tid och mängd. År 1980 och 1984 fastställdes över 110 mm i september-november, men 1983 registrerades inget egentligt dräneringsvattenflöde under denna peri-

Tabell 12. Årlig avrinning (mm) via dräneringssystemen under agrohydrologiska år (1/7–30/6) 1977/78 – 1985/86. År med vall i ruta 1 och 2 anges med fetstil. Std = standardavvikelse.

Table 12. Annual runoff (mm) through the drainage systems during agrohydrological years of 1977/78 – 1985/86 (1/7-30/6). Years with cultivation of leys in plots 1 and 2 are marked with bold types. Std = standard deviation.

| År Year | Odlingssystem/ruta Cropping system/plot | | | | | | | Medeltal Average | Std |
|---------------------|---|------------|-------|------|-----|------|-------|---------------------|-----|
| | I/1 | II/2 | III/3 | IV/4 | V/5 | VI/6 | VII/7 | | |
| 77-78 | 198 | 223 | 210 | 208 | 235 | 222 | 244 | 220 | 16 |
| 78-79 | 89 | 121 | 113 | 174 | 131 | 135 | 179 | 135 | 32 |
| 79-80 | 93 | 95 | 99 | 94 | 108 | 128 | 168 | 112 | 28 |
| 80-81 | 251 | 257 | 351 | 326 | 360 | 325 | 363 | 319 | 47 |
| 81-82 | 146 | 168 | 161 | 177 | 188 | 221 | 271 | 190 | 43 |
| 82-83 | 187 | 188 | 197 | 202 | 229 | 246 | 268 | 217 | 32 |
| 83-84 | 70 | 83 | 68 | 80 | 99 | 71 | 93 | 81 | 12 |
| 84-85 | 177 | 203 | 215 | 204 | 244 | 229 | 211 | 212 | 21 |
| 85-86 | 183 | 186 | 245 | 234 | 251 | 269 | 280 | 235 | 38 |
| Medeltal Average | 155 | 169 | 184 | 189 | 205 | 205 | 231 | 191 | 30 |

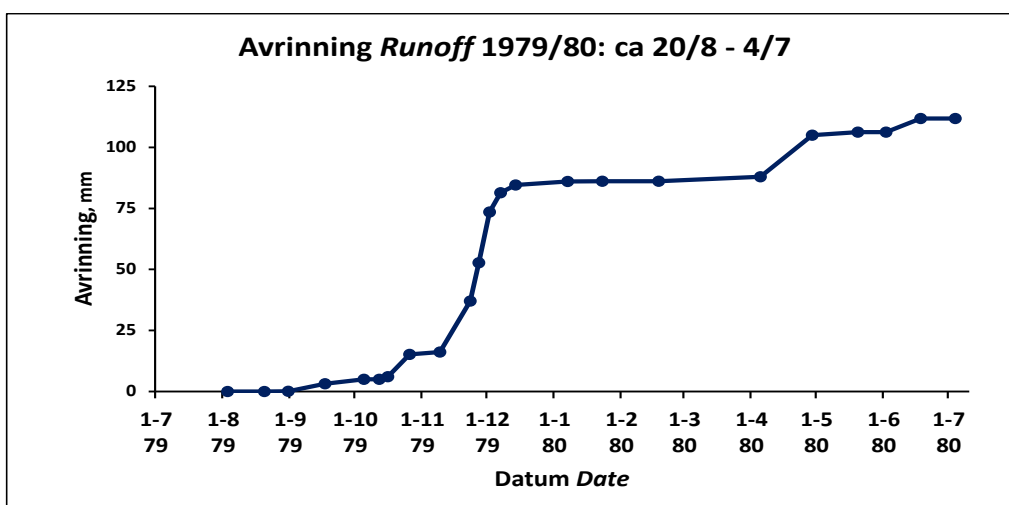
Tabell 13. Årlig och årstidsvis avrinning (mm) under de agrohydrologiska åren 1977/78 – 1985/86 (1 juli – 30 juni), medeltal för de sju försöksrutorna eller odlingssystemen.

Table 13. Annual and seasonal runoff (mm) in the agrohydrological years of 1977/78 – 1985/86 (1 July – 30 June), averages of the seven plots or cultivation systems.

| År Year | Juli- aug. | Sep.- nov. | Dec- mars | April- juni | Summa Sum | Avrinningsperiod* Runoff period* |
|---------------------|---------------|---------------|--------------|----------------|--------------|-------------------------------------|
| 1977/78 | 0 | 84 | 132 | 4 | 220 | 15.10.77 – 21.04.78 |
| 1978/79 | 0 | 32 | 57 | 45 | 134 | 01.09.78 – 21.06.79 |
| 1979/80 | 0 | 74 | 24 | 15 | 112 | 20.08.79 – 04.07.80 |
| 1980/81 | 35 | 116 | 150 | 18 | 319 | 31.07.80 – 30.06.81 |
| 1981/82 | 14 | 92 | 69 | 15 | 190 | 01.07.81 – 04.05.82 |
| 1982/83 | 0 | 25 | 158 | 33 | 217 | 15.10.82 – 17.06.83 |
| 1983/84 | 0 | 0 | 63 | 18 | 81 | 20.12.83 – 26.06.84 |
| 1984/85 | 0 | 112 | 45 | 54 | 212 | 29.08.84 – 21.05.85 |
| 1985/86 | 8 | 35 | 155 | 36 | 235 | 26.06.85 – 12.05.86 |
| Medeltal Average | 6 | 63 | 95 | 26 | 191 | |

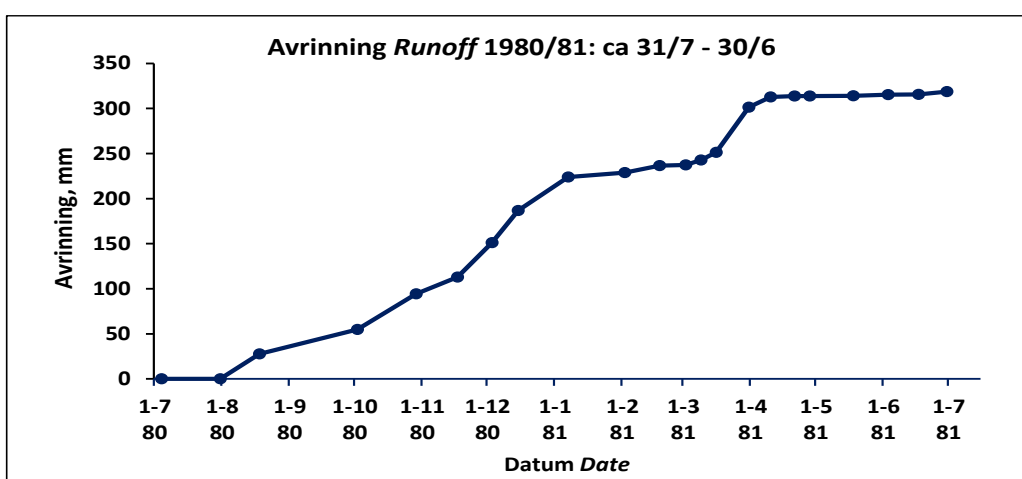
*) Ungefärlig början och slut. Utöver uppehåll i avrinningen under sommarhalvåret avstannade dräneringsvattenflödet även under vinterperioder med tjäle i marken (se texten). Approximate start and end. In addition to the cease of runoff in late spring, summer and early autumn, the drainage water flow also ceased during winter periods with frozen soil (see text).

od (tabell 13). Då dröjde det till i januari, innan avrinningen började på allvar. Under vintermånaderna december-mars blev avrinningen totalt sett störst, med delvis mycket stora vattenmängder. Som mest fastställdes i storleksordningen 130-160 mm (tabell 13). Höstens avrinning fortsatte oftast under december och även i januari, innan minusgrader och tjäle bromsade upp vattenflödet i marken (se beskrivning nedan). Under och efter snösmältning och tjällossning ökade åter vattenflödet, särskilt i mars och även in i april. Månaderna april-juni utgjorde däremot en period med minskande avrinning, uppenbarligen till följd av markens upptorkning på våren och grödornas vattenförbrukning. I allmänhet upphörde avrinningen helt i maj-juni, varefter det som nämnts oftast rådde uppehåll i vattenflödet under sommaren (tabell 13, figur 1a-e). Det registrerades dock avrinningar på 35, 14 och 8 mm i juli och augusti 1980, 1981 respektive 1985 (tabell 13).



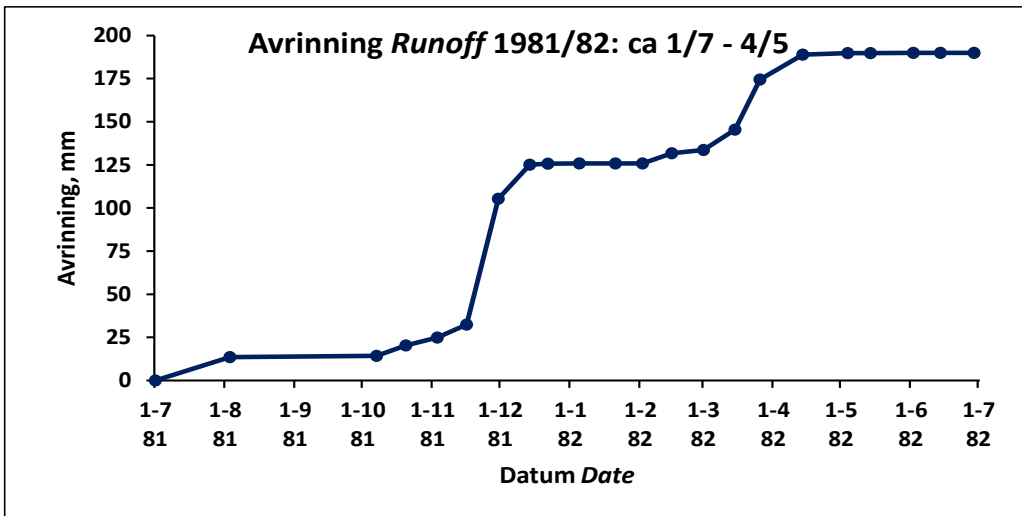
Figur 1a. Ackumulerad avrinning (mm) under det agrohydrologiska året 1979/80, medeltal för de sju rutorna. Efter ett uppehåll under sommaren började avrinningen sakta i början av augusti.

Figure 1a. Accumulated runoff (mm) in the agrohydrological year of 1979/80, averages of the seven plots. After a stop during summer, runoff started slowly in early August.



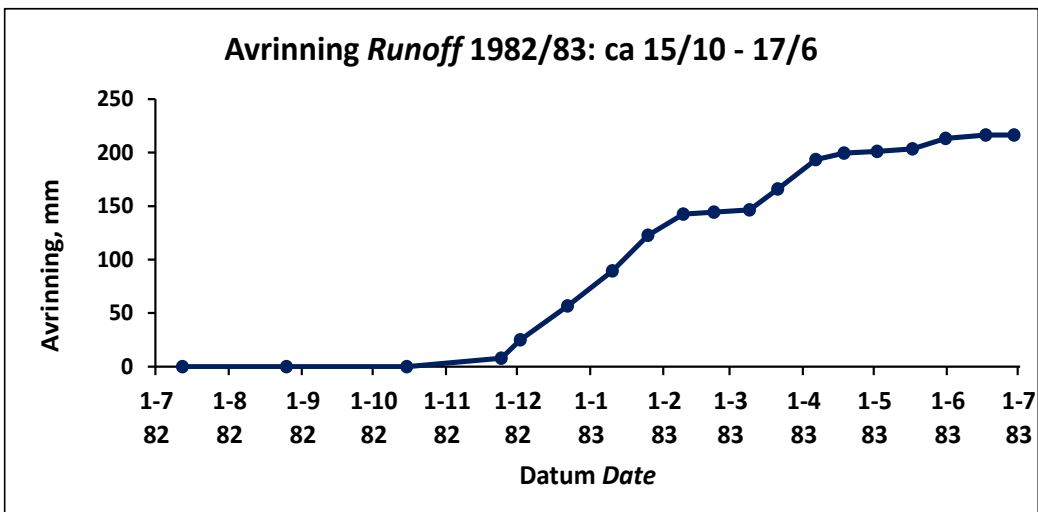
Figur 1b. Ackumulerad avrinning (mm) under det agrohydrologiska året 1980/81, medeltal för de sju rutorna.

Figure 1b. Accumulated runoff (mm) during the agrohydrological of 1980/81, averages of the seven plots.



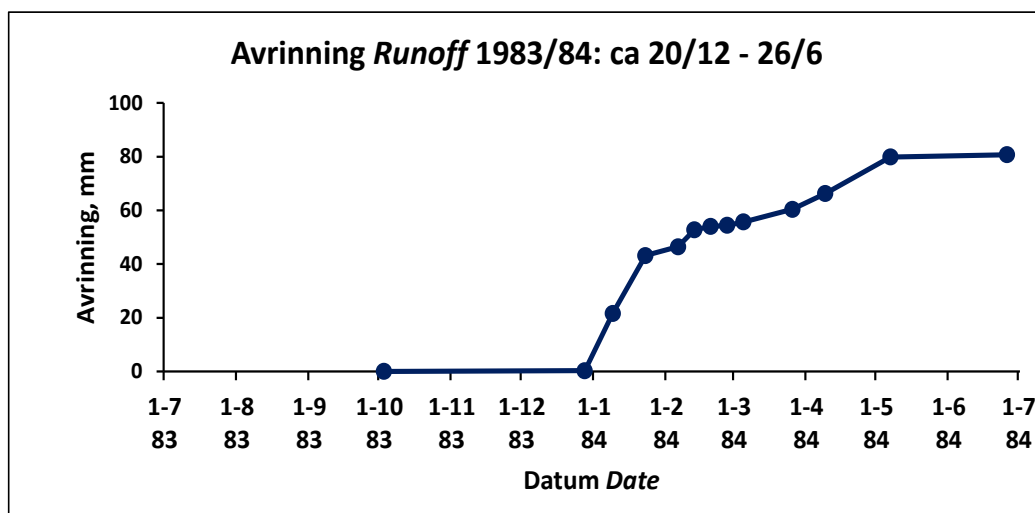
Figur 1c. Ackumulerad avrinning (mm) under det agrohydrologiska året 1981/82, medeltal för de sju rutorna.

Figure 1c. Accumulated runoff (mm) during the agrohydrological year of 1981/82, averages of the seven plots.



Figur 1d. Ackumulerad avrinning (mm) under det agrohydrologiska året 1982/83, medeltal för de sju rutorna.

Figure 1b. Accumulated runoff (mm) during the agrohydrological year of 1982/83, averages of the seven plots.



Figur 1e. Ackumulerad avrinning (mm) under det agrohydrologiska året 1983/84, medeltal för de sju rutorna.

Figure 1e. Accumulated runoff (mm) during the agrohydrological year of 1983/84, averages of the seven plots.

År 1980 uppmättes ett visst vattenflöde i augusti (figur 1b), då det kom 136 mm regn på Lanna (tabell 10), och 1981 så tidigt som i juli (figur 1c) till följd av en nederbördsrik sommar. Sommaren 1985 blev det ett uppehåll i avrinningen i slutet av maj och i juni, varefter viss avrinning ägde rum hela sommaren (data ej redovisade).

Efter uppehållen i avrinningen under sommaren och början av hösten startade avrinningen först långsamt, med endast smärre vattenmängder. Större vattenflöde kom igång i september-oktober 1980 (figur 1b), i oktober 1984, i november 1977, 1979 (figur 1a) samt 1981 (figur 1c), i december 1982 (figur 1d) och 1985, samt efter hösten 1983 så sent som i början av januari (figur 1e). Kraftigare ökning av avrinningen sammanhängde naturligt nog med större nederbörds mängder på hösten (tabell 10).

Efter höstens avrinningsperiod upphörde som antytts dräneringsvattenflödet under vissa vintrar (figur 1a-c). Detta skedde då det rädde minusgrader sedan en tid och marken frusit. Tjäle i jorden medför ju att markvatten binds i frusen form. Därmed upphör så småningom vattnet att sippra ned genom jorden, tills tövädersperioder ger upphov till smältvatten. Gustafson (1987) redovisade uppehåll i avrinningen vintertid under nordsvenska förhållanden, medan vattenflödet i allmänhet fortsatte hela vintern igenom i sydsvenska åkermarker. Jordar i Mellansverige kännetecknades av ett mellanting mellan dessa förhållanden.

Uppehåll i avrinningen genom tjäle i marken

Dagliga mätningar av jordtemperaturerna har länge utförts av Lanna Försöksstation, bl.a. under åren 1977-86. Registreringarna skedde på 5, 10, 20 och 50 cm djup på en särskild plats med öppen växtodling. Resultat från dessa mätningar har här utnyttjats för att belysa, i vilken utsträckning marken var frusen vintertid. När uttrycket "tjäle" här används, betecknar detta att temperaturen på åtminstone 5 cm djup var under 0,0°C.

Längden på vinterperioderna utan avrinning varierade starkt under de studerade åren (1977/78 – 1985/86) i försöket på Lanna. Vintern 1977/78 uppmättes ingen eller mycket liten avrinning under hela januari och februari (data ej redovisade). År 1978/79 rädde sådana

förhållanden under större delen av december samt hela januari och februari (data ej redovisade). Under vintern 1979/80 (figur 1a) saknades i stort sett avrinning fr.o.m. början av december t.o.m. början av april. År 1981/82 var det genomsnittligt $-5,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ i december (tabell 9) och marken var frusen ytligt från ca 5/12. Avrinningen upphörde då ”först” framåt mitten av december (figur 1c). Detta fortsatta vattenflöde trots tjäle kan förklaras av stor nederbörd (99 mm) i november (tabell 10). Det var mycket kallt i januari och februari med tjäle i marken, utom under en mild period ca 7-18/2. Detta mildväder kan förklara, att det uppkom viss avrinning ”redan” i februari detta år.

Under de just beskrivna vintrarna 1977/78, 1978/79, 1979/80 och 1981/82 uppkom det således relativt långa perioder utan avrinning i försöket på Lanna. Dessa vintrar var förhållandevis kalla (tabell 9). De tre mildare vintrarna 1980/81, 1982/83 och 1983/84 uppkom dock avrinning även under de egentliga vintermånaderna. Detta kan sägas ge en föraning om efterföljande decenniers klimatförändring, som ju medfört mildare vinterväder med längre blidvädersperioder. År vintern tillräckligt mild, blir det vanligen inget uppehåll i avrinningen eller bara kortare sådana under denna tid (jmf. Gustafson, 1987). Stjernman Forsberg et al. (2016) fastställde avrinning (redovisad månadsvis) hela vintrarna 2010-15, med något undantag, i utlakningsundersökningar på ett fält i Södermanland och ett i Skåne.

År 1980/81 registrerades det sålunda på Lanna inte något tydligt stopp i avrinningen under vintermånaderna (figur 1b). Detta sammanhänger med att det enligt jordtemperaturmätningarna på Lanna var fruset bara ytligt i marken och detta endast under kortare perioder, i stort sett bara den 25-30/11, 6-23/2 och 17/2-9/3. Vintern 1982/83 blev förhållandevis mild (tabell 9). I december och januari uppkom det inte någon tjäle. Endast februari blev en kall månad, med i medeltal $-4,8^{\circ}\text{C}$ och fruset i den övre delen av matjorden. Alldeles i början av mars tinade marken åter upp. Det blev inget verkligt uppehåll i avrinningen denna vinter, och ett svagt flöde fastställdes även i februari och i början av mars (figur 1d), trots kylan under denna tid. År 1983/84 registrerades avrinning under hela vintern (figur 1e), uppenbarligen till följd av förhållandevis mildt väder (genomsnittlig lufttemperatur: $-0,1^{\circ}\text{C}$ i dec., $-2,3^{\circ}\text{C}$ i jan. och $-1,5^{\circ}\text{C}$ i febr., tabell 9) och omväxlande plus- och minusgrader. Tjäle förekom ytligt bara under några kortare perioder enligt jordtemperaturregistreringarna: 29/11 – 3/12, 11-21/12 och 17/2 – 4/3 samt några få dygn i följd i mitten och slutet av mars. Det är troligt att tillfällena med snötäcke bidragit till att isolera marken och hålla denna ofrusen.

Därefter följde åter år med kallare vintrar och längre perioder utan avrinning. År 1984/85 registrerades avrinning fram till ca 10 januari, varefter denna upphörde och åter kom igång först i månadsskiftet mars-april (data ej redovisade). Det var då kallt under vintermånaderna januari-mars (tabell 9). Det var fruset i marken ca 10 dygn i december samt hela januari, februari och mars samt in i april. Fr.o.m. mitten av februari nådde tjälen ned till åtminstone 50 cm djup. Vintern 1985/86 fanns det tjäle tillfälligt i november och december samt sedan konstant från ungefär mitten av januari och fram till mitten av mars, då det blev nollgradigt i marken och det sakta övergick till någon plusgrad. Denna vinter blev det uppehåll i avrinningen hela februari och fram till slutet av mars (data ej redovisade).

Periodvis utlakning av nitratkväve i växtföljd III och VI

Utlakningen av nitratkväve under olika delar av de agrohydrologiska åren 1977/78 – 1985/86 visas i tabell 14 vad gäller odlingsssystem III (med olika stråsådesgrödor och vårraps samt stark kvävegödsling) och system VI (med kornmonokultur samt tillförsel av svinflytgödsel och mineralgödselkväve). Mängden utlakat kväve följde naturligt nog avrinningens varia-

Tabell 14. Utlakning av nitratkväve (kg/ha) årstidsvis i system III och VI under de agrohydrologiska åren 1977/78 – 1985/86. Med gröda avses växtslaget den 1 juli, då mätperioden började.

Table 14. Leaching of nitrate nitrogen (kg/ha) periodically in cropping systems III and VI in the agrohydrological years of 1977/78 – 1985/86. The crops given refer to the cropping conditions on 1 July, when the annual measurement period started. Höstvete = winter wheat, Korn = spring barley, Vårraps = spring rape, Havre = oats.

| Odlingssystem III Cropping system III | | | | | | |
|--|----------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|------------------------------|
| År <i>Year</i> | Gröda <i>Crop</i> | Juli- aug. | Sept.- nov. | Dec.- mars | April- juni | Hela året <i>Annually</i> |
| 1977/78 | Höstvete | | 3,0 | 5,3 | 0,2 | 8,5 |
| 1978/79 | Korn | 0,0 | 1,2 | 1,5 | 2,1 | 4,9 |
| 1979/80 | Vårraps | 0,1 | 1,9 | 1,7 | 0,7 | 4,4 |
| 1980/81 | Höstvete | 2,1 | 7,5 | 10,0 | 1,2 | 20,8 |
| 1981/82 | Havre | 0,6 | 3,6 | 1,2 | 2,2 | 7,6 |
| 1982/83 | Vårraps | 0,0 | 0,8 | 4,3 | 0,6 | 5,7 |
| 1983/84 | Höstvete | 0,0 | 0,0 | 3,0 | 0,7 | 3,6 |
| 1984/85 | Korn | 0,0 | 3,1 | 1,4 | 1,6 | 6,0 |
| 1985/86 | Vårraps | 0,1 | 0,5 | 3,8 | 0,9 | 5,3 |
| Medeltal <i>Average</i> | | 0,4 | 2,4 | 3,6 | 1,1 | 7,4 |
| Odlingssystem VI Cropping system VI | | | | | | |
| År <i>Year</i> | Gröda <i>Crop</i> | Juli- aug. | Sept.- nov. | Dec.- mars | April- juni | Hela året <i>Annually</i> |
| 1977/78 | Korn | | 3,7 | 5,5 | 0,1 | 9,3 |
| 1978/79 | Korn | 0,0 | 1,0 | 1,5 | 1,6 | 4,1 |
| 1979/80 | Korn | 0,0 | 2,1 | 1,1 | 1,4 | 4,6 |
| 1980/81 | Korn | 0,9 | 2,3 | 4,7 | 0,6 | 8,5 |
| 1981/82 | Korn | 0,5 | 5,4 | 3,4 | 0,9 | 10,1 |
| 1982/83 | Korn | 0,0 | 2,0 | 5,4 | 1,7 | 9,1 |
| 1983/84 | Korn | 0,0 | 0,0 | 2,9 | 0,8 | 3,7 |
| 1984/85 | Korn | 0,0 | 4,1 | 1,5 | 2,0 | 7,6 |
| 1985/86 | Korn | 0,1 | 1,2 | 5,7 | 1,3 | 8,3 |
| Medeltal <i>Average</i> | | 0,2 | 2,4 | 3,5 | 1,1 | 7,3 |

tioner (jmf. tabell 13 och figur 1a-e). Sålunda uppkom inga eller bara små förluster under perioden juli-augusti, då avrinningen i allmänhet upphört. Under dessa båda månader fastställdes nämnvärd utlakning bara somrarna 1980 och 1981 (tabell 14).

I takt med tilltagande avrinning i september-november ökade nitratkväveutlakningen och uppgick under denna tid i genomsnitt till 2,4 kg N/ha i både system III och VI. Under några år uppkom det dock inte några förluster alls eller bara obetydliga sådana under denna tid. Under månaderna december-mars utlakades i medeltal 3,6 och 3,5 kg N/ha i odlingssystem III respektive VI. Förlusten på 3,8 och 5,7 kg N/ha under perioden december-mars 1985/86 i system III respektive VI (tabell 14) beror nästan helt på avrinning och utlakning i december

och januari. I februari och långt in i mars var marken frusen. Det blev då uppehåll i avrinningen och utlakningen.

Som framgått av föregående avsnitt varierade avrinningsperiodernas längd vintertid från att omfatta närmast "hela" vintern till att bara gälla kortare perioder, beroende på väderförhållandena. Det blev knappt någon avrinning alls under större delen av vintern, när det rådde kallare förhållanden med långvarig tjäle i marken. Utan avrinning blev det naturligt nog ej heller någon uppmätt kväveutlakning. Spörsmålet är då, om milda vintrar med ingen eller föga tjäle medförde större nitratkväveutlakning totalt sett under vinterperioden (december-mars) än kalla vintrar med långvariga tjälperioder.

Åren 1980/81, 1982/83 och 1983/84, då det till skillnad från övriga år registrerades avrinning under hela eller närmast hela vinterperioderna, blev utlakningen särskilt påtaglig i system III vintern 1980/81 (se förklaring nedan), men annars blev förlusterna måttligt stora under dessa vintrar (tabell 14). De kan inte sägas ha avvikit nämnvärt från utlakningsförhållandena i övrigt. Resultaten är för få för att kunna styrka ett antagande, att mildare vintrar med avrinning under hela eller nästan hela denna tid skulle medföra större utlakningsförluster. Efter kallare vintrar med långvarig tjäle och därmed längre uppehåll i vattenflödet är det troligt, att kväve som då undgått utlakning istället utlakades när ökad avrinning uppkom i och med snösmältning och tjällossning (jmf. figur 1a-e).

I april-juni avtog förlusterna i samband med minskande och till slut upphörande avrinning. I både odlingsystem III och VI utlakades i genomsnitt 1,1 kg N/ha under dessa tre månader (tabell 14).

På årsbasis blev förlusterna i system III och VI i medeltal 7,4 respektive 7,3 kg N/ha. Detta är ganska låga värden i jämförelse med förhållandena i många utlakningsundersökningar i Syd- och Mellansverige (jmf. t.ex. Kyllmar et al., 1995; Stenberg et al., 1999; Hessel Tjell et al., 1999; Stjernman Forsberg et al., 2016). De är dock i nivå med resultaten i andra studier på Lanna med odling av övervägande stråsädesgrödor och ganska normal kvävegödsling på styv lerjord (Bergström & Brink, 1986; Lindén et al., 1993; Delin et al., 2008). Variationerna mellan åren var emellertid ganska stora, med ett lägsta och högsta värde på 3,7 respektive 10,1 kg N/ha i system VI (tabell 14). I system III fastställdes en så stor utlakning som 20,8 kg N/ha 1980/81, vid odling av höstvetete 1980. Orsaken till detta avvikande resultat synes vara ett starkt angrepp av brunfläcksjuka på vetet. Höstveteskörden 1980 blev dessutom ned-satt i detta system (tabell 11).

Svinflytgödsel tillfördes i odlingsystem VI höstarna 1979 och 1981 (den 11/10 respektive 30/9), tabell 3. Utlakningen under hösten 1979 och efterföljande vinterperiod kan inte sägas ha påverkats av detta på något tydligt sätt (tabell 14). Däremot tycks en påtagligare inverkan ha skett 1981, då det utlakades 5,4 kg N/ha i september-november. Under hela det agrohydrologiska året 1981/82 blev nitratkväveutlakningen här större än övriga år. Senare skedde en övergång till vårspridning, med tillförsel av svinflytgödsel den 22.03.1984 och 18.03.1986. Detta tycktes inte öka nitratkväveutlakningen under vårmånaderna.

Mineralkvävets årstidsvariationer i marken (0-100 cm djup)

Förutom variationer i avrinningens storlek påverkar kvävemineralisering, gödsling och grödornas kväveupptag i hög grad kväveutlakningens omfattning. Dessa skeenden inverkar

också på förekomsten av mineralkväve (ammonium- och nitratkväve) i jorden under olika årstider och därmed risken för utlakningsförluster. Därför belyses nedan med hjälp av kväveprofilprovtagningar förekomsten av mineralkväve i marken, till att börja med i odlings-system III och VI.

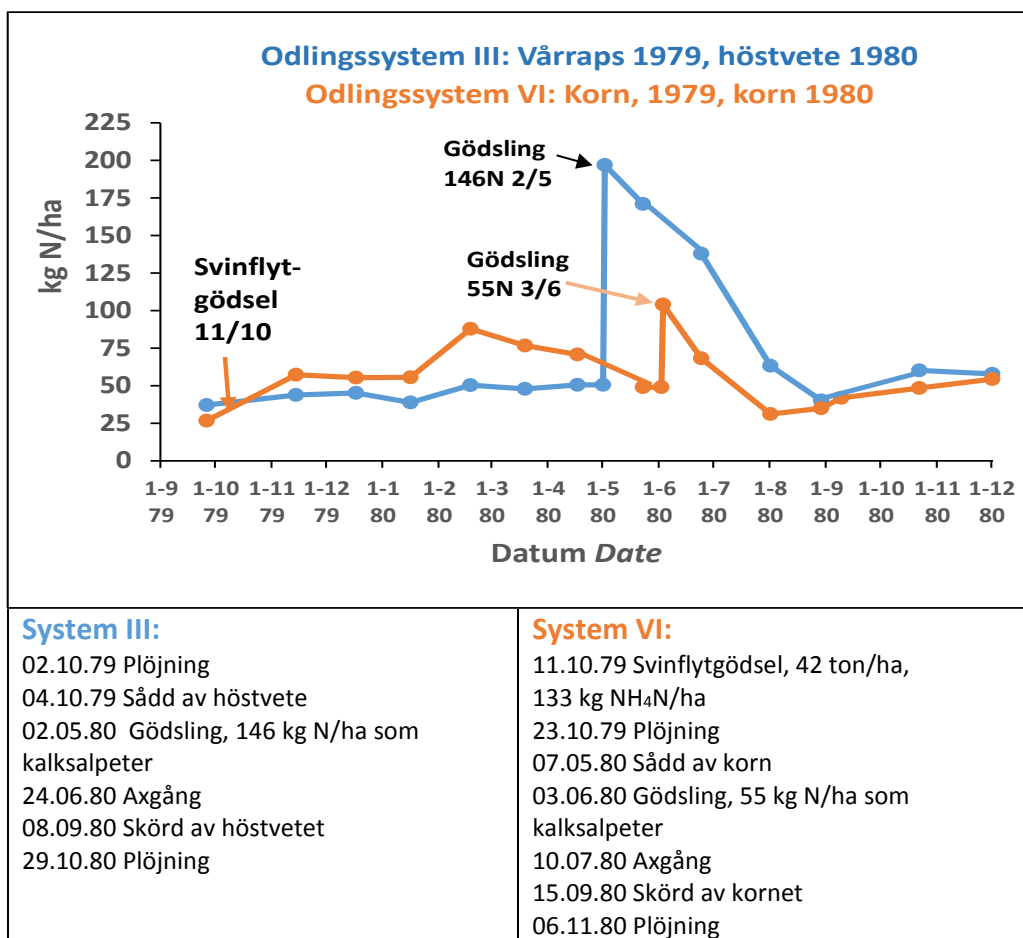
I dessa båda växtföljder gjordes från september 1979 till årsskiftet 1984/85 jordprovtagningar till 100 cm djup i stort sett månadsvis (figur 2a-e). Dessa detaljerade undersökningar av mineralkväveförhållandena utgör bl.a. en utgångspunkt för bättre förståelse av övriga studier av mineralkväve (1976-86), med provtagning enbart höst och vår till 200 cm djup i alla sju odlingsystemen.

Av figur 2a-e framgår, att det fanns mest mineralkväve i jorden (0-100 cm) efter kvävegödslingen på våren. Genom grödornas kväveupptagning minskade sedan förråden och nådde en lägsta nivå på sensommaren. Tidpunkten för detta synes motsvara kväveupptagningens avslutning, vilket hos stråsåd inträffar ungefär vid gulumognad enligt gjorda observationer (Lindén, 1981). Medeltidpunkten för provtagningarna i detta skede var den 16/8. Beroende på mognadsförloppet gjordes den tidigaste den 27/7 och den senaste 6/9 (våraps). Därefter började mineralkvävet att öka igen (figur 2a-e).

De mineralkväverester som fanns kvar vid den tidpunkt, som här antas motsvara kväveupptagningens avslutning, kan anses bestå av kväve som inte kunde tas upp av grödorna. Under fem av de studerade åren 1979-84 återstod i system III i detta skede genomsnittligt 31 kg mineralkväve per ha inom 0-100 cm djup, varav ett år med våraps som efterlämnade 47 kg N/ha. För enbart stråsåd fastställdes 27 kg N/ha (n = 4). I system VI (korn alla år) blev medeltalet också 27 kg N/ha (n = 6). Mer outnyttjat kväve kan dock ha funnits under 100 cm djup (se nedan).

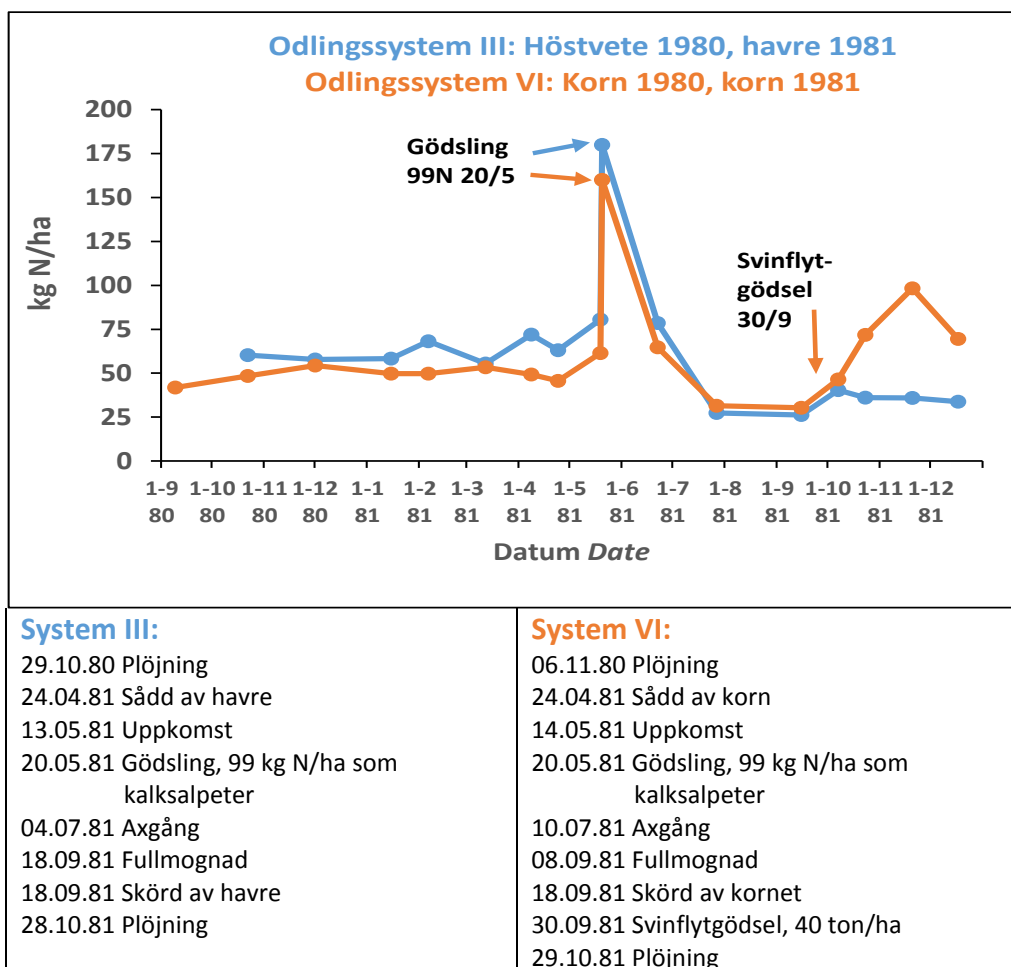
Eftersom grödorna gödslades med normala eller ganska stora mängder kväve (inkl. kväve i svinflytgödsel i system VI), uppkommer frågan, i vilken utsträckning mineralkväveresterna påverkades av gödslingen. Man finner vanligen i storleksordningen 3-5 kg mer mineralkväve per ha inom 0-90 cm djup i försöksled, som tillförts normala mängder mineralgödselkväve, än i led utan sådan tillförsel under året ifråga (Lindén et al., 1992b, 1993, 1999 och 2006b). Skulle man i odlingsystem III och VI inte ha kvävegödsel under ett enskilt år, borde mängden outnyttjat, icke upptagbart mineralkväve inom 0-100 cm djup då således ha varit ungefär 3-5 kg N/ha mindre än med den kvävegödsling som ägde rum.

Från 31 kg N/ha vid avslutad kväveupptagning (medeldatum för nämnda provtagningar: 16/8) ökade mineralkvävemängderna i system III till 40 kg N/ha (+ 9 kg, n = 6) på senhösten (medeldatum för provtagning: 23/11). I system VI uppkom en ökning under samma tid från 27 till 46 kg N/ha (+19 kg, n = 4)), oräknat höstarna med tillförsel av svinflytgödsel (1979 och 1981). Ökningarna kan definieras som nettotillskott genom främst kväveminerisering minskat med förekommande kväveförluster från markvätskan (utlakning, denitrifikation och kväveimmobilisering). Läger man till nitratkväveutlakningen under perioden, erhålls i system III ett genomsnittligt kvävemineriseringstillskott under hösten på 13 kg N/ha (std = 8 kg, n = 5) och i system VI 22 kg N/ha (std = 3 kg, n = 4). Det större medeltillskottet i växtföljd VI kan bero på tilltagande kvävefrigörelse med åren genom tillförseln av svinflytgödsel.



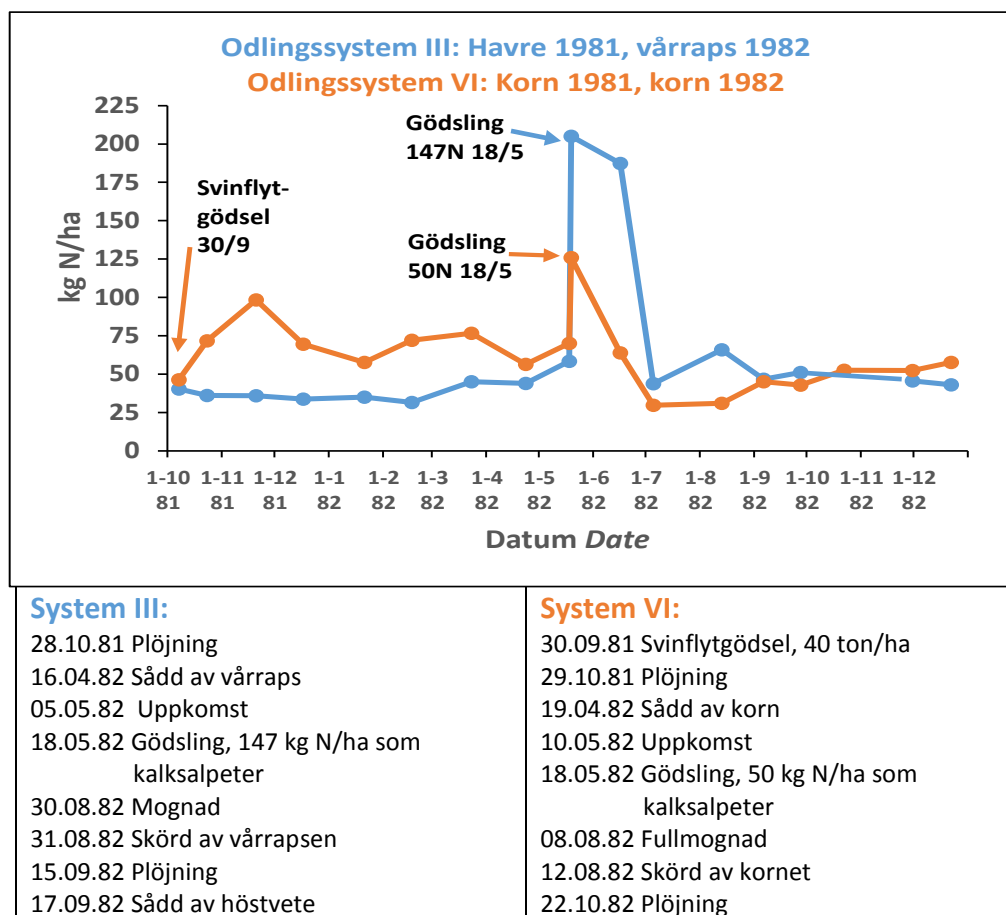
Figur 2a. Årstidsvisa förändringar av mineralkväveförrådet i marken (0-100 cm djup) i odlingssystem III och VI från hösten 1979 t.o.m. senhösten 1980. De angivna mängderna mineralkväve vid gödslingstillfällena avser summan av befintligt mineralkväve alldeles före gödslingen och tillfört mineralgödselkväve (som kalksalpeter).

Figure 2a. Seasonal change of soil mineral nitrogen within 0-100 cm soil depth in cropping systems III and VI from early autumn in 1979 until late autumn in 1980. The crops in systems III and VI in 1979 were spring rape and spring barley, respectively, and in 1980 winter wheat and spring barley, respectively. The amounts of mineral nitrogen at the time of fertilisation in spring refer to the sum of soil mineral nitrogen just before that occasion and applied fertiliser nitrogen. Svinflytgödsel = application of pig slurry, Gödsling = application of mineral fertiliser nitrogen (calcium nitrate).



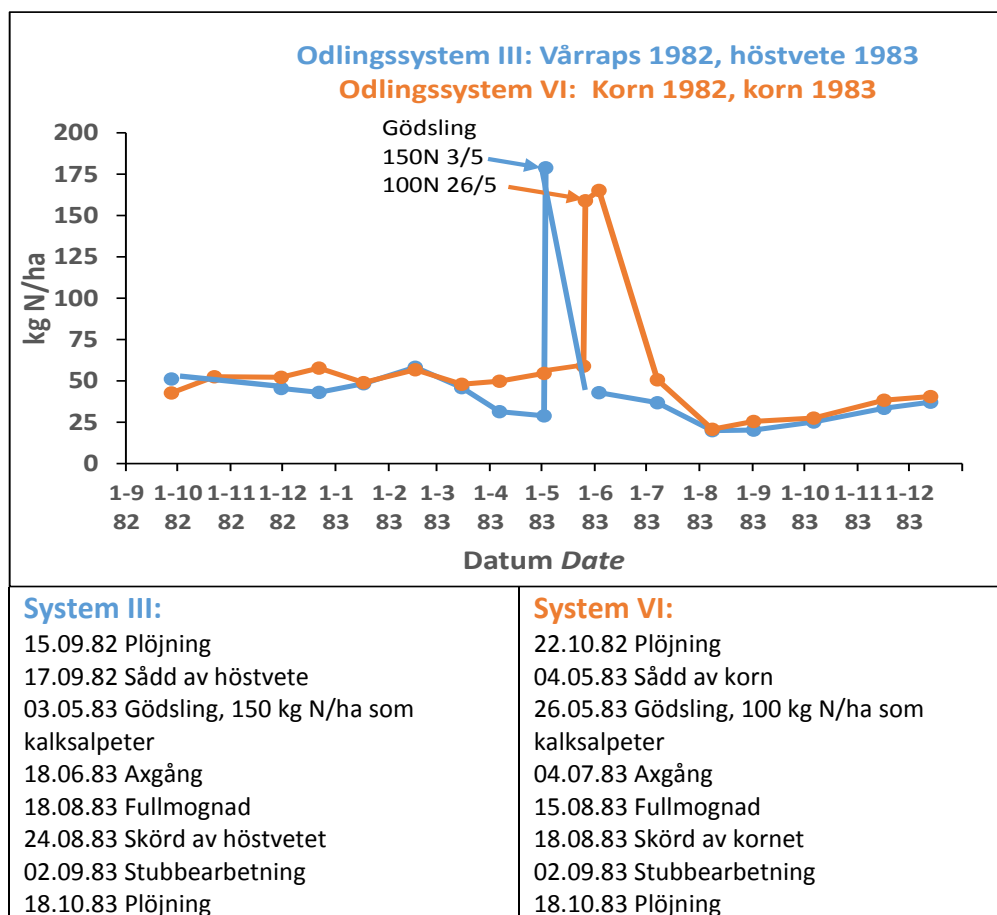
Figur 2b. Årstidsvisa förändringar av mineralkväveförrådet i marken (0-100 cm djup) i odlings-system III och VI från hösten 1980 t.o.m. senhösten 1981. De angivna mängderna mineralkväve vid gödslingstillfällena avser summan av befintligt mineralkväve alldeles före gödslingen och tillfört mineralgödselkväve (som kalksalpeter).

Figure 2b. Seasonal changes of soil mineral nitrogen within 0-100 cm soil depth in cropping systems III and VI from early autumn in 1980 until late autumn in 1981. The crops in systems III and VI in 1980 were winter wheat and spring barley, respectively, and in 1981 oats and spring barley, respectively. The amounts of mineral nitrogen at the time of fertilisation in spring refer to the sum of soil mineral nitrogen just before that occasion and applied fertiliser nitrogen. Further explanations: see Figure 2a.



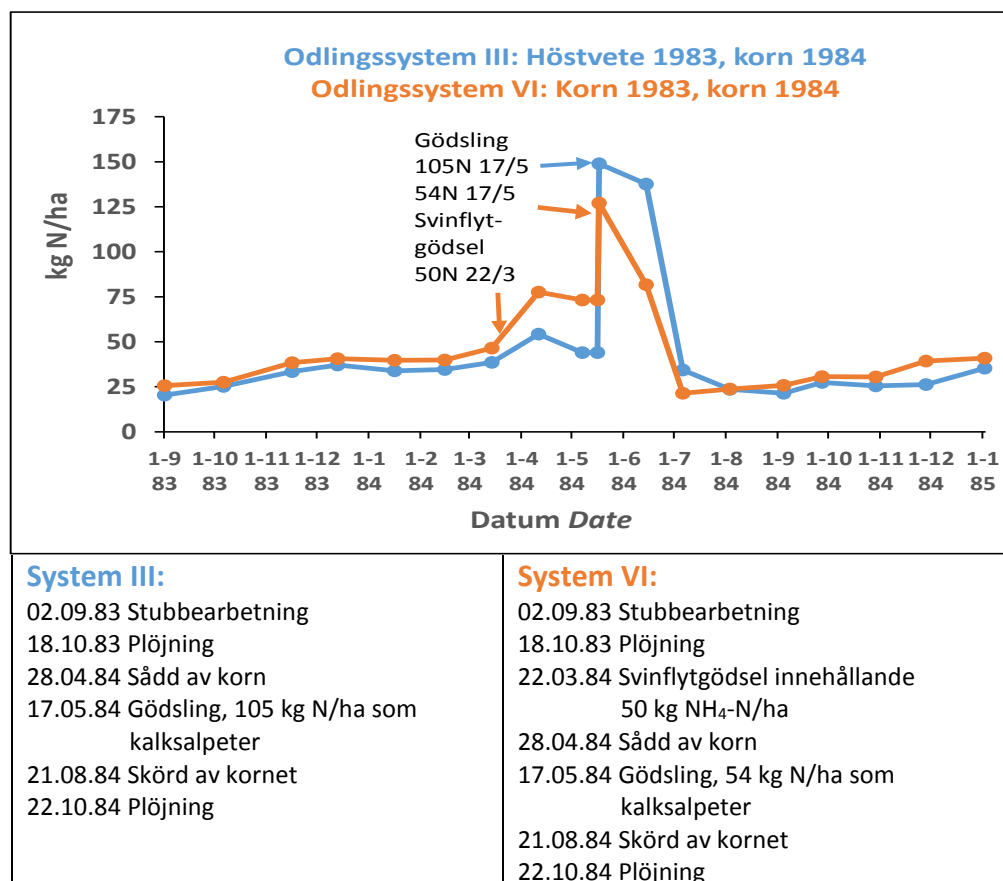
Figur 2c. Årstidsvisa förändringar av mineralkväveförråden i marken (0-100 cm djup) i odlings-system III och VI från hösten 1981 t.o.m. senhösten 1982. De angivna mängderna mineralkväve vid gödslingstillfällena avser summan av befintligt mineralkväve alldeles före gödslingen och tillfört mineralgödselkväve (som kalksalpeter).

Figure 2c. Seasonal changes of the amounts of soil mineral nitrogen within 0-100 cm soil depth in cropping systems III and VI from early autumn in 1981 until late autumn in 1982. The crops in systems III and VI in 1981 were oats and spring barley, respectively, and in 1982 spring rape and spring barley, respectively. The amounts of mineral nitrogen at the time of fertilisation in spring refer to the sum of soil mineral nitrogen just before that occasion and applied fertiliser nitrogen. Further explanations: see Figure 2a.



Figur 2d. Årstidsvisa förändringar av mineralkväveförråden i marken (0-100 cm djup) i odlings-system III och VI från hösten 1982 t.o.m. senhösten 1983. De angivna mängderna mineralkväve vid gödslingstillfällena avser summan av befintligt mineralkväve alldeles före gödslingen och tillfört mineralgödselkväve (som kalksalpeter).

Figure 2d. Seasonal changes of the amounts of soil mineral nitrogen within 0-100 cm soil depth in cropping systems III and VI from early autumn in 1982 until late autumn in 1983. The crops in systems III and VI in 1982 were spring rape and spring barley, respectively, and in 1983 winter wheat and spring barley, respectively. The amounts of mineral nitrogen at the time of fertilisation in spring refer to the sum of soil mineral nitrogen just before that occasion and applied fertiliser nitrogen. Further explanations: see Figure 2a.



Figur 2e. Årstidsvisa förändringar av mineralkväveförråden i marken (0-100 cm djup) i odlings-system III och VI från hösten 1983 t.o.m. senhösten 1984. De angivna mängderna mineralkväve vid gödslingstillfällena avser summan av befintligt mineralkväve alldeles före gödslingen och tillfört mineralgödselkväve (som kalksalpeter).

Figure 2e. Seasonal changes of the amounts of soil mineral nitrogen within 0-100 cm soil depth in cropping systems III and VI from early autumn in 1983 until late autumn in 1984. The crops in systems III and VI in 1983 were winter wheat and spring barley, respectively, and in 1984 spring barley in both systems. The amounts of mineral nitrogen at the time of fertilisation in spring refer to the sum of soil mineral nitrogen just before that occasion and applied fertiliser nitrogen. Further explanations: see Figure 2a.

Provtagningarna i november avser ett skede, då temperaturen vid Lanna sjönk till några få plusgrader eller rentav började nå ned mot nollpunkten (jmf. tabell 9). Perioden från november till provtagningarna i mars (medeldatum: 17/3) innefattade som ovan nämnts tider med åtminstone periodvis minusgrader, tidvis frusen mark och totalt sett nederbördsöverskott. Det senare orsakar ju avrinning och därmed som ovan beskrivits (tabell 14) risk för ökad kväveutlakning, inte minst i samband med snösmältning och mildvädarsperioder. Trots ut-lakningsförluster framgår det av figur 2a-e, att mineralkväveförråden förblev ganska oförändrade och i vissa fall rentav ökade från senhösten till mars. Uppenbarligen mineraliserades något kväve under vinterperioden. En bidragande orsak till de ökade mineralkvävemängderna torde vara, att ingen eller obetydlig avrinning (figur 1a-c) förekom under längre vinterperioder med minusgrader såsom beskrivet ovan. Tydliga undantag från detta var vint-rarna 1979/80 och 1981/82 i odlingsystem VI (figur 2a och c), där det hade spritts svinflyt-gödsel höstarna dessförinnan. I dessa fall minskade mineralkväveförråden påtagligt under delar av vinterperioden. Kväveförlusterna blev då tydligen större än förekommande kväve-tillskott (se även nedan).

Tabell 15. Kvävemineraliseringstillskott (a), kg N/ha, under vinterperioden beräknat på basis av mineralkväve (kg N/ha, 0-100 cm) på b) senhösten (medeldatum: 23/11) och c) senvintern (medeldatum: 17/3) samt d) utlakning av nitratkväve (kg N/ha) under vinterperioden, beräkningar enligt formeln: $a = c - b + d$.

Table 15. Additions of mineralised nitrogen (a), kg N/ha, during the winter period calculated on the basis of mineral nitrogen (kg N/ha, 0-100 cm) in b) late autumn (average date: 23/11) and c) in late winter (average date: 17/3) and d) leaching of nitrate nitrogen (kg N/ha) during the winter period, calculations according to the formula: $d = b - a + c$.

| Period (senhöst – senvinter) | Mineralkväve <i>Mineral nitrogen</i> | | d. Utlakning av nitratkväve <i>Leaching of nitrate nitrogen</i> | a. Kvävemineraliseringstillskott <i>Addition of mineralised nitrogen</i> |
|--|---|------------------------------------|---|---|
| <i>Period (late autumn – late winter)</i> | b. Senhöst <i>Late autumn</i> | c. Senvinter <i>Late winter</i> | | |
| Odlingssystem III Cropping system III | | | | |
| 14.11.79 - 19.03.80 | 44 | 48 | 3 | 7 |
| 01.12.80 - 12.03.81 | 58 | 56 | 9 | 7 |
| 20.11.81 - 23.03.82 | 36 | 45 | 2 | 11 |
| 30.11.82 - 15.03.83 | 46 | 46 | 4 | 5 |
| 16.11.83 - 14.03.84 | 33 | 39 | 3 | 8 |
| Medeltal <i>Average</i> | 43 | 47 | 4 | 8 |
| Odlingssystem VI Cropping system VI | | | | |
| 14.11.79 - 19.03.80 | 57 | 77 | 2 | 22 |
| 01.12.80 - 12.03.81 | 50 | 53 | 4 | 8 |
| 20.11.81 - 23.03.82 | 98 | 77 | 4 | -18 |
| 30.11.82 - 15.03.83 | 52 | 48 | 6 | 1 |
| 16.11.83 - 14.03.84 | 38 | 46 | 3 | 11 |
| Medeltal <i>Average</i> | 40 | 56 | 4 | 10 |
| Utom <i>Except</i> 1981/82 | | | | |

Eftersom temperaturerna är låga under vintermånaderna, borde kvävefrigörelsen i marken vara nedsatt och periodvis stanna av. Frågan är då hur stor kvävemineraliseringen blev under loppet av vintern. Som medeltal för åren 1979-84 ökade mängderna mineralkväve från provtagningarna i november (medeldatum: 23/11) till mars (medeldatum: 17/3) med 4 kg till 47 kg N/ha i system III (tabell 15). Om man till detta lägger den uppmätta medelutlakningen av nitratkväve under denna tid, erhålls ett tillskott på 8 kg N/ha (std = 2,5 kg, n = 5), vilket kan anses ha tillkommit genom kvävemineralisering (tabell 15). I system VI ökade mineralkväveförrådet under vintrarna till i medeltal 56 kg N/ha i mars (tabell 15), innefattande ett kvävemineraliseringstillskott på 10 kg N/ha (std = 9 kg, n = 4). Efter flytgödselspridning hösten 1981 i system VI fanns det emellertid 98 kg mineralkväve per ha i november 1980 inom 0-100 cm djup, varefter mängden minskade till 77 kg N/ha i mars 1982 (-21 kg). Den uppmätta utlakningen uppgick samtidigt till 4 kg N/ha. Så mycket som $4-21 = -17$ kg N/ha förblir därmed oredovisat (tabell 15). Möjliga orsaker kan vara denitrifikation och/eller nedvaskning av mineralkväve ned under 100 cm djup. Detta antyder en begränsning i beräkningsmetodens användbarhet.

Frånsett beräkningssvårigheten i detta fall med flytgödselspridning, tyder de övriga resultaten på att kväve mineraliseringsstillskott åtminstone i storleksordningen 5-10 kg N/ha uppkom vintertid (från slutet av november till mitten av mars). En förklaring till de i allmänhet ökande mineralkväveförråden, trots utlakningsförluster, under de studerade vintrarna 1979/80 - 1983/84 är, att kväve mineralisering uppenbarligen kan äga rum vid jordtemperaturer på någon plusgrad och omkring 0°C, rentav något därunder (Lindén et al., 2003). Finns yttlig tjäle, kan kväve mineralisering troligen fortgå i matjordens djupare, ofrusna delar.

Under exempelvis vinterperioden **1981/82** mineraliserades 11 kg N/ha i odlingssystem III enligt beräkningarna (tabell 15). Frågan är när det var varmast och därmed temperaturmässigt gynnsammast för kvävefrigörelse under denna tid. Från mitten av november till ca 7/12 var det i allmänhet +1...+2°C i matjorden. Därefter frös jorden, och det fanns tjäle i december, januari och större delen av februari, delvis till ca 20 cm djup. Det råde ca -0,5...-3°C i matjorden praktiskt taget hela denna tid, undantaget den 7-18/2 då det blev ca +0,5 °C ned till ca 20 cm djup. Sedan frös marken igen och tinade slutgiltigt i början av mars. Då och fram till mitten av denna månad blev det högst ca +1°C i matjorden. Under den mildare vintern **1982/83** erhöles ett mineraliseringsstillskott på 5 kg N/ha i system III. Det var +1...+6 °C i matjorden från mitten av november till början av december och därefter något lägre temperatur. Det blev minusgrader i matjorden bara i februari (ned till ca 10 cm djup). I början av mars tinade marken, då det blev ca +0,5 °C i matjorden fram till mitten av månaden. För vinterperioden **1983/84** beräknades att 8 kg N/ha frigjordes i odlingssystem III och 11 kg N/ha i system VI. Det var ca +0,5...+3°C i matjorden från mitten till slutet av november. Sedan frös och tinade marken av och till. Det förekom tjäle endast under kortare perioder och då bara ytligt. Jordtemperaturen höll sig i stort sett mellan omkring -1°C och +1°C under hela vintern t.o.m. mars.

Dessa exempel från tre av de beskrivna vinterperioderna tyder på, att en kvävefrigörelse i storleksordningen 5-10 kg N/ha under hela vinterperioden (från slutet av november till mitten av mars) kan erhållas vid temperaturer från några plusgrader en kort tid i början av vintern ned till omkring 0°C och periodvis frusen mark under huvuddelen av vintern t.o.m. februari samt sedan upptining av jorden och ca +0,5...+1 °C i matjorden fram till mitten av mars.

En bidragande orsak till *ökningen* av mineralkväveförråden är som antytts, att ingen eller obetydlig avrinning förekom under längre vinterperioder med minusgrader (figur 1a-c). Exempelvis råde det under vintern **1979/80** ett långt uppehåll i avrinningen till följd av kylan, samtidigt som mineralkvävemängden tilltog med 4 kg N/ha i odlingssystem III under vinterperioden. År **1980/81** blev det däremot *avrinning hela vintern*, dock ganska lite i januari-februari. Enligt jordtemperaturmätningarna på Lanna var det som ovan nämnts fruset ytligt i marken endast i kortare perioder, i stort sett bara den 25-30/11, 6-23/2 och 17/2-9/3. Mineralkvävet i system III minskade något, och utlakningen uppgick till 9 kg N/ha.

Vårperioderna från mitten av mars till och med slutet av maj 1980-84 kännetecknades som nämnts först av ökande avrinning, genom snösmältning och tjällossning, och sedan avtagande vattenmängder (figur 1a-e). Det blev i flera fall tydliga minskningar av mineralkväveförråden under denna period (figur 2a-e), vilket tyder på kväveförluster. Minskningarna kan samtidigt ha motverkats av ökande kväve mineralisering med stigande temperaturer, och vissa vårar tycktes kväve mineraliseringsstillskott ha övervägt. Vårarna 1981 (figur 2b) och

1982 (figur 2c) kännetecknades sålunda tidvis av ökande mineralkväveförråd. Likaså uppkom tilltagande mineralkvävemängder i mars-april 1984 (figur 2e), men sedan följde minskningar fram till gödningen i de båda systemen, troligen genom sen och kraftig avrinning i april (figur 1e). Den vårsådda grödans begynnande kväveupptag 1984 (korn i både system III och VI detta år) bör ha kommit senare. Den tydliga minskningen av mineralkväveförrådet i april 1983 i system III och fram till kvävegödningen (figur 2d) torde däremot till stor del bero på höstvetets kväveupptag.

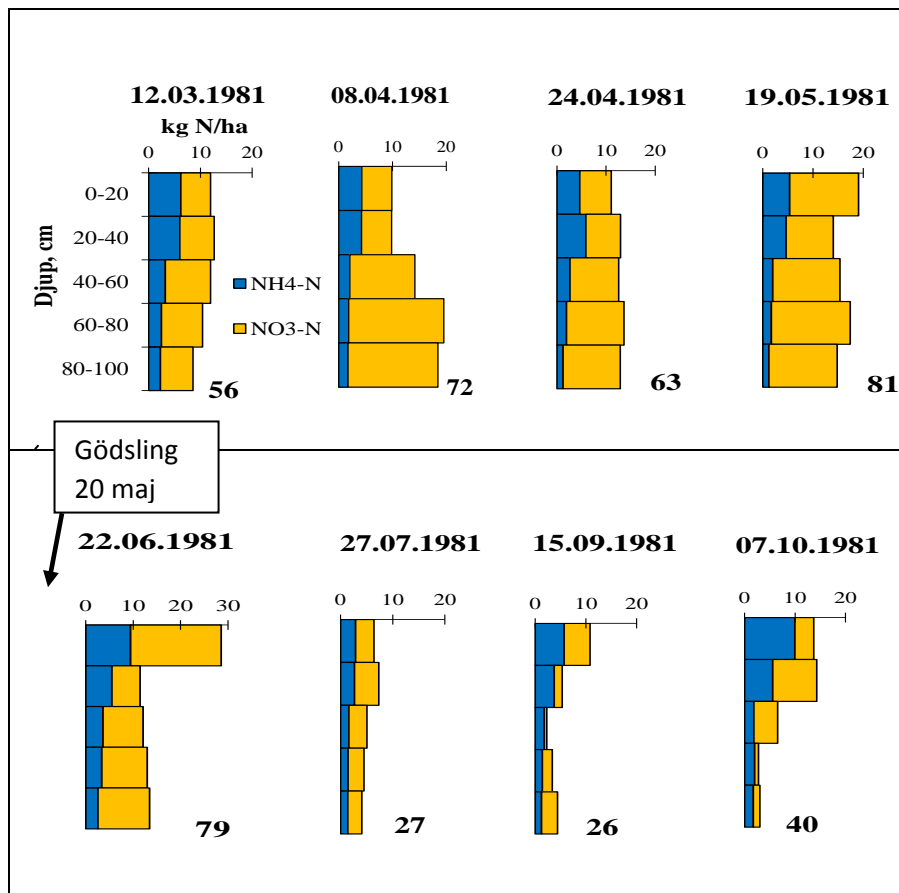
Mineralkväve på olika djup i marken (0-100 cm)

Mineralkvävet förändringar med *djupet i marken* (0-100 cm) under växtsäsongerna beroende på grödorna exemplifieras i figur 3a-d. Under våren **1981** fanns förhållandevis mycket mineralkväve i **odlingssystem III**, vilket var särskilt påtagligt i alven (figur 3a). Mängderna tilltog under loppet av våren, uppenbarligen genom kvävemineraliseringstillskott, och den 19/5 fastställdes 81 kg N/ha. Efter kvävegödning (99 kg N/ha) till årets gröda (*havre*) den 20/5 började uppenbarligen de samlade mängderna växttillgängligt kväve (mineralkväve och gödselkväve) att minska, men ännu inte i alven. Så pass mycket, mer eller mindre *ytligt* beläget kväve togs tydligen upp av havren på en månad, att den återstående kvävemängden i jorden vid midsommartid (79 kg N/ha inom 100 cm djup) inte var större än mineralkväveförrådet före gödningen. Därefter verkade grödan börja utnyttja mineralkvävet i alven, vilken närmast "tömdes" på nitratkväve i juli. Bara 26-27 kg mineralkväve per ha återstod inom 100 cm djup, när kväveupptagningen torde ha avslutats. Därefter uppkom en ökning under hösten, uppenbarligen på grund av kvävemineraliseringstillskott.

År **1982** odlades *vårraps* i system III. Denna gröda gödslades med 147 kg N/ha den 18 maj. Omkring en månad senare fanns uppenbarligen det mesta av gödselkvävet kvar utnyttjat i matjorden (figur 3b). Inget eller föga tycktes ha vaskats ned i alven. Detta kan bero på högst måttlig nederbörd i maj och juni (tabell 10). Fram till i början av juli minskade kvävemängden starkt i matjorden, och mineralkväve i alven tycktes också ha börjat utnyttjas. Under 40 cm djup återstod sedan ytterst små mängder nitratkväve i juli och augusti. I början av hösten började nitratkväve att röra sig nedåt i marken och fylla på mineralkväveförrådet i alven, troligen till följd av att nederbördsvatten perkolerade ned genom alven.

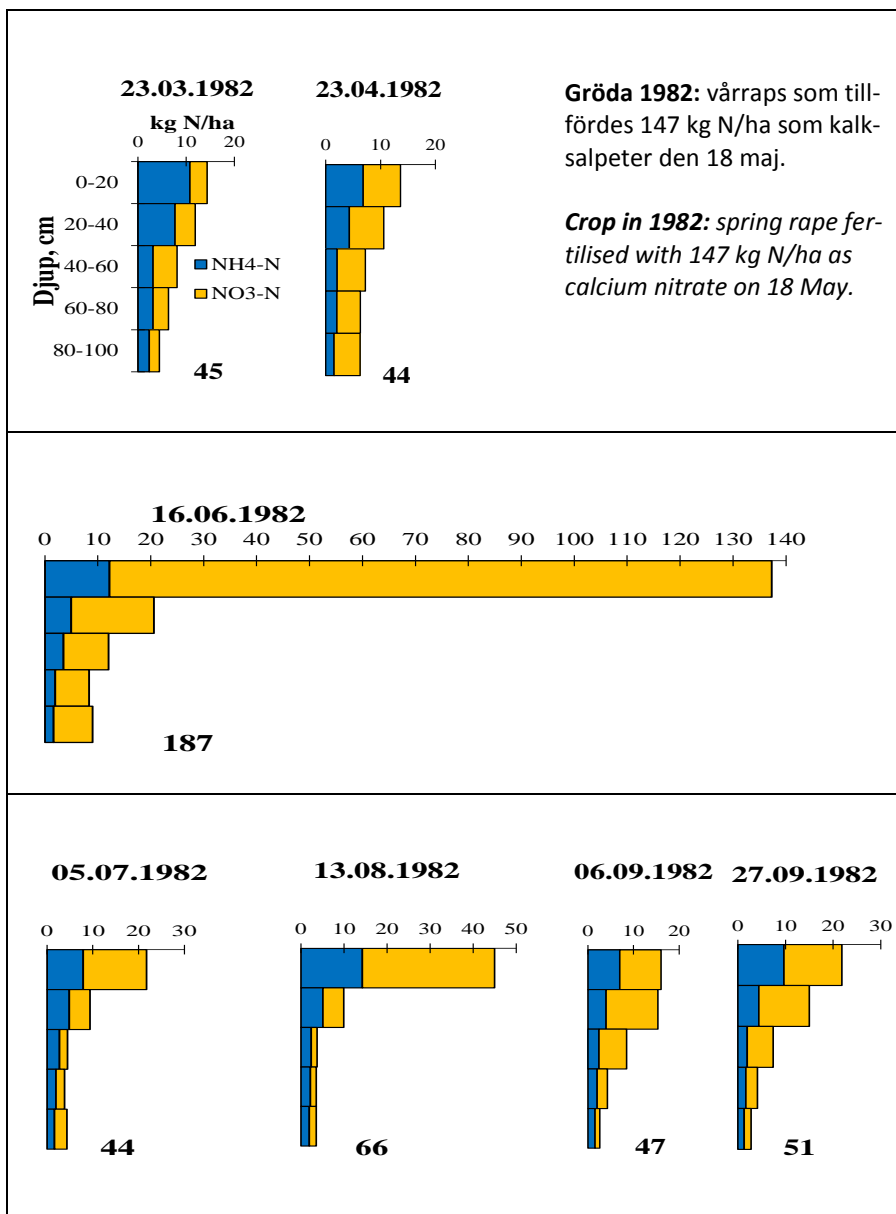
År **1983** odlades *höstvet* efter vårrapsen i odlingssystem III. Mängden övervintrande mineralkväve var ganska liten detta år, och bara 31 kg N/ha fanns inom 100 cm djup i början av april (figur 3c). Mängden nitratkväve i alven var ganska ringa redan på våren. Dagen före kvävegödningen den 3 maj återstod inom hela djupet 0-100 cm 29 kg mineralkväve per ha. Efter det att gödselkvävet uppenbarligen tagits upp av vetet, avtog mineralkvävemängden till 20 kg N/ha under sensommaren. Nitratkvävet minskade då till en ren obetydlighet. Sedan medförde höstmineraliseringen uppenbarligen en viss ökning och därmed begynnande påfyllning av nitratkväve i alven.

Förhållandena i *växtföljd VI* med *korn* varje år exemplifieras i figur 3d med mineralkväveprofiler från **1983**. Det fanns under våren i storleksordningen 50 kg mineralkväve per ha, ganska likformigt fördelat inom 100 cm djup. Efter kvävegödning den 26 maj (100 kg N/ha) återfanns den 3 juni naturligt nog det mesta av gödselkvävet i matjorden. Mineralkvävet i alven hade tydligen ännu inte börjat utnyttjas av kornet. Den 7 juli hade gödselkvävet tydligen förbrukats till större delen, och kornet tycktes börja utnyttja mineralkväve i den centrala delen av alven. Vid provtagningen den 8 augusti hade uppenbarligen praktiskt taget allt utnyttjbart mineralkväve i alven redan tagits tillvara. Totalt återstod bara 20 kg N/ha in-



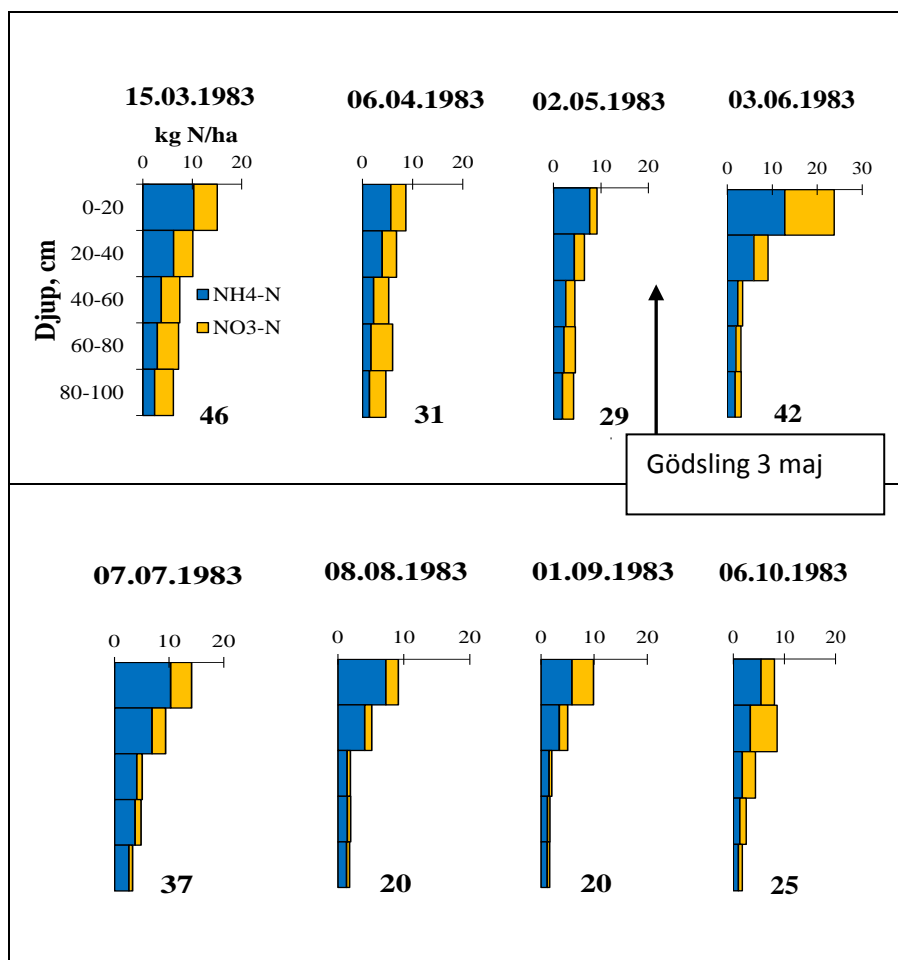
Figur 3a. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-100 cm djup i växtföljd III från våren till förhösten 1981. Gröda 1981: havre, som tillfördes 99 kg N/ha som kalksalpeter den 20 maj.

Figure 3a. Ammonium and nitrate nitrogen, kg/ha, layerwise within 0-100 cm soil depth in crop rotation III from spring until early autumn in 1981. Crop in 1981: oats which was supplied with 99 kg N/ha as calcium nitrate on 20 May. Djup = depth. Gödsling = Fertilisation. Maj = May.



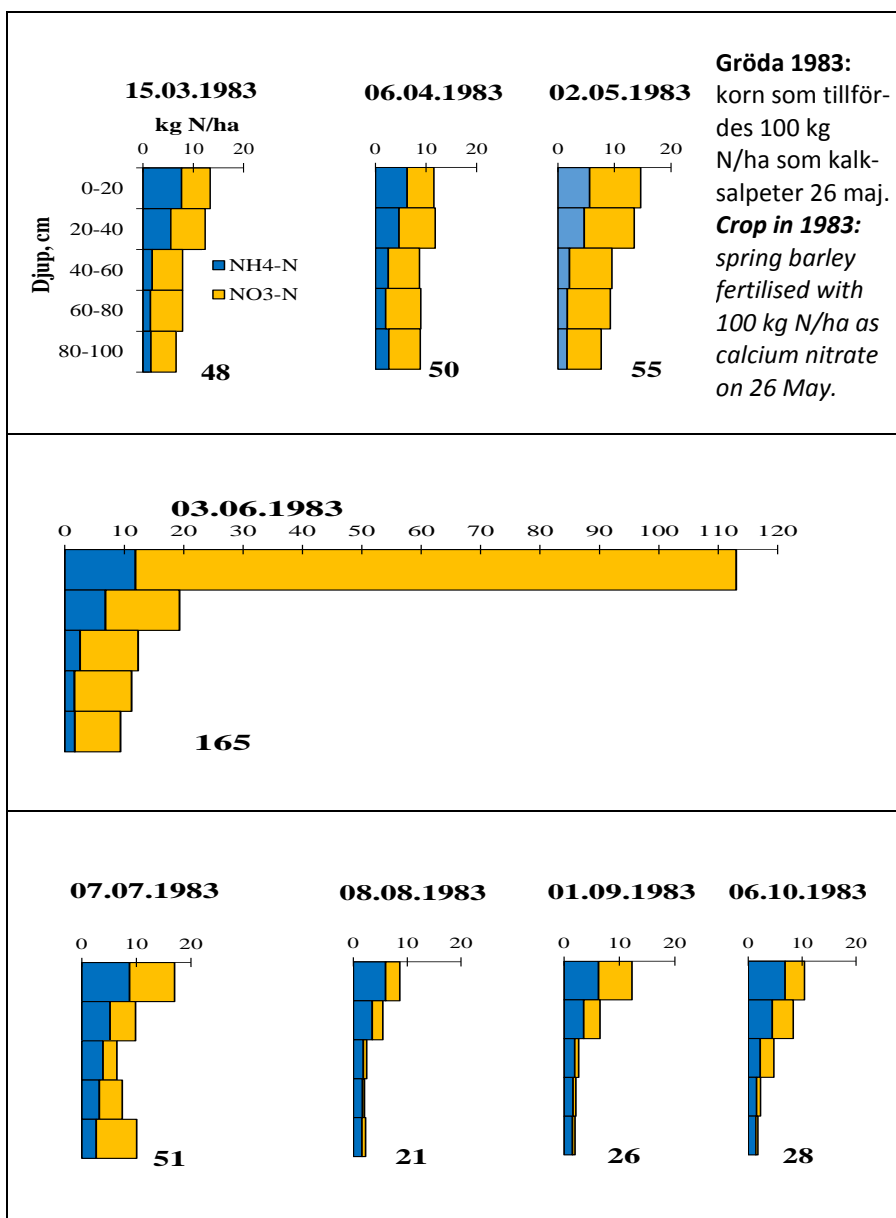
Figur 3b. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-100 cm djup i växtföljd III från våren till förhösten 1982.

Figure 3b. Ammonium and nitrate nitrogen, kg/ha, layerwise within 0-100 cm soil depth in crop rotation III from spring until early autumn in 1982. Djup = depth.



Figur 3c. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-100 cm djup i växtföljd III från våren till förhösten 1983. Gröda 1983: höstvet, som tillfördes 150 kg N/ha som kalksalpeter den 3 maj.

Figure 3c. Ammonium and nitrate nitrogen, kg/ha, layerwise within 0-100 cm soil depth in crop rotation III from spring until early autumn in 1983. Crop in 1983: winter wheat which was supplied with 150 kg N/ha as calcium nitrate on 3 May. Djup = depth. Gödsling = Fertilisation. Maj = May.



Figur 3d. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-100 cm djup i växtföljd VI från våren till förhösten 1983.

Figure 3d. Ammonium and nitrate nitrogen, kg/ha, layerwise within 0-100 cm soil depth in crop rotation VI from spring until early autumn in 1983. Djup = depth.

om 100 cm djup, när kväveupptagningen då bör ha avslutats. Under början av hösten tillkom nytt mineralkväve, uppenbarligen genom fortsatt mineralisering. Härigenom började markprofilen fyllas på med nitratkväve uppifrån matjorden.

Som framgått tycktes de fyra grödorna havre (figur 3a), vårraps (figur 3b), höstvetet (figur 3c) och korn (figur 3d) kunna utnyttja det allra mesta nitratkvävet i alven inom 100 cm djup. Grödorna föreföll ta upp kväve i alven först efter det att gödselkvävet i matjorden i huvudsak hade förbrukats. Det återstod på sensomrarna bara 1-2 kg nitratkväve per ha i varje 20-cm-skikt i alven, och mindre än 1 kg/ha per skikt vid odlingen av höstvetet 1983 (data ej redovisade). Genom markens aggregatstruktur och god sprickbildning ned till stort djup trängde

grödornas rötter uppenbarligen ned till gott och väl 100 cm (tabell 7a och b), vilket bör ha möjliggjort kväveutnyttjande ungefär lika långt ned i marken.

Kväveprofilstudierna visar vidare, att det gödselkväve som tillförts på våren troligen inte alls rörde sig ned till de djupare delarna av alven (omkring 50-100 cm djup) under växtsäsongen. Om detta ändå i viss mån skulle ha skett mellan olika provtagningstillfällena, torde kvävet ifråga senare ha tagits tillvara av grödornas djupare rötter. Förhållandet att gödselkvävet blev kvar relativt ytligt styrks av att de undersökta profilerna innehöll ytterst lite nitratkväve ett stycke in i juli och fram till den tidpunkt då kväveupptagningen måste ha upphört under sensomrarna. Ett undantag kan vara den nederbördsrika sensommaren 1980 (bl.a. 136 mm i augusti, tabell 10), då det vid odling av höstvetete i system III uppkom en nitratkväveutlakning på 2,1 kg N/ha i juli-augusti (tabell 14). Detta år drabbades höstvetetet i odlingssystem III av svampangrepp (se ovan), som medförde försämrad skörd, med uppenbarligen ökad utlakning som en följd. I system VI (korn) utlakades samma år 0,9 kg N/ha i augusti-september. Under övriga år fastställdes som framgått ingen eller nästan ingen nitratkväveutlakning alls i juli-augusti.

Mineralkväve inom 0-200 cm djup – provtagningar under vårar och höstar 1976-1986

Undersökningar med bestämning av mineralkväve till 200 cm djup utfördes årligen i alla rutor eller odlingssystem med början den 15 september 1976 och med en sista provtagning den 9 september 1986. År 1976 och 1977 utgjorde som nämnts förberedelseår för de sju odlingssystemen (tabell 1 och 2). Dessa år odlades havre respektive höstvetete inom hela försöksarealen. Vid försöksstarten 1978 såddes vårkorn i hela försöket. Samtidigt gjordes insådder i kornet för att etablera vallar i tre av de sju systemen: I, II och V (tabell 1 och 2). Fr.o.m. 1978 infördes därmed de sju odlingssystemen.

Ammoniumkväve i marken i de sju odlingssystemen (rutorna)

Kväveprofilerna ovan med provtagning ned till 100 cm djup (figur 3a-d) och tidigare publicerade mineralkvävestudier (Lindén, 1981) visar, att mängderna ammoniumkväve varierar ganska lite under loppet av ett år samt mellan år. Detta gäller behandlingar där gödsling med ammoniumhaltiga gödselmedel inte ingått nyligen.

I tabell 16 och 17 belyses förekommande variationer i ammoniumkväve mellan rutorna i försöket på Lanna och med djupet i marken. Alla resultat från provtagningarna till 200 cm djup 1976-86 har där sammanställts. Av tabell 16 och 17 framgår det, att mest ammoniumkväve förekom i matjorden (provtagningsdjup: 0-20 cm), i medeltal 7 kg/ha med variationer från ca 6 till 10 kg/ha. De större mängderna ammoniumkväve i ruta 1 och 2 tycks sammanhänga med högre mullhalt i matjorden än i övriga fem rutor (jmf. tabell 8). I alven fastställdes alltid mindre mängder ammoniumkväve. Inom 40-100 cm erhöles sålunda 1,4-2,2 kg N/ha per 20-cm-skikt. På 100-200 cm djup, där nivåer om 25 cm provtogs, fanns 1,5-2,0 kg ammoniumkväve per ha i varje skikt. Inom 0-100 cm fastställdes sammanlagt 14-19 kg/ha och på 100-200 cm djup 6-8 kg N/ha (tabell 16 och 17). De avtagande ammoniumkvävemängderna från matjorden och ned i alvskikten närmast därunder kan bero lägre mullhalter i alven (jmf. tabell 4 och 5).

Skillnaderna mellan de sju rutorna vara små, vilket även framgår av standardavvikelseerna för variationerna mellan rutorna (tabell 17).

Tabell 16. Ammoniumkväve, kg N/ha, skiktvis inom 0-200 cm djup, medeltal för provtagningarna under höstar och vårar i var och en av de olika rutorna 1-7 (odlingssystem I-VII) från den första provtagningen den 15.09.76 till sista den 09.09.86 (sammanlagt 21 tidpunkter). Ammoniumkvävevärden i skiktet 0-20 cm har ej beaktats i de fall då stallgödsel tillfördes en kort tid före provtagningen.

Table 16. Ammonium nitrogen, kg N/ha, layerwise within 0-200 cm soil depth, means for samplings during autumns and springs in each one of plots 1-7 (cropping systems I-VII) from the first sampling on 15.09.76 until the last sampling on 09.09.86 (totally 21 occations). Ammonium nitrogen values within 0-20 cm are excluded in cases of farmyard or slurry applicaton shortly before sampling. Ruta/ System= plot/cropping system. Djup = soil depth. S:a = sum.

| Ruta/System | 1/I | 2/II | 3/III | 4/IV | 5/V | 6/VI | 7/VII |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Djup, cm | | | | | | | |
| 0-20 | 10,1 | 8,8 | 5,6 | 6,0 | 7,4 | 6,0 | 5,8 |
| 20-40 | 3,9 | 4,3 | 3,4 | 4,2 | 3,9 | 4,1 | 3,7 |
| 40-60 | 1,9 | 2,2 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 1,9 | 1,8 |
| 60-80 | 1,5 | 1,8 | 1,5 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,5 |
| 80-100 | 1,4 | 1,7 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| 100-125 | 1,9 | 2,0 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 |
| 125-150 | 1,8 | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 |
| 150-175 | 1,8 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,6 | 1,5 |
| 175-200 | 1,9 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,6 |
| S:a 0-100 | 18,8 | 18,8 | 13,8 | 15,4 | 16,5 | 15,1 | 14,2 |
| 100-200 | 7,3 | 7,7 | 7,3 | 7,2 | 7,1 | 6,6 | 6,4 |
| 0-200 | 26,2 | 26,5 | 21,0 | 22,5 | 23,6 | 21,7 | 20,6 |

De största *variationerna* i ammoniumkväve mellan de totalt 21 tidpunkterna fanns i matjorden (0-20 cm): 2,1 kg N/ha som medeltal för sju rutvisa standardavvikelser (tabell 17). De senare beräknades för var och en av de sju rutorna med avseende på de 21 tidpunkterna (variationsbredd för de rutvisa standardavvikelserna: 1,2-3,4 kg). För hela djupet 0-100 cm uppgick de motsvarande standardavvikelserna i genomsnitt till 4,2 kg N/ha (variationsbredd: 2,8-5,8 kg). Av tabell 17 framgår vidare att skillnaderna i mängderna ammoniumkväve mellan vår- och höstprovtagningarna (n = 10 respektive 11) var små i alla markskikt ned till 200 cm djup, uttryckt som kg N/ha.

Slutsatsen kan dras, att ammoniumkvävemängderna var ganska oberoende av provtagningstillfällena och därmed även av väderförhållanden, grödor m.m. Detta styrks även av kväveprofilerna i figur 3a-d (0-100 cm djup). Jämnheten i värdena tidsmässigt tyder vidare på att ammoniumkväve, som bildats genom kväveminerisering, snabbt omvandlas till nitratkväve. Det uppstår alltså inga större, periodvisa anhopningar av ammoniumkväve i en jord såsom den i försöket vid Lanna. Scharpf (1976) fann likaså små eller mycket små halter ammoniumkväve i lössjordar i Tyskland. Stora mängder ammoniumkväve i markprofilen tycks sällan förekomma (Lindén, 1981). Ett beskrivet undantag är en mulljord vid Finnsholmen i nordvästra Uppland (Lindén, 2013). Där fanns lergyttja i alven, som hade mycket låga

Tabell 17. Ammoniumkväve, kg N/ha, skiktvis inom 0-200 cm djup, medeltal och standardavvikelser (std) för rutorna 1-7 (odlingssystem I-VII) från den första provtagningen den 15.09.76 till sista den 09.09.86 (sammanlagt 21 tidpunkter) samt medeltal för vårar och höstar. Ammoniumkvävevärden i skiktet 0-20 cm har ej beaktats i de fall då stallgödsel tillfördes en kort tid före provtagningen.

Table 17. Ammonium nitrogen, kg N/ha, layerwise within 0-200 cm soil depth, means and standard deviations (std) of plots 1-7 (cropping systems I-VII) from the first sampling on 15.09.76 until the last sampling on 09.09.86 (totally 21 occasions), and means of spring and autumn samplings. Ammonium nitrogen values within 0-20 cm are excluded in cases of farmyard or slurry application shortly before sampling. Summa = sum.

| Djup Soil depth (cm) | Medeltal för ruta 1-7 (jmf. tabell 16) <i>Means of plots 1-7</i> n = 21 | Std mellan rutor (jmf. tabell 16) <i>Std be- tween plots (cf. Table 16)</i> | Medeltal för std mellan 21 tid- punkter* <i>Means of std between 21 sampling occasions*</i> | Medeltal för vårprovtag- ningarna <i>Means of spring samp- lings</i> n = 10 | Medeltal för höstprovtag- ningarna <i>Means of autumn samplings</i> n = 11 |
|----------------------------|---|---|--|---|--|
| 0-20 | 7,1 | 1,8 | 2,1 | 7,2 | 7,1 |
| 20-40 | 3,9 | 0,3 | 1,3 | 4,3 | 3,6 |
| 40-60 | 2,0 | 0,1 | 0,7 | 2,1 | 1,9 |
| 60-80 | 1,6 | 0,1 | 0,5 | 1,6 | 1,6 |
| 80-100 | 1,5 | 0,1 | 0,5 | 1,5 | 1,4 |
| 100-125 | 1,8 | 0,1 | 0,6 | 1,7 | 1,8 |
| 125-150 | 1,8 | 0,1 | 0,6 | 1,8 | 1,8 |
| 150-175 | 1,7 | 0,1 | 0,6 | 1,7 | 1,8 |
| 175-200 | 1,8 | 0,1 | 0,7 | 1,7 | 1,9 |
| 0-100 | 16,1 | 2,1 | 4,2 | 16,7 | 15,7 |
| 100-200 | 7,1 | 0,5 | 2,4 | 6,8 | 7,3 |
| 0-200 | 23,2 | 2,4 | 5,8 | 23,5 | 22,9 |

*) Beräkningarna av standardavvikelser avser primärt variationerna mellan provtagningstidpunkterna, beräknat för varje ruta. Sedan har medeltal för standardavvikelserna i de sju rutorna beräknats. *The calculations of standard deviations primarily refer to the variations between the sampling occasions, calculated for each plot. Then means of the standard deviations of the seven plots were calculated.*

pH-värden: 4,2 och 3,5 på 30-60 respektive 60-90 cm djup. Detta hämmade uppenbarligen nitrifikationen av ammoniumkväve.

Större mängder ammoniumkväve än de ovan beskrivna fastställdes emellertid i matjorden under månaderna närmast efter tillförsel av flytgödsel i försöket på Lanna. Efter spridning av svinflytgödsel den 11.10.1979 (133 kg NH₄-N/ha, tabell 3) i odlingssystem VI nitrifierades uppenbarligen inte allt ammoniumkväve före vinterns ankomst. Omkring 10 kg mer ammoniumkväve per ha jämfört med mängderna i system III återfanns inom 0-20 cm djup vid sex provtagningar från mitten av november 1979 t.o.m. mars 1980. Orsaken till den långsamma eller tidvis avstannade nitrifikationen kan vara det kalla vädret vintern 1979/80 (tabell 9). Efter tillförsel av svinflytgödsel den 30.09.1981 (102 kg NH₄-N/ha) i system VI återfanns det inom 0-20 cm mermängder på 23 kg/ha den 23/10, 8 kg den 20/11, 7 kg den

17/12, 6 kg den 17/2 och 3 kg ammoniumkväve per ha den 23/3 jämfört med samma tidpunkter i system III. Även denna vinter var kall, med tjäle i december, januari och större delen av februari, delvis till ca 20 cm djup (se ovan). En långsam nitrifikation ägde ändå rum under vintern. En delförklaring till denna nitratbildning kan vara, att den genomförda plöjningen (den 29/10, figur 2c) efter flytgödselspridningen medförde, att gödseln hamnade djupt ned i matjorden, där jorden förblev ofrusen längre än närmare ytan. Slutsatsen är att nitrifikation av flytgödselammoniumkväve kan pågå vintertid. Detta bekräftas av inkubationsundersökningar med nötflytgödsel utförda av Lindén et al. (2003), som fastställde sådan aktivitet nära 0°C och strax därunder. Hanschmann (1983) fann kvävemineralisering och nitrifikation av jordkväve vid 0°C.

Efter vårspridning av svinflytgödsel i odlingssystem VI den 23.03.1984 (102 kg NH₄-N/ha) fastställdes efter 18 dagar (10 april) 27 kg ammoniumkväve per ha mer inom 0-20 cm och efter 45 dagar (7 maj) 12 kg mer än vid samma tillfällen i system III. Sedan försvann skillnaden i detta avseende mellan de båda växtföljderna.

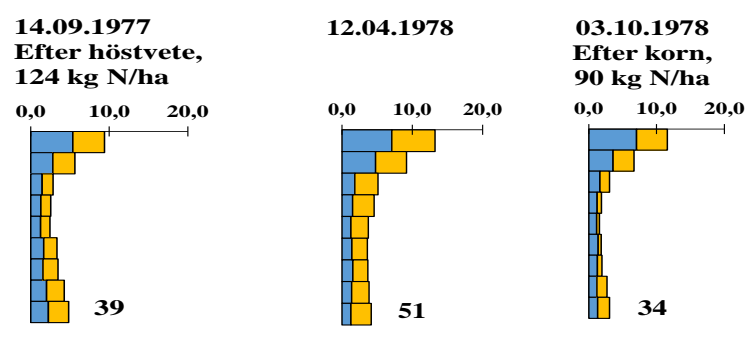
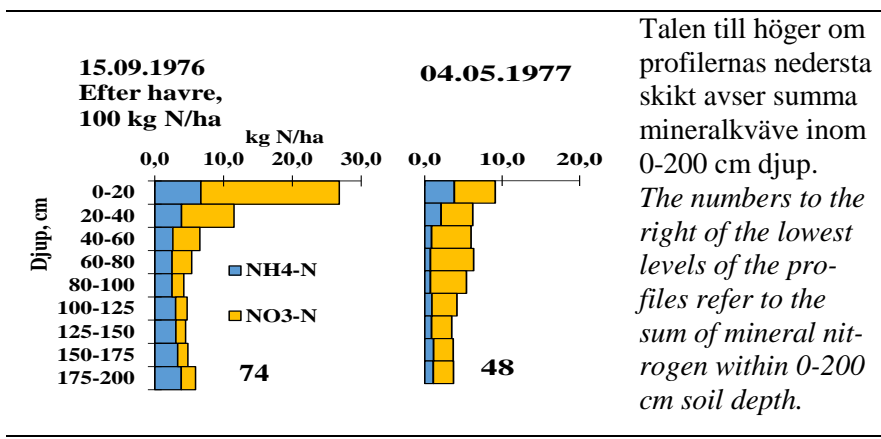
Mineralkväve inom 0-200 cm 1976-78

År 1976 och 1977 var förberedelseår, då grödorna utgjordes av havre respektive höstvetete i alla sju rutorna. Under 1978, startåret för de olika odlingssystemen, odlades korn i alla rutor och med samma N-gödsling (90 kg N/ha). Under dessa tre år utfördes jordprovtagningar rutvis under förhöstar och vårar (före gödsling) ned till 200 cm djup för förundersökningar. Syftet var bl.a. att bestämma mineralkväveförhållandena i marken före införandet av olika grödor i de sju odlingssystemen och att belysa jämnheten inom försöksarealen med avseende på mineralkväve.

I figur 4 visas kväveprofiler till 200 cm djup under tre förhöstar och två vårar 1976-78. Där framgår att förhållandevis lite nitratkväve fanns i de djupare alvskikten (från 40 eller 60 cm djup och ned till 200 cm) under förhöstarna 1977 och 1978 (provtagning den 14/9 respektive 3/10). Detta torde främst bero på att grödorna hade utnyttjat kväve långt ned i alven, gott och väl ned under 100 cm. Samtidigt tyder de större mängderna kväve i matjorden och den översta alven under förhöstarna 1977 och 1978 på att fortgående kvävemineralisering efter avslutad kväveupptagning hade börjat fylla på mineralkväveförråden igen. Vad gäller 1976, kan de stora mineralkväveförråden i september (figur 4) bero på att mer utnyttjat kväve än normalt funnits kvar i matjorden och överst i alven efter havren detta år.

Kväveprofilen från våren 1977 tyder på att mineraliserat kväve vaskats nedåt i markprofilen under loppet av den föregående hösten och vintern och fyllt på nitratförrådet, förmodligen inom hela provtagningsdjupet 200 cm (figur 4). Liknande nedvaskning ägde uppenbarligen rum från hösten 1977 till våren 1978 men troligen inte lika långt ned i alven. Under växtsäsongerna 1977 och 1978 togs som nämnts detta nedvaskade mineralkväve i hög grad tillvara av grödorna. Mineralkvävemängderna inom 200 cm djup blev därför mindre under förhöstarna än under vårarna. Resultaten är i överensstämmelse med den ovan beskrivna utvecklingen av mineralkväveförhållandena i odlingssystem III och VI (figur 2a-e). Där fanns det efter tämligen väl avvägd kvävegödsling mindre mängder mineralkväve inom 0-100 cm djup vid tiden för avslutad kväveupptagning än på våren.

Alven, inte bara över 100 cm djup utan även rätt långt därunder, kan i denna jord således betraktas som ett slags "förrådsplats", där mineralkväve mer eller mindre lagrades under



Figur 4. Mineralkväve (ammonium- och nitratkväve, kg N/ha) skiktvis inom 0-200 cm markdjup: medeltal för ruta 1-7 vid jordprovtagningar under förhöstar och vårar 1976-78, dvs. före införandet av de olika odlingssystemen. Djupskalorna för 0-100 cm och 100-200 cm djup är olika.

Figure 4. Mineral nitrogen (ammonium and nitrate nitrogen, kg N/ha) layerwise within 0-200 cm soil depth: averages of plots 1-7 at soil samplings during early autumns and springs in 1976-78, before the introduction of the different cropping systems. Notice that the depth scales of 0-100 cm and 100-200 cm soil depths are different. Djup = depth, Efter havre = following oats, Efter korn = following spring barley.

vinterhalvåret och sedan utnyttjades igen (inom rottdjup) under den efterföljande växtsäsongen. Givetvis kan förluster av sådant lagrat kväve via dräneringsledningarna och genom nedvaskning till underliggande jordlager samtidigt ha förekommit.

Tabell 18a-b belyser variationer i mineralkväveförekomsten mellan de olika sju rutorna under förberedelseåret. För djupet 0-100 cm erhöles som medeltal för alla rutor och alla fem tillfällen 34,2 kg mineralkväve per ha, med som minst 30,7 kg i ruta 4 och som mest 37,1 kg N/ha i ruta 1 och 7. Vid provtagningen den 15.09.79 minskade mängderna från ruta 1 (51,5 kg) till ruta 3 och 4 (45,0 respektive 45,1 kg), varefter förråden ökade till ruta 7 (73,8 kg N/ha). Denna ordning upprepades dock bara i viss mån vid de efterföljande fyra provtagningstillfällena under åren 1976-78.

Tabell 18a. Mineralkväve (summa ammonium- och nitratkväve, kg N/ha) inom **0-100 cm djup** i ruta 1-7 vid jordprovtagningar under förhöstar och vårar 1976-78, dvs. före införandet av olika grödor i odlingsystemen.

Table 18a. Soil mineral nitrogen (sum of ammonium and nitrate nitrogen, kg N/ha) within the 0-100 cm soil layer in plots 1-7 during early autumns and springs in 1976-78, before the introduction of different crops in the cropping systems.

| Ruta Plot no. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Medeltal Average |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|
| Datum Date | | | | | | | | |
| 15.09.1976 | 51,5 | 49,6 | 45,0 | 45,1 | 48,4 | 68,1 | 73,8 | 54,5 |
| 05.04.1977 | 42,9 | 39,6 | 30,3 | 27,4 | 27,7 | 32,0 | 32,0 | 33,1 |
| 14.09.1977 | 22,0 | 25,6 | 22,3 | 22,7 | 27,7 | 18,7 | 20,5 | 22,8 |
| 12.04.1978 | 41,0 | 36,4 | 34,3 | 36,6 | 35,7 | 34,2 | 33,3 | 35,9 |
| 03.10.1978 | 28,3 | 23,0 | 24,2 | 21,8 | 25,7 | 24,2 | 26,1 | 24,8 |
| Medeltal Average | 37,1 | 34,8 | 31,2 | 30,7 | 33,0 | 35,4 | 37,1 | 34,2 |

Tabell 18b. Mineralkväve (summa ammonium- och nitratkväve, kg N/ha) inom **0-200 cm djup** i ruta 1-7 vid jordprovtagningar under förhöstar och vårar 1976-78, dvs. före införandet av odlingsystemen.

Table 18b. Soil mineral nitrogen (sum of ammonium and nitrate nitrogen, kg N/ha) within the 0-200 cm soil layer in plots 1-7 during early autumns and springs in 1976-78, before the introduction of the cropping systems.

| Ruta Plot no. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Medeltal Average |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|
| Datum Date | | | | | | | | |
| 15.09.1976 | 75,6 | 69,7 | 63,2 | 65,0 | 68,5 | 87,2 | 92,0 | 74,4 |
| 05.04.1977 | 60,2 | 54,1 | 41,7 | 38,9 | 42,6 | 52,6 | 52,6 | 48,9 |
| 14.09.1977 | 56,7 | 52,1 | 50,9 | 47,5 | 51,0 | 52,0 | 48,8 | 51,3 |
| 12.04.1978 | 56,7 | 52,1 | 50,9 | 47,5 | 51,0 | 52,0 | 48,8 | 51,3 |
| 03.10.1978 | 40,2 | 34,9 | 31,9 | 31,2 | 35,6 | 33,8 | 32,7 | 34,3 |
| Medeltal Average | 57,9 | 52,6 | 47,7 | 46,0 | 49,7 | 55,5 | 55,0 | 52,0 |

Jordprovtagningarna gjordes utmed en 273 m lång linje, med uppdelning på de sju försöksrutorna (rutbredd = 39 m). De yttersta fem meterna i linjens yttre ändar berördes dock inte av provtagningen. Linjen flyttades som nämnts något vid varje provtagningstidpunkt. Skillnaderna i mineralkväveförråd rutorna emellan (tabell 18a-b) belyser i viss mån den inomfältvariation som rådde på platsen. Variationerna i mineralkväve mellan rutorna blev särskilt stor vid vissa provtagningstillfällen. Sålunda motsvarade variationen inom 1-100 cm djup (tabell 18a) den 15.09.76 en variationskoefficient på 21,3%. För den 05.04.77 erhöles 17,9%, den 14.09.77 13,3%, men för den 12.04.78 och 03.10.78 blev variationskoefficienterna mindre: 7,1% respektive 8,7%. Det blev skillnader mellan de högsta och lägsta rutvärdena (variationsbredd) vid enskilda tillfällen på som minst 7 kg N/ha (den 03.10.78) och som mest 29 kg N/ha (den 16.09.76). Detta gäller dock bara variationer i en riktning inom fältytan.

Fältdelen kan trots dessa skillnader anses vara mycket enhetlig topografiskt och jordartsmässigt och hade odlats enhetligt vad gäller grödor och gödsling. Området är beläget i utpräglad slättbygd. Delvis ännu större inomfältvariationer i förekomsten av mineralkväve (i alla riktningar) har redovisats av Delin (2005) inom ett fält beläget i vad som kan kallas mellanbygd och med ganska stora skillnader topografiskt och jordartsmässigt. Delin (2005) fastställde här variationskoefficienter för inomfältvariationer i mineralkväve inom 0-90 cm djup på 12-47%, beräknade för vart och ett av sex provtagningstillfällena (på våren och efter skörd, i tre år).

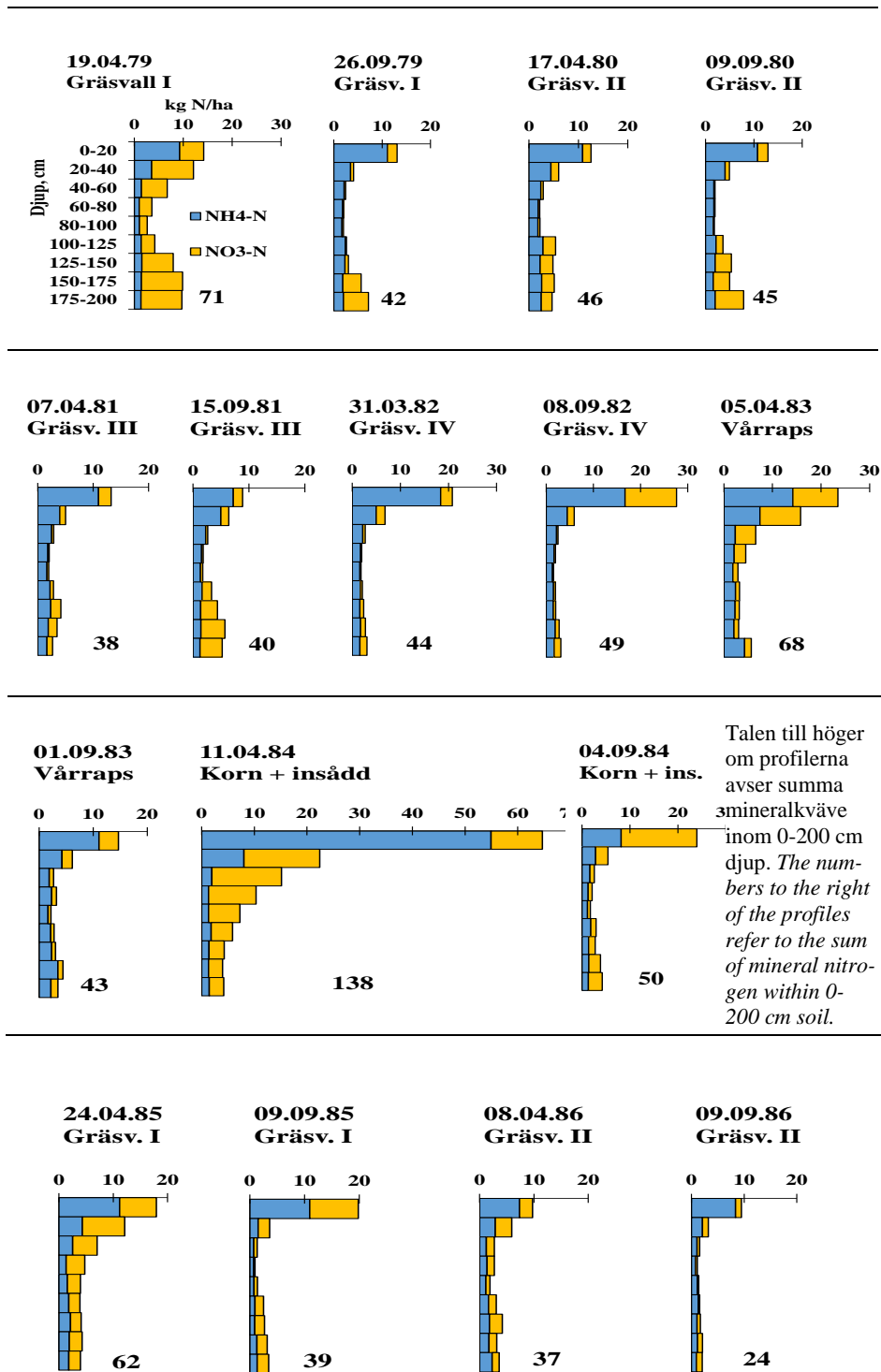
Inom 0-200 cm djup (tabell 18b) fastställdes i medeltal för alla sju rutorna och de fem tillfällena 52 kg mineralkväve per ha, även här med det största genomsnittsvärdet (57 kg N/ha) i ruta 1 och de lägsta i ruta 3 och 4 (47,7 respektive 46,0 kg). Andelen mineralkväve inom 100-200 cm utgjorde i medeltal för alla rutor och tillfällena 17,8 kg N/ha (variationsbredd för rutorna: 15,3-20,7 kg) motsvarande 34% respektive 33-36% av den totala mängden.

Mineralkväve 1979-86 i odlingssystem I (gräsvall)

Figur 5 visar mineralkväveförråden inom 0-200 cm djup under vårar (medeldatum: 11/4) och höstar (medeldatum 10/9) i odlingssystem I. Förekomsten av mineralkväve kan här betraktas mot bakgrund av grödor och årlig kvävegödsling. I odlingssystem I ingick gräsvall 1979-82, vårraps 1983, korn med insådd 1984 och åter gräsvall 1985-86 (tabell 2). GräsvalLEN 1979-82 hade ju etablerats i korn 1978, som gödslats med 90 kg N/ha i form av kalksalpeter (tabell 2). Vallens tillfördes årligen ca 200 kg N/ha uppdelat på två givor. Vårrapsen 1983 gavs 120 kg N/ha i form av ammoniumkväve i nötflytgödsel på våren (26/4), tabell 3, varefter sådden ägde rum i början av maj. Kornet med insådd 1984 tillfördes 50 kg N/ha som ammoniumkväve i nötflytgödsel den 21 mars och 54 kg N/ha som kalksalpeter den 17 maj. GräsvalLEN 1985-86 gödslades båda åren med 200 kg N/ha i form av kalksalpeter, uppdelat på två givor.

I början av oktober 1978, dvs. under insåningsåret, fastställdes 40 kg mineralkväve per ha inom 0-200 cm djup (tabell 18b). Fram till mitten av april 1979 ökade mängden till 71 kg N/ha (figur 5, tabell 20). Nettotillskottet torde bero på att kväveminaliseringen från höstprovtagningen (den 3/10) till vårprovtagningen (den 19/4) kraftigt översteg förekommande kväveförluster. Under växtperioden 1979 tycks mineralkvävet i större delen av markprofilen 0-200 cm ha tagits tillvara av gräsvalLEN. Vid provtagningen den 26/9 föreföll praktiskt taget allt nitratkväve inom 150 cm djup följaktligen ha förbrukats. Endast smärre rester återstod på 150-200 cm djup, och totalt återfanns 42 kg N/ha som mineralkväve inom 0-200 cm. Under våren därpå (17.04.80) fastställdes 46 kg N/ha. Den ringa nettoökningen från höst till vårprovtagningen kan delvis ha att göra med att vallens fortsatte att växa och ta upp kväve ganska långt in på hösten, vilket då motverkade anhopning av mineraliserat kväve i marken.

Förhållanden liknande dessa, med 40-50 kg mineralkväve per ha inom 200 cm djup varav 20-40 kg/ha ned till 100 cm (figur 5 och tabell 20) rådde under alla fyra vallåren t.o.m. provtagningen den 8 september 1982. Nitratkvävemängderna inom 100 cm djup förblev mycket små under höstarna så väl som våarna, förmodligen genom vallens långa växtperiod från april till in i oktober.



Figur 5. Mineralkväve (kg N/ha) inom 0-200 cm markdjup i odlingsystem I (ruta 1) under vårar och förhöstar 1979-84. Djupskalorna för 0-100 cm och 100-200 cm djup är olika.
 Figure 5. Mineral nitrogen (kg N/ha) within 0-200 cm soil depth in cropping system I (plot 1) during springs and early autumns in 1979-84. Notice that the depth scales of 0-100 cm and 100-200 cm soil depths are different. Djup = depth, Gräsv. = gräsvall = grass ley, Vårrops = summer rape, Korn + insådd = spring barley, undersown.

Tabell 20. Mineralkväve (kg N/ha) inom 0-100 och 100-200 cm markdjup under vårar och förhöstar 1979-86 i odlingssystemen med vallodling.

Table 20. Mineral nitrogen (kg N/ha) within 0-100 and 100-200 cm soil depth during springs and early autumns in 1979-86 in the cropping systems with ley production.

| Datum <i>Date</i> | System I, Gräsvall <i>System I, Grass ley</i> | | System II, Luserngräsvall <i>System II, Grass lucern ley</i> | | | |
|----------------------|--|---------|---|-----------------|---------|-------|
| | Markdjup, <i>Soil depth</i> , cm | | | | | |
| | 0-100 | 100-200 | 0-200 | 0-100 | 100-200 | 0-200 |
| | År med vallodling <i>Years of ley production</i> | | | | | |
| 19.04.79 | 39 | 32 | 71 | 29 | 15 | 44 |
| 26.09.79 | 24 | 18 | 42 | 30 | 12 | 41 |
| 17.04.80 | 26 | 20 | 46 | 41 | 14 | 54 |
| 09.09.80 | 24 | 22 | 45 | 22 | 16 | 38 |
| 07.04.81 | 25 | 13 | 38 | 33 | 11 | 44 |
| 15.09.81 | 21 | 19 | 40 | 20 | 8 | 27 |
| 31.03.82 | 34 | 10 | 44 | 33 | 8 | 41 |
| 08.09.82 | 40 | 10 | 49 | 27 | 9 | 36 |
| | År med vårraps <i>Year of summer rape</i> | | | | | |
| 05.04.83 | 53 | 15 | 68 | 56 ^b | 13 | 68 |
| 01.09.83 | 29 | 14 | 43 | 37 | 13 | 50 |
| | År med korn + insädd <i>Year of spring barley, undersown</i> | | | | | |
| 11.04.84 | 120 ^a | 18 | 138 | 88 ^c | 30 | 119 |
| 04.09.84 | 36 | 14 | 50 | 30 | 15 | 45 |
| | År med vallodling <i>Years of ley production</i> | | | | | |
| 24.04.85 | 46 | 16 | 62 | 37 | 12 | 49 |
| 09.09.85 | 27 | 12 | 39 | 13 | 6 | 19 |
| 08.04.86 | 23 | 14 | 37 | 19 | 8 | 27 |
| 09.09.86 | 17 | 7 | 24 | 16 | 7 | 23 |

a) Tillförsel av nötflytgödsel den 21 mars, dvs. före jordprovtagningen.

Application of cattle slurry on 21 March, i.e., before soil sampling.

b) Tillförsel av nötfastgödsel under föregående host (den 28/10).

Application of cattle manure during the previous autumn (on 28 Oct.)

c) Tillförsel av nötfastgödsel under föregående höst (den 30 sept.).

Application of cattle manure during the previous autumn (on 30 Sept.).

Under senhösten 1982 (28/10) plöjdes gräsvallen upp. Efter provtagningen den 8 september ökade mineralkväveförrådet inom 0-100 cm djup från 40 kg N/ha vid denna tidpunkt till 53 kg/ha (68 kg/ha inom 200 cm) vid provtagningen den 5 april 1983. Till följd av vallbrottet kunde ökad kväveminerisering förväntas genom nedbrytning av växtresterna. Sådan uppkommer dock knappast under vinterhalvåret efter sen nedplöjning av ren gräsvall (Wallgren & Lindén, 1994). Kvävetillskottet fram till den 5 april bör därför hänföras till "normal" kväveminerisering, som inte påtagligt påverkats av vallbrottet.

Denna vår (1983) tillfördes som nämnts 120 kg N/ha som ammoniumkväve i nötflytgödsel den 26 april, dvs. tre veckor efter vårprovtagningen. Vårrapsen såddes den 5 maj. Vid provtagning den 1 september återfanns 36 kg mineralkväve per ha inom 100 cm djup och 43 kg/ha inom 200 cm (figur 5 och tabell 20), således ungefär lika lite som vid motsvarande tid

under vallåren. Skörden ägde rum den 31 augusti. Någon nämnvärd anhopning av mineraliserat kväve tycks inte hunnit ske efter avslutad kväveupptagning och fram till provtagningen den 1 september. Vårraps mognar ju vanligen något senare än stråsådesgrödor. Vid odling av stråsåd kan mineraliserat kväve däremot börja ansamlas i augusti under mellansvenska förhållanden (Lindén, 1981), såsom i detta försök (figur 2a-e).

År 1984 såddes korn den 28 april i system I, med insådd av gräs den 3 maj. Grödan tillfördes dessförinnan som nämnts 50 kg N/ha i form av ammoniumkväve i nötflytgödsel (den 21 mars), och 54 kg N/ha genom övergödsling med kalksalpeter den 17 maj. Vid vårens jordprovtagning, som ägde rum den 11 april, dvs. efter spridningen av flytgödseln, konstaterades stora mängder ammoniumkväve inom 0-20 cm djup och i viss mån 20-40 cm (figur 5), tillsammans 63 kg N/ha. Detta var avsevärt mer än annars i detta försök (jmf. tabell 16 och 17). Vidare fastställdes betydande mängder nitratkväve ned till drygt 100 cm djup (figur 5). Detta kan delvis härröra från flytgödselkväve, men det kan även utgöras av kväve som börjat mineraliseras efter förfrukten vårraps. Inom 200 cm fastställdes 138 kg mineralkväve per ha denna vår (figur 5 och tabell 20).

Kornet med insådd 1984 tycktes dock kunna utnyttja i det närmaste allt kväve från flyt- och handelsgödseln. Vid provtagning den 4 september 1984 fastställdes på 20-150 cm djup bara obetydliga, återstående mängder nitratkväve. Detta tyder även på att kornet förmått ta upp kväve så pass långt ned som ca 150 cm. I matjorden (0-20 cm) konstaterades 16 kg nitratkväve per ha, vilket är mer än vid tidigare höstprovtagningar. Detta kan bero på begynnande anhopning av mineraliserat kväve efter det att kornets kväveupptagning upphört, samtidigt som insådden troligen ännu inte hunnit utvecklas tillräckligt för att kunna ta upp större kvävemängder och fungera som fånggröda.

Vid provtagning den 24 april 1985 på den nya gräsvallen erhöles 46 kg mineralkväve per ha inom 0-100 cm och 62 kg inom 0-200 cm djup (figur 5, tabell 20). Vid höstprovtagningen återstod 27 respektive 39 kg N/ha. Under våren 1986 och höstarna 1985-86 fastställdes likaså små mängder mineralkväve i marken på gräsvallen, i ungefär samma koncentrationer som under den föregående vallperioden 1979-82.

Resultaten tyder på att gräsvallen genom sitt kväveupptag och sin långa växtperiod förmådde hålla mängderna utlakningsbart kväve (dvs. främst nitratkväve) på en ganska låg nivå, trots kraftig kvävegödsling (200 kg N/ha). Det gödselkväve som tillförts vallen, vårrapsen och kornet med insådd tycks knappast alls ha förorsakat nedvaskning av nitratkväve ned till de djupaste alvskikten under växtsäsongerna, så att det hamnat under rottdjup och därigenom inte kunnat tas upp av grödorna. Därmed kom marken att innehålla lite eller relativt lite outnyttjat kväve i oorganisk form vid höstens ankomst. Detta måste ha minskat kväveutlakningsrisken. Eftersom avrinningen och därmed utlakningen var obetydlig eller helt upphörde under växtsäsongerna (tabell 13 och 14), kan minskningen av nitratkvävet i alven sommartid inte förklaras genom utlakningsförluster.

Mineralkväve 1979-86 i odlingssystem II (luserngräsvall)

Figur 6 och tabell 20 visar mängderna mineralkväve under våarna (medeldatum: 11/4) och på höstarna (medeldatum 10/9) i odlingssystem II. Där ingick luserngräsvall 1979-82 (blandvall med lusern och gräs), vårraps 1983, korn med insådd 1984 och åter luserngräsvall 1985-86 (tabell 2). Vallen 1979-82 hade etablerats i korn 1978, som gödslats med 90 kg N/ha som

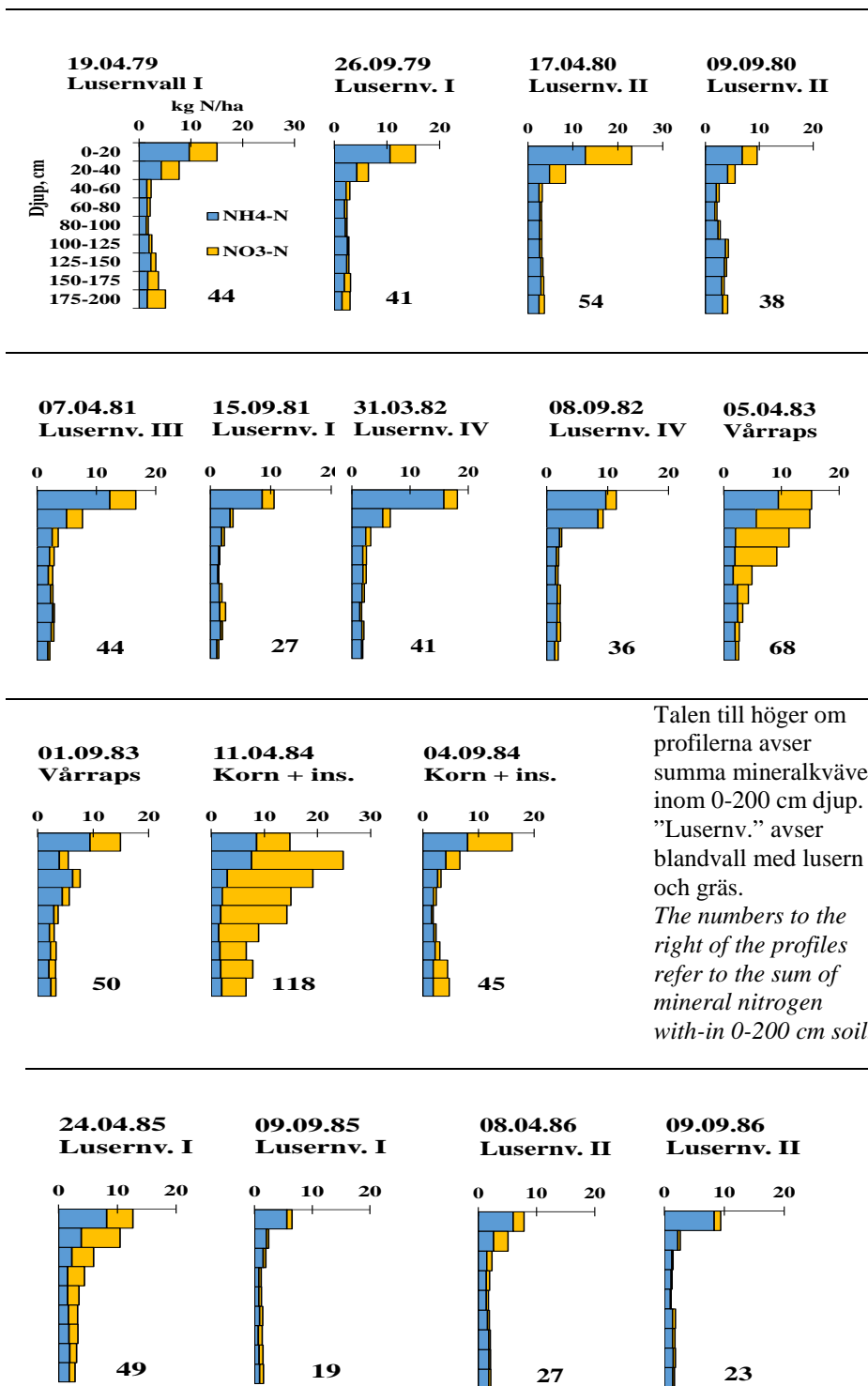
kalksalpeter (tabell 2). Under dessa fyra vallår tillfördes ingen gödsel alls. Den 28 oktober 1982, dvs. i slutet av det fjärde vallåret, spreds dock fastnötgödsel, innehållande 52 kg ammoniumkväve per ha (tabell 3). Dagen därpå plöjdes vallen upp. Vårrapsen 1983, som såddes den 5 maj, gavs 50 kg N/ha som övergödsling med kalksalpeter den 25/5. Efter skörden av vårrapsen (den 20/8) spreds 50 ton nötfastgödsel per ha den 30/9, med ett innehåll av 53 kg ammoniumkväve per ha (tabell 3). I slutet av april 1984 tillfördes PK 7-13 i en mängd motsvarande 21 kg P/ha och 39 kg K/ha. Därefter såddes 1984 års gröda, korn med insådd av lusern och gräs, den 3/5. Vidare tillfördes 54 kg N/ha som kalksalpeter den 17 maj. Luserngräsvallen 1985 gödslades med 200 kg K/ha som kalisalt den 26/4, men inget kväve. År 1986 spreds inte någon gödsel alls till vallen.

Den 3 oktober 1978 fastställdes 35 kg mineralkväve per ha inom 0-200 cm djup i detta odlingssystem (tabell 18b), efter kornet med insådd. Fram till jordprovtagningen den 19 april 1979 ökade mängden till 44 kg N/ha (figur 6 och tabell 20). Nettotillskottet torde även i detta fall bero på att kväveminaliseringen från höstprovtagningen 1979 till vårprovtagningen 1979 översteg förekommande kväveförluster. Även vid höstprovtagningen den 26/9 detta år var mineralkvävemängderna mycket små, särskilt i alven,; 41 kg N/ha inom 0-200 cm djup (figur 6, tabell 20). Under hela den fortsatta vallperioden fram till hösten 1982 förblev mängderna små, i storleksordningen 30-50 kg N/ha inom 200 cm djup. Nitratkvävemängderna blev obetydliga. De största mineralkväveförråden fanns på våren (uppenbarligen till följd av kväveminalisering under vinterhalvåret) och de minsta vid provtagningarna under förhösten (genom vallens kväveupptag under växtsäsongen). De generellt små kvävemängderna tyder på liten kväveutlakning under åren med luserngräsvall. Frånvaron av kvävegödsling bör ha medverkat till detta.

Under senhösten 1982 tillfördes som nämnts nötfastgödsel (den 28/10). Dagen därefter plöjdes luserngräsvallen upp. Från provtagningen den 8 september till den 5 april 1983 tilltog mängden mineralkväve från 36 till 68 kg N/ha inom 200 cm djup (figur 6, tabell 20). Detta tillskott av kväve hade fyllt på nitratkväveförrådet främst i markens övre delar men knappast nått ned under 100-125 cm djup. Till följd av vallbrottet kan visserligen ökad kväveminalisering ha uppkommit och bidragit till kvävetillskottet. Men på grund av att vallen plöjts först under senhösten, bör tydligt ökad kvävefrigörelse ha uppkommit först under växtsäsongen 1983 (jmf. Wallgren & Lindén, 1994). Resultaten kan därför tyda på att den ökade nitratanhopningen främst orsakats av fastgödselspridningen i slutet av oktober 1982. Detta innebar då ökad kväveutlakningsrisk.

Efter vallbrottet såddes vårraps 1983. Denna gröda tycks ha utnyttjat nitratkvävet i alven väl, vilket framgår av resultaten från jordprovtagningen den 1 september (figur 6, tabell 20). Den 30 september spreds åter nötfastgödsel: 50 ton/ha med ett innehåll av 53 kg ammoniumkväve per ha. Detta måste ha varit huvudorsaken till att mineralkvävemängderna inom 200 cm djup steg från 50 kg den 1 september till 118 kg N/ha vid provtagningen den 11 april 1984. Ökad kväveminalisering efter vårrapsen kan också ha bidragit till detta. Betydande mängder nitratkväve anhopades under vinterhalvåret åtminstone ned till 200 cm djup (figur 6). Det uppkom således en påtagligt ökad kväveutlakningsrisk till följd av stallgödselspridningen tidigt på hösten.

År 1984 odlades korn, med insådd av luserngräsvall. Kornet utnyttjade uppenbarligen det nämnda, stora förrådet av nitratkväve väl. Mycket lite återstod vid provtagningen den 4 sep-



Figur 6. Mineralkväve (kg N/ha) inom 0-200 cm markdjup i odlingssystem II (ruta 2) under vårar och förhöstar 1979-84. Djupskalorna för 0-100 cm och 100-200 cm djup är olika.

Figure 6. Mineral nitrogen (kg N/ha) within 0-200 cm soil depth in cropping system II (plot 2) during springs and early autumns in 1979-84. Notice that the depth scales of 0-100 cm and 100-200 cm soil depths are different. Djup = depth, Lusernv. = grass-lucerne ley, Vårraps = summer rape, Korn + insädd = spring barley.

tember, utom under ca 150 cm djup (figur 6). Den något större mängd nitratkväve som då även fanns i matjorden (0-20 cm) torde främst ha uppkommit genom kvävemineralisering efter det att kornets kväuepptagning upphört. Under det efterföljande vinterhalvåret 1984/85 vaskades tydligen något mineraliserat kväve ned till åtminstone 100 cm djup. Under vållåren 1985-86 höll sig dock mineralkvävemängderna på en mycket låg nivå, med i storleksordningen bara 20-25 kg N/ha inom 200 cm djup (figur 6, tabell 20). Kväueutlakningsrisken måste ha varit mycket liten. Resultaten tyder på att den ogödslade luserngräsvallen 1979-82 och 1985-86 utnyttjade växttillgängligt kväue i marken väl. Det var under de båda åren med vårraps och korn som utlakningsriskerna blev större. Orsaken synes som nämnts främst ha varit stallgödselspridning tidigt på hösten.

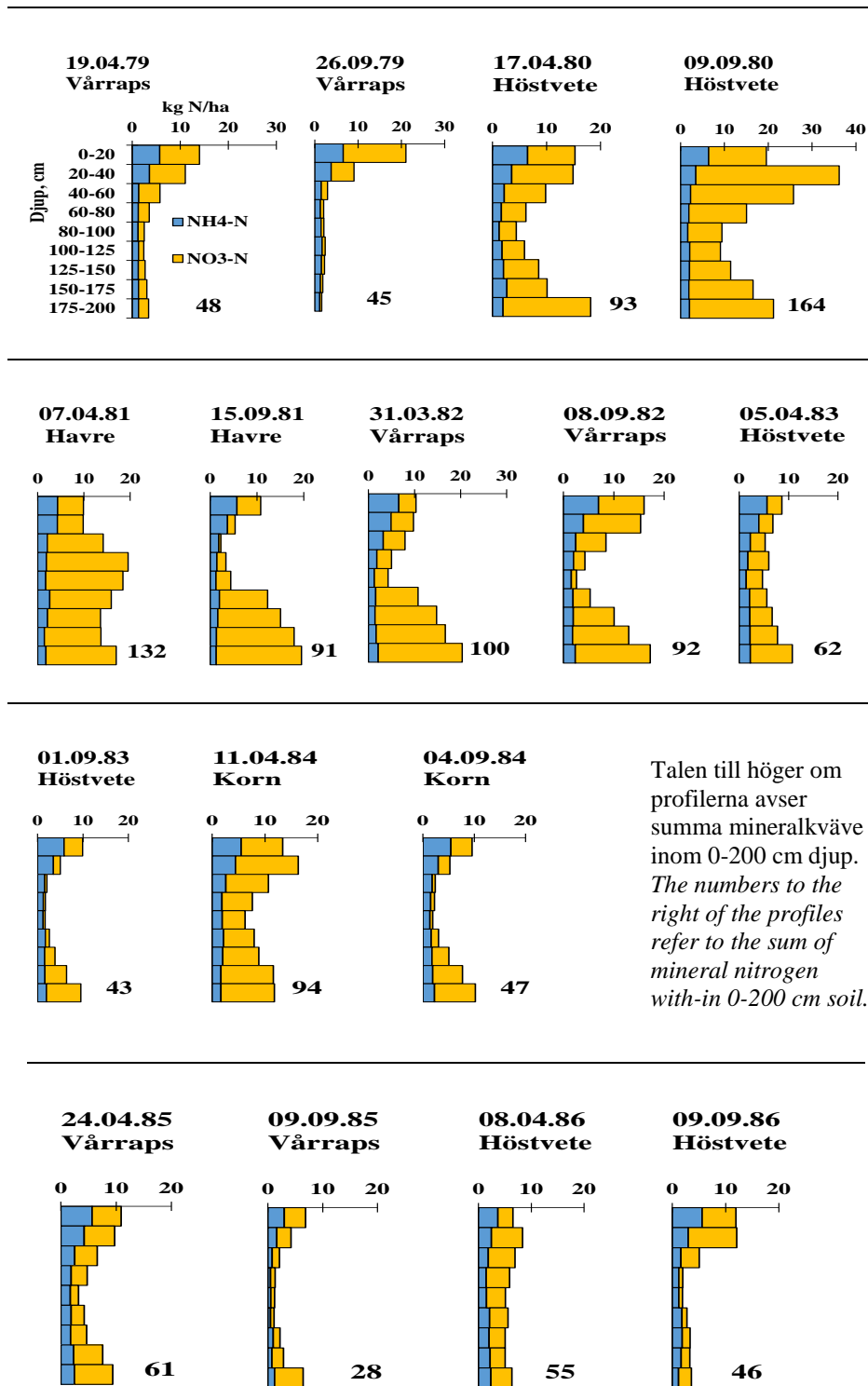
Mineralkväue 1979-86 i odlingsssystem III (avsaluqrödor, intensiv odling)

I hela försöket odlades som nämnts korn 1978. Denna gröda gödslades med 90 kg N/ha (tabell 2). I odlingsssystem III (ruta 3) ingick 1979-86 följande grödor (tabell 2): Vårraps 1979 (gödslat med 152 kg N/ha), höstvetete 1980 (146 kg N/ha), havre 1981 (99 kg N/ha), vårraps 1982 (147 kg N/ha), höstvetete 1983 (150 kg N/ha), korn 1984 (105 kg N/ha), vårraps 1985 (150 kg N/ha) och höstvetete 1986 (150 kg N/ha). Allt kväue gavs i form av kalksalpeter. Fosfor hade tillförts som förrådsgödsling med tomasfosfat (80 kg P/ha) under förberedelseåret 1977. Våren 1984 spreds 21 kg P/ha och 39 kg K/ha som PK 7-13. Under våren 1985 förrådsgödslades system III med 1200 kg PK 8-8 per ha, motsvarande 96 kg P/ha och 96 kg K/ha.

Mineralkväueförhållandena i odlingsssystem III har beskrivits ovan (figur 2 och 3) med avseende på de månadsvisa jordprovtagningarna till 100 cm djup. Därför görs här en mer sammanfattande beskrivning av mineralkväueförråden inom 0-200 cm djup.

I jämförelse med odlingsssystem I (öuervägande gräsvall åren 1979-86) och II (öuervägande luserngräsvall) fastställdes det påtagligt mer mineralkväue i marken i system III med avsaluqrödor och stark kväuegödsling (figur 7 och tabell 21). Visserligen fanns det relativt små mängder mineralkväue på våren 1979 och efter skörden av vårrapsen detta år, men under de tre åren därefter blev mineralkväueförråden anmärkningsvärt stora. Efter vårrapsen 1979 tycks kvävemineralisering under hösten och fram till april ha gett ett betydande kväuetillskott, som i form av nitratkväue vaskades ned ända till 200 cm djup, troligen ännu djupare. Höstvetete 1980, som ju tillfördes närmare 150 kg N/ha, kunde uppenbarligen inte tillgodogöra sig det stora samlade kväueutbudet, eftersom det efter skörden fastställdes så mycket som 164 kg mineralkväue per ha inom 200 cm. Orsaken synes även vara försämrat kväueutnyttjande p.g.a. ett starkt angrepp av brunfläcksjuka på vetete (se ovan). Höstvetes skörden 1980 blev dessutom nedsatt i detta odlingsssystem (tabell 11). Under vinterhalvåret 1980-81 tycks mycket mineralkväue ha gått förlorat, och betydligt mer nitratkväue (21 kg N/ha) än annars utlakades som nämnts detta år (tabell 14). De efterföljande grödorna 1981 (havre) och 1982 (vårraps) hade uppenbarligen svårigheter att utnyttja de stora mängderna mineralkväue under 100-125 cm djup. Detta ledde också till förluster. Sålunda minskade förrådet inom 200 cm djup från 92 kg N/ha hösten 1982 till 62 kg våren 1983 (figur 7, tabell 21).

Genom i de flesta fall mindre tillgång till öuervintrande mineralkväue tycktes dock grödorna 1983-86 kunna utnyttja det samlade kväueutbudet förhållandevis väl. Mineralkväueförråden minskade från vårarna till provtagningarna efter skörden tydligen ned till drygt en meters djup,



Talen till höger om profilerna avser summa mineralkväve inom 0-200 cm djup. The numbers to the right of the profiles refer to the sum of mineral nitrogen with-in 0-200 cm soil.

Figur 7. Mineralkväve (kg N/ha) inom 0-200 cm markdjup i odlingsystem III (ruta 3) under vårar och förhöstar 1979-84. Djupskalorna för 0-100 cm och 100-200 cm djup är olika.

Figure 7. Mineral nitrogen (kg N/ha) within 0-200 cm soil depth in cropping system III (plot 3) during springs and early autumns in 1979-84. Notice that the depth scales of 0-100 cm and 100-200 cm soil depths are different. Djup = depth, Vårraps = summer rape, Höstvete = winter wheat, Havre = oats, Korn = spring barley.

Tabell 21. Mineralkväve (kg N/ha) inom 0-100 och 100-200 cm markdjup under vårar och förhöstar 1979-86 i odlingssystem III och IV, med avsalugrödor.

Table 21. Mineral nitrogen (kg N/ha) within 0-100 and 100-200 cm soil depth during springs and early autumns in 1979-86 in cropping systems III and IV, with cash crops.

| Datum Date | System III, stark kvävegödsling System III, high nitrogen fertilisation rates | | | System IV, svag kvävegödsling System IV, low nitrogen fertilisation rates | | |
|---------------|--|---------|-------|--|---------|-------|
| | Markdjup, Soil depth, cm | | | | | |
| | 0-100 | 100-200 | 0-200 | 0-100 | 100-200 | 0-200 |
| | 1979: Vårraps <i>Summer rape</i> | | | | | |
| 19.04.79 | 37 | 12 | 48 | 35 | 9 | 45 |
| 26.09.79 | 37 | 8 | 45 | 24 | 6 | 30 |
| | 1980: Höstvetete <i>Winter wheat</i> | | | | | |
| 17.04.80 | 51 | 43 | 93 | 45 | 53 | 98 |
| 09.09.80 | 106 | 58 | 164 | 29 | 33 | 61 |
| | 1981: Havre <i>Oats</i> | | | | | |
| 07.04.81 | 72 | 60 | 132 | 39 | 25 | 64 |
| 15.09.81 | 26 | 65 | 91 | 20 | 22 | 42 |
| | 1982: Vårraps <i>Summer rape</i> | | | | | |
| 31.03.82 | 37 | 63 | 100 | 26 | 23 | 49 |
| 08.09.82 | 47 | 46 | 92 | 29 | 21 | 50 |
| | 1983: Höstvetete <i>Winter wheat</i> | | | | | |
| 05.04.83 | 31 | 31 | 62 | 24 | 14 | 37 |
| 01.09.83 | 20 | 22 | 43 | 22 | 14 | 36 |
| | 1984: Korn <i>Spring barley</i> | | | | | |
| 11.04.84 | 54 | 40 | 94 | 35 | 19 | 54 |
| 04.09.84 | 21 | 26 | 47 | 21 | 9 | 30 |
| | 1985: Vårraps <i>Summer rape</i> | | | | | |
| 24.04.85 | 35 | 26 | 61 | 26 | 10 | 36 |
| 09.09.85 | 16 | 13 | 28 | 13 | 8 | 24 |
| | 1986: Höstvetete <i>Winter wheat</i> | | | | | |
| 08.04.86 | 33 | 22 | 55 | 19 | 9 | 28 |
| 09.09.86 | 33 | 13 | 46 | 21 | 9 | 29 |

uppenbarligen genom grödornas kväveupptag (jmf. figur 2a-e och 3a-c). Ett typiskt skeende var sålunda, att nitratkvävet i det närmaste försvann i alven ned till drygt 100 cm djup. De något större mängderna i matjorden vid höstprovtagningarna tyder på tillskott genom kvävemineralisering efter det att grödornas kväveupptagning upphörde under sensommaren. Under de efterföljande vinterhalvåren t.o.m. 1986 ökade mineralkväveförråden igen, uppenbarligen genom fortsatta kvävemineraliseringstillskott.

År 1980-82 och 1984 var den samlade kvävetillgången i system III uppenbarligen mycket god eller alltför stor, sett mot bakgrund av den starka kvävegödslingen och de stora mineralkväveförråden på våren samt naturligtvis även genom kvävemineraliseringstillskott under växtsäsongen. Detta resulterade i att mer mineralkväve fanns kvar efter grödorna 1980-82 än annars (såsom förhöstarna 1977 och 1978, figur 4). Under växtsäsongerna 1980-82 föreföll också mineralkväve i djupare alvskikt att utnyttjas sämre än 1979 och under de efterföljande åren 1983, 1985 och 1986, då det fanns mindre mängder mineralkväve på våarna

(figur 7, tabell 21). Under de sistnämnda åren tycks även en del kväve under 100 cm djup ha tagits upp av grödorna. Dessa hade då troligen ett behov av kväve, som kunde tillgodoses genom det djupare belägna mineralkvävet. Dessa olika förhållanden tyder på att grödorna vid stort eller för stort kväveutbud i första hand tar upp kväve i matjorden och de övre delarna av alven. De utnyttjade resterna därunder medför sedan ökad kväveutlakningsrisk.

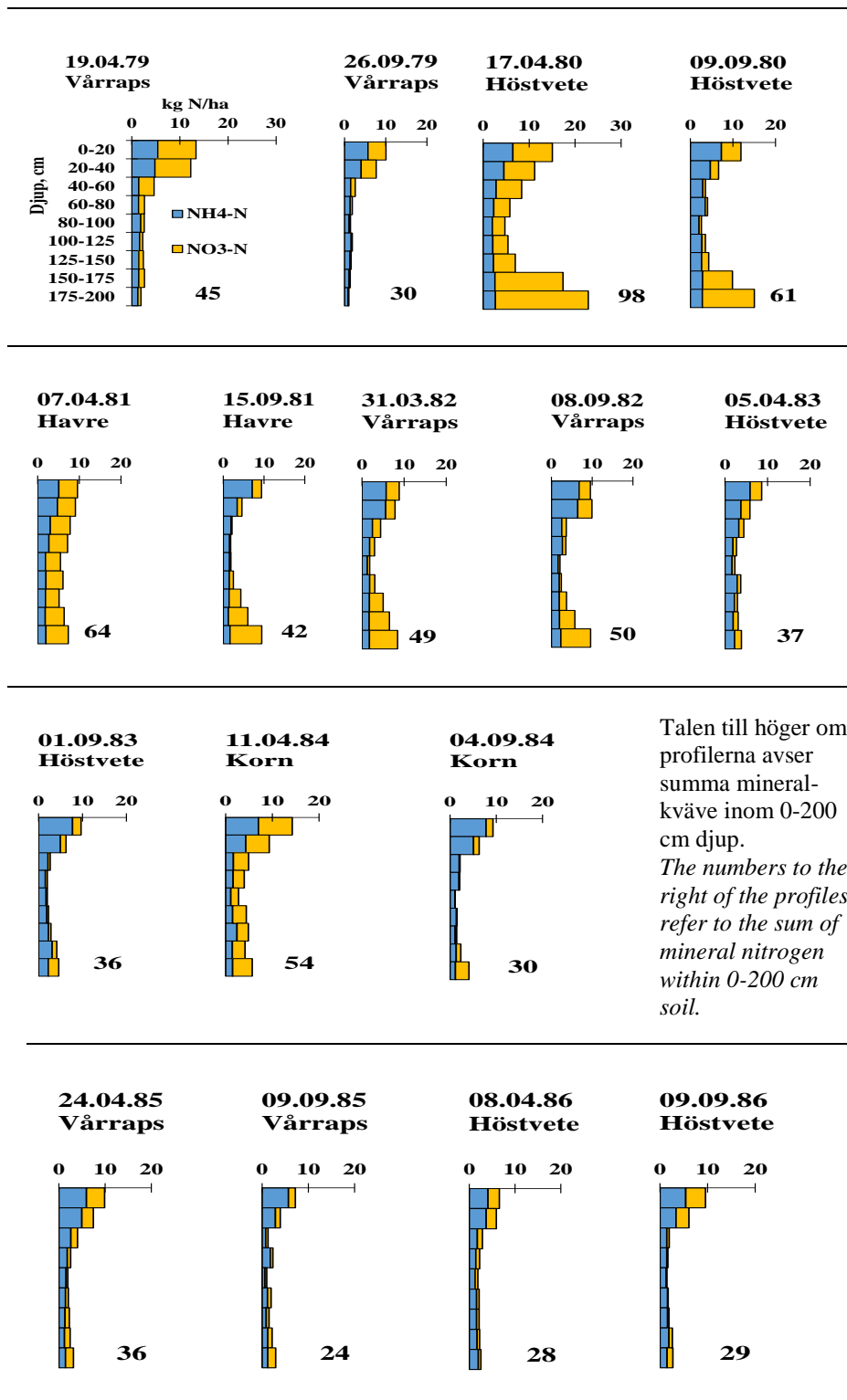
Man hade i praktiken kunnat förbättra utnyttjandet av både gödselkvävet och mineralkvävet i markprofilen genom att anpassa gödslingen till mängden mineralkväve på våren. Finns mycket kväve av detta slag på våren, kan gödslingen minskas. Sådan anpassning var målet med den s.k. N_{\min} -metoden (Scharpf, 1977), som under 1970-talet introducerades i Tyskland och i liknande former i andra länder (se avsnittet Inledning). Metoden prövades ju även i Sverige, främst under 1980-talet (t.ex. Mattsson & Andersson, 1984; Lindén, 1987). Dessa s.k. kväveprognoser krävde jordprovtagning och bestämning av mineralkväve i god tid före vårbruk och gödsling på våren. Med tiden föll dock denna arbetskrävande metod i glömska.

Mineralkväve 1979-86 i odlingssystem IV (avsalugrödor, extensiv odling)

Odlingssystem IV hade samma växtföljd som system III men med hälften så stora kvävegivor fr.o.m. 1979 (tabell 2): korn 1978 (gödslat med 90 kg N/ha), vårraps 1979 (73 kg N/ha), höstvetete 1980 (74 kg N/ha), havre 1981 (51 kg N/ha), vårraps 1982 (75 kg N/ha), höstvetete 1983 (75 kg N/ha), korn 1984 (54 kg N/ha), vårraps 1985 (75 kg N/ha) och höstvetete 1986 (75 kg N/ha). Allt gödselkväve spreds i form av kalksalpeter. Under förberedelseåret 1977 tillfördes fosfor med tomasfosfat (80 kg P/ha) som förrådsgödsling. Våren 1984 spreds 21 kg P/ha och 39 kg K/ha som PK 7-13. Våren 1985 förrådsgödslades system IV med 800 kg PK 8-8 per ha, motsvarande 64 kg P/ha och 64 kg K/ha.

Mineralkvävesituationen i odlingssystem IV (figur 8, tabell 21) utvecklades till att börja med på ett sätt som liknade förhållandena i system III (figur 7, tabell 21). Vid provtagningen på våren före sådd av vårraps 1979 och efter skörden av denna gröda fanns således bara måttliga mineralkväveförråd i bägge systemen. Under vinterhalvåret 1979-80 anhopades betydande mängder nitratkväve ned till 200 cm djup i både system III och IV. Den 17.04.1980 fastställdes 98 kg mineralkväve per ha inom 0-200 cm djup i system IV. Ökningen från höst till vår tyder på betydande kvävemineraliseringstillskott, som bl.a. torde ha orsakats av vårrapsen. Detta kan delvis jämföras med växtföljdsförsök redovisade av Engström (2010), där det efter höstraps konstaterades mer mineralkväve under senhösten och våren därpå samt större kvävemineralisering under den följande växtsäsongen än efter havre. Orsaken synes bl.a. vara kortare kväveimmobiliseringsperiod vid nedbrytning av halmen efter höstraps än efter havre (Engström, 2010). Det kan dock inte uteslutas, att det rådde särskilt gynnsamma mineraliseringsförhållanden hösten 1979, eftersom stora ökningar av mineralkväveförråden fram till våren 1980 även konstaterades i odlingssystem V, VI och VII.

Den ökande kvävemineraliseringen efter vårrapsen torde främst ha ägt rum under hösten, eftersom den efterföljande vintern blev kall (tabell 9). Låg temperatur med tjäle under tiden december 1979 – mars 1980 (med i medeltal minusgrader hela perioden), liten avrinning vintertid (tabell 13, figur 1a) och därmed ringa eller måttlig kväveutlakning (tabell 14) kan vidare ha medfört att nitratkvävet i hög grad hölls kvar inom markprofilen (0-200 cm) fram till vårprovtagningen den 17.04.1980 (figur 8). Likväl tyder den stora anhopningen av nitratkväve på 150-200 cm djup vid detta tillfälle på stor risk för kväveförluster genom fortsatt nedvaskning till ännu djupare jordlager.



Figur 8. Mineralkväve (kg N/ha) inom 0-200 cm markdjup i odlingssystem IV (ruta 4) under vårar och förhöstar 1979-84. Djupskalorna för 0-100 cm och 100-200 cm djup är olika.
 Figure 8. Mineral nitrogen (kg N/ha) within 0-200 cm soil depth in cropping system IV (plot 4) during springs and early autumns in 1979-84. Notice that the depth scales of 0-100 cm and 100-200 cm soil depths are different. Djup = depth, Vårraps = summer rape, Höstvet = winter wheat, Havre = oats, Korn = spring barley.

Under växtsäsongen 1980, då höstvetet odlades efter vårrapsen i odlingssystem III och IV, utnyttjades nitratkvävet dåligt under 100 cm djup av vetet. Detta gällde främst system III (figur 7). I system IV (figur 8) kunde man ha förväntat, att höstvetet till följd av mindre kvävegödsling skulle ha tagit upp mer mineralkväve än som blev fallet. Vetets rötter nådde troligen inte tillräckligt långt ned för att kunna tömma marken effektivt på nitratkväve under ca 1,5 m djup. Det dröjde ända fram vinterhalvåret 1982-83, innan nitratkvävet i dessa skikt helt "försvann" (figur 8), troligen i hög grad till följd av förluster till grundvattnet.

År 1982 och 1985 odlades åter vårraps i både system III och IV, men några stora ökningsar av mineralkväveförråden under vinterhalvåret liknande dem 1979-80 kunde inte fastställas såväl 1982-83 som 1985-86.

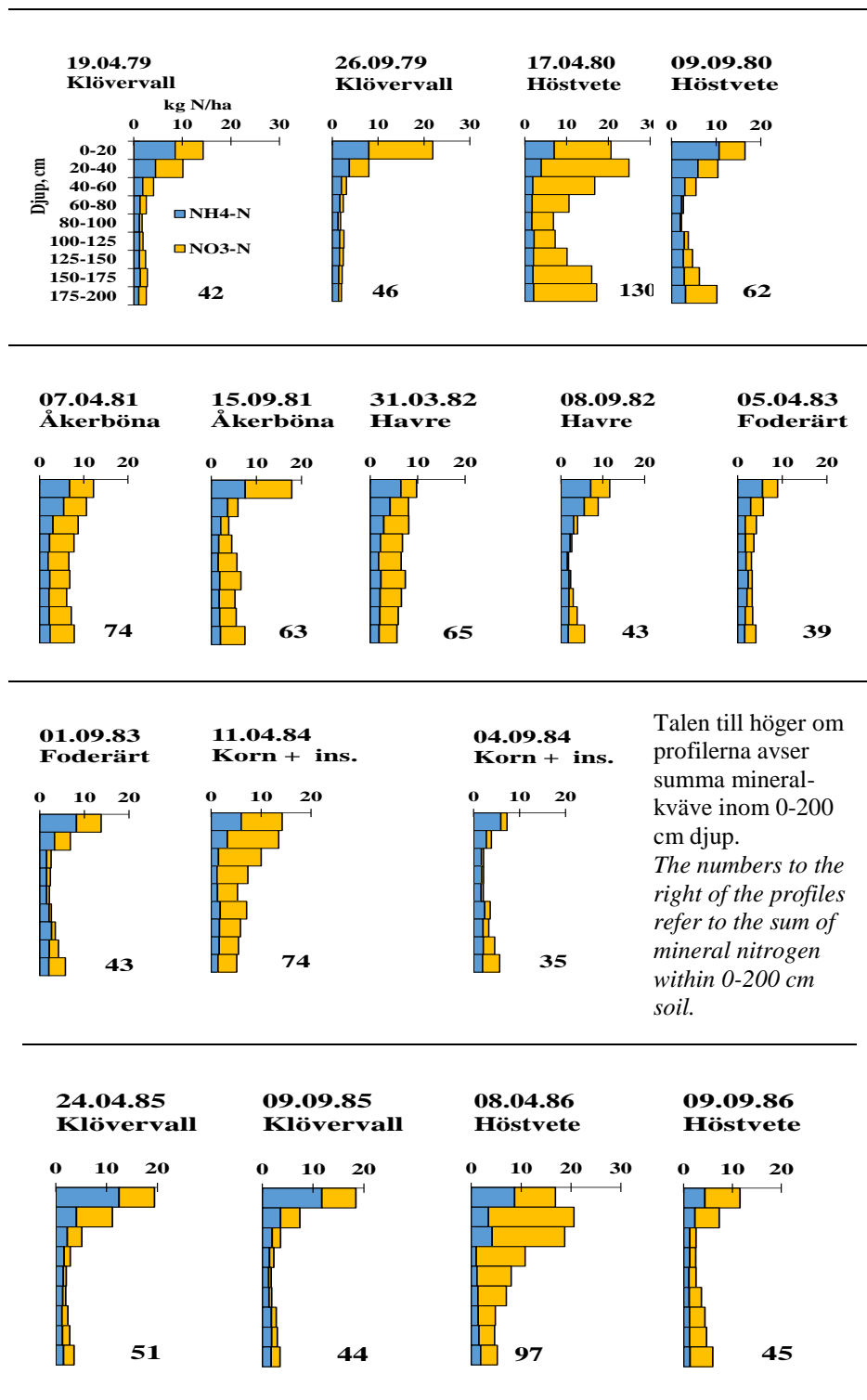
Under åren 1980-85 fanns det i system IV i allmänhet något mindre mineralkväve vid provtagningarna efter skörd än på våarna. Detta typiska skeende har beskrivits ovan, t.ex. utvecklingen 1977 och 1978 (figur 4). Förhållandet torde som nämnts bero på att kväve, som främst under vinterhalvåret vaskats ned till rotdjup i alven tas tillvara av grödorna vid måttlig eller liten kvävetillgång.

Under åren fr.o.m. provtagningen den 9 september 1980 t.o.m. provtagningen den 9 september 1986 fanns det varje år betydligt mindre mineralkvävemängder i odlingssystem IV än i system III (figur 7 och 8, tabell 21). Särskilt 1985 och 1986 blev nitratkvävemängderna mycket små i system IV. De med åren generellt minskande mineralkväveförråden tyder på att grödorna i odlingssystem IV utnyttjade det tillgängliga kvävet (mineralkväve, gödselkväve och kvävemineriseringstillskott) väl i jämförelse med system III. Orsaken måste vara den mindre och troligen ekonomiskt underoptimala kvävegödslingen i system IV. Detta minskade kväveutlakningsrisken i jämförelse med system III.

Mineralkväve 1979-86 i odlingssystem V ("alternativ" odling)

Efter korn med insådd 1978 ingick i detta odlingssystem 1979-84 en växtföljd som innefattade klövergräsvall (med rödklöver), höstvetet, åkerbönor, havre, foderärter och korn med insådd, varefter ett nytt växtföljdsomlopp påbörjades med klövergräsvall 1985 och höstvetet 1986 (tabell 2 och 22). Inget kväve spreds i form av handelsgödsel. Genom att klövergräsvallarna inte tillfördes något gödselkväve, dominerades de helt av rödklövern. Under förberedelseåret 1977 spreds tomasfosfat innehållande 80 kg P/ha som förrådsgödsling, liksom i övriga system (se ovan). Vidare tillfördes hela försöket PK 7-13 i mängder motsvarande 21 kg P/ha och 39 kg K/ha i april 1984. I system V spreds 800 kg PK 5-16 per ha (40 kg P/ha och 128 kg K/ha) i maj 1985. Nötfastgödsel tillfördes i samband med vallbrott i början av september 1979 (innehållande 39 kg NH₄-N/ha), i slutet av september 1983 (35 kg NH₄-N/ha) efter ärter samt i början av september 1985 (36 kg NH₄-N/ha) i samband med vallbrott (tabell 3).

Klövergräsvallen 1979 skördades två gånger. Då den utgjordes av rödklöver till 98-99 %, benämns den fortsättningsvis "klövervall", så även i figur 9 och tabell 22. Mängderna mineralkväve inom 0-200 cm djup under våren (19/4) och hösten (26/9) detta år blev ganska små (figur 9 och tabell 22). De var mycket små i alven ända ned till 200 cm. En orsak kan vara att rötterna tog upp kväve även på stort djup. Däremot fanns det en tendens till mer mineralkväve i matjorden på hösten 1979, antagligen som en följd av spridningen av fastnötgödsel



Figur 9. Mineralkväve (kg N/ha) inom 0-200 cm markdjup i odlingssystem V (ruta 5) 1979-84. Djupskalorna för 0-100 cm och 100-200 cm djup är olika. "Klövervall" avser klövergräsvall.

Figure 9. Mineral nitrogen (kg N/ha) within 0-200 cm soil depth in cropping system V (plot 5) in 1979-84. Notice that the depth scales of 0-100 cm and 100-200 cm soil depths are different. Djup = depth, Klövervall = grass-clover ley, Höstvete = winter wheat, Åkerböna = broad bean, Havre = oats, Foderärt = peas, Korn + ins. = spring barley, undersown.

Tabell 22. Mineralkväve (kg N/ha) inom 0-100 och 100-200 cm markdjup under vårar och förhöstar 1979-86 i odlingssystem V, med "alternativ" odling.

Table 22. Mineral nitrogen (kg N/ha) within 0-100 and 100-200 cm soil depth during springs and early autumns in 1979-86 in cropping system V, with organic farming.

| Datum <i>Date</i> | Markdjup, <i>Soil depth</i> , cm | | |
|----------------------|---|---------|-------|
| | 0-100 | 100-200 | 0-200 |
| | 1979: Klövervall <i>Clover ley</i> | | |
| 19.04.79 | 32 | 10 | 42 |
| 26.09.79 | 37 | 9 | 46 |
| | 1980: Höstvetete <i>Winter wheat</i> | | |
| 17.04.80 | 80 | 51 | 130 |
| 09.09.80 | 37 | 25 | 62 |
| | 1981: Åkerbönor, <i>Broad beans</i> | | |
| 07.04.81 | 46 | 28 | 74 |
| 15.09.81 | 38 | 25 | 63 |
| | 1982: Havre <i>Oats</i> | | |
| 31.03.82 | 39 | 25 | 65 |
| 08.09.82 | 29 | 15 | 43 |
| | 1983: Foderärter <i>Peas</i> | | |
| 05.04.83 | 26 | 14 | 39 |
| 01.09.83 | 28 | 16 | 43 |
| | 1984: Korn + insådd <i>Spring barley, undersown</i> | | |
| 11.04.84 | 50 | 24 | 74 |
| 04.09.84 | 17 | 17 | 35 |
| | 1985: Klövervall <i>Clover ley</i> | | |
| 24.04.85 | 40 | 11 | 51 |
| 09.09.85 | 33 | 11 | 44 |
| | 1986: Höstvetete <i>Winter wheat</i> | | |
| 08.04.86 | 75 | 22 | 97 |
| 09.09.86 | 26 | 19 | 45 |

i början av september och möjligen redan ökad kväveminerisering genom vallbrott. Vallen plöjdes den 10 september, varefter höstvetete såddes den 4 oktober.

Fram till vårprovtagningen den 17.04.1980 tilltog mängden nitratkväve kraftigt, varav en stor del hade vaskats ända ned till 200 cm eller rentav ännu djupare. Så mycket som 130 kg mineralkväve per ha fastställdes ned till detta djup (figur 9, tabell 22). Troligen gav nedplöjningen av klövervallen på hösten upphov till starkt ökad kväveminerisering och därmed stigande kväveutlakningsrisk

Härtill kan det liksom i odlingssystem III och IV ha uppkommit ett generellt, större kvävemineriseringsstillskott genom gynnsamt väder under hösten 1979. Höstvetete 1980, som ju inte tillfördes något gödselkväve på våren, syntes utnyttja det övervintrande mineralkväveförrådet väl, dock ganska ofullständigt under ca 150 cm djup (figur 9).

Under vinterhalvåret 1980-81 uppkom återigen anhopning av mineraliserat kväve och nedvaskning av bildat nitrat ned under dräneringsdjup, dock i mindre utsträckning än efter vallbrottet 1979. År 1981 odlades åkerbönor. Man kunde ha förväntat tydligt ökade mineralkvävemängder på hösten efter denna gröda, liksom efter ärter (Engström, 2010), men detta var inte fallet vid provtagningen den 15 september. Åkerbönor är ju en sent mognande gröda, vilket innebär att nedbrytningen av växtresterna kommer igång relativt sent. Mängderna nitratkväve centralt i alven och i viss mån även ned under dräneringsdjup var emellertid större än efter höstvetet året innan (figur 9). Detta tyder på att åkerbönona inte tog tillvara utlakningsbart kväve i alven lika bra som höstvetet. Detta kan i sin tur tänkas ha att göra med att åkerbönona försörjde sig tillräckligt väl med kväve genom sin kvävefixerande förmåga.

Fram till den 31 mars 1982 ökade nitratkvävemängderna obetydligt. Havren detta år tycktes till skillnad från åkerbönona närmast ”tömma” markprofilen på nitratkväve. Det fanns bara små mineralkväverester efter havren i september 1982 (29 kg N/ha inom 0-100 cm och 43 kg N/ha inom 0-200 cm djup), se figur 9 och tabell 22. Våren 1983, alltså året efter havren, fastställdes endast 39 kg mineralkväve inom 0-200 cm djup. Detta kan jämföras med 65 kg N/ha på våren 1982 efter åkerbönona. En del av mermängden ($65 - 39 = 26$ kg/ha) på våren efter åkerbönona kan sägas ingå i den förbättrade kväveeffterverkan som denna baljväxtgröda måste ha haft i jämförelse med havre som förfrukt. Detta kan jämföras med att Nyberg & Lindén (2008) i sju fältförsök fastställde en kväveeffterverkan av åkerbönor, som i medeltal blev 20 kg N/ha större än med havre som förfrukt. Merparten av effekten berodde på mer mineralkväve i marken på våren efter åkerbönor än efter havre. Inverkan av åkerbönona på kvävemineraliseringen under själva växtsäsongen under efterverkansåret var liten i dessa sju försök (Nyberg & Lindén, 2008).

År 1983 odlades ju foderärter. Vid provtagningen efter denna gröda (den 1/9) fastställdes endast 39 kg mineralkväve inom 0-200 cm djup. Någon ökad kvävemineralisering efter ärtorna hade således ännu inte kommit igång, vilket kunde ha förväntats (Engström, 2010). Denna frigörelse startade uppenbarligen senare, och på våren 1984 fastställdes 74 kg mineralkväve per ha inom 0-200 cm (50 kg inom 0-100 cm). Ökade nitratkvävemängder konstaterades i hela markprofilen. Tillskottet av kväve bör dock ha påverkats av att nötfastgödsel innehållande 35 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ per ha tillfördes den 30.09.1983.

Liksom de tidigare stråsådesgrödorna i odlingsystem V ”tömde” kornet 1984 (med insådd) markprofilen väl på kväve, och vid provtagningen den 1 september fanns det bara 17 kg mineralkväve per ha inom 100 cm djup och 35 kg inom 200 cm (figur 9 och tabell 22). Om man förmodar, att minskningen från 74 kg N/ha på våren till 35 kg N/ha den 1/9 nästan helt berodde på kornets kväveupptagning, och samtidigt antar att ingen kväveutlakning (jmf. tabell 14) och inga andra förluster ägde rum under växtsäsongen 1984, skulle enbart det övervintrande mineralkvävet ha gett ett kvävetillskott till kornet på närmare 40 kg N/ha. Härtill kommer inverkan på kvävemineraliseringen under kornets växtperiod, som här inte kan anges. Både stallgödseltillförseln hösten 1983 och ärtornas kväveeffterverkan bör ha bidragit till kväveeffekten. Engström (2010) fann en efterverkan av ärter på i medeltal 21 kg N/ha vid odling av höstvetet som eftergröda, vilket avsåg den mermängd kväve som vetet tagit upp efter ärter i jämförelse med havre. Lindén (1987) angav vid odling av vårsäd en efterverkan av foderärter på i medeltal 25 kg N/ha mer än efter havre.

År 1985 utgjordes grödan av klövervall, som plöjdes upp den 17/9. Nötfastgödsel tillfördes den 4/9 (tabell 3). Denna myllades ned i samband med stubbearbetning samma dag. Provtagning för mineralkvävebestämning utfördes den 9/9, då 44 kg N/ha fastställdes inom 0-200 cm djup. Sedan ökade mineralmängderna inom detta djup till 97 kg/ha i april 1986 (figur 9 och tabell 22). Liksom efter vallbrottet på 1979 års klövervall tyder denna ökning (+53 kg N/ha) på att kvävemineraliseringen under vinterhalvåret kan ha blivit större än efter åkerböborna 1981 och ärterna 1983. Stallgödseltillförseln i september (före jordprovtagningen) bör dock ha bidragit till detta kvävetillskott genom ökad kvävemineralisering.

Höstvetet 1986 tycktes utnyttja mineralkvävet väl, utom under ca 125 cm djup. Vid provtagningen den 9/9 fastställdes en rest på 45 kg N/ha inom 0-200 cm. Om man förmodar, att förändringen från 97 kg N/ha på våren till 45 kg N/ha den 9/9 nästan helt berodde på höstvetets kväveupptagning och att föga kväve mineraliserats från avslutad kväveupptagning hos vetet till provtagningen den 9/9 samt också antar att en högst obetydlig kväveutlakning (jmf. tabell 14) och inga andra förluster ägde rum under växtsäsongen 1986, skulle enbart det övervintrande mineralkvävet ha gett ett kvävetillskott till vetet på omkring 50 kg N/ha.

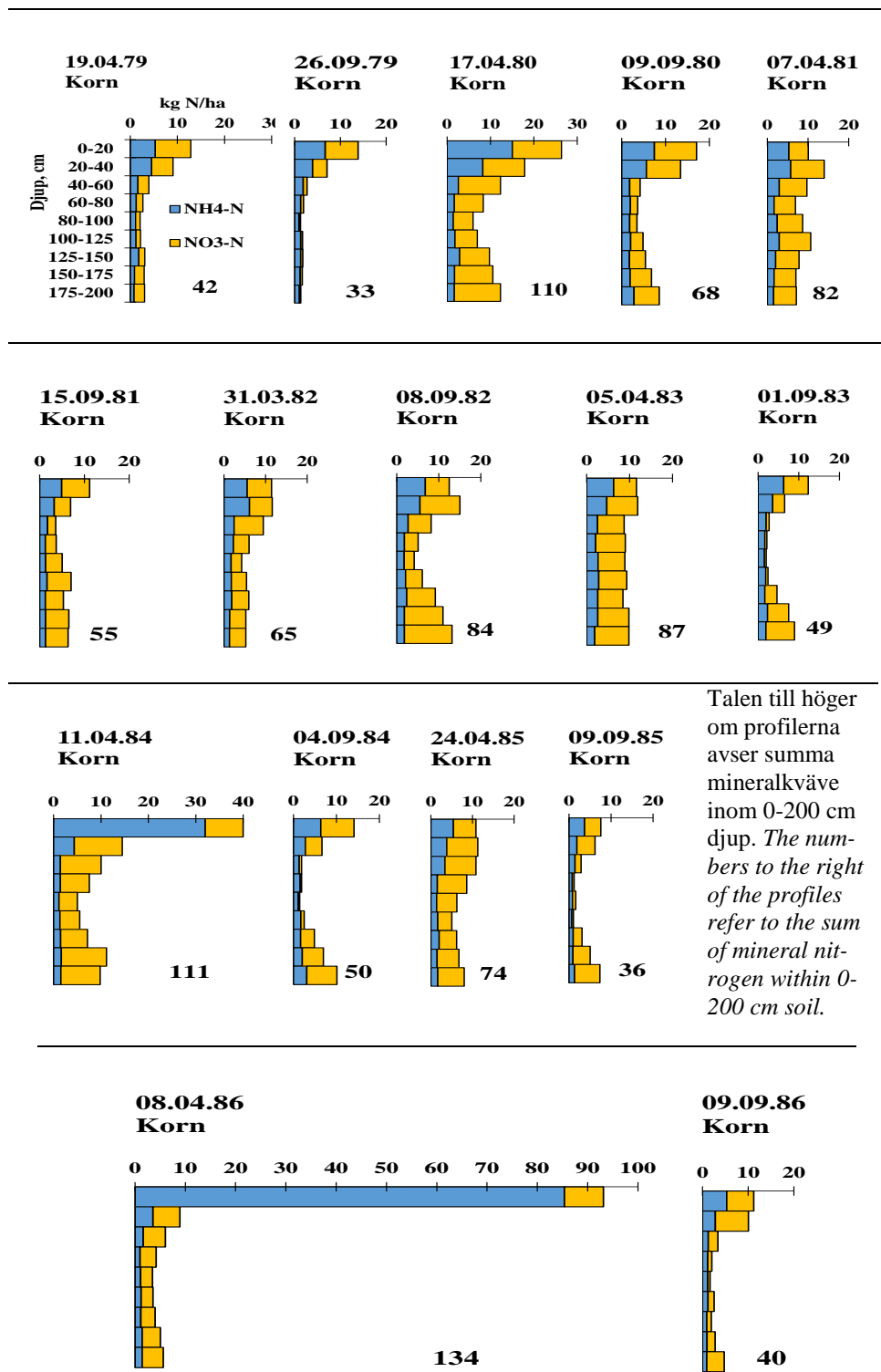
I detta ”alternativa” odlingssystem tog man med tillförseln av fastnötgödsel (på hösten) och odlingen av leguminosor varantant år (rödklöver, åkerbönor och foderärter) sikte på att försörja de mellanliggande stråsädesgrödorna med kväve. Denna strategi innebar dock risker för kväveförluster. Under vinterhalvåret efter dessa leguminosor uppkom större ökning av mineralkväveförråden i markprofilen, i vissa fall ned till det största provtagningsdjupet (200 cm). Detta tillsammans med tillförseln av nötfastgödsel i september måste ha ökat kväveutlakningsrisken. Höstvetet, som såddes 1979 och 1985 efter klövervallarna, torde med sin begränsade kväveupptagningsförmåga på hösten (jmf. Lindén et al., 2000) uppenbarligen inte ha motverkat risken för kväveförluster effektivt under hösten och vintern.

Mineralkväve 1979-86 i växtföljd VI (monokultur, svinproduktion)

I system VI odlades ju korn alla år. I maj tillfördes denna gröda kväve i form av kalksalpeter: 107 kg N/ha år 1979, 55 kg/ha 1980, 99 kg/ha 1981, 50 kg/ha 1982, 100 kg/ha 1983, 54 kg/ha 1984, 100 kg/ha 1985 och 50 kg/ha 1986 (tabell 2). Under de år då ungefär 50 kg N/ha gavs i form av kalksalpeter hade svinflytgödsel tillförts dessförinnan. Inför 1980 spreds sålunda en flytgödselmängd innehållande 133 kg NH₄-N per ha den 11 oktober 1979, och inför 1982 en giva motsvarande 102 NH₄-N per ha den 30 september 1981 (tabell 3). År 1984 skedde en övergång till spridning av svinflytgödseln på våren, med en giva innehållande 56 kg NH₄-N per ha den 22 mars detta år. Den 18 mars 1986 tillfördes 50 kg NH₄-N per ha i form av flytgödsel. Liksom i de övriga systemen spreds 80 kg P/ha som tomasfosfat 1977. År 1984 tillfördes 21 kg P/ha och 39 kg K/ha i form av PK 7-13.

Mineralkväveförhållandena i odlingssystem VI har beskrivits ovan (figur 2 och 3) med avseende på de månadsvisa jordprovtagningarna till 100 cm djup. Därför görs här en mer kortfattad beskrivning av mineralkväveförekomsten inom 0-200 cm djup 1979-86.

Efter kornet 1979 visade sig mineralkvävemängderna vara små vid provtagningen på hösten (den 26 september): 33 kg N/ha inom 0-200 cm djup (figur 10, tabell 23). Den 11/10 tillfördes 42 ton svinflytgödsel per ha (se ovan). Vid provtagningen den 17.04.1980 fanns 110 kg mineralkväve per ha inom 0-200 cm. Det stora tillskottet av mineralkväve från höst



Talen till höger om profilerna avser summa mineralkväve inom 0-200 cm djup. The numbers to the right of the profiles refer to the sum of mineral nitrogen within 0-200 cm soil.

Figur 10. Mineralkväve (kg N/ha) inom 0-200 cm markdjup i odlingsystem VI (ruta 6) 1979-85. Djupskalorna för 0-100 cm och 100-200 cm djup är olika.

Figure 10. Mineral nitrogen (kg N/ha) within 0-200 cm soil depth in cropping system VI (plot 6) in 1979-85. Notice that the depth scales of 0-100 cm and 100-200 cm soil depths are different. Djup = depth, Korn = spring barley.

Tabell 23. Mineralkväve (kg N/ha) inom 0-100 och 100-200 cm markdjup under vårar och förhöstar 1979-86 i odlingssystem VI och VII, med kornmonokulturer.

Table 23. Mineral nitrogen (kg N/ha) within 0-100 and 100-200 cm soil depth during springs and early autumns in 1979-86 in cropping systems VI and VII, with barley monocultures.

| Datum <i>Date</i> | System VI, svinproduktion <i>System VI, pig production</i> | | | System VII, utan djur <i>System VII, without animal production</i> | | |
|----------------------|---|----|-----|---|---------|-------|
| | Markdjup, <i>Soil depth</i> , cm | | | 0-100 | 100-200 | 0-200 |
| | 1979: Korn <i>Spring barley</i> | | | | | |
| 19.04.79 | 31 | 11 | 42 | 51 | 38 | 89 |
| 26.09.79 | 27 | 6 | 33 | 34 | 8 | 42 |
| | 1980: Korn <i>Spring barley</i> | | | | | |
| 17.04.80 | 71 | 41 | 110 | 45 | 35 | 79 |
| 09.09.80 | 42 | 26 | 68 | 57 | 40 | 97 |
| | 1981: Korn <i>Spring barley</i> | | | | | |
| 07.04.81 | 49 | 33 | 82 | 46 | 26 | 72 |
| 15.09.81 | 30 | 25 | 55 | 41 | 41 | 82 |
| | 1982: Korn <i>Spring barley</i> | | | | | |
| 31.03.82 | 43 | 22 | 65 | 44 | 24 | 68 |
| 08.09.82 | 45 | 40 | 84 | 46 | 39 | 85 |
| | 1983: Korn <i>Spring barley</i> | | | | | |
| 05.04.83 | 50 | 37 | 87 | 47 | 33 | 80 |
| 01.09.83 | 26 | 23 | 49 | 34 | 44 | 78 |
| | 1984: Korn <i>Spring barley</i> | | | | | |
| 11.04.84 | 77 | 34 | 111 | 55 | 40 | 95 |
| 04.09.84 | 26 | 24 | 50 | 27 | 24 | 51 |
| | 1985: Korn <i>Spring barley</i> | | | | | |
| 24.04.85 | 48 | 26 | 74 | 42 | 25 | 67 |
| 09.09.85 | 19 | 16 | 36 | 16 | 17 | 33 |
| | 1986: Korn <i>Spring barley</i> | | | | | |
| 08.04.86 | 116 | 18 | 134 | 30 | 20 | 49 |
| 09.09.86 | 28 | 12 | 40 | 26 | 15 | 41 |

till vår torde bero på både flytgödseln och gynnsamma kvävemineraliseringsförhållanden, särskilt under hösten 1979. I de ovan redovisade odlingssystemen III, IV och V uppkom som nämnts likaså stora anhopningar av mineraliserat kväve under vinterhalvåret 1979-80, vilket också tyder på särskilt goda kvävemineraliseringsbetingelser hösten 1979.

Ammoniumkvävet i flytgödseln torde huvudsakligen ha nitrifierats redan på hösten 1979. Att omfattande och närmast fullständig nitrifikation av ammoniumkväve i flytgödsel hinner äga rum före vinterns ankomst efter tillförsel relativt tidigt under hösten framgår av både fältförsök (Torstensson et al., 1992) och inkubationsstudier under fältförhållanden (Lindén et al., 2003). De nämnda speciella kvävemineraliseringsförhållandena och flytgödseltillförseln bidrog uppenbarligen till bildning av stora mängder nitratkväve, som under loppet av vinterhalvåret vaskades ned och fördelades ned till åtminstone 200 cm djup (figur 10). Märkligt nog påverkades inte kväveutlakningen under vinterhalvåret tydligt av dessa förhållanden

(tabell 14). Orsaken torde vara en lång och kall vinter med liten avrinning (tabell 13, figur 1a).

De stora mängderna nitratkväve under ca 125 cm djup på våren 1980 utnyttjades uppenbarligen ofullständigt av korngrödan detta år, och mycket fanns kvar i september. Den 30 september 1981 tillfördes åter svinflytgödsel (motsvarande 102 kg NH₄-N per ha). Tydligt ökade mineralkvävemängder kunde dock inte fastställas under våren därefter (provtagning den 31.03.1982). Det är svårt att finna någon god förklaring till detta.

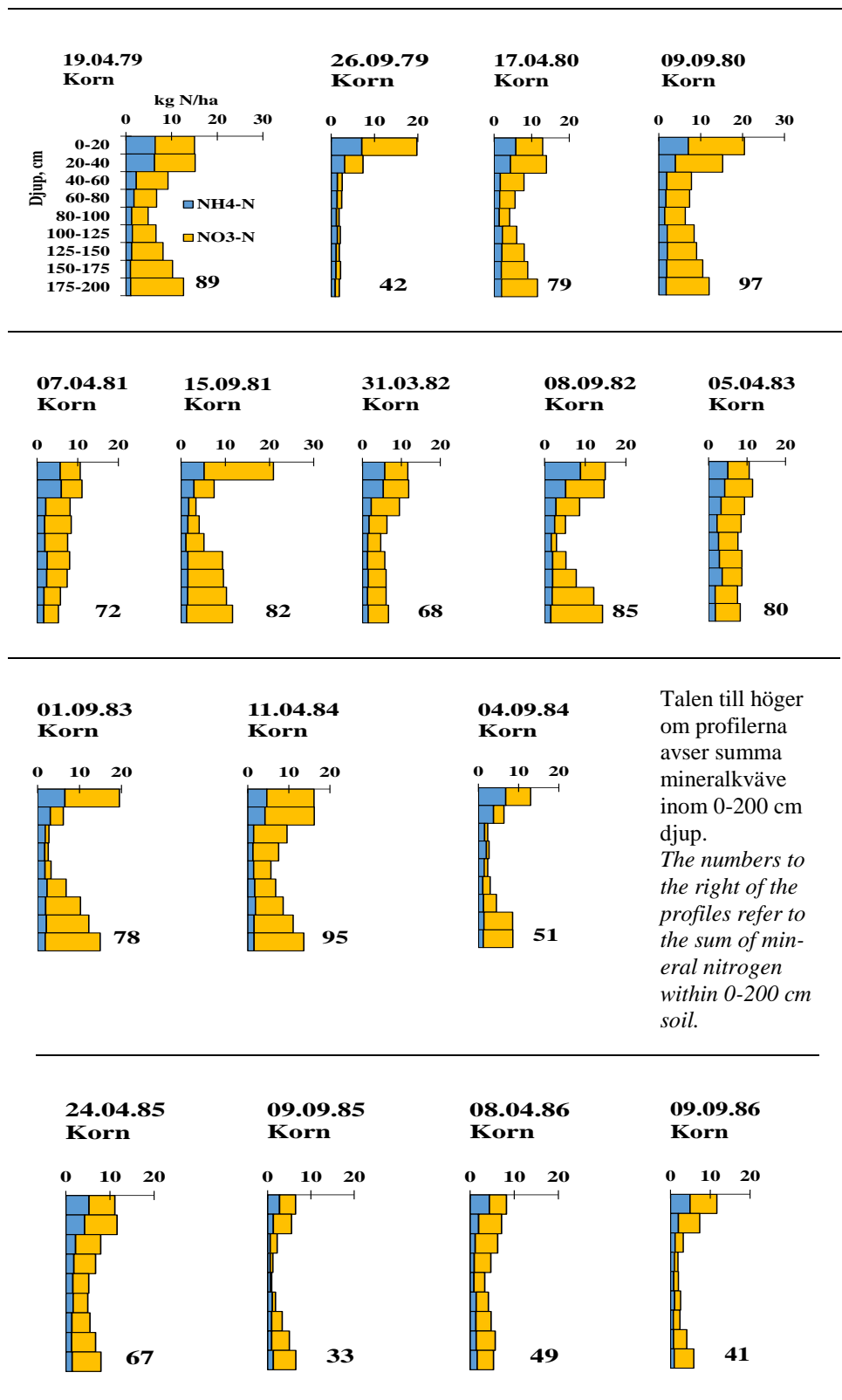
I jämförelse med system IV (med svag kvävegödsling) visade det sig från 1980 och fram till 1985 finnas ökade mängder nitratkväve under både vårar och höstar i större delen av markprofilen, bl.a. under ca 150 cm djup. Visserligen tycktes nitratkväve utnyttjas ganska effektivt av kornet ned till drygt en meters djup, men den totalt tillförda mängden gödselkväve torde ha varit alltför stor för denna gröda. Detta torde ha påverkat kväveutlakningen (se tabell 14 och nedan). Med åren tilltagande kväveminalisering genom återkommande flytgödseltillförsel kan vidare ha bidragit till stigande kvävetillgång för kornet och till ökade mineralkvävemängder under både sommar- och vinterhalvåret.

Fr.o.m. 1984 spreds svinflytgödseln tidigt på våren (i mars före vårbruket) och i betydligt mindre mängder än tidigare (tabell 3). Flytgödselspridningarna medförde förhöjda ammoniumkvävemängder i matjordslagret vid jordprovtagningarna den 11 april 1984 och 8 april 1986 (figur 10). Dessa vårspridningar (med ca 50 kg NH₄-N per ha) i kombination med den halverade givan kalksalpeter (ca 50 kg N/ha, tabell 3) under de båda vårarna med flytgödseltillförsel tycktes bidra till att förbättra kväveutnyttjandet. Detta framgår av en tendens till minskande mineralkvävemängder vid septemberprovtagningarna 1984, 1985 och 1986 (figur 10, tabell 23). Nitratkvävefördelningen i markprofilen i september började sakta likna förhållandet 1979 (dvs. före den första höstspidningen av flytgödsel), då det fanns mycket lite nitratkväve bl.a. i markprofilens djupare delar.

Mineralkväve 1979-86 i växtföljd VII (monokultur, utan djurhållning)

Liksom i odlingssystem VI odlades enbart korn i system VII. Kväve tillfördes i maj genom övergödsling med kalksalpeter i förhållandevis stora mängder: 122 kg N/ha 1979, 123 kg/ha 1980, 114 kg/ha 1981, 113 kg/ha 1982, 120 kg/ha 1983, 127 kg/ha 1984, 120 kg/ha 1985 och 120 kg/ha 1986. Liksom i de övriga systemen spreds 80 kg P/ha i form av tomasfosfat under förberedelseåret 1977. År 1984 tillfördes PK 7-13 i en mängd motsvarande 21 kg P/ha och 39 kg K/ha i system VII. Året därpå spreds återigen PK 7-13, denna gång som förråds-gödsling innehållande 77 kg P/ha och 143 kg K/ha.

Liksom i de övriga systemen fastställdes bara små mängder mineralkväve (42 kg N/ha, 0-200 cm) vid provtagningen den 26/9 efter kornet 1979 (figur 11, tabell 23), trots en kvävegiva på 122 kg N/ha till grödan i detta odlingssystem. I likhet med de andra systemen med ettåriga grödor (III-VI) samma år, ägde betydande tillskott av nitratkväve rum från denna höstprovtagning till vårprovtagningen den 17.04.1980. Då fanns det 79 kg mineralkväve per ha inom 0-200 cm djup. Det är även här troligt, att kväveminaliseringen gynnats av väderleken under hösten och att den kalla och nederbördsfattiga vintern (tabell 9 och 10) medförde små förluster av det bildade kvävet (jmf. tabell 13 och 14, figur 1a).



Figur 11. Mineralkväve (kg N/ha) inom 0-200 cm markdjup i odlingsystem VII (ruta 7) 1979-84. Djupskalorna för 0-100 cm och 100-200 cm djup är olika.

Figure 11. Mineral nitrogen (kg N/ha) within 0-200 cm soil depth in cropping system VII (plot 7) in 1979-84. Notice that the depth scales of 0-100 cm and 100-200 cm soil depths are different. Djup = depth, Korn = spring barley.

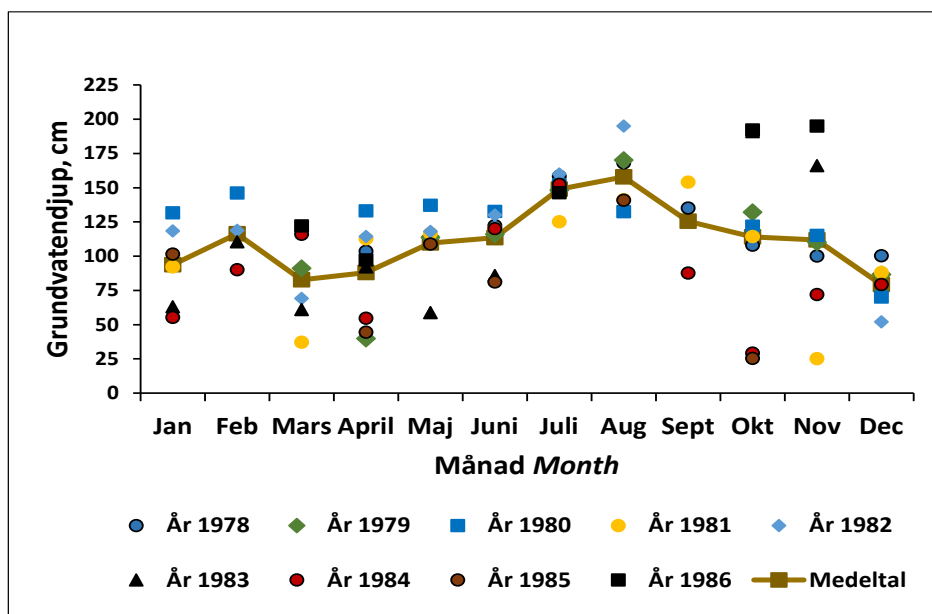
Under de efterföljande åren fram till våren 1984 förblev mineralkvävemängderna jämförelsevis stora. Detta bör främst ha varit en följd av den starka kvävegödslingen. Om kvävetillförseln är väl anpassad till grödans behov eller är liten i förhållande till detta, brukar det uppstå en minskning av mineralkvävemängden från våren (före gödslingen) till avslutad kväveupptagning under sensommaren-förhösten, vilket beskrivits ovan (jmf. figur 2 och 3). Som framgått märktes detta särskilt i odlingssystem IV, V och VI även vid den tid i början på hösten, då höstprovtagningarna till 200 cm djup gjordes (figur 8, 9 och 10). Men i system VII var kvävetillförseln tydligen så stor, att det tvärtom uppkom ökning av mineralkvävet fram till provtagningarna i september. Detta måste ha ökat kväveutlakningsrisken.

Fr.o.m. hösten 1984 tycks en förändring till mindre mängder mineralkväve vid både höst- och vårprovtagningarna ha äga rum. Under åren 1984-86 visade sig vid provtagningarna i september det nämnda typiska mönstret, att mängderna mineralkväve blev mindre än vid vårprovtagningarna och att förrådet av nitratkväve mer eller mindre "tömts" ned till 100-150 cm djup av grödan. Under vinterhalvåret fylldes sedan dessa förråd på igen med mineraliserat kväve, som vaskats ned från ytligare jordlager.

En förklaring till de mindre mineralkvävemängderna efter växtsäsongerna 1984, 1985 och 1986 kan vara större kornskördar under dessa senare år än tidigare (tabell 11) och därmed ökat kvävebehov hos grödan. En ökning eller minskning av kärnskorde med 1000 kg kärna per ha medför ett ökat respektive reducerat gödselkvävebehov hos korn med omkring 25 kg N/ha vid ekonomiskt optimal avkastning enligt en litteratursammanställning av Lindén (2008). Jordbruksverket (Jordbruksverket, 2016) rekommenderar dock en generell ökning av gödselkvävegivan med 15-20 kg N/ha till korn vid en ökning av avkastningsförmågan motsvarande 1000 kg kärna per ha vid optimum, och omvänt vid lägre avkastning. I efterskott kan den slutsatsen dras i praktiska situationer liknande system VII, att kvävegödslingen borde ha anpassats till förväntad skördenivå, såsom senare forskning visat (jmf. Lindén, 1987; Delin, 2005; Engström, 2010). Vidare borde större mängder övervintrande mineralkväve i marken ha föranlett mindre kvävegödsling i enlighet med konceptet för kväveprognoser (se system III ovan).

Grundvattennivåer

Mätningar av grundvattenytans nivåer ägde rum från april 1978 till november 1986 med normalt 2-3 veckors mellanrum, dock glesare 1984-86. Som nämnts fanns ett s.k. grundvattenrör i varje försöksruta. Rören hade små hål på sidan, så att vatten trängde in och fyllde rören till i höjd med grundvattenytan. I figur 12 visas hur grundvattennivån i genomsnitt för de sju rören förändrades med tiden, vanligen med ett största djup under sommaren och förhösten. Det rådde dock tidvis rätt stora variationer mellan de uppmätta grundvattendjupen i rören. Detta gällde främst tider med kraftigt vattenflöde ned genom marken, alltså i samband med riklig nederbörd eller snösmältning och tjällossning på vårvintern. Dessa variationer kan bero på verkliga skillnader i grundvattennivåerna. Men de kan även ha orsakats av förtätningar av jorden närmast rören och frånvaro av sprickor eller kanaler i närheten, så att sjunkvatten tillfälligt dämades upp. Variationerna mellan rören beskrivs här med hjälp av variationskoefficienter. Varje variationskoefficient baseras på medeltal och standardavvikelse för de sju rören vid ett och samma mättillfälle.

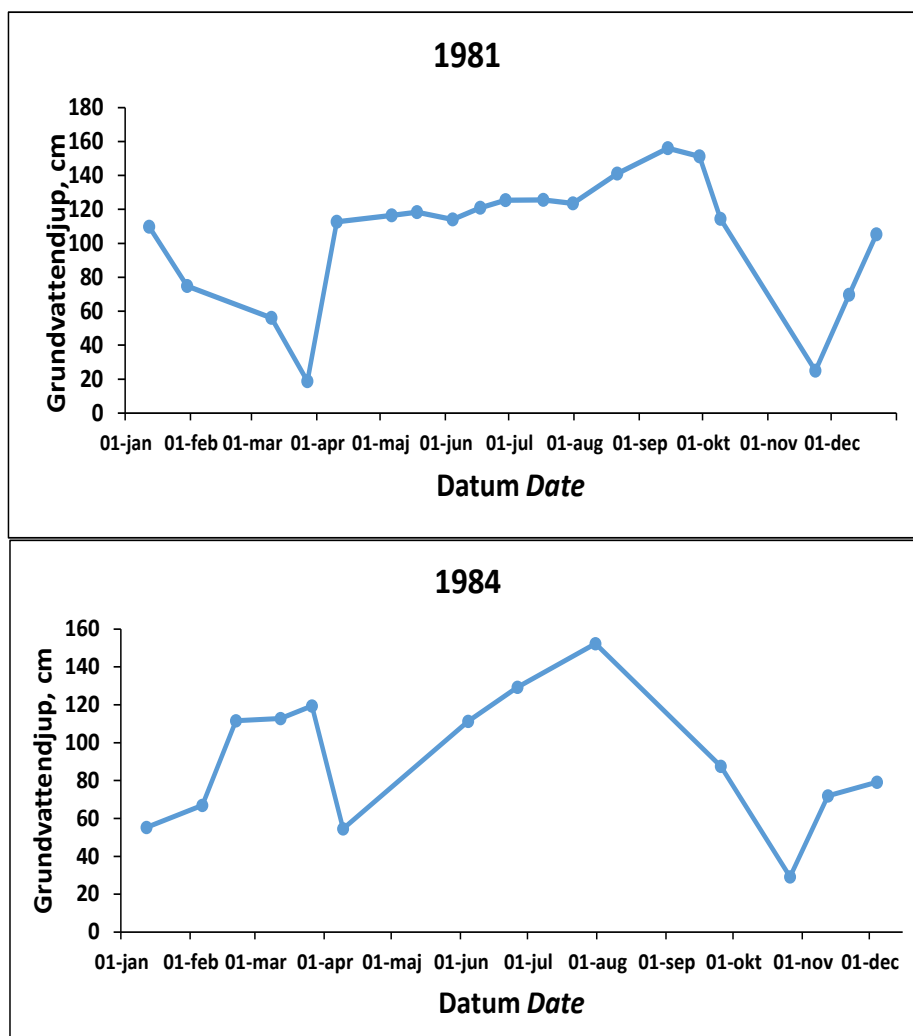


Figur 12. Grundvattendjup (cm under markytan) beräknade månadsvis varje år 1978-86.
 Figure 12. Groundwater levels (cm below the soil surface) calculated monthly in each year.
 Grundvattendjup = groundwater level, År = year, Medeltal = average.

De årliga *medelvärdena* för variationskoefficienterna uppgick till 12-25 %, men det var stora skillnader inom de enskilda åren. År 1979 uppvisade exempelvis variationskoefficienterna ett mycket högt värde (96 %) på vårvintern (den 5/3), ett lågt värde (5 %) den 20/8 och ett relativt högt värde (22 %) den 9/11. År 1980 blev det högsta vårvärdet 18 % (den 29/4), det lägsta sommarvärdet 7 % (den 20/5) och det högsta höstvärdet 34 % (den 11/12). År 1983 uppkom höga värden även under senvår-försommar, med variationskoefficienter på 32 % (18/5) och 25 % (2/6), medan det högsta höstvärdet blev 12 % (2/11).

På grund av dessa tidvis stora variationer mellan rören vad gäller grundvattenytans läge ses mätningarna i de sju rören här endast som upprepningar av mätvärden vid var och en av mättidpunkterna. Även om mätningarna ägde rum med vanligen 2-3 veckors mellanrum, kom datumen att variera. Exempel på fastställda grundvattendjup (1981 och 1984) visas i figur 13.

Grundvattenytan stod generellt som djupast i juli och augusti, vanligen på ca 130-160 cm djup och i ett par fall ännu djupare. Under torra sensomrar och höstar kunde grundvattnet fortsätta att sjunka in på hösten, såsom 1981 (figur 12). Maximalt uppmätta djup under sommaren och förhösten var 180-195 cm, alltså i närheten av grundvattenrörens botten (200 cm djupa). I allmänhet steg grundvattenytan under hösten och nådde upp till ca 75-100 cm djup i december. I januari och februari kunde nivån sjunka något igen, uppenbarligen p.g.a. att tjäle och snö hindrade vatten att sjunka ned genom marken. I samband med snösmältning och tjällossning i mars-april steg grundvattennivån åter till ca 75-100 cm djup, vissa år ännu ytligare. Vid högt grundvattenstånd måste ju en del av vattnet ha avbördats via dräneringsledningarna (på 80-110 cm djup), med kväveutlakning som följd. När grundvattenytan på våren efterhand sjönk ett stycke ned under dräneringsdjup, sammanföll detta naturligt nog med minskande avrinning och nitratkväveutlakning (jmf. figur 1a-e, tabell 13 och 14).



Figur 13. Grundvattendjup (cm under markytan) 1981 och 1984. Medeltal för de sju försöksrutorna.

Figure 13. Groundwater levels (cm below the soil surface) in 1981 and 1984. Averages of the seven plots. Grundvattendjup = groundwater level, År = year, Medeltal = average.

Genom fortsatt upptorkning och grödornas vattenförbrukning under växtperioden sjönk grundvattenytan under sommaren, tills maximalt djup åter uppnåddes (figur 12 och 13).

Grundvattenytans läge påverkar grödornas rotdjup. Man kan anta, att de odlade växternas rötter egentligen inte växte ned i grundvattenzonen. När grundvattnet sjönk sommartid, bör grödorna emellertid ha haft möjlighet att tränga allt längre ned och därmed ta upp kväve djupare ned i marken. I alven på försöksplatsen fanns som framgått tydlig sprickbildning ned till ca en meters djup, men rötter trängde ned ännu djupare. Ett rotdjup på ca 125 cm konstaterades för bl.a. vårsäd under förberedelseåret 1976 och år 1981, men enstaka rötter hittades ännu längre ned (tabell 7a och b). För lusern (odlingssystem II) återfanns rötter på 150-175-cm-nivån. Eftersom grundvattenytan sommartid vanligen befann sig på 130-160 cm djup och i några fall ännu djupare, är det troligt att rötterna kunde ta upp kväve ungefär lika långt ned. Minskningarna i mineralkväveförekomsten i alven sommartid bör därför huvudsakligen bero på grödornas kväveupptagning, inte bara i alvens övre och centralare delar utan även på 100-150 cm djup. Därunder kan måhända kapillär stigning av vatten, med kväve löst däri, upp mot rotzonen ha medverkat till att nitratkvävemängderna ofta minskade

även på 150-200 cm djup under sommaren, försåvitt orsaken inte var vattenrörelser ned under provtagningsdjupet 200 cm.

Utlakning av nitratkväve i de sju odlingssystemen

I det avdränerade vattnet bestämdes av kostnadsskäl enbart nitratkväve. Utlakningsmätningarna påbörjades 1977/78, dvs. ett år före den egentliga starten av de sju odlingssystemen (jmf. tabell 2). Nedan redovisas nitratkväveutlakningen *årsvis* under agrohydrologiska år (fr.o.m. den 1 juli t.o.m. den 30 juni) i alla sju odlingssystemen t.o.m. 1986/87 (tabell 24). Utlakningen i odlingssystem III (ruta 3) och VI (ruta 6) *under olika årstider* 1977/78 – 1985/86 har beskrivits ovan (tabell 14).

Under växtsäsongerna 1977 och 1978 odlades höstvetete respektive korn i hela försöket, med samma kvävegödning i alla försöksrutorna. Av tabell 24 framgår, att det fanns ojämnheter i mängderna utlakat nitratkväve under dessa år. Sålunda tycks mer kväve ha utlakats i ruta 1 och 7 än i övrigt under åren 1977/78 och 1978/79. Det är svårt att förklara detta.

Under åren 1979-82 (fyra år) samt 1985 och 1986 odlades vall i system I och II. Utlakningen av nitratkväve under fem av åren med luserngräsvall i system II, som inte gödslades med kväve, blev i medeltal bara 0,4 kg N/ha*år (tabell 24), vilket var mindre än under samma år i system I med den kvävegödslade gräsvallen i (utlakning: 3,9 kg N/ha*år). Det är troligt att kvävegödslingen på gräsvallen, årligen ca 200 kg N/ha, var orsak till den större kväveförlusten än i system II. Gödslingen kan också bidra till att förklara, att det under vallåren fanns något mer mineralkväve i marken under vårarna och förhöstarna på gräsvallen än på luserngräsvallen (jmf. figur 5 och 6, tabell 20). Mineralkvävemängderna *under vallåren* i odlingssystem I och II var dock betydligt mindre än i system III, VI och VII (figur 7, 10 och 11) med enbart öppen växtodling (spannmål, vårraps), förhållandevis kraftig kvävegödning (tabell 2 och 3) och uppenbarligen därigenom större nitratkväveutlakning (tabell 24). Jämfört med vallåren blev utlakningen i både system I och II större 1983/84 och 1984/85, då vårraps respektive korn odlades.

I jämförelsen mellan vallåren i odlingssystem I och II ingår inte år 1982/83, med brytning av fjärdeårsvallarna på senhösten (den 29/10). I system II uppkom efter luserngräsvallen något ökad nitratkväveutlakning 1982/83 jämfört med de egentliga vallåren: 3,4 kg N/ha (tabell 24). En orsak till detta kan vara, att nötfastgödsel tillfördes den 28.10.1982, i samband med upplöjningen av luserngräsvallen. Efter gräsvallen i system I uppgick utlakningen 1982/83 till 4,2 kgN/ha, dvs. i samma storleksordning som tidigare. Någon förstärkt kvävemineralisering genom vallbrotten kan knappast ha uppstått *före* vintern (jmf. Lindén & Wallgren, 1993). Den milda vintern 1982/83 (tabell 9) kan dock ha medfört, att tilltagande kvävemineralisering uppkom redan under vintermånaderna efter vallarna. Större anhopningar av mineralkväve fastställdes nämligen i båda systemen vid provtagning den 05.04.1983 (i bägge fallen 68 kg N/ha inom 0-200 cm, figur 5 och 6). Det tillkomna kvävet återfanns dock inom 0-100 cm djup och torde därför inte ha medverkat nämnvärt till kväveutlakningen 1982/83.

I system I spreds nötflytgödsel innehållande 120 kg NH₄-N per ha den 26.04.1983 inför vårrapsådden, men inget annat kväve. Vidare tillfördes 50 kg N/ha i kalksalpeter till vårrapsen i system II, dock först den 25 maj. Nitratkväveutlakningen under de senare hälften av april samt i maj och juni 1983 uppgick i system I och II till bara 0,7 respektive 0,3 kg N/ha

Tabell 24. Grödor och utlakning av nitratkväve (kg N/ha*år) under de agrohydrologiska åren 1977/78 – 1986/87. Med gröda avses det växtslag som fanns den 1 juli, då det agrohydrologiska året började.

Table 24. Crops and leaching of nitrate nitrogen (kg N/ha*year) during the agrohydrological years 1977/78 – 1986/87 (1 July – 30 June). The crops given refer to the cropping conditions on 1 July, when the agrohydrological year started.

| År Year | Odlingssystem/ruta Cropping system/plot | | | | | | |
|---|---|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| | I/1 | II/2 | III/3 | IV/4 | V/5 | VI/6 | VII/7 |
| Förberedelseår: Preparation year: | | | | | | | |
| 77/78 | Hv | Hv | Hv | Hv | Hv | Hv | Hv |
| | 13,6 | 8,1 | 8,5 | 9,3 | 10,1 | 9,3 | 11,6 |
| Startår: Starting year: | | | | | | | |
| 78/79 | Ko ins | Ko ins | Ko | Ko | Ko ins | Ko | Ko |
| | 6,6 | 3,2 | 4,9 | 8,5 | 4,8 | 4,1 | 6,3 |
| År med odlingssystem I-VII: Years with cropping systems I-VII: | | | | | | | |
| 79/80 | Gr I | Lu I | Vr | Vr | Rkl | Ko | Ko |
| | 5,9 | 1,0 | 4,4 | 4,0 | 4,9 | 4,6 | 7,4 |
| 80/81 | Gr II | Lu II | Hv | Hv | Hv | Ko | Ko |
| | 6,1 | 0,2 | 20,8 | 6,1 | 7,7 | 8,5 | 16,2 |
| 81/82 | Gr III | Lu III | Ha | Ha | Åb | Ko | Ko |
| | 3,4 | 0,4 | 7,6 | 2,8 | 6,0 | 10,1 | 15,0 |
| 82/83 | Gr IV | Lu IV | Vr | Vr | Ha | Ko | Ko |
| | 4,2 | 3,4 | 5,7 | 1,4 | 3,9 | 9,1 | 15,5 |
| 83/84 | Vr | Vr | Hv | Hv | År | Ko | Ko |
| | 4,8 | 3,6 | 3,6 | 1,5 | 5,3 | 3,7 | 6,9 |
| 84/85 | Ko ins | Ko ins | Ko | Ko | Ko ins | Ko | Ko |
| | 4,0 | 2,3 | 6,0 | 2,1 | 3,6 | 7,6 | 10,1 |
| 85/86 | Gr I | Lu I | Vr | Vr | Rkl | Ko | Ko |
| | 3,5 | 0,4 | 5,3 | 1,0 | 11,0 | 8,3 | 12,3 |
| 86/87 | Gr II | Lu II | Hv | Hv | Hv | Ko | Ko |
| | 0,6 | 0,1 | 9,4 | 2,0 | 4,9 | 4,2 | 10,7 |
| Medeltal Average | | | | | | | |
| 77-87* | 5,3 | 2,3 | 7,6 | 3,6 | 6,2 | 7,0 | 11,2 |
| 79-87** | 4,1 | 1,4 | 7,9 | 2,6 | 5,9 | 7,0 | 11,8 |

*) Avser refers to 77/78 – 86/87. **) Avser refers to 79/80 – 86/87.

Grödor: Crops: Hv = höstvetete winter wheat. Ko = korn spring barley, ins = med insådd undersown. Gr = gräsvall grass ley. Lu = lusern-gräsvall grass-lucerne ley. Vr = vårraps spring rape. Rkl = Rödklöver-gräsvall grass-redclover ley. Ha = havre oats. Åb = åkerböner broad beans. År = ärter peas.

(grunddata ej redovisade). Det på våren 1983 tillförda kvävet i båda systemen bidrog därför troligen inte alls till utlakningen under det agrohydrologiska året 1982/83. Detta kväve utnyttjades förmodligen väl av vårrapsen i båda systemen, att döma av de små nitratkväveresterna under förhösten 1983 (figur 5 och 6).

Förutom 1978 odlades höstvetete under totalt tre år i system III och IV och två år i system V. I medeltal uppgick nitratkväveutlakningen efter dessa höstvetegrödor till 7,0 kg N/ha (tabell 24), oavsett gödsling och förfrukter. Detta var klart mer än under vallåren i system I och II.

I system III (stark kvävegödsling, se tabell 2) och IV (svag kvävegödsling) odlades ju enbart ettåriga grödor. Nitratkväveutlakningen under åren 1979/80 – 1986/87 uppgick till i medeltal till 7,9 respektive 2,6 kg N/ha*år (tabell 24). Den starkare gödslingen i system III gav som ovan visats upphov till större mängder utnyttjat mineralkväve än i system IV (figur 7 och 8, tabell 21), vilket i sin tur uppenbarligen orsakade ökad kväveutlakning. Denna blev dessutom större än i de båda vallväxtföljderna (system I och II). I system III avvek utlakningen år 1980/81 (20,8 kg N/ha) starkt från övriga år. Orsaken synes vara ett starkt angrepp på höstvetet av brunfläcksjuka år 1980 (se även ovan). Medräknas inte detta år, erhålls en medelutlakning på 6,0 kg N/ha*år (för sju av åtta år).

I system V ("alternativ" odling) odlades leguminosor (närmast ren rödklövervall, åkerbönor och ärter) vart annat år och däremellan stråsåd. Vid tre tillfällen tillfördes nötfastgödsel (på hösten till höstvetet och på våren till korn med insådd, tabell 3). I medeltal för åren 1979/80 – 1986/87 utlakades 5,9 kg N/ha*år (tabell 24), med i medeltal större mängder efter leguminoserna (6,8 kg N/ha*år, n = 4) än efter stråsåden (5,0 kg, n = 4). Utlakningsförlusterna blev i medeltal för alla år 2 kg N/ha*år mindre än i system III men större än i system IV, med stark respektive svag kvävegödsling (i form av kalksalpeter). Inget mineralgödselkväve tillfördes i system V. Därför måste nitratutlakningen till en del ha orsakats av kväve härstammande från leguminoserna och indirekt från dem via vallfoder och stallgödsel, vilken i systemet tänktes ha producerats genom fodret.

Den ettåriga, närmast rena rödklövervallen i system V plöjdes ned inför sådd av höstvetet 1979 och 1985, dvs. tidigt på hösten. Nitratkväveutlakningen efter klövervallarna uppgick till 4,9 och 11,0 kg N/ha*år under åren 1979/80 respektive 1985/86. Detta visar att tidigt vallbrott på en närmast ren rödklövervall kan ge upphov till förhöjd utlakning. Detta förklaras av ökad kvävemineralisering redan under hösten (jmf. Lindén & Wallgren, 1993). Den förstärkta kvävefrigörelsen orsakade stora anhopningar av mineralkväve i hela markprofilen (0-200 cm) under vårarna (figur 9). Detta kväve tycktes dock höstvetet kunde utnyttja ganska väl. Vidare tillfördes ju nötfastgödsel i system V före sådden av höstvetet, vilket kan ha bidragit till den ökade nitratkväveutlakningen i jämförelse med stråsådesgrödorna i system V.

I system VI, med kornmonokultur, tillfördes ca 100 kg N/ha som kalksalpeter (tabell 2), men vartannat år spreds svinflytgödsel (tabell 3). Då halverades tillförseln av mineralgödselkväve. År 1979 och 1981 spreds flytgödseln på hösten, men senare övergick man till vårspridning (1984 och 1986). Under de fyra agrohydrologiska åren med flytgödselspridning (1979/80, 1981/82, 1984/85 och 1986/87) uppgick utlakningen till 4,6, 10,1, 7,6 och 4,2 kg N/ha, i genomsnitt 6,6 kg N/ha*år (tabell 24). I medeltal för åren 1979/80 – 1986/87 utlakades dock 7,0 kg N/ha*år i system VI. Detta är något mindre än i odlingssystem III med avsalugrödor och stark kvävegödsling. Det är svårt att bedöma effekterna på utlakningen av höst- och vårspridningarna vad gäller enskilda år och under enskilda årstider (jmf. tabell 14). Generellt torde emellertid övergången till vårspridning av svinflytgödseln ha minskat nitratkväveutlakningen, vilket de med tiden avtagande mineralkväveförråden i marken också tyder på (figur 10). På längre sikt borde emellertid flytgödseltillförseln leda till ökad kvävemineralisering, med minskande behov av gödselkväve vid oförändrad avkastningsnivå.

Kornmonokulturen i system VII tycktes ge upphov till den största nitratkväveutlakningen, även om försöksrutorna i fråga redan från början (år 1977/78 och 1978/79) hade större utlakning än de flesta rutorna i övrigt. I medeltal utlakades 11,8 kg N/ha*år under åren 1979/80

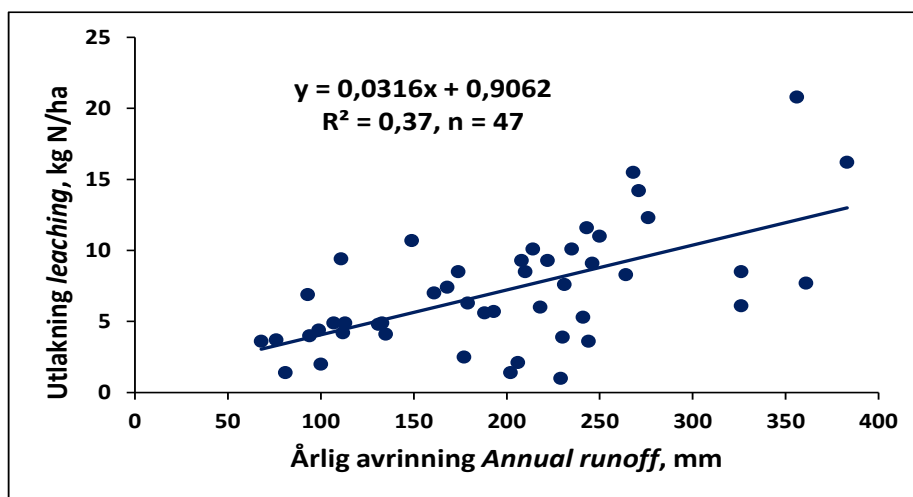
– 1986/87. Detta torde bero på större kvävegivor (årligen ca 120 kg N/ha, tabell 2) än som normalt skulle ha rekommenderats till korn. Av de jämförelsevis stora mineralkvävemängderna under flera höstar och vårar i system VII (figur 11) framgår, att det tillgängliga kvävet utnyttjades ofullständigt av kornet.

En jämförelse mellan system III, IV, VI och VII (med öppen växtodling) visar som väntat, att kvävegödslingen måste hållas inom rekommenderade nivåer för att inte förorsaka ökad kväveutlakning (jmf. Bergström & Brink, 1986). I den tillämpade ”alternativa” växtföljden (system V) tyder resultaten på att de ettåriga leguminoserna orsakade något lägre utlakningsförluster totalt sett under försöksåren än den starka kvävegödslingen i system III, VI och VII, med mineralgödselkväve till ettåriga grödor. Men förlusterna var större än i system IV med svagare kvävegödsling, där N-givorna var hälften så stora som i system III.

Årlig utlakning av nitratkväve i förhållande till avrinning och mineralkväve i de sju odlingsystemen

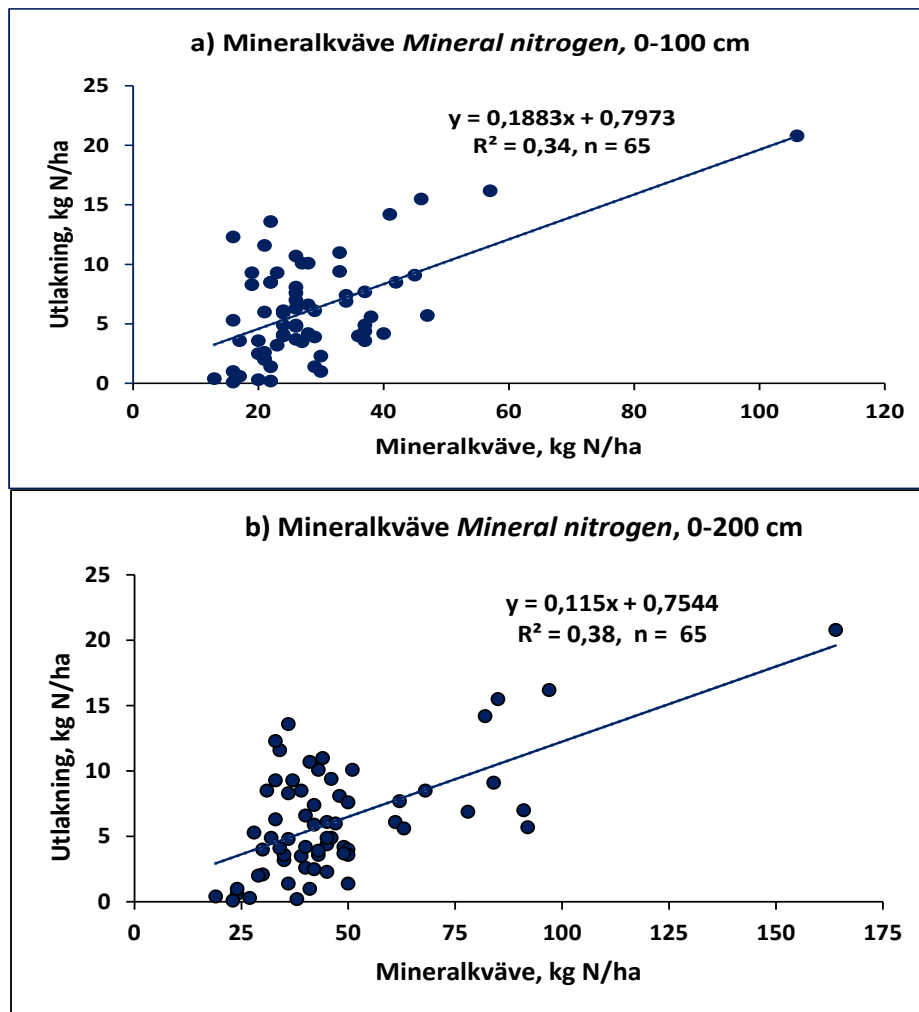
Mängden utlakat nitratkväve har ju beräknats som produkten av nitratkvävehalterna i dräneringsvattnet och de genom dräneringssystemen avrunna vattenmängderna (jmf. tabell 12 och 13). Det är därför naturligt att den uppmätta, årliga utlakningen varierade med avrinningens storlek. För sambandet mellan årlig avrinning och nitratkväveutlakning erhöles ett R^2 -värde = 0,37 (figur 13). Detta gäller odlingsystem III-VII, där flerårig vall inte odlades. Grödor, gödsling, kvävemineralisering m.m. i de olika systemen måste givetvis ha påverkat nitratkvävehalterna i dräneringsvattnet, vilket förklarar det ganska svaga sambandet.

Inverkan av mineralkväveförråden (inom dels 0-100 cm och dels 0-200 cm djup) vid höstprovtagningarna (i september) på den utlakade mängden nitratkväve under agrohydrologiska år har studerats med beaktande av alla odlingsystem. Här har dock observationer relaterade till höstar med tillförsel av fast- eller flytgödsel uteslutits (i odlingsystem II, V och VI). Eftersom avrinning och utlakning i huvudsak ägde rum under vinterhalvåret (tabell 13 och 14)), borde större mängder mineralkväve i marken på hösten medföra ökade utlak-



Figur 13. Samband mellan årlig avrinning med dräneringsvattnet och årlig utlakning av nitratkväve i system III-VII, utan flerårig vallodling.

Figure 13. Relationship between annual drainage water discharge and annual leaching of nitrate nitrogen in systems III-VIII, without perennial leys.



Figur 14. Samband mellan utlakning av nitratkväve genom dräneringssystemet och mineralkväve vid höstprovtagningarna (september) inom a) 0-100 cm djup eller b) 0-200 cm djup i marken.

Figure 14. Relationships between leaching of nitrate nitrogen through the drainage system and mineral nitrogen at the autumn samplings (in September) within a) 0-100 cm or b) 0-200 cm soil depth. Utlakning = leaching.

ningsförluster under den efterföljande delen av hösten samt under vintern och våren. Som framgår av figur 14 påverkades utlakningen av nitratkväve dock ganska otydligt av tilltagande mineralkväveförråd inom såväl 0-100 cm ($R^2 = 0,34$) som 0-200 cm markdjup ($R^2 = 0,38$). Trendlinjernas lutning blev vidare starkt beroende av en enda observation med stor utlakning (20,8 kg N/ha, system III 1980/81, tabell 14 och 24) och med mycket mineralkväve i marken på hösten (figur 7). Detta avser det höstvetet som odlades 1980 och som drabbades av angrepp (se ovan).

Det svaga sambandet mellan mineralkväve i marken på hösten och nitratkväveutlakning måste bero på att den faktiska utlakningen mer påverkades av nederbörd och väder i övrigt under höst, vinter och vår, och därmed av avrinningen. Vidare bör kvävemineraliseringens storlek under denna tid ha inverkat, bl.a. beroende på föregående gröda. Tilltagande mängder mineralkväve i marken på hösten belyser därför bara *risker* för ökande utlakningsförluster.

Att använda sig av odlingsåtgärder som medför större mineral kvävemängder i marken på hösten blir emellertid riskfyllt.

Samtidigt kan det konstateras, att det ofta fanns stora mineralkväveförråd tidigt på hösten och att dessa till mycket stor del övervintrade inom de undersökta markprofilerna. Likaså kunde mycket kväve frigöras från början av hösten till våren, utan att nitratkväveutlakningen tydligt påverkades. Mängderna mineralkväve vid höstprovtagningarna var ofta stora (i storleksordningen 30-90 kg N/ha inom 0-200 cm), och likaså på våren, medan utlakningen uppgick till 1-15 kg N/ha. Av ekvationerna i figur 14 framgår, att den årliga nitratkväveutlakningen bara motsvarade i storleksordningen 10-20 % av mineralkvävemängderna vid provtagningarna i september. Detta tyder på att bara en mindre del av mineralkvävet i marken (inom 0-100 eller 0-200 cm djup) på en lerjord som denna (styv lera och mycket styv lera i alven, tabell 4) utlakades i form av nitratkväve till under loppet av ett år, främst under vinterhalvåret.

Övergripande diskussion och slutsatser

Odlingssystemförsök som experimentell metod

Metodikerna i odlingsförsök inom jordbruket sträcker från studier av en enskild faktors påverkan på t.ex. mark eller gröda till undersökningar av inverkan av en mångfald faktorer i en och samma odlingssituation. Ett exempel av det förstnämnda slaget må vara effekten av mineralgödselkväve på skörden av en gröda. Till undersökningar av samtidig inverkan av en mångfald faktorer hör fallstudier, där exempelvis odlingen och driften på en gård kan undersökas genom detaljstudier av olika biologiska skeenden och resultat av odlingsåtgärder. Ett exempel på sådana fallstudier är Granstedts (1990) undersökningar av biodynamiska gårdar, där detaljundersökningar låg till grund för beskrivning av kvävebalanser i odlingen och driften.

För tolkning av resultat av odlingssystemförsök såsom i denna rapport behövs en metodik liknande den i fallstudier. Det är ju sällan möjligt att genom olika kompletterande och återkommande experiment inom ett och samma fältförsök studera verkningar av ett flertal enskilda faktorer. För att exempelvis få kunskap om kvävegödslingen i system VI och VII var överoptimal, skulle regelrätta försök med stigande kvävegivor på odlingsplatsen ha behövts varje år, vilket hade varit orimligt. I denna undersökning har andra parametrar istället använts för slutsatser om utvecklingen i odlingssystemen. Utöver inverkan på skördarna av åtgärderna i de skilda odlingssystemen har mineralkvävet årsstidsvariationer, kväveutlakning samt uppgifter om markstruktur, rotdjup och avrinning använts för att beskriva och förklara skeenden i jorden.

Exempelvis kan ökningarna av mineralkväveförråden i marken på hösten, kompletterade med kväveutlakningsdata, ses som uttryck för kväve mineralisering under denna årstid. Vidare har minskningar av dessa förråd sommartid, mot bakgrund av rotdjup och uppgifter om utlakning, här betraktats som effekter av grödornas kväveupptag. Tolkningarna måste i många fall naturligtvis ses som uppskattningar och inte som regelrätta bevis. Tillsammans kan dock samma slags eller liknande data i de olika odlingssystemen, särskilt om de upprepas med åren, bilda grund för rimliga slutsatser om förekommande skeenden i växtföljderna, trots att upprepningar i statistisk mening inte finns. Ett exempel är de simultana, kraftiga ökningarna av mineralkväveförråden i odlingssystem III-VII under vinterhalvåret 1979/80, vilka inte

kan betraktas som "försöksfel". De tyder istället på förhållanden, som allmänt gynnade kvävemineraliseringen från höst till vår i alla dessa system.

Skördenivåer och kväveförsörjning i de olika odlingssystemen i relation till kväveutlakning

Odlingen av luserngräsvall (de facto närmast ren lusernvall) utan kvävegödsling i system II visade, att en skördenivå kunde uppnås motsvarande ca 90 % av avkastningen av den rena gräsvallen, som tillförts ca 200 kg N/ha*år i form av mineralgödselkväve (tabell 11). Det borde ha blivit sämre avkastning med åren, om det istället för lusern hade ingått rödklöver p.g.a. dess snabbare utvintring. Utlakningen av nitratkväve i system II blev obetydlig (i medeltal 1,4 kg N/ha*år 1979/80 – 1986/87, tabell 24), särskilt under vallåren, och klart mindre än i system I (4,1 kg N/ha*år) med kvävegödslad gräsvall. Resultaten tyder på möjligheten att med lusernvall kombinera god avkastning (utan kvävegödsling) med mycket låg kväveutlakning. Detta kunde tillämpas i både konventionell och ekologisk odling.

I odlingssystem III, IV, V, VI och VII uppgick skördarna av spannmål i medeltal till 6400, 4730, 4940, 4520 respektive 4780 kg kärna per ha och år (tabell 11). I system V ("alternativ" odling) uppnåddes därmed 77 % av avkastningsnivån i system III, med övervägande stråsäd och med stark kvävegödsling.

I odlingssystem III motsvarade den "starka" kvävegödslingen i stort sett gödslingsnivåer som i nutiden rekommenderas av Jordbruksverket till stråsädesgrödor (Albertsson et al., 2016). Bara kvävetillförseln till vårrapsen kan antas ha varit i överkant (se ovan). Skördarna av alla växtslag var goda i jämförelse med avkastningen hos motsvarande grödor vid denna tid i dåvarande Skaraborgs län.

I system V odlades ju leguminoser vartannat år och före stråsäd: ettårig klövervall, åkerböner och foderärter, vilka följdes av höstvetet, havre respektive korn med insådd. Bäst avkastning i system V gav höstvetet, som hade en gynnad ställning efter vallbrott och tillförsel av fastnötgödsel. Höstvetet avkastade här i medeltal 90 % av veteskördarna i system III. Åkerbönerna och ärterna gav dock uppenbarligen otillräcklig kväveefterverkan ur avkastnings-synpunkt. För havre och korn, odlade efter åkerbönerna respektive ärterna, erhöles i genomsnitt 65 % av motsvarande skördar i system III.

I odlingssystem III, IV och V uppgick utlakningen av nitratkväve åren 1979/80 – 1986/87, i medeltal för alla grödor, i tur och ordning till 7,9, 2,6 och 5,9 kg N/ha*år (tabell 24). Den halverade kvävegödslingen i system IV medförde således en minskning av utlakningen med 5,3 kg N/ha, men skördarna av alla grödor minskade till i medeltal 72 % av nivån i system III (tabell 11). I system V, med produktion av kväve till stråsäd genom leguminoser som förfrukt, blev nitratkväveutlakningen 2,0 kg N/ha*år mindre än i system III men större än i system IV. Skörden av stråsädesgrödorna i system V uppgick som nämnts till 77 % av avkastningen i system III. Mindre nitratkväveutlakning var alltså kopplad till lägre skördar, i båda system IV och V.

Kornmonokulturerna i system VI och VII gav 1979-86 i medeltal en avkastning motsvarande 74 % respektive 75 % av skördenivåerna för korn och havre i system III (tabell 11). Trots kraftig kvävegödsling nådde kornskördarna i system VI och VII därmed bara upp till nivån för spannmålsskördarna totalt sett (höstvetet, havre och korn) i system IV och V. Den ensidiga kornodlingen kan genom växtsjukdomar ha hållit ned avkastningen (Ohlander, 1988).

Detta torde vara en bidragande orsak till att de stora mängderna gödselkväve uppenbarligen utnyttjades ofullständigt, särskilt i system VII. Detta framgår av de i flera fall ökade mineralkväveresterna efter skörd och den förhållandevis stora nitratkväveutlakningen, åtminstone i system VII. I odlingssystem VI och VII utlakades 1978/79 – 1986/87 i medeltal 7,0 respektive 11,8 kg N/ha, jämfört med 7,9 kg N/ha i system III (tabell 24). Omväxlande grödval tycks således vara bättre för både avkastning och kvävehushållning.

I system III, IV, V, VI och VII uppgick utlakningen av nitratkväve per ton producerad spannmål i tur och ordning till 1,5 (0,8 oräknat år 1980/81 med angrepp av brunfläcksjuka på höstvetet), 0,6, 1,0, 1,6 och 2,5 kg under de agrohydrologiska åren (1/7 – 30/6) som innefattade skörden av stråsädesgrödorna ifråga. I odlingssystem VI och VII blev det således störst utlakning per ton producerad spannmål.

Eftersom spannmålskördarna i system V (höstvet 2 år, havre 1 år och korn 1 år av 6 år) i medeltal uppgick till 77 % av motsvarande grödor i system III (med höstvet 3 år, havre 1 år och korn 1 år), skulle det behövas en merareal på 30 % för samma totalskörd som i system III. För system V medför denna större areal en motsvarande ökning av utlakningen med 30 %. Då utlakningen av nitratkväve där uppgick till 5,0 kg N/ha *efter stråsäd*, blir den sammanlagda årliga förlusten 6,5 kg N vid detta arealbehov. Utlakningen *efter stråsäd* i system III uppgick till 9,5 kg N/ha, eller 6,7 kg N/ha om år 1980/81 med angrepp av brunfläcksjuka på höstvetet utelämnas.

Beaktar man att förfruktsåren med leguminosor i system V genom efterverkningar utgjorde förutsättningar för spannmålsskördarnas storlek, kunde det vara rimligt att här även ta hänsyn till utlakningen efter dessa förfrukter. Nitratkväveutlakningen efter leguminoserna uppgick i medeltal till 6,8 kg N/ha (jämfört med 5,0 kg N/ha efter stråsäd). Inklusive den nämnda merarealen på 30 % skulle förlusten därmed bli 8,8 kg N. Genom ökat arealbehov för att erhålla en viss skördemängd spannmål skulle således en driftsform såsom system V medföra en total utlakning av ungefär samma storlek som i system III, med normala kvävegödslingsnivåer.

Kväveutlakningens årstidsvariationer i relation till gödslingstidpunkter

Det blev vanligen ett uppehåll i avrinningen via dräneringsrören sommartid under de studerade agrohydrologiska åren 1978/79 – 1985/86. I juli-augusti registrerades avrinning av någon betydelse bara under två av åren. Vattenflödet började åter någon gång under månaderna september-november, i ett fall ännu senare. Störst flöde fastställdes i december-mars, men under vintrar med långa tjalperioder blev det uppehåll i avrinningen en tid. I mars-april uppkom åter ett ökat flöde, varefter avrinningen efterhand minskade och upphörde i maj eller juni. Utlakningen av nitratkväve fick naturligt nog samma årsförlopp. Under perioderna juli-augusti, september-november, december-mars och april-juni utlakades genomsnittligt 1977/78 – 1985/86 i tur och ordning 0,4, 2,4, 3,6 och 1,1 kg N/ha (totalt 7,4 kg N/ha) i odlingssystem III, och praktiskt taget samma mängder i system VI (tabell 14).

Avrinningen var liten i maj-juni, innan den upphörde. Eftersom kvävetillförseln skedde genom övergödsling efter uppkomsten (medeldatum för kvävegödsling till vårsäd: 21 maj, som tidigast den 9 maj 1979 och som senast 3 juni 1980), är det troligt att inget gödselkväve utlakades efter spridningen och under grödornas tillväxtperiod. Den regnrigare sommaren 1980 kan ses som ett undantag (tabell 14). Övergödslingen efter uppkomsten bör i princip ha minskat risken för kväveutlakning, jämfört med gödsling vid sådden. Detta gäller i vart

fall nederbördsriskare vårar, särskilt som marken närmast efter vårbruket normalt har hög vattenhalt och då kan riskera att vattenmättas efter kraftigare regn.

Svinflytgödsel tillfördes i odlingsystem VI i oktober 1979 (tabell 3). Utlakningen under hösten detta år och efterföljande vinterperiod kan inte sägas ha påverkats av detta på något tydligt sätt (tabell 14). Däremot tycks en påtagligare inverkan ha skett efter flytgödseltillförsel hösten 1981 (den 30 september), då det i system VI blev ökad nitratkväveutlakning under perioden september-mars: 8,8 kg N/ha jämfört med 5,9 kg N/ha som medeltal för samma period åren 1977/78 – 1985/86. Riskerna med höstspridning blev dock som förväntat inte lika påtagliga som på lättare jordar i försök i Halland (t.ex. Torstensson et al., 1992). Senare skedde en övergång till vårspridning, med tillförsel av svinflytgödsel den 22.03.1984 och 18.03.1986. Detta tycktes inte öka nitratkväveutlakningen under vårmånaderna därefter.

Nederbörd, avrinning och kväveutlakning

Under de undersökta agrohydrologiska åren uppgick avrinningen till i medeltal 191 mm, men med stora variationer mellan åren (tabell 13). Som minst fastställdes 81 mm 1983/84 och som mest 319 mm 1980/81. Av ett beräknat samband mellan fastställd avrinning och utlakning av nitratkväve (figur 13) framgår, att en avrinning på ca 200 mm i system III-VII (med enbart öppen växtodling) generellt medförde en utlakning av nitratkväve motsvarande i medeltal ca 7 kg N/ha*år. Den lägsta (81 mm) gav ca 3 kg, och vid 300 mm erhöles närmare 10 kg N/ha*år. Det rådde dock mycket stora variationer beroende på bl.a. grödor och gödsling.

Resultaten tyder på att en kommande klimatförändring med ökad nederbörd och avrinning skulle leda till något större utlakningsförluster från en lerjord som denna på Lanna. En ökning av avrinningen med 100 mm per år skulle enligt sambandet i figur 13 medföra en merutlakning på ca 3 kg nitratkväve per ha och år vid öppen växtodling (dvs. utan vallar).

Mineralkvävets årstidsvariationer i marken och inverkan på nitratkväveutlakningen

De månadsvisa jordprovtagningarna inom 0-100 cm djup visade, att det under en vanlig årscykel naturligt nog fanns mest ammonium- och nitratkväve under tiden närmast efter kvävegödslingen på våren. Därefter avtog mineralkvävet, uppenbarligen genom grödornas kväveupptagning. Utlakning via dräneringssystemen bidrog egentligen inte alls till denna minskning. En minsta mängd mineralkväve nåddes under sensommaren-förhösten (figur 2a-e). Då återstod i system III och VI i medeltal för stråsåd 27 kg mineralkväve per ha inom 0-100 cm djup. Det fanns i detta skede mindre mängder mineralkväve inom detta djup än på våren. Grödornas rötter tycktes närmast ha "tömt" alven på nitratkväve inom rottdjup att döma av de små mängderna (figur 3a-d).

Undersökningarna i system III och VI visade, att mineralkväveförråden började öka igen efter sensommaren-förhösten, dvs. efter avslutad kväveupptagning, uppenbarligen genom fortsatt kvävemineralisering. Även under vinterperioden från slutet av november till mitten av mars uppkom tillskott av mineraliserat kväve, i medeltal ca 10 kg N/ha för både system III och VI år 1979-84 (tabell 15). Detta medförde att mineralkväveförråden förblev ganska oförändrade och i vissa fall ökade från senhösten till mars, trots viss kväveutlakning och trots att marken mestadels var frusen, åtminstone ytligt. Kvävefrigörelse kan uppenbarligen ske vid omkring 0°C, t.ex. under ett fruset ytskikt.

Variationerna i mängderna mineralkväve mellan olika årstider och mellan de skilda odlings-systemen hänförde sig huvudsakligen till skillnader i mängderna nitratkväve. Andelen ammoniumkväve förblev alltid liten (tabell 16 och 17), utom där stallgödsel nyligen tillförts. Mest ammoniumkväve förekom i matjorden, i medeltal 7 kg/ha inom 0-20 cm djup. Jämnheten i värdena över tid tyder vidare på att ammoniumkväve, som bildats genom kväve-mineralisering, snabbt omvandlas till nitratkväve. Det uppstår alltså inga större, periodvisa anhopningar av ammoniumkväve i en jord såsom den i försöket vid Lanna, utom under tiden närmast efter tillförsel av t.ex. stallgödsel.

Mineralkväveförråden inom rotzonen (ned till 100-150 cm djup) blev mycket små vid provtagning under sensommaren eller förhösten under åren med gräsvall i system I (fyra av sex år i växtföljdsomloppet, stark kvävegödsling, figur 5) och i ännu högre grad under åren med luserngräsvall i system II (fyra av sex år, ingen kvävegödsling, figur 6). Små mineralkväve-mängder under sensommaren eller förhösten fanns likaså under nästan alla år med stråsäd och vårraps i IV (avsalugrödor och svag kvävegödsling, figur 8) och åren med stråsäd i system V (alternativ odling, ettåriga grödor, figur 9). Dessa förhållanden framgår av provtagningarna till 200 cm djup. Resultaten från både mineralkvävestudierna och utlakningsmätningarna i system I tyder på att gräsvallen genom sitt kväveupptag och sin långa växtperiod förmådde hålla mängderna utlakningsbart kväve på en ganska låg nivå, trots kraftig kvävegödsling (ca 200 kg N/ha). Något outnyttjat gödselkväve torde knappast ha funnits kvar på förhösten under vallåren i system I. Samma måste gälla efter de ettåriga grödorna i system IV, när grödornas kväveupptagning avslutats på sensommaren eller förhösten. Kväveutlakningen under vallåren i system I och II samt under alla år i IV och V torde därför ha orsakats av kväveminalisering under höst, vinter och tidig vår, dvs. under årstider då frigjort kväve inte kunde tas tillvara genom grödornas kväveupptagning.

I system III (avsalugrödor, stark kvävegödsling, figur 7), VI (kornmonokultur, ganska stark kvävegödsling, figur 10) och VII (kornmonokultur, uppenbarligen överoptimal kvävegödsling, figur 11) blev den samlade kvävetillgången under de flesta åren alltför stor för grödorna. Kraftig kväveminalisering under vinterhalvåret 1979/80 bidrog till detta, med konsekvenser några år därefter. Större mängder mineralkväve fanns under några år kvar i marken efter avslutad kväveupptagning. Det fanns vid höstprovtagningarna i system III, VI och VII i storleksordningen 30-90 kg N/ha inom 0-200 cm djup, i ett par fall ännu mer. Mängder på mer än ca 50 kg N/ha inom 0-200 cm djup kan här ses som dåligt kväveutnyttjande och måste ha ökat kväveutlakningsrisken. Bara en del därav kan anses bero på kväveminalisering efter avslutad kväveupptagning och återfanns främst i matjorden vid höstprovtagningarna. Utlakningen under vinterhalvåret därefter bör här ha orsakats dels av outnyttjat kväve efter grödorna och dels av kväveminalisering under höst och vinter. Vissa år blev dock mängderna outnyttjat kväve vid avslutad kväveupptagning eller under förhösten små även i system III, VI och VII. I sådana fall borde nästan enbart kväveminaliseringen ha varit orsak till uppkommen nitratkväveutlakning. Olika förfrukter liksom gödsling med handels- och stallgödsel kan dock givetvis ha påverkat kvävefrigörelsen, åtminstone med åren, och därmed även kväveutlakningen.

Utnyttjandet av mineralkväve på olika djup i marken

Särskilt i odlingsystem IV men även i de andra systemen med ettåriga grödor (III, V, VI och VII) orsakade ju kväveminaliseringen under höst, vinter och vår ansamlingar av frigjort kväve, som efterhand vaskades ned i alven och fördelades inom denna. Fram till våren hade det mineraliserade kvävet nått varierande djup i alven (figur 7, 8, 9, 10 och 11). I vissa

fall stannade kvävet inom 100 cm djup på våren och i andra situationer nådde det ned till det största provtagningsdjupet 200 cm, och troligen delvis ännu djupare. Bara en mindre del av kvävet utlakades dock via dräneringsrören under vinterhalvåret (tabell 14 och 24).

Under växtsäsongen därefter togs det nedvaskade kvävet tillvara av grödorna ned till 100-150 cm djup. Uppenbarligen genom markens aggregatstruktur och goda sprickbildning trängde grödornas rötter ned till gott och väl 100 cm, i vissa fall ca 150 cm (tabell 7a och b). Grundvattenytan befann sig sommartid vanligen på 130-160 cm djup och i några fall ännu djupare. Även detta bör ha bidragit till att rötterna kunde nå nämnda djup och möjliggjorde därmed kväveutnyttjande ungefär lika långt ned i marken. Alven, inte bara över 100 cm djup utan även rätt långt därunder, kan i denna lerjord således betraktas som ett slags "förrådsplats", där mineralkväve mer eller mindre lagrades under vinterhalvåret och sedan utnyttjades igen (i vart fall inom rotdjup) under den efterföljande växtsäsongen. Vidare tycks det av resultaten att döma inte vara uteslutet, att kapillär transport av vatten med sitt nitratinnehåll sommartid förekommit underifrån och upp till rotzonen. Detta skulle då ha möjliggjort, att kväve ännu något längre ned i marken delvis togs tillvara.

I många fall "tömdes" ju alven inom rotdjup i det närmaste helt på nitratkväve under växtsäsongen. Växterna har i dylika fall troligen ett *behov av kväve*, som kan tillgodoses genom djupare beläget mineralkväve, om sådant finns. Detta måste bidra till att minska kväveutlakningsrisken. Då grödornas kvävetillgång var stor eller mycket stor, utnyttjades däremot kvävet i alven sämre, med större mineralkväverester som följd. Resultaten tyder på att växterna vid stort eller alltför stort kväveutbud i första hand tar upp kväve i matjorden och de övre delarna av alven. De outnyttjade resterna därunder medför sedan ökad kväveutlakningsrisk.

Det fanns ju mycket mineralkväve under många av vårarna i system III, VI och VII. Man skulle i praktiken givetvis kunna förbättra utnyttjandet av både sådant mineralkväve i markprofilen och gödselkväve genom att anpassa gödslingen till mängden mineralkväve på våren (se nedan).

Förbättringar av odlingssystemen

Genomförandet av detta odlingssystemförsök följde på förhand fastställda planer för skötselåtgärderna. Av de nackdelar med fasta odlingsplaner, som framkommit av resultaten för 1979-86, kan slutsatser om förbättringar i den praktiska odlingen dras enligt följande:

Som förväntat visade resultaten av mineralkvävebestämningarna och utlakningsstudierna, att risk för ökade kväveförluster kan uppstå, om gödslingen ligger på en förutbestämd hög nivå, på eller över gränsen till det troligen överoptimala såsom i system III respektive VII. Övåntade händelser i odlingen kan inträffa, såsom angreppet av brunfläcksjuka på höstvetet 1980 i system III. Detta ledde till sämre skörd och kväveutnyttjande. Vidare tycks nyckfullheter i kvävemineraliseringen kunna uppstå. Så var fallet under vinterhalvåret 1979/80, då mineralkvävemängderna tilltog förvånansvärt mycket från höst till vår i system III-VII. Till sammans med den kraftiga kvävegödslingen till höstvetet 1980 i växtföljd III och angreppet av brunfläcksjuka på denna gröda medförde detta starkt ökade mineralkväverester efter vetet i detta system, med ökad kväveutlakning som följd. Således är årliga justeringar av gödslingen med hänsyn till kvävebehovet självklart behövliga, vilket ju också sker i praktiken. Sådana anpassningar vore önskvärda att studera försöksmässigt för att belysa, hur kväveutnyttjande och utlakning påverkas (se även nedan).

Odlingssystem V utgör naturligtvis bara en av många möjliga varianter av ekologisk odling. Systemet kan ändras för att minska kväeutlakningen och förbättra grödornas kväveförsörjning. Detta skulle kunna ske genom större andel baljväxtvall och därigenom så stor djurhållning, att mer stallgödsel skulle produceras och kunna ges till fler stråsådesgrödor. I praktiken vore en övergång till flytgödselhantering en förbättring. Sådan gödsel kan ju myllas på våren, med bättre kväveutnyttjande och mindre risk för utlakning som följd. I system V tillfördes nötfastgödsel i samband med vallbrottet inför sådd av höstvete, eftersom sådan gödsel effektivast brukas ned i marken genom plöjning. Vill man behålla höstspidningen, är inte höstvete utan höstraps lämpligast att så, eftersom rapsen är den enda "ettåriga" gröda som kan ta upp större mängder kväve på hösten efter sådden, ofta omkring 50 kg N/ha och ibland mer än 100 kg N/ha (Engström & Lindén, 2008; Engström et al., 2009).

Om det finns mycket mineralkväve på våren såsom i system III, VI och VII, kan man som nämnts förbättra utnyttjandet av både gödselkvävet och mineralkvävet i markprofilen genom att anpassa gödslingen till mängden mineralkväve på våren. Finns mycket kväve av detta slag på våren, kan ju gödslingen minskas. Metoden med sådana s.k. kväveprognoser prövades ju i Sverige främst under 1980-talet. Som underlag fordras dock krävande jordprovtagning och bestämning av mineralkväve i god tid före vårbruk och gödsling på våren. Metoden kom ur bruk av olika skäl och följdes av andra förfaranden, bl.a. anpassning av kvävegödslingen till den förväntade skördens storlek. Högre avkastning medför ju större kväveupptag och -behov (jmf. Lindén, 1987; Delin, 2005; Engström, 2010).

Utvecklingen av reflektansmätning i grödor har under de senaste årtiondena gett nya möjligheter till säkrare bedömningar av kvävegödslingsbehovet. Med reflektansmätning kan grödornas kvävestatus beskrivas under pågående växtsäsong. Skanning av grödan med Yaras N-sensor (med mätning av reflektans) används i många fall för kompletteringsgödsling i praktisk odling (www.yara.se) och ger enligt Frostgård (2013) möjligheter till exaktare kvävegödsling. Frostgård (2013) anger att malkorns proteinhalt förbättrades med hjälp av kompletteringsgödsling, som styrts med N-sensor, under ett år (2012) med generellt höga skördar men låga proteinhalter. Wetterlind (2010) redovisade N-sensormätningar i icke kvävegödslade led i höstveteförsök för att prediktera kväveskörden där. Sambanden blev mycket goda mellan sådana förutsägelser och uppmätt kväveskörd utan kvävegödsling, bäst vid N-sensormätning i flaggbladsstadiet. Det vore angeläget att i framtida *utlaknings*försök studera, hur optimering av kvävegödslingen med senaste teknik skulle inverka på utlakningsförlusterna för att på detta sätt över tid följa teknikutvecklingens verkningar. Framsteg, som *förmodas* öka kväveeffektiviteten, bör ju också ge utslag i form av nedsatta förluster.

Referenser

- Albertsson B., Börling, K., Kvarmo, P., Listh, U., Malgeryd, J. & Stenberg, M. 2016. Rekommendationer för gödsling och kalkning 2017. *Jordbruksverket, rapp. 2016:24*, 102 s.
- Aronsson, H. & Torstensson, G. 2003 Höstgrödor – Fånggrödor – Utlakning Kvävedynamik och kväeutlakning i två växtföljder på moränlätter i Skåne. Resultat från 1993-2003. *Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvårdslära, Ekohydrologi 75*, 27 s.
- Bengtsson, A. & Cedell, T. 1993. Våröljeväxternas kvävegödsling. *Svensk frötidning*, nr 3 1993, 7-10.
- Berglund, K. 1996. Properties of cultivated gytty soils. *International Peat Journal 6*, 5-23.

- Bergström, L. & Brink, N. 1986. Effects of differentiated applications of fertilizer N on leaching losses and distribution of inorganic N in the soil. *Plant and Soil* 93, 333-345.
- Bremner, J.M. & Keeney, D.R. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3. Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by extraction-distillation methods. *Soil Science Society of America Proceedings* 30, 577-582.
- Delin, S. 2005. Site-specific nitrogen fertilization demand in relation to plant available soil nitrogen and water. Potential for prediction based on soil characteristics. *Doctoral thesis no. 2005:6, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, 130 s.
- Delin, S. Nyberg, A., Lindén, B., Ferm, M., Tostensson, G., Lerenius, C. & Gruvaeus, I. 2008. Impact of crop protection on nitrogen utilisation and losses in winter wheat production. *European Journal of Agriculture* 28, 361-370.
- Dlouhý, J. 1981. Alternativa odlingsformer - växtprodukters kvalitet vid konventionell och biodynamisk odling. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växtodlingslära, rapport 91*, 39 s.
- Emanuelssn, U. 2011. Jordbrukets miljöeffekter. I: *Sveriges Nationalatlas. Jordbruk och skogsbruk i Sverige sedan 1900 – en kartografisk beskrivning* (temareaktör: Ulf Jansson; termavärd: Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien). Norstedts förlagsgrupp, 98-101.
- Engström, L. 2010. Nitrogen dynamics in crop sequences with winter oilseed rape and winter wheat. *Doctoral thesis no. 2010:92, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, 109 s.
- Engström, L. & Lindén, B. 2008. Kväveförsörjning i ekologiska odlingssystem med vall – hösträps – vete. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för precisionsodling, rapport 16*, 33 s.
- Engström L., Lindén B., Börjesson T., Söderström M., Nissen K., Gruvaeus I., Hagner O., & Lorén N. 2009. Determination of canopy properties of winter oilseed rape using remote sensing techniques in field experiments. I: van Henten, E.J., Goense, D. & Lokhorst, C. (eds.). *Precision Agriculture '09*. Wageningen Academic Publishers, 113-118.
- Ericsson, J. & Bertilsson, G. 1982. Regionala behov av underhållskalkning. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för växtnäringslära, rapport 144*, 11 s.
- Frostgård, G. 2013. Höga skördar gav låga proteinhalter i maltkorn. *Växtpressen 1/2013*, Yara, Landskrona, 18-19.
- Granstedt, A. 1990. Fallstudier av kväveförsörjning i alternativ odling. Doktorsavhandling. *Forsknings- och försöksnämnden för alternativ odling, Alternativ odling 4*, 271 s.
- Gustafson, A. 1987. Water discharge and leaching of nitrate. Dissertation. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för vattenvårdslära, Ekologi 22*, 82 s.
- Haak, E., Lindén, B. & Persson, P. J. 1994. Kväveflöden i olika odlingssystem. Försök på Lanna, Skaraborgs län. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för växtnäringslära, rapport 194*, 22 s.
- Hanschmann, A. 1983. Einfluß von Temperatur und Feuchtigkeit auf die Mineralisierung von Bodenstickstoff. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 27, Berlin, 297-305.
- Hessel Tjell, K., Aronsson, H., Torstensson, G., Gustafson, A. Lindén, B., Stenberg, M. & Rydberg, T. 1999. Mineralkvävedynamik och växtnäringsutlakning i handels- och stallgödslade odlingssystem med och utan fånggröda. Resultat från en grovmojord i södra Halland, perioden 1990-1998. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för vattenvårdslära, Ekohydrologi 50*, 40 s.
- Jansson, S.L. 1978. Bördighetsstudier för markvård. Försök i Malmöhus län 1957-74. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 117*, 77-93.

- Jansson, S.L. 1987. Skördeutveckling vid olika naturliga betingelser, odlingssystem och näringsnivåer. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift. Suppl. 19*, 9-20.
- Johansson, O. 1963. Jordprovtagning för markkartering. *Växtnäringsnytt 19, häfte 1*, 1:7-11.
- Kjellerup, V. 1975. Kvælstofgødsningens indflydelse på drænvandets indhold af nitratkvælstof. *Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur 17, 1220. Meddelelse. Lyngby, Danmark*, 4 s.
- Kyllmar, K., Johansson, G. & Hoffmann, M. 1995. Avrinning och växtnäringsförluster från JRK:s stationsnät för agrohydrologiska året 1993/94 samt en långtidsöversikt. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för växtnäringslära, Ekohydrologi 38*, 31 s.
- Lindén, B. 1977. Utrustning för provtagning i åkermark. *Rapporter från Avdelningen för växtnäringslära, Lantbrukshögskolan, Uppsala, nr 112*, 29 s.
- Lindén, B. 1981. Sambandet mellan odlingsåtgärderna och markens mineralkväveförråd. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien, rapport nr 5*, 1981, 67-123.
- Lindén, B. 1984. Årternas inverkan på mineralkvävetillgången i marken och efterföljande grödas gödselkvävebehov. Ärtodling, NJF-seminarium i Uppsala den 11-12 april 1984 anordnat av Nordiska Jordbruksforskarens Förening. *NJF-utredning/rapport nr 15*, 23:1-8.
- Lindén, B. 1987. Mineralkväve i markprofilen och kvävemineralisering under växtsäsongen. I: Kvävestyrning till stråsäd - dagsläge och framtidsmöjligheter. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien, rapport 24*, 23-46.
- Lindén, B. 2008. Efterverkan av olika förfrukter: inverkan på stråsådesgrödors avkastning och kvävetillgång – en litteraturöversikt. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för precisionsodling, rapport 14*, 64 s.
- Lindén, B. 2013. Kvävetillgång och växtodling på en kärrtorvjord ovanpå gytjelera i Uppland. En fallstudie. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö, rapport 12*, 40 s.
- Lindén, B. 2015. Kvävetillgång i odlade mulljordar i Kvismardalen i Närke. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö. Rapport 16*, 75 s.
- Lindén, B., Lyngstad, I., Sippola, J., Sjøgaard, K. & Kjellerup, V. 1992a. Nitrogen mineralization during the growing season. I. Contribution to the nitrogen supply of spring barley. *Swedish Journal of Agricultural Research 22*, 3-12.
- Lindén, B., Lyngstad, I., Sippola, J., Sjøgaard, K. & Kjellerup, V. 1992b. Nitrogen mineralization during the growing season. II. Influence of soil organic matter, and effect on optimum nitrogen fertilization of spring barley. *Swedish Journal of Agricultural Research 22*, 49-60.
- Lindén, B., Aronsson, H., Gustafson, A. & Torstensson, G. 1993. Fånggrödor, direktsådd och delad kvävegiva - studier av kväveverkan och utlakning i olika odlingssystem i ett lerjordsförsök i Västergötland. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för vattenvårdslära, Ekohydrologi 33*, 37 s.
- Lindén, B. & Wallgren, B. 1993. Nitrogen mineralization after leys ploughed in early or late autumn. *Swedish Journal of Agricultural Research 23*, 77-89.
- Lindén, B., Engström, L., Aronsson, H., Hessel Tjell, K., Gustafson, A., Stenberg, M. & Rydberg, T. 1999. Kvävemineralisering under olika årstider och utlakning på en mojord i Västergötland. Inverkan av jordbearbetningstidpunkter, flytgödseltillförsel och insådd fånggröda. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för vattenvårdslära, Ekohydrologi 51*, 57 s.

- Lindén, B., Roland, J. & Tunared, R. 2000. Höstsäds kväveupptag under hösten. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för jordbruksvetenskap Skara, Serie B Mark och växter, rapport 5*, 23 s.
- Lindén, B., Engström, L. & Ericson, L. 2003. Nitrifikation av ammonium i nötflytgödsel efter tillförsel till jord tidigt och sent på hösten - betydelse för utlakningsrisken. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för jordbruksvetenskap Skara, serie B Mark och växter, rapport 10*, 52 s.
- Lindén, B., Aronsson, H., Engström, L., Torstensson, G. & Rydberg, T. 2006a. Kväveminerialisering och utlakning av kväve och fosfor på en lerjord vid Lanna i Västergötland. Inverkan av gödslingsintensitet, jordbearbetning på hösten och engelskt rajgräs som insädd fånggröda. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för vattenvårdslära, Ekohydrologi 91*, 71 s.
- Lindén, B., Lerenius, C., Nyberg, A., Delin, S., Ferm, M., Torstensson, G., Hedene, K.-A., Gruvaeus, I., Tunared, R. & Roland, J. 2006b. Kan växtskyddsåtgärder minska kväveförlusterna vid odling av höstvet? *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för precisionsodling, rapport 5*, 28 s.
- Mattsson, L. 2006. Kväveintensitet – avkastning och kväveupptag. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för växtnäringsslära, rapport 212*, 43 s.
- Mattsson, L. & Anderson, L.E., 1984. Anpassad gödsling med kväveprognoser – teknik och tillämpning. *Aktuellt från Lantbruksuniversitetet 336, Mark-växter*, Uppsala, 18 s.
- Mattsson, L. & Carlgren, K. 1999. De skånska bördighetsförsöken under 40 år. *Försöksringarna och Hushållningssällskapen i Skåne, Skåneförsök, medd. nr 66*, 147-154.
- Morell, M. 2011. Teknikutvecklingen i jordbruket. I: *Sveriges Nationalatlas. Jordbruk och skogsbruk i Sverige sedan 1900 – en kartografisk beskrivning* (temaredaktör: Ulf Jansson; termavärd: Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien). Norstedts förlagsgrupp AB, 45-55.
- Müller, S., Ansorge, H., Jauert, R. & Hanschmann, A. 1977. Einfluß unterschiedlicher Vorfrüchte auf die Stickstoffnachlieferung des Bodens und auf die Erträge der Nachfrucht. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Berlin 21*, 45-52.
- Mårald, L. 2011. Ekologiskt lantbruk. I: *Sveriges Nationalatlas. Jordbruk och skogsbruk i Sverige sedan 1900 – en kartografisk beskrivning* (temaredaktör: Ulf Jansson; termavärd: Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien). Norstedts förlagsgrupp, 96-97.
- Neeteson, J.J. 1990. Development of nitrogen fertilizer recommendations for arable crops in the Netherlands in relation to nitrate leaching. *Fertilizer Research 26*, 291-298.
- Nyberg, A. & Lindén, B. 2008. Åkerböror som förfrukt till vårsäd i ekologisk odling. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för precisionsodling. Rapport 15*, 39 s.
- Nääs, O. & Odentun, E. 1957. Nytt jordborr för markfysikaliska undersökningar. *Grundförbättring 10*, 1-7.
- Ohlander, L.J.R. 1988. Odlingsystem och växtföljder. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växtodlingslära, andra upplagan*, Uppsala.
- Paauw, van der, F. 1966. Vorausage des Düngerbedarfs und des Ertrags auf Grund von Witterung und Bodenfruchtbarkeit. *Landwirtschaftliche Forschung 20*, 97-104.
- Ris, J. 1975. Stickstoffdüngung nach Feststellung des Nitratgehaltes im Boden. *Betriebswirtschaftliche Mitteilungen der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein 246*, 41-44.
- Rundgren, G. 2016. *Den stora ätstörningen. Maten, makten, miljön*. Ordfront förlag, Stockholm, 428 s.

- Scharpf, H.-C. 1977. Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf. *Fakultät für Gartenbau und Landeskultur der Universität Hannover. Dissertation*, 174 s.
- Servin, D. 2015. *Optimerad spannmålsodling – en historisk exposé*. Föredrag vid seminariet ”Optimerad spannmålsodling – dåtid, nutid och framtida konkurrenskraft” i Alnarp den 15 oktober 2015, arrangerat av Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien, 10 s. (pdf). partnerskapalnarp.slu.se/pub/default.aspx?=201516. Avläst 12.08.2017.
- Stenberg, M., Aronsson, H., Lindén, B., Rydberg, T. & Gustafson, A. 1999. Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop. *Soil & Tillage Research* 50, 115-125.
- Sveriges Officiella Statistik, 1981. Jordbruksstatistisk årsbok 1981, 352 s.
- Sveriges Officiella Statistik, 1982. Jordbruksstatistisk årsbok 1982, 319 s.
- Sveriges Officiella Statistik, 1983. Jordbruksstatistisk årsbok 1983, 319 s.
- Sveriges Officiella Statistik, 1984. Jordbruksstatistisk årsbok 1984, 3517s.
- Sveriges Officiella Statistik, 1985. Jordbruksstatistisk årsbok 1985, 215 s.
- Sveriges Officiella Statistik, 1986. Jordbruksstatistisk årsbok 1986, 258 s.
- Sveriges Officiella Statistik, 1987. Jordbruksstatistisk årsbok 1987, 264 s.
- Sveriges Officiella Statistik, 2015. Normskördar för skördeområden, län och riket 2015. *Statistiska Meddelanden, JO 15, SM 1501*, 68 s.
- Stjernman Forsberg, L., Johansson, G. & Blomberg, M. 2016. Växtnäringsförluster från åkermark 2014/2015 Årsredovisning för miljöövervakningsprogrammet Observationsfält på åkermark. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö, Avdelningen för vattenvårdslära, Ekohydrologi* 142, 19 s.
- Torstensson, G., Gustafson, A., Lindén, B. & Skyggesson, G. 1992. Mineralkvävedynamik och växtnäringsutlakning på en grovmojord med handels- och stallgödslade odlings-system i södra Halland. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för vattenvårdslära, Ekohydrologi* 28, 24 s.
- Wallgren, B. & Lindén, B. 1994. Effects of catch crops and ploughing times on soil mineral nitrogen. *Swedish Journal of Agricultural Research* 24, 67-75.
- Wetterlind, J. 2010. Mätningar med Yara N-sensor för att skatta markens kvävelevererande förmåga. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö, Precisionsodling och pedometri, rapport 4*, 19 s.
- Wivstad, M. & Andersson, T. 1991. Gröngödsling som förfrukt till höstvet. Preliminära resultat från fältförsök 1989-90. *Alternativodlingsbrevet Juni 1991*, nr 36. SLU Info. Mark-Växter, 8-18.
- Østergaard, H.S., Hvelplund, E. K. & Rasmussen, D. 1983. *Kvælstofprognoser. Bestemmelse af optimalt kvælstofbehov på grundlag af jordanalyser og klimamålinger før vækstsæsonen*. Landskontoret for Planteavl, Viby J, Danmark, 200 s.

Distribution:

**Sveriges lantbruksuniversitet (SLU)
Institutionen för mark och miljö
Box 7014
750 07 Uppsala**

**Tel: 018-67 24 60
<http://www.slu.se/mark>**
