

Kväveutnyttjande och kväveutlakningsrisker i åkerjordar i Hälsingland i ett kallare klimat än nutidens

– Efterföljande utveckling genom klimatförändring och jordbruksomvandling

Börje Lindén



Titel: Kväveutnyttjande och kväveutlakningsrisker i åkerjordar i Hälsingland i ett kallare klimat än nutidens – Efterföljande utveckling genom klimatförändring och jordbruksomvandling

Författare: Börje Lindén

Kontakt: borjelinden@hotmail.com, tel. 0708-41 90 53

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2020

Omslagsbild: Börje Lindén

Serietitel: Ekohydrologi

Delnummer i serien: 163

ISSN: 0347-9307

ISRN: SLU-VV-EKOHYD-163-SE

Elektronisk publicering: <http://pub.epsilon.slu.se>

Bibliografisk referens: Lindén, B. (2020). *Kväveutnyttjande och kväveutlakningsrisker i åkerjordar i Hälsingland i ett kallare klimat än nutidens – Efterföljande utveckling genom klimatförändring och jordbruksomvandling*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. (Ekohydrologi, 163).

Innehållsförteckning

	Sida
Förord	5
Sammanfattning	6
Inledning	7
Material och metoder	9
Fältförsök 1978-84 vid Sävstaås, Bollnäs	9
Fältförsök 1978-82 vid Östra Höle, Rengsjö	11
Observationsförsök 1982-84 vid Gundbo, Alfta	13
Observationsförsök 1982-84 vid Bofara, Kilafors	15
Metodik vid mineralkvävebestämning	16
Jordbrukets utveckling i Gävleborgs län sedan slutet av 1970-talet och troliga förändringar i framtiden	18
Resultat och diskussion	19
Väderförhållanden under försöksåren	19
Försök 1978-84 vid Sävstaås, Bollnäs	22
<i>Markegenskaper</i>	22
<i>Skördar vid Sävstaås</i>	23
<i>Kväve upptaget i grödan i ledet utan kvävegödsling 1982-83</i>	24
<i>Mineralkvävets årstidsvariationer vid Sävstaås</i>	24
<i>Grödans utnyttjande av mycket stora mineralkväveförråd i marken (1979-80)</i>	38
<i>Jämförelser mellan de olika åren 1978-84 i försöket vid Sävstaås</i>	39
<i>Ammoniumkväve inom 0-100 cm djup vid Sävstaås</i>	42
Försök 1978-82 vid Östra Höle	43
<i>Markegenskaper</i>	43
<i>Skördar vid Östra Höle</i>	45
<i>Mineralkväve i marken vid Östra Höle</i>	46
<i>Fördelning av mineralkvävet inom 0-100 cm djup vid Östra Höle</i>	46
<i>Mineralkväve inom 0-200 cm djup vid Östra Höle</i>	54
<i>Ammoniumkväve inom 0-200 cm djup vid Östra Höle</i>	55
Observationsförsök 1982-84 vid Gundbo, Alfta	55
<i>Markegenskaper</i>	55
<i>Skördar av korn, kväve i grödan och jordens bidrag till kornets kväveförsörjning vid Gundbo</i>	56
<i>Mineralkväve, kvävemineralisering och kväveutnyttjande i marken under växtsäsongen vid Gundbo</i>	57
<i>Ammoniumkväve i jorden vid Gundbo</i>	60
<i>Mineralkväve på olika djup i marken och risker för utlakningsförluster efter växtsäsongen vid Gundbo</i>	60
Observationsförsök 1982-84 vid Bofara, Kilafors	61
<i>Markegenskaper</i>	61
<i>Skördar av korn, kväve i grödan och jordens bidrag till grödans kväveförsörjning vid Bofara</i>	62
<i>Mineralkväve och kväveutnyttjande i marken under växtsäsongen vid Bofara</i>	63
<i>Ammoniumkväve i marken vid Bofara</i>	66
(Forts.)	

(Forts.)	
Jordbrukets utveckling i Gävleborgs län sedan slutet av 1970-talet och troliga förändringar i framtiden – betydelse för kväveutlakningsriskerna	67
<i>Användning av åkerarealen i Gävleborgs län</i>	67
<i>Grödor på åker i öppen växtodling i Gävleborgs län</i>	71
<i>Trolig förändring av växtodlingen i Gävleborgs län med hänsyn till ett framtida varmare klimat och fortsatt omvandling av jordbruket</i>	72
Övergripande diskussion och slutsatser samt innebörd i ett förändrat klimat	73
Avkastning i försöken 1978-84, dvs. i ett tidigare, kallare klimat	73
<i>Skördenivåer och kvävegödsling i försöken</i>	73
<i>Anpassning av kvävegödslingen till skördenivåerna</i>	74
<i>Framtida skördenivåer genom klimatförändring – konsekvenser för kvävegödslingen</i>	75
Växttillgängligt kväve i marken	76
<i>Utnyttjbart markkväve i försöken</i>	76
<i>Metod för bedömning av markens kväveleverans och av verkan av höstspridd stallgödsel - för exaktare kvävegödsling</i>	77
<i>Grödornas utnyttjande av mineralkväve på olika markdjup i relation till markens egenskaper</i>	77
<i>Inverkan av kvävegödslingen under våren på de outnyttjade nitratkväveresterna vid avslutad kväveupptagning i försöken utan flytgödselspridning</i>	80
<i>Vårsädesgrödornas utnyttjande av stora mängder övervintrande mineralkväve</i>	81
Kvävemineralisering under hösten och vintern – en orsak till kväveutlakningen	82
Höst- och vintermineralisering av kväve i ett varmare, framtida klimat	84
Gävleborgs län: Inverkan på kväveutlakningen av jordbrukets utveckling sedan slutet av 1970-talet och troliga förändringar i framtiden	85
Referenser	87

Omslagsbilden visar ett åkerlandskap i de trakter i södra Hälsingland där försöken i den föreliggande rapporten utfördes. Såsom på denna bild finner man den odlade marken i Hälsingland huvudsakligen i dalgångar, ofta i anslutning till sjöar, älvar och åar. Sjöarna i dalgångarna i Bollnäs kommun och i trakten av Alfta i Ovanåkers kommun ligger i storleksordningen 50-100 m.ö.h. Odlingsmarken är därmed belägen något högre än så i dalstråken i fråga. Den odlade jorden i dessa delar av Hälsingland är vidare strängt knuten till områden under Högsta kustlinjen (omkring 220 m.ö.h.), där sedimentära jordar odlats upp (Höglin, 1998). De moränklädda skogshöjder som omger de odlade bygderna i Bollnästrakten har bergstoppar som på vissa håll når omkring 250-350 m.ö.h. De sedimentära jordarna i dalgångarna har därmed bildats i ett istida fjord- och ölandskap inte långt från Högsta kustlinjens gränser i väster.

Förord

Nedan redovisas undersökningar av mineralkväve (ammonium- och nitratkväve) under olika årstider i åkermark i Hälsingland. Dessa utfördes 1978-84. Studierna avser fyra fältförsök med syfte att belysa vårsädesgrödors utnyttjande av mineralkväve på olika djup i marken, detta kväves rörelser i markprofilen och riskerna för kväveutlakning. Växtsäsongens, höstarnas och vintarnas längd inverkar härvid på kvävemineraliseringens storlek under den tid då det inte finns någon gröda som kan ta upp kväve från jorden. Detta mineraliserade kväve riskerar att delvis förloras från marken under den vegetationslösa årstiden. Vintertid påverkas dock utlakningsrisken i ett kallare klimat av att nederbörden lagras som snö och av att tjäle uppkommer, med varierande djup och varaktighet beroende på vädret. Tjäle främjar ytvattenavrinningen vid snösmältningen och minskar därmed andelen nederbördsvatten som tränger ned genom marken, vilket kan begränsa utlakningen (jmf. Gustafson & Torstensson, 1983).

De fyra fältförsöken hade delvis skilda syften och därmed olika försöksplaner. De genomfördes emellertid ganska nära varandra i Bollnästrakten i södra Hälsingland (i Gävleborgs län) och därmed under enhetligare väder- och klimatförhållanden. Resultat från studierna har delvis redovisats tidigare (Lindén, 1981, 1987). Syftet med att här beskriva försöken gemensamt är att med ett sådant större underlag bättre belysa kväveutnyttjande och kväveutlakningsrisker vid odling av vårsäd i olika jordar under klimatbetingelserna i området.

Försöken visar förhållanden i ett kallare klimat, som nu är historiskt. Resultaten torde numera gälla åkerjordar betydligt längre norrut i landet. Men genom försökens ålder och jämförelser med liknande undersökningar längre söderut i Sverige vore det möjligt att belysa, hur kväveförhållandena i odlad jord förändras genom övergång från ett förhållandevis kallt till ett mildare klimat, som mer liknar det som rått i sydligare delar av landet. En hypotes är att högre temperaturer i Hälsingland skulle medföra ökad kväveutlakning, särskilt genom tilltagande kvävemineralisering under vinterhalvåret, så att utlakningsförhållandena mer liknar dem söderut i landet. Detta gäller här närmast åkermark som ligger obevuxen och normalt bearbetad på hösten och vintern efter stråsåd eller andra ettåriga grödor.

Å andra sidan har jordbruket i Gävleborgs län under dessa ca 40 år genomgått betydande strukturella förändringar, som torde ha medfört minskade kväveutlakningsrisker. Denna utveckling avser bl.a. minskat antal mjölkkor, men istället ökad köttjursproduktion och fårskötsel, samt ganska omfattande nedläggning av åkermark. Spannmålsarealen har blivit starkt reducerad. Ett spørsmål är hur å ena sidan ett varmare klimat och å den andra jordbrukets strukturella förändringar tillsammans påverkar kväveförlusterna till grund- och ytvatten i nutiden och i framtiden i länet.

Uppsala i februari 2020

Författaren

Sammanfattning

I föreliggande rapport beskrivs kväveutnyttjande och kväveutlakningsrisker vid odling av korn och havre i fyra fältförsök nära Bollnäs, södra Hälsingland, vid 1) Sävstaås 1978-84 (mellanlera), 2) Östra Höle 1978-82 (moig lättlera underlagrad av mo), Gundbo, Alfta 1982-84 (mjällig mellanlera) och 4) Bofara, Kilafors 1982-84 (lättlera). Försöksplanerna var delvis olika. Gödsling med kväve som mineralgödsel utfördes på våren i olika led i försöken: vid Sävstaås 0 kg N/ha (0N) och (i medeltal) 78 kg N/ha (78N), vid Östra Höle 0N, 40N och 80N och vid Gundbo 0N och 90N. Givorna 78N och 80N kan anses motsvara normala kvävegivor i området, 90N dock något över. Vid Bofara tillfördes svinflytgödsel (ca 40 ton/ha) i hela försöket varje höst, varefter en uppdelning på leden 0N och 50N gjordes vid tillförsel av kompletterande mineralgödselkväve på våren. Mineralkväve (ammonium- och nitratkväve) i marken bestämdes under olika årstider i 20-cm-skikt till 100 cm djup vid Sävstaås och Östra Höle samt i 30-cm-skikt ned till 90 cm vid Gundbo och Bofara. Offentlig jordbruksstatistik 1978-2018 användes för att belysa, hur förändringar av jordbruket i Gävleborgs län under denna tid påverkat riskerna för kväveutlakning i länet, med bedömningar för en framtid med ett varmare klimat.

Kärnskördarna vid Sävstaås blev vissa år låga även vid ”normal” kvävegödslingsnivå (78N), i medeltal 3660 kg/ha och med större variationer mellan åren (min. 2030 och max. 5140 kg/ha). Vid Östra Höle erhöles i 80N i genomsnitt 2720 kg/ha (2190-3060 kg). Vid Gundbo (bara korn) blev medeltalet 4990 kg/ha (4780-5320 kg) Vid Bofara (bara korn) erhöles i genomsnitt 4350 kg/ha (3490-5420 kg). Kyligare somrar tycktes medföra sämre avkastning. Skördevariationerna mellan åren vid Sävstaås och Bofara visar att det kan vara svårt att i förväg på våren anpassa kvävegivan efter årets skördenivå, så att kväveeffektiviteten blir bästa möjliga.

I försöket vid Sävstaås minskade mängden mineralkväve i marken under växtsäsongen och nådde sitt lägsta värde i augusti eller början av september, då kornets och havrens kväveupptagning upphörde. Detta undersöktes även vid Gundbo och Bofara, med liknande resultat. Vid denna tid återstod det i de normalgödslade leden något mer mineralkväve än utan kvävegödsling (0N): vid Sävstaås (78N) +8 kg N/ha (0-100 cm), Ö. Höle (80N) +7 kg N/ha (0-100 cm) och Gundbo (90N) +8 kg N/ha (90 cm djup). Under år med högre skördar utnyttjades mineralkvävet i marken vid Sävstaås och Östra Höle bättre än annars.

Under höstarna ökade mängderna mineralkväve. Från senhösten förblev förråden ganska oförändrade fram till våren, trots att något kväve kan ha förlorats ned under provtagningsdjupet 100 eller 90 cm. Från augusti-september till nästa vår (provtagning omkring den 3/5) uppkom ett nettotillskott av mineralkväve på i medeltal 20 kg N/ha vid Sävstaås, 10 kg vid Östra Höle (underskattad mängd) och 16 kg vid Gundbo. I ett framtida varmare klimat torde höst- och vintermineraliseringen öka. Detta kan leda då till större kväveutlakning, även genom mindre tjälbildning och genom perkolation av vatten ned genom marken under stora delar av vintern, såsom söderut i landet. Särskilt vid Östra Höle tycktes tjäle bidra till att hindra nedvaskningen av mineralkväve djupare ned i marken, troligen genom minskad mängd dräneringsvatten.

Det mineralkväve som fanns i lerjordarna vid Sävstaås och Gundbo på våren utnyttjades uppenbarligen av grödorna ned till 60-80 cm respektive 80-90 cm djup, ungefär så långt ned som sprickor och rötter förekom. I den lättare jorden vid Östra Höle syntes mineralkväve tas upp till 80-100 cm djup, trots grundare rotsystem (ca 40 cm). Förklaringen torde där vara kapillär upptransport av kväve till rotzonen. Det sämre utnyttjandet av mineralkväve djupare ned i alven vid Sävstaås innebär, att outnyttjat kväve riskerar att vaskas ned till ännu större djup

under efterföljande vinterhalvår och sedan utlakas. På styv lerjord vid Lanna i Västergötland fastställde Lindén (2017) rotdjup till 1-1,5 m, vilket möjliggjorde kväueupptagning djupare än i de här redovisade försöken i Hälsingland.

Vid Bofara, där svinflytgödsel spreds under höstarna, hade mineralkväve vaskats ned till minst 90 cm djup fram till våren, men blev ganska likartat fördelat inom detta djup. Mineralkvävet i alven utnyttjades svagt av kornet, antagligen beroende på att flytgödseln gav god tillgång på kväve ytligt i marken. Det uppkom stora mängder outnyttjat kväve i alven. Vid Östra Höle tillfördes 100 kg N/ha som kalksalpeter på hösten i ett extra led 1979-82. Kvävet rörde sig ganska lite ned i alven under vinterhalvåret men något förefaller ha nått ned under 100 cm djup. Grödan tycktes här kunna ta upp mineralkväve ned till ca 80 cm.

Från tiden för försöken (1978-84) till nutiden (2016) minskade åkerarealen i Gävleborgs län från ca 80000 ha till 66500 ha. Spannmålsarealen (mest korn och havre) reducerades från 39000 ha till 14600 ha år 2018. Samtidigt ökade vallen från 27500 ha till 35400 ha. Antalet mjölkkor avtog visserligen under perioden, men köttdjur och får ökade i antal. Färre mjölkkor innebär mindre behov av fodersäd. Köttdjur och får kan delvis födas upp med foder från mer extensivt odlade vallar (inkl. bete), som gödslas mindre och ligger längre. År 2016 utgjorde slåtter- och betesvall 63 % av åkerarealen, medan spannmål odlades på 24 %. I medeltal gödslades bara 65 % av åkerarealen i Gävleborgs län 1997-2016 med kväve i mineralgödsel och/eller stallgödsel, med en minskande trend med åren. Nedläggningen av åkermark och minskningen av arealen spannmål torde fortsätta framöver, bl.a. genom att sämre jordar överges och att det efter äldre jordbrukare ibland inte finns yngre som tar över driften. I ett framtida varmare klimat ökar troligen skördarna i länet, och mer högvastande grödor såsom vår- och höstvetete samt höstraps bör bli vanligare. Odlingen av spannmål och andra ettåriga grödor torde emellertid komma att alltmer koncentreras till de bättre jordarna i framtiden.

Minskningen av åkerarealen (17 %) och spannmålsarealen (63 %) samt ökningen av vallodlingen under de gångna ca 40 åren innebär att den samlade kvävebelastningen på grund- och ytvatten från jordbruksmark i Gävleborgs län bör ha minskat. Den starkt reducerade spannmålsarealen måste medföra, att mineraliserat kväve sammantaget inte anhopas i länets åkermark på hösten i lika hög grad som tidigare och som i de ovan redovisade försöken. Istället innebär ökad vallareal att utlakningen från marken ifråga minskar, eftersom jorden är bevuxen med en gröda som växer och tar upp kväve under en längre period än vid odling av t.ex. vårsäd. Även om ett varmare klimat medför ökad kvävemineralisering under höstar och vintrar efter stråsåd och andra ettåriga grödor, med ökad kväveutlakningsrisk som följd, är det troligt att förlusterna av kväve från åkermark totalt sett kommer att reduceras i länet i framtiden genom dels fortsatt förändring av markanvändningen och dels bättre kväveutnyttjande, det senare genom högre skördar i ett varmare klimat och anpassning av kvävegödslingen till avkastningsförmågan.

Inledning

De jordbruksbygder som Jordbruksverket klassar som nitratkänsliga områden sträcker sig från Sydsverige upp till Norduppland och sydligaste Dalarna (Eriksson & Bång, 2018). Hälsinglands jordbruksbygder, där de nedan redovisade fältförsöken genomfördes, ligger således utanför de nitratkänsliga områdena. Nitralthalterna indelas i detta sammanhang i sex klasser: <2, 2-5, 5-20, 20-40, 40-50 och >50 mg/l. Enligt EU:s nitratdirektiv innebär kriterierna för nitralthalterna i yt- och grundvatten, att de inte får överstiga eller riskera att överstiga 50 mg/l. Av undersökningar

2014-2016 av nitrat i grundvattentäkter (Eriksson & Bång, 2018) framgår att medelvärdena i sådant grundvatten i Gävleborgs län varierade från den lägsta klassen (<2 mg/l) till den tredje klassen (5-20 mg/l). Högre nitratklasser fanns tydligen inte registrerade i länet. Nitrathalterna i inventerade sjöar, vattendrag och ytvattentäkter i området hade nitrathalter under 2 mg/l. Belastningen av yt- och grundvatten med nitrat kan generellt anses vara liten eller högst måttlig i Gävleborgs län. I den mån jordbruksmark ingår i vattentäkternas infiltrationsområden, kan givetvis odlingsåtgärderna påverka vattenkvaliteten i dem genom utlakning.

Generellt sett är kväveutlakningen (i kg N/ha) i åkermark störst i södra och sydvästra Sveriges större jordbruksområden, medan den i allmänhet avtar längre norrut i landet (t.ex. Aronsson & Torstenson, 2004; Norberg & Stjernman Forsberg, 2018; Linefur et al., 2019). I sydligare landsdelar, med större kväveutlakning, medverkar en kombination av flera faktorer till de större förlusterna: varmare klimat, lättare jordar eller lättleror på många håll, intensiv odling av ett flertal ettåriga grödor och omfattande animalieproduktion (i många områden). Med milda höstar och vintrar som i sådana landsdelar får man efter ettåriga grödor räkna med större ansamling av mineraliserat kväve i jorden under dessa årstider, där den ligger obevuxen under denna tid. Detta ökar ju kväveutlakningsriskerna.

Norr om slättbygderna i Mellansverige vidtar mellan- och skogsbygder med större andel vall, exempelvis i Hälsingland i Gävleborgs län. Odling av vall medför normalt mindre kväveutlakning än vårsådda, ettåriga grödor (se t.ex. Gustafson & Torstensson, 1984; Gustafson, 1985; Bergström & Kirchmann 2000; Torstensson, 2003). Med större vallareal blir det mindre andel ettåriga grödor. I exempelvis Gävleborgs län utgörs de senare växtslagen huvudsakligen av vårsäd (korn och havre) till foder. Under de första fyra åren av 2000-talet bestod åkerarealen i detta län till 51-54 % av slätter- och betesvallar och till 31-36 % av spannmål (Jordbruksstatistisk årsbok 2001-2004). År 2016 var motsvarande andelar 63 % respektive 24 % (Jordbruksstatistisk sammanställning 2019). Antas enligt ovan att kväveutlakningen från vallarealen är liten, är det åkermark med spannmål och övriga ettåriga grödor som kan utgöra de kritiska arealerna i utlakningshänseende i Gävleborgs län. Ettåriga grödor såsom oljeväxter, baljväxter (främst foderärter) och potatis upptar dock bara en obetydlig andel av länets åker. Frågan är då hur vårsädesgrödorna korn och havre påverkar kväveutlakningen i länets jordbruksområden.

I föreliggande rapport beskrivs kväveutnyttjande och kväveutlakningsrisker vid odling av korn och havre i fyra fältförsök i södra Hälsingland 1978-84. Det var då som nämnts ett kallare klimat än i nutiden. Undersökningarna innefattade bestämningar av grödornas kväveupptag och av mineralkväve (ammonium- och nitratkväve), med provtagning till 100 eller 90 cm markdjup under olika årstider. De fyra fältförsöken i Hälsingland hade från början olika syften och genomfördes därför med skilda försöksplaner. Ett av försöken var placerat på en mellanlera vid Sävstaås nära Bollnäs och ett annat på en lätt jord vid Östra Höle ca 14 km öster om Bollnäs. I det tredje försöket, som var beläget vid på en mjällig mellanlera i Gundbo i närheten av Alfta (ca 20 km väster om Bollnäs), var det primära syftet att belysa kvävemineraliseringen under växtsäsongen. I det fjärde försöket, anlagt på en lättlera i Bofara nära Kilafors, ca 20 km sydost om Bollnäs, var målet att undersöka kväveförhållandena i marken efter spridning av svinflytgödsel på hösten, i jämförelse med sydligare landsdelar.

Det kan inte tas för givet att resultat från undersökningar i Göta- och Svealand av vårsädesgrödors utnyttjande av mineralkväve på olika djup i marken, detta kväves rörelser i markprofilen

och riskerna för kväveutlakning helt kan tillämpas på åkerjordar i Hälsingland eller andra delar av Norrland. Även om t.ex. mellanleror förekommer i Hälsingland (se ”Digitala åkermarkskartan” av Söderström & Piikki, 2016), kan markstrukturförhållanden och rottdjup vara annorlunda än längre söderut. Detta påverkar grödornas utnyttjande av kväve på olika djup i marken. Svårlare somrar kan sätta ned stråsådens tillväxt och därmed försämra kväveutnyttjandet i marken. Kortare och kallare höstar samt längre vintrar bör å andra sidan minska kväveminerieringen under årstiderna efter det att stråsåden mognat. Långvarig tjäle i marken förändrar nederbördsvattnets nedträngning i marken tidsmässigt, med huvudsaklig avrinning på hösten och efter tjällossningen på senvintern-våren. Djupare långvarig tjäle kan leda till ytavrinning och därmed mindre mängd dräneringsvatten vid vårens snösmältning (Gustafson & Torstensson, 1983). Detta bör minska nedtransporten av kväve ned genom markprofilen. Det vatten som avbördas från åkermark genom ytavrinning innehåller visserligen också en del kväve, men det tycks vara i mindre mängder än i dräneringsvattnet (Gustafson & Torstensson, 1983).

Från försöksåren 1978-84 till nutiden, med dess varmare klimat, torde växtodlingsbetingelserna och de utlakningspåverkande förhållandena ha förändrats i området i fråga. Tidigare mognad av vårsäd och längre höstar förlänger tiden för kvävemineriisering på hösten, varvid mineraliserat kväve anhopas i obevuxen jord. Mildare och kortare vintrar, med mindre tjäle, bör även möjliggöra kvävemineriisering i jorden vintertid såsom längre söderut i landet. Mindre frekvent tjäle och ofta återkommande töväder medför ökad risk att vatten sipprar ned genom marken under en större del av vintern och därvid utlakar kväve. Med mindre tjäle bör även ytavrinningen under snösmältningsperioden minska. Sammantaget torde detta bidra till ökad kväveutlakning vid stråsådesodling i länet. Å andra sidan möjliggör längre och varmare växtsäsong större tillväxt och skörd, vilket ökar grödornas kvävebehov. Detta bör minska mängderna utnyttjat kväve i marken efter avslutad kväveupptagning, vid oförändrad kvävegödsling.

Sådana förändringar av kväveutlakningen måste ha skett alltsedan försöken utfördes 1978-84, och utvecklingen torde fortsätta i framtiden. Till denna inverkan på kväveförlusterna från åkermark kommer effekterna av omvandlingen av jordbruket i Gävleborgs län under denna period med t.ex. viss nedläggning av åkermark samt ändrad djurhållning och ändrad areal av olika grödor, vilket torde fortsätta i framtiden. Denna utveckling borde påverka den samlade kväveutlakningen från åkermarken. Dessa olika förhållanden har här inte kunnat undersökas experimentellt men beskrivs nedan med hjälp av meteorologiska data, officiell jordbruksstatistik och jämförelser med liknande undersökningar söderut i landet. Beskrivningarna har närmast en utrednings karaktär. Bedömningarna av utvecklingen framgent är av kvalitativ art.

Material och metoder

Fältförsök 1978-84 vid Sävstaås, Bollnäs

Undersökningar av främst mineralkväve i marken (0-100 cm djup) utfördes i detta försök 1978-84 vid odling av vårsäd. Försöksplatsen var belägen på ett fält med lerjord (lätt mellanlera i matjorden) omkring 3 km väster om Bollnäs kyrka och strax söder om den nuvarande stadsdelen Sävstaås i Bollnäs. Platsen har ungefärligen följande koordinater: 61° 20' 15" N, 16° 21' 5" E (enligt systemet WGS 84). Grödorna i försöket tillfördes årligen en kvävegiva som var normalt rekommenderad för trakten. De grödor och behandlingsled som ingick under försöksåren 1978-84 framgår av tabell 1. Försöket genomfördes med tre upprepningar. Försöksrutorna hade en

Tabell 1. Grödor och kvävegödsling (kg N/ha) i försöket vid Sävstaås 1978-84. Angivelserna inom parentes (t.ex. "0N" och "78N") under de årliga kvävegivorna avser ledbeteckningar som används i text och figurer nedan.

Behandling	År:	1978	1979*	1980	1981	1982	1983	1984
Vårsådd gröda:		Korn	Havre	Korn	Korn	Havre	Korn	Korn
Gödsling:	Utan kväve	-	-	-	-	0 (0N)	0 (0N)	-
	Med kväve**	75 (75N)	78 (78N)	80 (80N)	77 (77N)	80 (80N)	78 (78N)	80 (80N)

*) 1979 utvidgades försöket tillfälligt med en yta med obevuxen träda (svarträda, utan kvävegödsling).

***) I medeltal för 1978-84 tillfördes 78 kg N/ha (78N) i det gödslade ledet

Tabell 2. Datum för odlingsåtgärder och grödutveckling i försöket vid Sävstaås.

År	Kväve- göds- ling	Sådd	Upp- komst	Axgång	Full- mognad	Strå- styrka v. skörd	Skörd	Plöjning
1978	5/5	5/5	19/5	-	25/8	100	12/9	Höst
1979	1/6	15/5	25/5	-	11/9	90-95	12/9	Höst
1980	14/5	15/5	24/5	13/7	25/8	100	28/8	24/10
1981	15/5	15/5	23/5	6/7	18/8	100	26/8	12/10
1982	4/5	14/5	26/5	15/7	22/8	100	2/9	15-17/10
1983	16/5	16/5	26/5	12/7	27-30/8	100	5/9	7/10
1984	3/5	13/5	22/5	5/7	22/8	100	27/8	14/10
Medel- datum	13/5	13/5	24/5	ca 10/7	25/8		3/9	ca 15/10

*) 0-100, varvid 100 avser helt uppstående gröda vid skörd.

storlek på 100 m² (15,6*6,4 m). Under de tio åren före försöksstarten 1978 utgjordes grödorna av vårsäd i sex år och vall (tvåårig) i totalt fyra år. Korn odlades 1976 och 1977.

Efter vart och ett av de båda år då 0N-ledet (utan kvävegödsling) ingick (1982 och 1983) slopades detta led, och marken där användes inte längre försöksmässigt. Därmed kom varje års undersökningar (i 0N och 78N) att i princip ha samma kvävegödslingsbakgrund. Våren 1979 utvidgades försöket tillfälligt med en yta med obevuxen träda (svarträda). Avsikten var att framkalla ett större mineralkväveförråd än normalt fram till hösten 1979 för att i princip studera hur detta kväve fördelades i markprofilen (0-100 cm djup) under vinterhalvåret och påverkade kväveutlakningsrisken. Året efter trädan såddes korn för att undersöka kväveutnyttjandet.

Kvävegivorna uppgick till 75-80 kg N/ha (tabell 1), som normalt tillfördes före sådden på våren (tabell 2). År 1978, 1980, 1981, 1982 och 1984 användes NPK 20-5-9 som gödselmedel. År 1979 spreds kvävet i form av kalksalpeter (övergödsling efter sådden), och 1983 som kalkamonsalpeter. Fosfor och kalium tillfördes årligen med det nämnda gödselmedlet NPK 20-5-9 i mängder motsvarande i medeltal 20 kg P/ha och 36 kg K/ha. De år då kalksalpeter och kalkamonsalpeter användes, spreds fosfor och kalium i form av PK 7-13 i motsvarande mängder.

Skördarna av grödorna bestämdes med försöksskördetröska, varvid parceller på normalt 25,0 m² i varje ruta skördades. Vid skördetillfället togs ledvisa spannmålsprover (1000 g) ut för spannmålsanalys med bestämning av bl.a. vattenhalt, renvikt och totalkväve (kjeldahl-N). År

1981-84 uttogs prover av grödan under olika utvecklingsstadier för bestämning av kväveinnehållet (totalkväve) i de ovanjordiska växtdelarna. Härvid klipptes grödan av alldeles vid markytan inom en 50 cm lång bit av en sårad på 8 st. slumpmässigt utvalda ställen per ruta. Med ett radavstånd på 12,5 cm motsvarade detta en yta på 1,50 m² per led. För att beräkna grödans hela kväveinnehåll inkl. rötterna i led 0N (utan kvävegödsling) antogs att dessa innehöll 25 % av det totalt upptagna kvävet (jmf. Hansson, 1987).

Jordprover för mineralkvävebestämning togs alla år ut före vårbruket på våren (medeldatum för provtagning: den 3 maj) och efter skörd på hösten (i genomsnitt den 13 september) med följande skiktindelning: 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 och 80-100 cm djup. I skiktet 0-20 cm gjordes 24 borrhstick per led och på djupen därunder 9 stick per led. Av kostnadsskäl slogs alla borrhstickar för mineralkvävebestämning ihop vid varje provtagning till ledvisa samlingsprover för vart jordskikt. Jordproverna djupfrysades fram till analys. År 1980-84 gjordes emellertid mer ingående studier med jordprovtagning grovt räknat en gång per månad från våren till senhösten. Syftet under dessa år var att följa 1) hur tillgången på mineralkväve påverkades under loppet av växtsäsongen, då grödan tog upp kväve, 2) hur mineralkväveförekomsten sedan förändrades efter avslutad kväveupptagning och under hösten genom den fortsatta kväve mineraliseringen samt 3) hur risken för kväveutlakning påverkades av gröda och normal gödsling. I samband med jordprovtagningar för mineralkväveanalys togs delprover ut för bestämning av jordartssammansättning och markkemiska egenskaper. Jordens volymvikt bestämdes med nämnda skiktindelning genom uttagning av fyra ostörda jordprover per 20-cm-skikt med hjälp av 1,0 cm höga cylindriska stålcyllindrar (metodik: se nedan). Volymviktsprover ned till 100 cm djup togs ut den 4.5.1983 och inom 0-20 cm även den 14.9.1983.

Fältförsök 1978-82 vid Östra Höle, Rengsjö

Undersökningar av främst mineralkväve i marken (0-100 cm djup, i vissa fall 0-200 cm) utfördes även i detta försök vid odling av vårsäd. Studierna pågick 1978-82. Försöket var beläget på ett fält med mjällig moig lättlera i matjorden (men med mojordskaraktär) och lerig mjällig mo i alven på 40-100 cm djup. Avsikten var bl.a. att belysa i vilken mån mineralkväve i alven på denna ganska lätta jord kunde bidra till grödans kväveförsörjning, mot bakgrund av att rottdjupet brukar var grunt på sand- och mojordar. En hypotes var, att kapillär stigning av vatten i alven under växtsäsongen skulle kunna föra upp kväve till rotzonen och sedan utnyttjas av grödan.

Platsen låg i närheten av Hölesjön i Rengsjö socken, omkring 14 km ostnordost om Bollnäs kyrka. Försökets mittersta del hade följande koordinater: 61° 22' 57¹¹ N, 16° 38' 4¹¹ E (enligt systemet WGS 84). Försöksrutorna hade en storlek på 100 m² (6,40*15,63 m). Försöket genomfördes med två upprepningar. Vid försöksstarten 1978 var förfrukten korn, och fältytan hade tidigare använts enbart för stråsådesodling under ett flertal år.

I ett av leden (C) tillfördes grödorna årligen kvävegivor på 80 kg N/ha, vilket ansågs lämpligt för trakten (tabell 3). Härtill ingick ett led (A) utan gödselkväve och ett led (B) med 40 kg N/ha. Syftet var att beskriva hur utebliven eller minskad kvävegödsling påverkade mängderna mineralkväve i marken. Som gödselmedel användes kalkammonsalpeter (N28).

År 1980-82 tillkom ett led (D) med kvävegödsling under var och en av höstarna 1979-81, då 100 kg N/ha tillfördes varje år i form av kalksalpeter. Dessförinnan, dvs. 1978 och 1979, spreds dock 80 kg N/ha på våren i detta led, såsom i C. Avsikten med höstgödslingen var att tydligare

Tabell 3. Grödor och kvävegödsling (kg N/ha) i försöket vid Östra Höle år 1978-82. Kväve spreds som kalkkammonsalpeter i led A-C. I led D tillfördes en kvävegiva på 100 kg/ha som kalksalpeter under senhöstarna 1979-81, men inget gödselkväve spreds på våarna därefter.

År	Gröda	Kvävegödslingsled			
		A	B	C	D
1978	Korn	0	40	80	80 (vår, som C)
1979	Havre	0	40	80	80 (vår, som C)
1980	Havre	0	40	80	100 den 23.10.79
1981	Korn	0	40	80	100 den 24.10.80
1982	Korn	0	40	80	100 den 2.10.81

Tabell 4. Odlingsåtgärder och grödutveckling i försöket vid Östra Höle. Ledbeteckningarna (A-D), som avser kvävegödsling, förklaras i tabell 3. Stråstyrkan graderades vid skörd, varvid skalan 0-100 användes (0 = fullständig liggsäd; 100 = helt upprättstående gröda).

Parameter	1978	1979	1980	1981	1982
Gröda	Korn*	Havre**	Havre**	Korn	Korn
Sort	Gunilla	Puhti	Puhti	Agneta	Gunilla
Plöjning	Hösten före	Hösten före	Vår	Vår	Vår
Sådd	19/5	25/5	28/5	22/5	1/6
Kvävegödsling, vår	30/5	25/5	28/5	22/5	11/6
Kvävegödsling på hösten (led D)	-	23/10	24/10	2/10	-
Mognad	10/9	-	23-28/9***	20/8	25-29/8***
Stråstyrka	100 (A-D)	100 (A-D)	100 (A, C, D) 80 (B)	100 (A-D)	100 (A-D)
Skörd	18/9	4/10	4/10	29/8	17/9

*) Förfrukt korn. **) Mycket grönskott i havren före mognaden. ***) Tidigast mognad i led A.

undersöka, hur nitratkväve i marken rörde sig nedåt i marken från höst till vår i denna lättare jord och belysa, i vilken mån djupare beläget kväve kunde utnyttjas av grödan under den efterföljande växtsäsongen.

Hela försöksytan grundgödslades varje år (utom 1981) med 21 kg P/ha och 39 kg K/ha som PK7-13, vilket spreds vid vårbruket. Övriga odlingsåtgärder och grödutveckling beskrivs i tabell 4.

Skördarna av grödorna bestämdes med försöksskördetröska, varvid parceller på 18,0-25,0 m² skördades i varje ruta. Vid skördetillfället togs ledvisa spannmålsprover (1000 g) ut för spannmålsanalys med bestämning av bl.a. vattenhalt, renvikt och totalkväve (kjeldahl-N).

År 1978-82 togs jordprover för mineralkvävebestämning ut före vårbruket på våren (medeldatum för provtagning: 3 maj) och efter skörd på hösten (medeldatum: 15 september) med följande skiktindelning: 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 och 80-100 cm djup. I skiktet 0-20 cm gjordes härvid 24 borrhstick per led och i skikten på 20-100 cm djup 8 stick per led. I led C togs dessutom jordprover ut inom 100-200 cm djup (skiktindelning: 100-125, 125-150, 150-175 och 175-200

cm), med 6 borrhstick per led. Av kostnadsskäl slogs alla borrhkärnor vid varje provtagningstillfälle ihop vid till ledvisa samlingsprover för vart jordskikt. Jordproverna djupfrystes fram till analys. De jordprover som användes för mineralkväveanalys utnyttjades även för bestämning av jordartsammansättning, markkemiska egenskaper och vid vissa tillfällen visuell bedömning av rotförekomsten på olika djup. Metodiken vid jordprovtagning och mineralkväveanalys var densamma som i försöket vid Sävstaås (se även nedan).

Mätningar av grundvattenytans nivåer ägde rum 1978-82 i samband med provtagningarna för mineralkvävebestämning på våren (i april eller början av maj) och i september. För detta hade ett s.k. grundvattenrör av plast (med en inre diameter på ca 3 cm) satts ut i vardera blocket, således två stycken. Rören nådde ned till 210 cm djup och 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 träffade vattenytan. I detta läge mättes grundvattendjupet med måttband, från markytan räknat.

Observationsförsök 1982-84 vid Gundbo, Alfta

Undersökningar av främst mineralkväve i marken utfördes i detta observationsförsök 1982-84 vid odling av korn (tabell 5). Försöksplatsen var belägen på ett fält med lerjord (måttligt mullhaltig-mullrik mjällig mellanlera i matjorden) omkring 3 km nordväst om samhället Alfta i Ovanåkers kommun i Hälsingland och ca 20 km väster om Bollnäs kyrka. Försöksplatsens centrum har ungefärligen följande koordinater: 61° 21' 46" N, 16° 3' 13" E (enligt systemet WGS 84), men uppgiften är inte exakt, då fastläggningspunkter för försöket saknas. I försöksplanen ingick två led med följande kvävegödsling till kornet varje år:

- A. 0 kg N/ha (0N)
- B. 90 kg N/ha (90N)

I detta försök undersöktes bl.a. kvävemineriseringens storlek under växtsäsongen. Det ingick i en större studie av mineraliseringens bidrag till stråsådesgrödors kväveförsörjning (Lindén, 1987). Såsom i försöken vid Sävstaås och Östra Höle var syftet vidare att belysa, hur kvävegödsling och gröda påverkade mängderna mineralkväve i markprofilen (här: 0-90 cm djup) under växtsäsongen. Kvävegivan i led B kan anses vara något större än normalt för trakten i fråga (ca 80 kg N/ha, se ovan). Kvävemängden 90 kg N/ha motiverades dock med att avkastningsförmågan på platsen var högre än den normala för landsdelen och att det i näraliggande ettåriga kvävegödslingsförsök användes stigande kvävegivor, i steg om 30 kg N/ha (jmf. Mattsson, 2006). Som kvävegödselmedel användes kalkkammonsalpeter (N28).

Varje vår tillfördes hela försöksytan 400 kg PK 7-16 per ha som grundgödsling. Fältet höstplöjdes vart år. Vårsäd hade odlats på fältet 1972-81, utom 1975-77 då det var slättervall. Gården hade gödlat dessa stråsådesgrödor med ca 80 kg N/ha. Ingen stallgödsel hade tillförts, åtminstone inte sedan 1972. Fältet kalkades 1972 och 1981.

I detta observationsförsök ingick det tre upprepningar av de båda leden, uppdelat på tre block. Varje försöksruta hade ytan 3*16 m. Efter det första året (1982) flyttades försöksplatsen år 1983 och 1984 ett mindre stycke till likvärdiga, näraliggande ytor inom fältet för att alltid ha gårdens odlings- och gödslingsbakgrund.

Tabell 5. Odlingsåtgärder och grödutveckling i observationsförsöket vid Gundbo.

Odlingsåtgärder och gröd- utvecklingsstadier	1982	1983	1984
Gröda (och sort)	Korn (Gunilla)	Korn (Pernilla)	Korn (Pernilla)
Förfrukt	Havre	Korn	Korn
Kvävegödsling (N28)	17/5	21/5	14/5
Sådd	17/5	21/5	14/5
Uppkomst	ca 1/6	5/6	23/5
Axgång	15/7	16/7	6/7
Gulmognad	7/8	10/8	8/8
Fullmognad	18/8	5/9	29/8
Skörd	10/9	20/9	4/9
Stråstyrka vid skörd (0-100)*	100 (alla rutor)	100 (alla rutor)	100 (alla rutor)

*) Stråstyrka: 0 = fullständig ligsäd; 100 = helt upprättstående gröda.

Skördarna av grödorna bestämdes med försöksskördetröska, varvid parceller på 25,0 m² skördades i vart ruta. Vid skördetillfället togs ledvisa spannmålsprover (1000 g) ut för spannmålsanalys med bestämning av bl.a. vattenhalt, renvikt och totalkväve.

Mineralkväve (ammonium- och nitratkväve) i markprofilen bestämdes genom ledvis provtagning till 90 cm djup med uppdelning på djupen 0-30, 30-60 och 60-90 cm, vilket fr.o.m. början av 1980-talet infördes som norm i Sverige. I de tre markskikten gjordes 24, 9 respektive 9 borrhstick per led (8, 3 respektive 3 st. per ruta) vid varje provtagningstillfälle. Jordproverna djupfrystes fram till analys. Jordprovtagning ägde rum vid olika tillfällen från början av maj (två-tre veckor före vårbruket) till omkring den 10 augusti. Den sistnämnda tidpunkten valdes så att den skulle motsvara gulmognadsstadiet, då kornets kväveupptagning antogs hålla på att avslutas. Vid ett par tillfällen togs jordprover ut även efter detta skede, bl.a. för att belysa tillskott till jorden av mineraliserat kväve efter avslutad kväveupptagning. Volymvikten i skiktet 0-30 cm undersöktes vid två tillfällen (13.9.1983 och 11.9.1984), bl.a. för en viss kontroll av omräkningsfaktorn för volymvikt i den tillämpade modellen för beräkning av mineralkväve i jord i kg N/ha (se nedan).

Prover av grödans ovanjordiska delar (kärna och halm) togs ut i ledet utan kvävegödsling (A) samtidigt med jordprovtagningen vid tiden för gulmognad. Härvid avklippes 8 stycken 0,5 m långa såradsbitar med gröda vid markytan i varje ruta. Proverna analyserades rutvis med bestämning av innehållet av totalkväve i kärna och halm. För att beräkna grödans hela kväveinnehåll inkl. rötterna antogs att dessa innehöll 25 % av det totalt upptagna kvävet (jmf. Hansson, 1987). Dessa analysdata användes för att belysa, hur mycket kväve som marken bidragit med till kornets kväveförsörjning och för beräkning av kvävemineraliseringen under växtsäsongen. Nettomineraliseringstillskottet av kväve i marken från tidigt på våren till tiden för avslutad kväveupptagning beräknades i led A (0N) på basis av kväveinnehållet i hela grödan vid avslutad kväveupptagning och mängderna mineralkväve (0-90 cm djup) på våren och vid avslutad kväveupptagning i detta led enligt följande formel (jmf. Lindén et al., 1992a):

$$N_{net} = N_{uppt} + N_{mg} - N_{mv}$$

där N_{net} = Beräknad nettomineralisering av kväve under växtsäsongen (tidig vår – gulmognad)

N_{uppt} = Kväve i grödan vid gulmognad, inkl. beräknat innehåll i rötterna

N_{mg} = Mineralkväve marken (0-90 cm) vid gulmognad

N_{mv} = Mineralkväve i marken (0-90 cm) tidigt på våren

Observationsförsök 1982-84 vid Bofara, Kilafors

I syfte att belysa inverkan av höstspredning av svinflytgödsel på mängderna mineralkväve i marken under olika årstider och utnyttjandet av detta under de relativt kalla klimatförhållandena i södra Hälsingland utfördes ett observationsförsök 1982-84 på ett fält med lättlera i Bofara nära Kilafors, ca 20 km sydost om Bollnäs. På denna åker hade brukaren odlat korn och havre sedan marken förvärvades i början av 1970-talet. På fältet tillförde lantbrukaren ca 40 ton svinflytgödsel per ha varje höst. Denna var starkt vattenblandad genom utfodring med vassle. Som komplement spred lantbrukaren knappt 50 kg N/ha som mineralgödselkväve (kalkkammonsalpeter, N28) på vårarna.

Detta observationsförsök anlades våren 1982 med två storrutor om vardera 20*30 m och med korn som försöksgröda 1982-84 (tabell 6). I varje storruta ingick två försöksled med följande uppdelning 1982:

- A. Utan mineralgödselkväve (0N) men med gårdens tillförsel av svinflytgödsel varje höst, yta: 7*20 m.
- B. 50 kg N/ha (50N) som kalkkammonsalpeter på våren och med gårdens tillförsel av svinflytgödsel varje höst, yta: 23*20 m.

Försöksparcellen med led A år 1982 (i vardera storrutan) användes bara detta år för att beskriva mineralkväveförhållandena utan tillförsel av mineralgödselkväve. År 1983 slopades denna parcell och ett nytt led A med ytan 7*20 m anlades inom led B. Det sista året (1984) slopades i sin tur rutan med led A 1983 och ett tredje A-led (8*20 m) skapades inom återstoden av led B. År 1984 fick led B således en yta på 8*20 m. På detta vis kom led A att alltid få samma gödslingsbakgrund, med flytgödselspredning på hösten och tillförsel av 50 kg N/ha som N28 varje vår under de föregående åren. Skulle led A ha funnits inom en och samma jordyta alla tre åren, hade ju en viss utarmning av kväveförhållandena i marken uppkommit för vart år. Syftet var också att skapa likartade kvävemineraliseringsförhållanden under de tre undersökningsåren, fransett den förändring som den årliga tillförseln av svinflytgödsel orsakade. Uppgifterna om flytgödselspredningens storlek härrör från brukaren av fältet. Det var inte praktiskt möjligt att mer exakt bestämma flytgödselmängden och dess innehåll av ammoniumkväve på försöksplatsen.

Förfrukt (1981) och förförfrukt (1980) utgjordes av korn respektive havre. Ingen grundgödsling med fosfor eller kalium gjordes under försöksåren, eftersom flytgödsel årligen tillfördes. Efter flytgödselspredningarna höstplöjdes fältet varje år, varvid halmen brukades ned. Skördarna av grödorna bestämdes med försöksskördeetröska, med skördeparceller på 28,8 m² (1982), 20,0 m² (1983) och 33,3 m² (1984) i varje ruta. Vid skördetillfället togs ledvisa spannmålsprover (1000 g) ut för spannmålsanalys med bestämning av bl.a. vattenhalt, renvikt och totalkväve.

Jordprov togs ut ledvis till 90 cm djup för mineralkvävebestämning på våren (medeldatum: 4 maj, dvs. före vårbruket) och vid kornets gulmognad (medeldatum: 11 augusti). Vidare utfördes sådan provtagning vid ett flertal tillfällen mellan dessa tidpunkter samt på senhöstarna 1982 och 1983. År 1984 togs jordprover även ut den 19 april, en kort tid efter snösmältningen. Jordprovtagningarna utfördes med i princip samma metodik som i försöken vid Sävstaås, Östra Höle och Gundbo, men liksom i observationsförsöket vid Gundbo indelades marken i 30-cm-skikt (0-30, 30-60 och 60-90 cm djup). Inom djupet 0-30 cm gjordes 24 borrhör, som slogs ihop till

Tabell 6. Odlingsåtgärder och grödutveckling i observationsförsöket vid Bofara. Stråstyrkan bestämdes enligt följande skala: 0 = fullständig liggisäd; 100 = helt upprättstående gröda.

Odlingsåtgärder och gröd- utvecklingsstadier	1982	1983	1984
Gröda (och sort)	Korn (Gunilla)	Korn (Pernilla)	Korn (Pernilla)
Förfrukt	Korn	Korn	Korn
Svinflytgödsel, ca 40 ton/ha*år	Oktober 1981*	1.10.1982*	26.9.1983*
Kvävegödsling, 50 kg N/ha (led B)	19/5	25/5	14/5
Sådd	19/5	25/5	14/5
Uppkomst	ca 1/6	6/6	23/5
Bestockning		17/6	
Axgång		12/7	7/7
Fullmognad	20/8	31/8	25/8
Skörd	1/9	23/9	25/8
Stråstyrka vid skörd (0-100)	100 (alla rutor)	100 (alla rutor)	100 (alla rutor)
Plöjning	30/9**	28/9***	-

*) Nedplöjd på hösten. **) Stubbearbetning efter skörden. ***) Ingen stubbearbetning.

ett samlingsprov. På vart och ett av djupen 30-60 och 60-90 cm togs 10 jordprover ut, som blandades till skiktvisa samlingsprover. Jordproverna djupfrysades.

Prover av grödans ovanjordiska delar (kärna och halm) togs ut i ledet utan kvävegödsling (A, 0N) i gulmognadsstadiet, då kornets kväueupptagning antogs hålla på att avslutas. Samtidigt utfördes som nämnts en av jordprovtagningarna för mineralkvävebestämning. Vid grödprovtagningen klipptes 12 stycken 0,5 m långa såradsbitar med gröda vid markytan i varje ruta. Proverna analyserades rutvis med bestämning av innehållet av totalkväve i kärna och halm. För att som i de andra försöken beräkna grödans hela kväveinnehåll inkl. rötterna i led A (0N) antogs att dessa innehöll 25 % av det totalt upptagna kvävet (jmf. Hansson, 1987). Dessa analysdata användes för att belysa, hur mycket kväve som marken (under påverkan av främst flytgödselspridningarna) bidragit med till kornets kväveförsörjning.

Metodik vid mineralkvävebestämning

I försöken vid Sävstaås och Östra Höle togs som nämnts jordprover ut i 20-cm-skikt till 100 cm djup, dvs. 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 och 80-100 cm. Vid Östra Höle togs prover i led C även på 100-200 cm djup, med uppdelning i 25-cm-skikt. Vid Gundbo och Bofara användes en nyare djupindelning med 30-cm-skikt (0-30, 30-40 och 60-90 cm), som under 1980-talet kom att införas i SLU-försök med mineralkvävebestämning.

Provtagningen i ”matjorden” (0-20 cm eller 0-30 cm) utfördes med markkarteringsborr, s.k. Trekanten-borr (Johansson, 1963; Lindén, 1977). I alvskikten (20-100 cm eller 30-90 cm och vid Östra Höle även 100-200 cm) användes Nääs-borr (Nääs & Odentun, 1957; Lindén, 1977). Den senare borrhypen består av ett slutet stålrör med en påskruvad, ringformig stålspets i den nedre änden, där borrhypen tränger in. Spetsen har en invändig, cirkelformad förträngning, som gör att borrhypen får mindre diameter än borrhypen invändigt. Härigenom motverkas att jordprovet fastnar vid borrhypens vägg och trycks ihop. Sådan hoptryckning medför bl.a. att skikt-djupen inte kan identifieras på rätt sätt. Matjordsborren var så bred att borrhypen blev större än i underliggande skikt. Avsikten var att undvika att matjord blandades in i proverna i alven, när Nääs-borren slogs ned och drogs upp. Två varianter av Nääs-borrhyparna användes: en kortare för

provtagning till 100 cm djup och en längre för 100-200 cm. Eftersom borrhöret är slutet i längdriktningen, ”tömdes” hela borrhöret ut genom att borsten vändes upp och ned. Härvid lades borrhöret ut på ett bräde med djupskala, så att jordprovet i varje skikt kunde granskas, identifieras och lätt tas om hand.

Efter provtagningen förvarades proverna kallt och djupfrystes samma dag. Jordproverna hölls sedan 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 jordvätskeförhållandet 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 kilogram kväve per ha skiktvis i marken med beaktande av aktuella vattenhalter i proverna och under antagande att volymvikten i matjorden (0-20 cm) var 1,25 kg/L och därunder 1,50 kg/L.

Frågan är dock, om dessa antagna volymvikter är tillräckligt säkra för erforderlig noggrannhet vid bestämningar av mineralkväve. För att stickprovsmässigt undersöka detta utfördes bestämningar av volymvikter vid några olika tillfällen i försöken vid Sävstaås, Gundbo och Bofara (tabell 7). För detta togs jordprover ut i ostörd lagring med 10,0 cm höga nedslagningscylindrar av stål (Andersson, 1955). Cylindrarna hade en diameter på 7,2 cm och en volym på 407 cm³. Efter torkning (105°C) vägdes jorden i cylindrarna. Av resultaten (tabell 7) framgår att volymvikterna per 10-cm-skikt inom 0-20 cm djup varierade från omkring 1,00 till ca 1,30 kg/L. De lägsta värdena inom 0-20 cm erhöles i försöket vid Sävstaås. Detta sammanhänger troligen med att matjorden på denna plats hade en mullhalt på 7,6 % (se nedan) och därmed betecknas som mullrik. Volymvikterna i matjorden tycktes vara lägre på våren än i början av hösten. På 20-30 cm djup varierade värdena från 1,15 till 1,47 kg/L, med den högsta volymvikten vid Bofara. Inom 30-100 cm (vid Sävstaås) och 30-90 cm (vid Bofara) erhöles värden på 1,41 till 1,63 kg/L.

Liksom viktsmängden jord per ha är mängden mineralkväve (i kg/ha) i ett visst markskikt direkt beroende av volymvikten. En förmodad volymvikt som avviker med t.ex. 10 % från det verkliga värdet ger därmed ett fel vid mineralkvävebestämning på 10 %. En antagen volymvikt på 1,25 kg/L inom 0-20 cm vid Sävstaås den 4.5.1983 avviker från det verkliga värdet (i medeltal 1,01 kg/L, tabell 7) med $1,25 - 1,01 = 0,24$ kg/L, dvs. ca 24 %. En tänkt mineralkvävemängd på 15 eller 30 kg N/ha inom 0-20 cm djup, oavsett plats, skulle med en avvikelse på 20 % innebära ett fel på 3,6 respektive 7,2 kg N/ha. Vid Gundbo blev volymvikten inom 0-20 cm den 13.9.1983 i medeltal 1,25 kg/L, likaså den 10.9.1984. I försöket vid Bofara den 5.5.1983 ger det antagna värdet 1,25 kg/L inom 0-20 cm en avvikelse på $1,25 - 1,17 = 0,08$ kg/L (7 %) från medeltalet, medan schablonvärdet 1,25 kg/L vid uträkning stämmer med de uppmätta volymvikterna vid två andra provtagningstillfällen. Vid Bofara togs ju jordprover ut för mineralkvävebestämning i 30-cm-skikt. Den 5.5.1983 fastställdes som medeltal för skiktet 30-60 cm en volymvikt på 1,53 kg/L. Den antagna volymvikten (1,50 kg/L) innebär därmed ett fel på 2 %. En erhållen mineralkvävemängd på 15 eller 30 kg N/ha i detta skikt skulle då innebära ett fel på 0,3 respektive 0,6 kg N/ha.

Tabell 7. Volymvikter (kg/L) inom 10-cm-skikt i marken i försöken vid Sävstaås, Gundbo och Bofara. Medeltal av värden för 2 eller 4 uttagna cylindrar (n = 2 eller 4) per plats.

Djup (cm):	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
<i>Sävstaås 4.5.1983 (n = 2):</i>	1,04	0,97	1,15	1,58	1,57	1,47	1,47	1,41	1,45	1,63
<i>Sävstaås 14.9.1983 (n = 2):</i>	1,09	1,14								
<i>Gundbo 13.9.1983 (n = 2):</i>	1,22	1,28	1,44							
<i>Gundbo 10.9.1984 (n = 4):</i>	1,21	1,29	1,32							
<i>Bofara 5.5.1983 (n = 2):</i>	1,13	1,20	1,31	1,48	1,57	1,54	1,62	1,59	1,46	
<i>Bofara 14.9.1983 (n = 2):</i>	1,24	1,25	1,47							
<i>Bofara 10.9.1984 (n = 4):</i>	1,19	1,30	1,43							

Det innebär ett mycket stort arbete att bestämma volymvikt med ett tillfredsställande antal upprepningar. Vid bestämning i 10-cm-skikt ned till exempelvis 100 cm djup måste man gräva och slå ned cylindrar skiktvis till detta djup. Sådan provtagning bör dessutom göras på flera ställen i samma försök för att belysa inomfältvariationen på platsen. Provtagningen är dessutom destruktiv. Vidare kan volymvikten på en viss försöksplats som framgått variera något från en tidpunkt till en annan, åtminstone i matjorden där tjäle, jordbearbetning, maskiners packning av jorden m.m. särskilt påverkar marken. Det måste av dessa skäl anses ogörligt i praktiken att bestämma volymvikten vid varje provtagning för mineralkvävebestämning. I undersökningarna vid Sävstaås, Östra Höle, Gundbo och Bofara har därför de ovan nämnda och vedertagna schablonvärdena för volymvikterna i de olika markskikten använts för beräkning av mängderna mineralkväve. På mulljordar måste emellertid volymvikterna fastställas vid mineralkvävebestämning (jmf. Lindén, 2015a och b).

Jordbrukets utveckling i Gävleborgs län sedan slutet av 1970-talet och troliga förändringar i framtiden

Försöken med vårsäd vid Sävstaås, Östra Höle, Gundbo och Bofara genomfördes som nämnts 1978-84 i Hälsingland i Gävleborgs län. Detta var ca 40 år före nutiden, då denna rapport skrivs. Under denna period har jordbruket i länet genomgått en omvandling, som måste ha påverkat kväveutlakningen från åkermark.

För att belysa utvecklingen av jordbruket sedan slutet av 1970-talet har offentlig statistik använts med avseende på förändringar av arealerna odlade grödor, inriktning av husdjursproduktionen, gödsel användning och jordbrukets arbetskraft enligt Jordbruksstatistisk årsbok, Statistisk årsbok för Sverige och Jordbruksstatistisk sammanställning. Vidare har författaren genom egna iakttagelser samt samtal med jordbrukare försökt att tolka uppgifterna från den officiella statistiken. Beskrivningar, tolkningar och bedömningar för den framtida utvecklingen kan anses vara av utredande karaktär. Bedömningarna är av kvalitativ art.

Resultat och diskussion

Väderförhållanden under försöksåren

Av tabell 8 framgår månadsmedeltemperaturerna 1978-84 vid SMHI:s meteorologiska station Dönje nära Bollnäs. Vintrarna där var kalla under dessa år, med månadsmedeltemperaturer på -10°C eller lägre i december, januari och februari under flera av åren. Vintrarna började med minusgrader i november, och mars månad hade alla år i medeltal också köldgrader. Somrarna kan anses ha varit ganska svala, med i medeltal 13,2, 15,2 och 13,6°C i juni, juli och augusti. Dessa temperaturer låg generellt något under normalvärdena för perioden 1961-90 (tabell 8).

Årsnederbörden vid Dönje uppgick 1978-84 till i medeltal 577 mm, jämfört med en normalnederbörd (1961-90) på 534 mm per år (tabell 9). Nederbörden var störst i juni, juli, augusti och september. Under vissa år uppmättes mer än 100 mm under någon av dessa månader.

Perioden 1978-84 ligger 36-42 år tillbaka i tiden jämfört med nuet (2020). Med hänsyn till den pågående klimatförändringen och för tolkning av försöksresultaten är frågan, hur mycket temperaturen och nederbörden under dessa år avviker från förhållandena under det senaste årtiondet. Därför jämförs här 1978-84 med de godtyckligt valda åren 2010-2017 i dessa avseenden. Det finns emellertid inte temperatur- och nederbördsuppgifter för Dönje efter 1995. Även andra närliggande stationer saknar uppgifter för endera av perioderna. Data avseende månadsmedeltemperaturer under båda perioderna har därför måst hämtas från den SMHI:s meteorologiska station vid Hudiksvall, ca 54 km nordost om Bollnäs (tabell 10). Uppgifter om månadsnederbörd både 1978-84 och 2010-17 finns från SMHI:s meteorologiska station Simeå, ca 28 km norr om Bollnäs (tabell 11).

Tabell 8. Månadsmedeltemperaturer (°C) 1978-84 vid SMHI:s meteorologiska station Dönje, nära Bollnäs, 85 m.ö.h., position: 61.3950 (latitud); 16.4145 (longitud) .”Normalvärde” avser månadsmedeltemperaturer för perioden 1961-90.

Månad	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	Medeltal	Normalvärde
Januari	-5,8	-13,0	-11,5	-8,2	-11,1	-3,6	-10,5	-9,1	-7,5
Februari	-11,1	-11,4	-10,6	-6,2	-5,9	-7,9	-4,7	-8,3	-6,8
Mars	-3,0	-1,7	-5,9	-5,7	-0,2	-2,2	-5,4	-3,4	-2,4
April	1,0	1,4	3,8	2,2	2,7	2,4	4,1	2,5	2,5
Maj	7,9	8,8	8,0	9,5	8,0	9,1	10,1	8,8	8,8
Juni	13,8	14,8	15,1	12,2	10,7	13,0	13,1	13,2	13,8
Juli	14,1	13,7	15,3	15,8	16,3	16,0	15,0	15,2	15,3
Augusti	12,5	13,1	13,4	13,1	14,6	14,3	14,4	13,6	13,8
September	7,6	8,5	10,7	9,4	9,4	10,2	8,8	9,2	9,3
Oktober	3,4	2,4	2,6	3,5	3,9	5,5	6,3	3,9	4,7
November	0,8	-1,9	-5,7	-2,4	1,4	-1,7	0,5	-1,3	-1,6
December	-12,8	-6,7	-5,7	-12,4	-4,8	-4,2	-1,8	-6,9	-5,9
Årsmedeltal	2,4	2,3	2,5	2,6	3,8	4,2	4,2	3,1	3,6

Tabell 9. Månadsnederbörd (mm) 1978-84 vid SMHI:s meteorologiska station Dönje, nära Bollnäs, 85 m.ö.h., position: 61.3950 (latitud); 16.4145 (longitud). ”Normalvärde” avser månadsmedeltal för perioden 1961-90.

Månad	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	Medeltal	Normalvärde
Januari	35	39	16	19	26	43	38	31	32
Februari	11	8	1	31	26	8	26	16	22
Mars	46	16	27	54	33	36	17	33	25
April	13	94	39	17	27	51	15	37	32
Maj	15	36	11	40	36	77	30	35	37
Juni	50	25	122	182	43	31	78	76	50
Juli	45	108	26	63	30	65	94	61	75
Augusti	110	79	98	53	83	34	41	71	72
September	67	26	52	29	62	186	132	79	64
Oktober	14	42	95	67	31	16	94	51	41
November	25	78	56	70	66	18	32	49	47
December	17	27	44	55	46	47	33	38	38
Hela året	448	578	587	680	509	612	628	577	534

Av tabell 10 framgår, att årsmedeltemperaturen stigit med i medeltal 1°C från 1978-84 till 2010-17. Den största förändringen gäller månaderna december-april, då exempelvis december, februari och mars i genomsnitt blev 2,3, 2,1 och 3,2°C varmare. Mars månad hade 1978-84 i medeltal -2,3°C och för 2010-17 erhöles +0,9°C, vilket innebär att mars delvis blivit en vårmånad. Temperaturen under sommarhalvåret steg dock i genomsnitt inte i samma utsträckning, ej heller under höstmånaderna oktober och november. Sammantaget tycks vintrarna således ha blivit betydligt mildare, medan sommarhalvåret bara blivit obetydligt varmare. Årsnederbörden (tabell 11) ökade från 629 mm 1978-84 till 648 mm 2010-17. Skillnaden kan naturligtvis bero på tillfälligheter. Nederbörden steg dock med drygt 25 mm som summa för januari och februari. Detta kan tyda på att det mildare vädret vintertid också medförde ökad nederbörd genom mer västliga vindar och lågtryck. Vidare tycktes tiden maj-augusti ha blivit nederbördsrikare, medan höstmånaderna blivit torrare. Det får här antas, att förändringarna i temperatur och nederbörd vid Hudiksvall respektive Simeå motsvaras av liknande skillnader på de beskrivna försöksplatserna i Bollnästrakten.

Om det de facto har blivit mildare och nederbördsrikare vintrar, kan risker för ökad kväveutlakning ha uppstått bl.a. genom mindre tjäle i marken. Snö på ofrusen mark motverkar tjälbildning. Mindre tjäldjup och kortvarigare tjäle bör kunna medföra minskad ytavrinning vid snösmältning (på mer eller mindre sluttande mark) och därmed orsaka att mer vatten infiltreras ned genom marken under vinter och vår. Härtill innebär ökad vinternederbörd i sig, att mer vatten kan perkolera ned genom marken under töperioder och under våren, med risk för ökade kväveförluster. Vidare kan längre och mildare höstar medföra, att kväveminaliseringen tilltar under denna årstid. Det anhopas då mer nitratkväve i marken, vilket delvis kan förloras under vinterhalvåret.

Tabell 10. Månadsmedeltemperatur (°C) 1978-84 och 2010-17) vid SMHI:s meteorologiska station Hudiksvall, 5 m.ö.h., position: 61.7167 (latitud); 17.0860 (longitud), ca 54 km nordost om Bollnäs. ”Normalvärde” avser månadsmedeltal för perioden 1961-90. ”Ändring” anger skillnad mellan perioderna 1978-84 och 2010-17. SD = standardavvikelse.

Månad	Normalvärde	1978-84		2010-17		
		Medeltal	SD	Medeltal	SD	Ändring
Januari	-5,7	-6,4	3,0	-5,2	2,4	1,2
Februari	-5,1	-5,7	2,3	-3,6	3,5	2,1
Mars	-1,4	-2,3	2,0	0,9	2,5	3,2
April	2,9	3,2	1,3	4,6	1,5	1,4
Maj	8,6	9,1	0,6	9,5	0,8	0,4
Juni	14,0	13,7	1,4	13,4	1,1	-0,3
Juli	15,8	16,1	0,9	17,1	1,5	1,0
Augusti	14,6	14,8	0,6	15,4	0,6	0,6
September	10,3	10,5	1,0	11,5	1,0	1,1
Oktober	5,7	5,3	1,2	5,8	0,8	0,4
November	0,0	0,5	1,8	1,2	2,0	0,7
December	-3,8	-4,6	3,3	-2,4	3,7	2,3
Årsmedeltal	4,7	4,5	0,7	5,7	1,0	1,2

Tabell 11. Månadsnederbörd (mm) 1978-84 och 2010-17 vid SMHI:s meteorologiska station Simeå, 130 m.ö.h., position: 61.5706 (latitud); 16.3277 (longitud), ca 28 km norr om Bollnäs. ”Normalvärde” avser månadsmedeltal för perioden 1961-90. ”Ändring” avser skillnad mellan perioderna 1978-84 och 2010-17. SD = standardavvikelse. Var.-koeff. = variationskoefficient.

Månad	Normalvärde	1978-84			2010-17			
		Medeltal	SD	Var.-koeff.	Medeltal	SD	Var.-koeff.	Ändring
Januari	40,7	38,9	19,3	49,7	45,1	23,3	51,7	6,3
Februari	30,2	19,1	12,6	66,0	38,7	16,0	41,4	19,6
Mars	33,7	42,0	16,3	38,8	25,5	11,6	45,6	-16,5
April	37,7	39,3	20,4	52,0	30,3	14,8	48,8	-9,0
Maj	39,7	36,6	24,8	67,7	64,0	23,4	36,6	27,4
Juni	52,8	67,4	47,8	71,0	67,4	29,0	43,1	0,0
Juli	78,1	66,4	26,0	39,2	85,0	40,9	48,1	18,6
Augusti	69,2	66,0	35,4	53,7	73,4	33,4	45,5	7,5
September	67,6	78,4	58,8	75,0	49,0	21,0	42,9	-29,5
Oktober	48,4	64,4	41,2	63,9	54,2	48,8	90,0	-10,2
November	59,9	61,2	29,4	48,1	56,0	22,0	39,3	-5,2
December	49,2	49,6	16,3	32,9	58,9	26,0	44,1	9,3
Hela året	607,1	629,2	29,0	54,8	647,6	25,9	48,1	18,4

Försök 1978-84 vid Sävstaås, Bollnäs

Markegenskaper

På platsen för försöket vid Sävstaås utgjordes matjorden (0-20 cm) av en lätt mellanlera med 7,6 % mullhalt (tabell 12). Gränsen mellan ”måttligt mullhaltig” (mmh) och ”mullrik” (mr) jord går vid 6,0 % mullhalt, varför beteckningen ”mullrik” inte skall övertolkas. Den relativt höga mullhalten inom 0-20 cm kan förklara att en så låg volymvikt som 1,00 kg/dm³ kunde fastställas i detta markskikt (tabell 7 och 12). Matjorden uppfattades som ganska lucker. I alven uppgick volymvikten till ca 1,5 kg/dm³, vilket får betecknas vara ganska normalt. Lerhalten ökade från 31-33 % inom 0-40 cm djup till som högst 58 % i skiktet 60-80 cm. Längre ned minskade lerhalten. Detta sammanföll med en övergång till ett lerigt mo- och sandmaterial, med början på ca 95 cm djup. Detta lager var kompakt. Ytterligare omkring 3 dm längre ned fanns fortfarande lerjord på vissa ställen. Marken under omkring en meters djup tycktes vara ojämnt uppbyggd och innehöll stenigt moränmaterial under lerlagret.

Tabell 12. Jordartssammansättning (mekanisk sammansättning, % av jordens torrs substans) och volymvikt inom 0-100 cm markdjup i försöket vid Sävstaås. Jordprovtagningen ägde rum den 21.09.1978. Beräkningen av mullhalt baseras på glödningsförlust. Jordproverna för volymviktsbestämning togs ut den 04.05.1983.

Markskikt (cm)	Jordartssammansättning					Jordarts- beteckning	Volym- vikt (kg/dm ³)
	Ler	Mjåla	Mo	Sand	Mull- halt		
	Kornstorleksfördelning (mm)						
	<0,002	0,002-0,02	0,02-0,2	0,2-2	(%)		
0-20	32,8	42,9	12,7	3,9	7,6	mr mj LML	1,00*
20-40	31,2	50,2	13,7	3,5	1,4	mf mj LML	1,36**
40-60	48,0	41,8	9,1	1,1	0,0	SL	1,52
60-80	57,8	34,7	6,8	0,6	0,0	SL	1,44
80-100	33,2	41,7	23,1	2,0	0,0	ML	1,54

*) Skiktet 0-20 cm provtogs även den 14.09.1983, då en volymvikt på 1,11 kg/dm³ fastställdes.

**) Inom 20-30 och 30-40 cm djup erhöles 04.05.1983 1,15 respektive 1,58 kg/dm³, vilket antyder en övergång till kompaktare jord under plogdjup (jmf. tabell 7).

Tabell 13. Växtnäringstillstånd i markprofilen i försöket vid Sävstaås, jordprovtagning den 5.5.1981. För pH-värden redovisas två bestämningar: dels vid dåvarande Statens Lantbrukskemiska laboratorium (SLL) och dels vid Avdelningen för växtnäringlära, SLU (VN), i det senare fallet med prover uttagna den 21.9.1978.

Mark- skikt (cm)	pH(H ₂ O)		mg per 100 g lufttorr jord samt P-AL-, K-AL- och KCL-klasser (inom parentes):				Totalkväve	
	Analys vid:		P-AL	K-AL	K-HCL	Mg-AL	% av ts	Ton/ha
	SLL	VN						
0-20	5,8	6,3	4,8 (III)	9,6 (III)	220 (IV)	17,9	0,30	6,0
20-40	6,0	6,6	5,2 (III)	7,7 (II)	295 (IV)	29,1	0,08	2,2
40-60	6,6	6,7	10,3 (IVA)	14,7 (III)	450 (V)	63,0	0,05	1,6
60-80	6,9	7,2	17,2 (V)	17,2 (IV)	525 (V)	72,0	0,05	1,5
80-100	6,9	7,4	18,4 (V)	13,3 (III)	470 (V)	54,0	0,03	0,9

I alven ned till 50-60 cm fanns det gott om maskgångar men bara enstaka sådana på ca 70-80 cm och nästan inga på omkring 90 cm djup. Markstrukturen var ganska rik på sprickor ned till omkring 60 cm, förmodligen torksprickor. Dessa sprickor och de som fanns under detta djup var dock igenfyllda med mörkare jord (troligen matjord) och tycktes därmed vara ganska täta. Under ca 60 cm kännetecknades lerjorden av horisontella skikt (varvig lera), som lätt sprack upp vid grävning. De horisontella sprickytorna torde sammanhånga med jordens kornstorleksfördelning inom de olika delarna av de enskilda årsvarven i leran. Det gjordes ingen systematisk undersökning av rot förekomsten på olika djup i marken, men visuella undersökningar vid eller efter jordprovtagningar för mineralkvävebestämning på sensommaren eller hösten visade, att enstaka rötter kunde återfinnas på 80-100 cm djup. Rötter hittades ganska frekvent på 60-80 cm djup. Grödorna bör därmed ha haft viss möjlighet att utnyttja t.ex. mineralkväve ända ned till omkring 80 cm djup, troligen inte djupare.

Markens fosfor- och kaliumtillstånd (tabell 13) ökade i stort sett med djupet i jorden ned till 80 eller 100 cm. Detta gäller även magnesiumtillgången (Mg-AL). Likaså tilltog pH(H₂O)-värdena med djupet. I matjorden var pH-värdet omkring 6,0, vilket innebär ett visst kalkningsbehov. I alvens djupare delar (60-100 cm) höll sig pH-värdena omkring 7,0. De lägre pH-värdena i matjorden och den övre delen av alven kan bero på försurning genom växtlighet och utlakning under loppet av årtusenden. Skillnaderna mellan de pH-värden som bestämts vid dåvarande Statens Lantbrukskemiska Laboratorium (betecknat "SLL" i tabell 13) och Avdelningen för växtnäringslära vid SLU ("VN") är svår att förklara som annat än olikheter i den tillämpade analysmetodiken. Att de högre pH-värdena från analysen vid Avdelningen för växtnäringslära inte beror på provtagningsfel eller förväxling av prover, framgår av att liknande höga pH-värden erhöles vid Avdelningen för växtnäringslära i prover från ett angränsande försök på Sävstaås (R4-008 tillhörande dåvarande Institutionen för växtodling): pH(H₂O) = 6,6 inom 0-20 cm djup, 6,5 (20-40 cm), 6,9 (40-60 cm), 7,2 (60-80 cm) och 7,1 (80-100 cm). I moränen på 100-200 cm djup fastställdes i försöket R4-008 pH-värden mellan 7,5 och 7,8 (Linden, opublicerat). Det goda kalktillståndet i alven tyder på att jorden på försöksfältet i hög grad härstammar från basrikare bergarter i de områden där både sediment och underliggande moränmaterial haft sitt istida ursprung.

Skördar vid Sävstaås

Avkastningen av kornet 1978 uppgick till bara ca 2.000 kg kärna per ha (tabell 14), vilket kan ha berott på de låga temperaturerna under sommarmånaderna (tabell 8). Åren 1979-82 blev skördarna av vårsåden måttligt stora (3.200-3.700 kg/ha). De båda åren 1983 och 1984 erhöles däremot för området mycket god avkastning, med kornskördar på 5.100 kg/ha, troligen genom relativt varmt väder och god nederbörd under växtsäsongen båda åren (tabell 8 och 9).

De redovisade kärnskördarna i försöket vid Sävstaås 1978-82 kan delvis förefalla låga eller mycket låga. Som framgår av tabell 14, uppgick emellertid medelskördarna av korn och havre i Gävleborgs län 1978-84 till 2500-3000 kg/ha enligt Statistisk årsbok för Sverige (1979-86). Detta avviker inte mycket från den nutida avkastningen i länet (tabell 15). De s.k. normskördarna i Gävleborgs län för korn och havre exempelvis för 2016 uppgick till 2976 respektive 2965 kg/ha (14 % vattenhalt) enligt Sveriges Officiella Statistik (Jordbruksverket 2016).

Tabell 14. Kärnskördar av korn och havre (kg/ha, 15 % vattenhalt) 1978-84 i försöket vid Sävstaås i jämförelse med skördarna ("länskördarna") i medeltal för Gävleborgs län enligt den objektiva skördeuppskattningen (Statistisk årsbok för Sverige, 1979-86).

År	Länskördar		Försöket vid Sävstaås				
	Korn	Havre	Gröda	Led utan kväve		Led med kväve	
				kg N/ha	Skörd	kg N/ha	Skörd
1978	2590	2520	Korn	-	-	75	2030
1979	2980	2530	Havre	-	-	78	3460
1980	2550	2570	Korn	-	-	80	3010
1981	2540	2870	Korn	-	-	77	3180
1982	3060	2980	Havre	0	2440	80	3680
1983	2790	2640	Korn	0	2860	78	5140
1984	2800	2360	Korn	-	-	80	5100
Medeltal	2760	2640			2650		3660

Tabell 15. Genomsnittliga kärnskördar (kg/ha, 14,0 % vattenhalt) av korn och havre i Gävleborgs län enligt Jordbruksverkets statistik för åren 2009-2016 (Jordbruksstatistisk årsbok 2010-2014; Jordbruksstatistisk sammanställning 2015-2017).

År	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Medeltal
Gröda:									
Korn	2840	2210	2530	2460	3530	3140	3440	3270	2930
Havre	3120	2130	2770	2470	3220	2740	3680	3570	2960

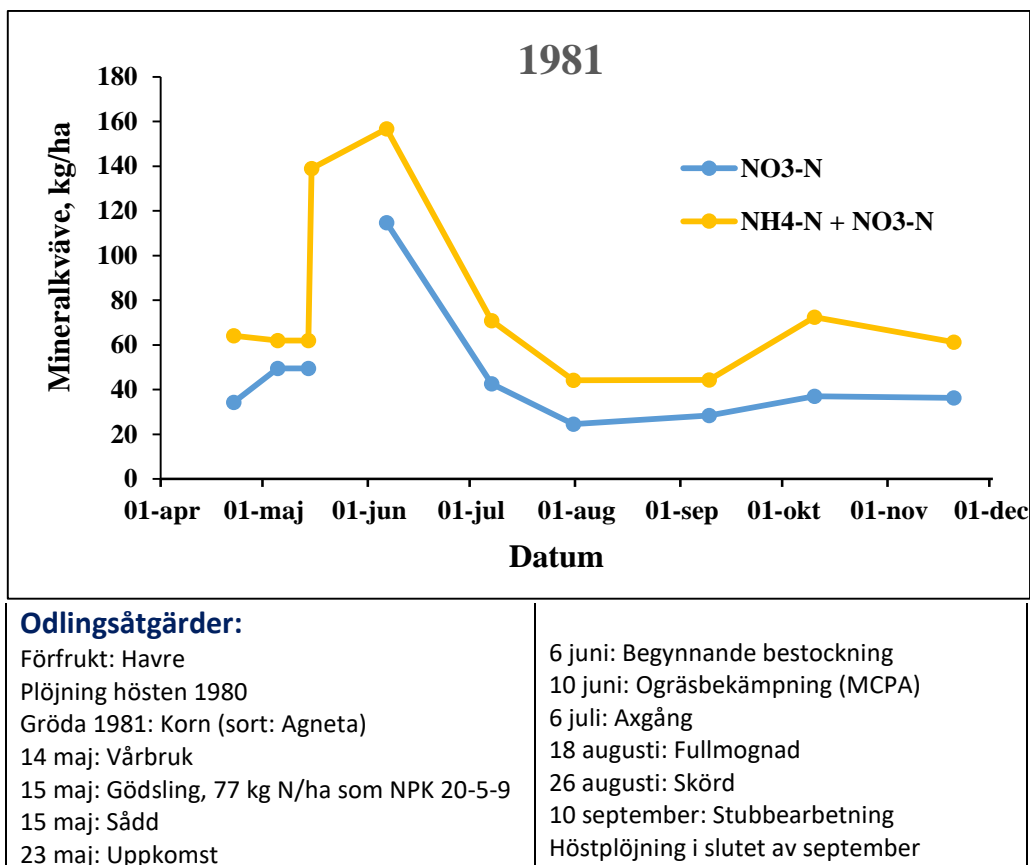
Kväve upptaget i grödan i ledet utan kvävegödsling 1982-83

Utöver gödselkväve försörjs ju grödorna med kväve som marken levererar. Detta utnyttjbara markkväve har i försöket vid Sävstaås uppskattats genom bestämning av kväveinnehållet i grödans ovanjordiska delar i det ogödslade ledet (0N) 1982 och 1983 och med antagande att rötterna innehöll 25 % av den totalt upptagna kvävemängden.

År 1982 innehöll de ovanjordiska delarna av grödan (havre) 47 kg totalkväve per ha vid avslutad kväveupptagning (provtagning den 2 september) i ledet utan kvävegödsling. Inkl. det beräknade innehållet i rötterna motsvarar detta ett samlat kväveupptag på 63 kg N/ha. För 1983 erhöles 53 kg N/ha ovan jord vid provtagning den 5 september, vilket ger 70 kg N/ha i hela grödan (korn). Detta kan jämföras med försök med vårsäd på gårdar i främst Göta- och Svealand med djurhållning, där Lindén (1987) vid förfrukt stråsäd i medeltal fastställde 80 kg utnyttjbart markkväve per ha (n = 38; min = 37, max = 152). På gårdar utan djur erhöles i genomsnitt 59 kg N/ha (n = 59; min = 22, max = 110). Mängden utnyttjbart markkväve vid Sävstaås åren 1982-83 kan därför anses ha varit ganska normal. Med hänsyn till detta kan kvävegödslingen (i medeltal 78 kg N/ha*år) generellt inte betraktas som för stor vid god skörd.

Mineralkvävetets årstidsvariationer vid Sävstaås

Här redovisas först förekomsten av mineralkväve i marken (0-100 cm djup) åren 1981-84. Jordprovtagningarna utfördes under dessa år i stort sett månadsvis från tiden före vårbruket till senhösten för att få en så tydlig bild som möjligt av de årstidsvisa förändringarna av mineralkvävet.



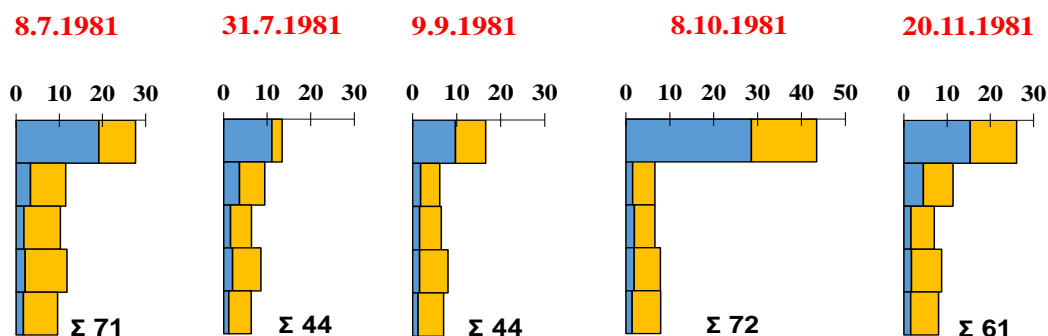
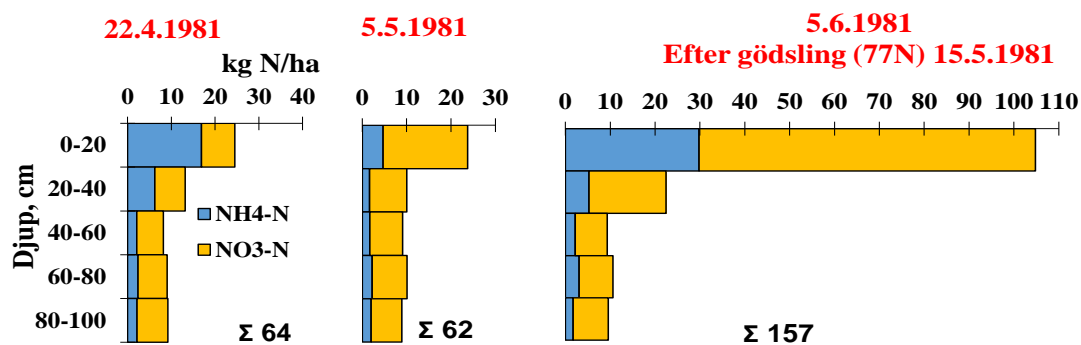
Figur 1. Årstidsvisa förändringar av mineralkväveförrådet i marken (0-100 cm djup) vid odling av korn i försöket vid Sävstaås 1981. De angivna mängderna mineralkväve vid gödslingstillfället (den 15 maj) avser summan av befintligt mineralkväve alldeles före gödslingen och tillfört mineralgödselkväve (77 kg N/ha).

År 1978-80 bestämdes mineralkväve mestadels bara på vårarna och förhöstarna. Dessa år redovisas senare i detta avsnitt.

Mineralkväve 1981

Före vårbruket (14/5) och kvävegödslingen (77 kg N/ha den 15/5) till 1981 års gröda (korn) fanns det mineralkväve motsvarande drygt 60 kg per ha (0-100 cm djup) i försöket vid Sävstaås (figur 1 och 2). Efter gödslingen fastställdes den största mängd mineralkväve (inkl. gödselkväve) som förekom under växtsäsongen: ca 140-160 kg N/ha under den senare delen av maj och i juni. Troligen bidrog tillskott av mineraliserat kväve till dessa värden. När tillväxten och därmed också kväveupptagningen kommit igång i större omfattning, började dock mineralkväveförrådet att minska. En kort tid efter axgången (6/7) återstod inom 0-100 cm djup obetydligt mer mineralkväve än i slutet av april och början av maj, dvs. före gödslingen. Under sensommaren, då kornet mognade, fastställdes de minsta mängderna (44 kg N/ha). Därefter ökade mineralkvävet igen till 72 kg/ha i oktober, uppenbarligen genom mineraliseringstillskott. Under senhösten därefter erhöles dock en minskning, troligen genom förluster till följd av relativt hög nederbörd i oktober-november (tabell 9).

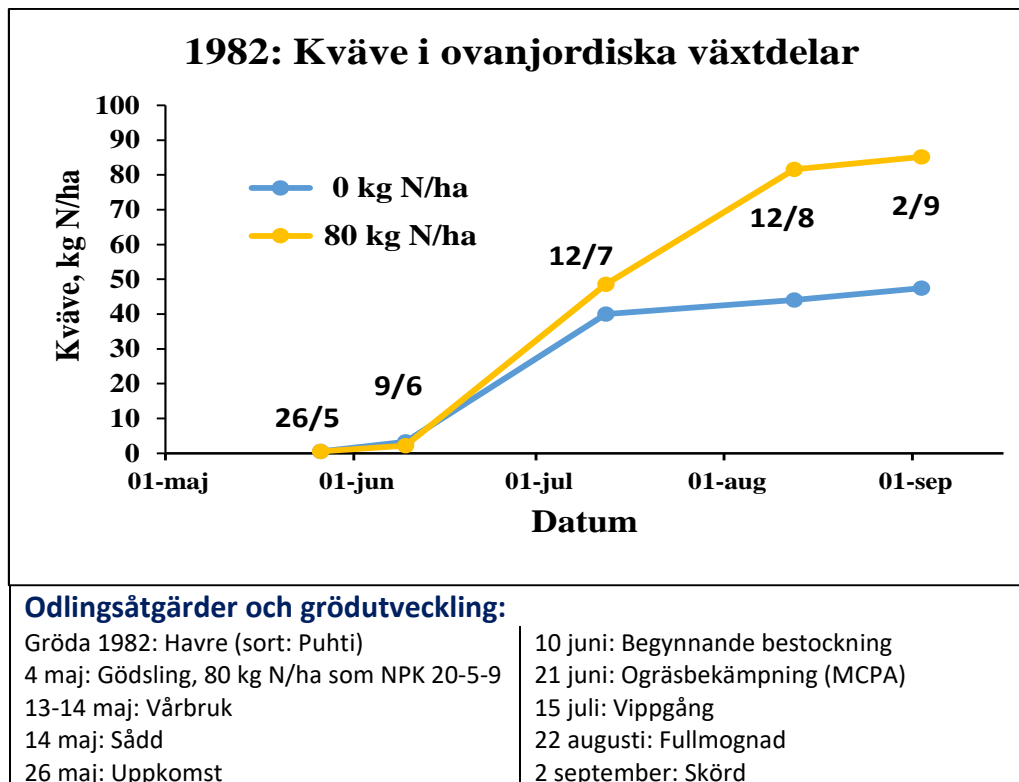
I figur 2 visas mineralkvävet djupfördelning 1981. Liksom i undersökningar av liknande slag (t.ex. Lindén, 1981 och 2017) fastställdes mest ammoniumkväve i matjorden och delvis i den övre alven (0-20 respektive 20-40 cm djup) men bara små eller mycket små mängder i djupare



Figur 2. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-100 cm djup i försöket vid Sävstaås från våren till hösten 1981. Gröda: korn, som tillfördes 77 kg N/ha den 15 maj.

skikt. Ammoniumkvävet i den tillförda gödseln (NPK 20-5-9) nitrifierades uppenbarligen ganska fort under denna växtsäsong. Omkring tre veckor efter gödslingen återstod omkring 30 kg ammoniumkväve inom 0-20 cm (inkl. den naturligt förekommande mängden), och senare allt mindre.

Vid den registrerade tiden för axgången (6/7) fanns bara en liten, återstående mängd nitratkväve i matjorden (figur 2, provtagning 8/7), uppenbarligen genom kornets kväveupptag dithills. Från tidigt på våren (22/4) till i början av juli (8/7) förändrades dock inte nitratkvävemängderna påtagligt inom 60-100 cm djup. Troligen tog grödan i stort sett bara upp kväve i matjorden och den översta alven fram till dess. Från och med sensommaren fastställdes dock något minskade mängder nitratkväve i alven. Detta kan tyda på att grödan i brist på kväve i ytligare lager försörjde sig med kväve djupare ned i alven under den senare delen av tillväxten och fram till mognaden, förutom genom upptag av kväve som efterhand hade mineraliserats. Den låga avkastningen 1981 torde dock ha medfört nedsatt kvävebehov och kan ha bidragit det ganska svaga utnyttjandet av kvävet i de djupare alvskikten. Efter avslutad kväveupptagning (uppenbarligen under den tidigare hälften av augusti) anhopades emellertid mineralkväve i marken på nytt under hösten genom kvävemineralisering, främst i matjorden där frigörelsen huvudsakligen måste ha ägt rum.



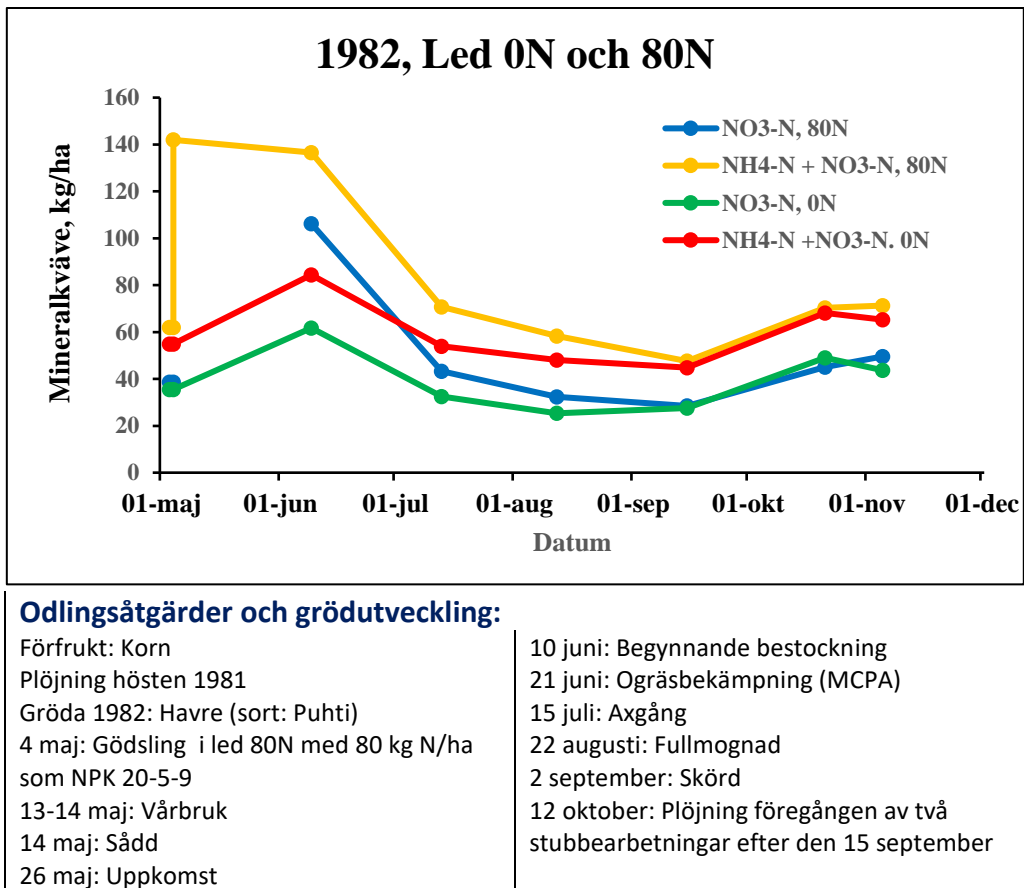
Figur 3. Kväve upptaget i de ovanjordiska växtdelarna av grödan (havre) under växtsäsongen 1982 i försöket vid Sävstaås vid två gödslingsnivåer detta år: led 0N (utan gödselkväve) och led 80N (80 kg N/ha).

Kväveupptag i grödan och mineralkväve i marken 1982

Detta år ingick två kvävegödslingsled: 0N (0 kg N/ha) och 80N (80 kg N/ha tillfört den 4 maj). Prover av de ovanjordiska delarna av grödan (havre) togs ut vid vissa tidpunkter under växtsäsongen för att beskriva kväveupptagets tidsförlopp i relation till mineralkvävet förändringar i marken under växtsäsongen.

Havren i ledet utan kvävegödsling (0N) började ta upp kväve i början av juni, varefter ett större kväveupptag ägde rum till ungefär mitten av juli, då vippgången registrerades (figur 3). Därefter minskade upptaget, förmodligen genom brist på kväve i detta led. Endast mindre mängder togs sedan upp fram till avslutad kväveupptagning i månadsskiftet augusti-september. I led 80N fortsatte den starka kväveupptagningen fram emot mitten av augusti men tycktes sedan avta. Vid skörden den 2/9 innehöll havrens ovanjordiska delar 47 kg N/ha i 0N och 85 kg N/ha i 80N.

I både led 0N och 80N sammanföll ökningen av havrens kväveupptag (figur 3) med en minskning av mineralkvävemängderna i marken (figur 4). Från den stora mängd som fastställdes en tid efter gödslingen (4/5) i led 80N minskade mineralkvävet där, i likhet med 1981, så att det vid tiden för vippgången (registrerad den 15/7) bara fanns drygt 10 kg mineralkväve mer per ha (0-100 cm djup) än alldeles före gödslingen på våren. Kväveupptaget synes ha fortsatt till fullmognad i slutet av augusti. Vid denna tidpunkt borde mineralkväveförrådet ha varit som minst, men provtagning vid detta tillfälle saknas. Därefter kan det ha blivit en mindre ökning genom mineralisering till provtagningen den 15/9, då 48 kg N/ha fastställdes inom 0-100 cm djup i 80N (figur 5). Under den följande hösten tilltog mineralkväveförrådet till 71 kg N/ha vid den sista provtagningen detta år (den 5 november).

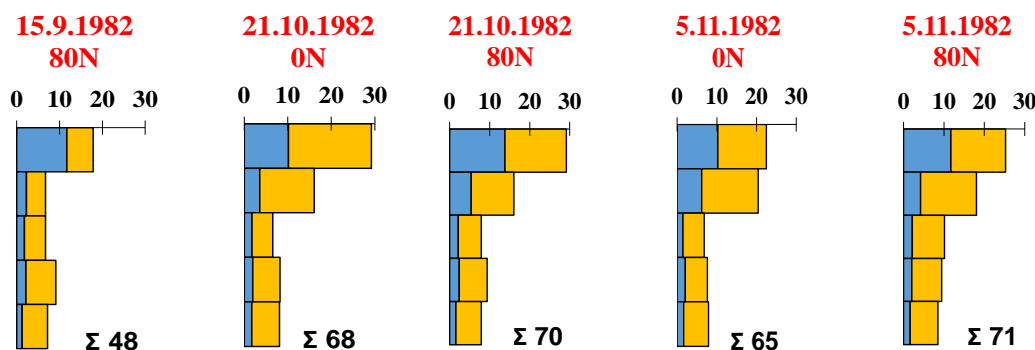
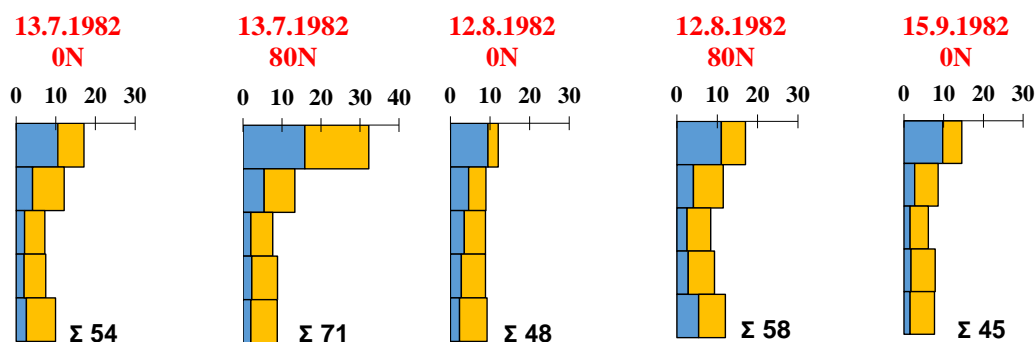
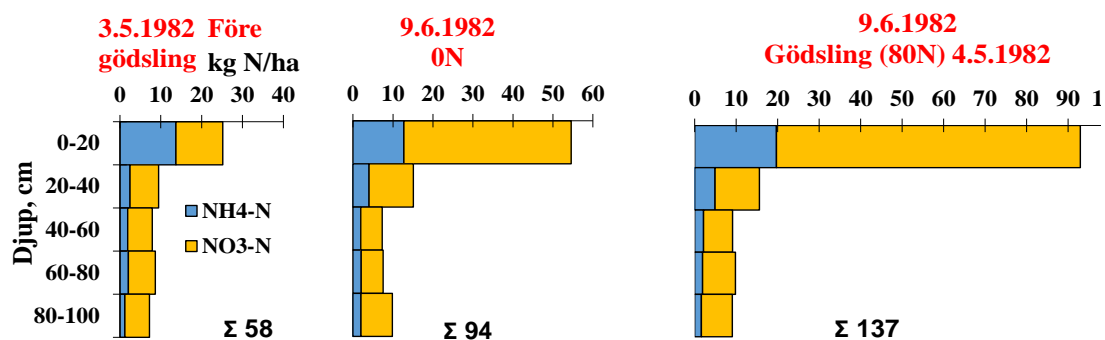


Figur 4. Årstidsvisa förändringar av mineralkväveförrådet i marken (0-100 cm djup) i försöket på Sävstaås 1982 vid odling av havre med två kvävegödselnivåer detta år: led 0N (utan gödselkväve) och led 80N (80 kg N/ha). De angivna mängderna mineralkväve vid gödslingstillfället (den 4 maj) i 80N avser summan av befintligt mineralkväve alldeles före gödslingen och tillfört mineralgödselkväve.

I ledet utan kvävegödsling (0N) uppkom en ökning av mineralkväveförrådet i marken under våren och försommaren (figur 4 och 5), uppenbarligen genom mineralisering, varefter grödans kväveupptag tycktes minska detta förråd, tills det återstod 48 och 45 kg N/ha inom 0-100 cm djup vid provtagningarna den 12/8 respektive 15/9 (figur 4 och 5). Mineralkvävemängderna på sensommaren blev något mindre i 0N än i 80N. I båda leden tilltog mineralkvävemängden under hösten, uppenbarligen genom fortsatt kväve mineralisering efter avslutad kväveupptagning

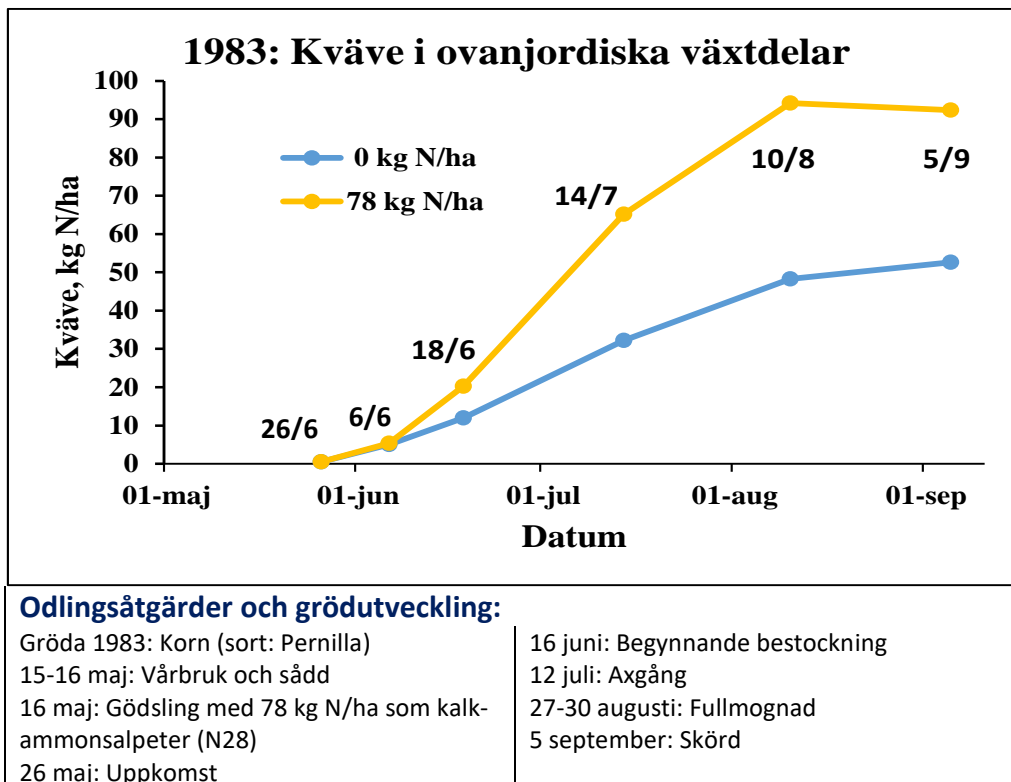
Mängderna ammoniumkväve i 0N höll sig ganska konstanta under hela perioden från vårprovtagningen den 3/5 till höstens sista provtagning 5/11 (figur 4 och 5). Detta gäller också i led 80N efter provtagningen i början av juni. Det tillförda ammoniumkvävet genom spridningen av gödselmedlet NPK 20-5-9 den 4 maj hade uppenbarligen hunnit nitrifieras till större delen fram till början av juni.

Resultaten i figur 5 tyder på att det tillförda gödselkvävet i 80N inte vaskades ned i alven under växtsäsongen. Detta framgår av att det inte uppkom någon ökning av nitratkvävet i alvsiktet under våren och sommaren. Den högst måttliga nederbörden i maj, juni och juli torde ha bidragit till detta. Det föll visserligen 83 mm regn i augusti, men under denna månad var uppenbarligen i det närmaste allt gödselkväve redan förbrukat. Däremot tyder de obetydliga minskningarna av nitratkvävet i alvsiktet under sommaren och fram till september i både 0N och 80N på att havren inte tagit upp påtagliga kvävemängder i alven.



Figur 5. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-100 cm djup i försöket vid Sävstaås från våren till hösten 1982 vid odling av havre i två led: 0N (0 kg N/ha) och 80N (80 kg N/ha tillfört som NPK 20-5-9 den 4 maj).

Kvävemineraliseringstillskotten under hösten i både 0N och 80N medförde öknings av mineralkvävet i skikten 0-20 och 20-40 cm. Fram till provtagningen den 5/11 föreföll mineraliserat kväve ännu inte ha vaskats djupare ned i alven. Det kan vidare förmodas att det inte hade förekommit någon transport av mineralkväve ned under 100 cm djup från den första provtagningen (3/5) till den sista (5/11). Det borde därför inte ha uppstått kväveförluster ned till markskikt under 100 cm djup under hela denna tid och därmed ingen inverkan därtills på möjliga kväveförluster till grundvattnet.



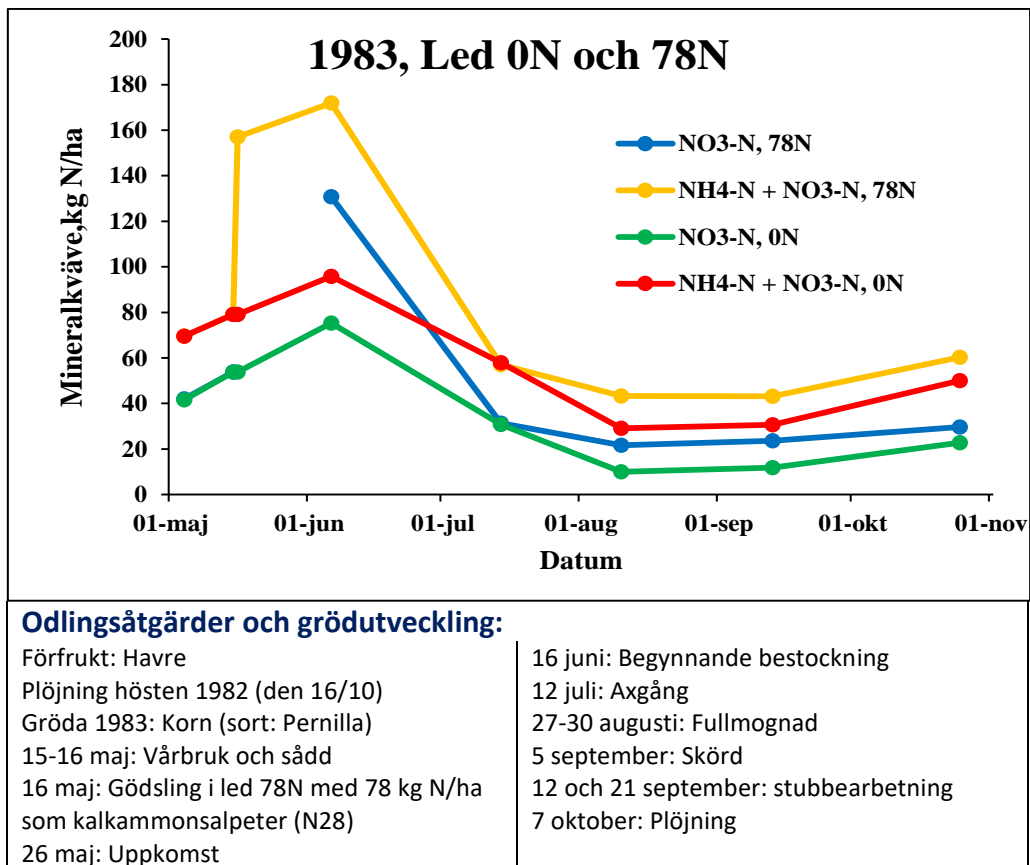
Figur 6. Kväve upptaget i de ovanjordiska växtdelarna av grödan (korn) under växstsäsongen 1983 i försöket på Sävstaås vid två gödslingsnivåer detta år: led 0N (utan gödselkväve) och led 78N (78 kg N/ha).

Kväveupptag i grödan och mineralkväve i marken 1983

År 1983 odlades korn i försöket vid Sävstaås. Undersökningarna detta år utfördes inom de delar av försöket där 80 kg N/ha hade tillförts grödan (havre) 1982. Även år 1983 ingick det två kvävegödslingsled: 0N (0 kg N/ha) och 78N (78 kg N/ha, tillfört den 16 maj). Prover togs av grödans ovanjordiska delar vid vissa tidpunkter under växstsäsongen för att beskriva kväveupptagets tidsförlopp i relation till mineralkvävet förändringar i marken under växstsäsongen.

Kväveupptaget blev kraftigt från mitten av juni till början av augusti i både 0N och 78N (figur 6). Därefter planade kväveupptagningen ut. Vid skörden den 5 september innehöll kornets ovanjordiska växtdelar 53 kg N/ha i 0N och 93 kg N/ha i 78N, jämfört med 47 respektive 85 kg N/ha 1982.

I takt med kväveupptaget avtog mängderna mineralkväve i marken (figur 7 och 8). Från en största mängd i led 78N en kortare tid efter kvävegödslingen minskade mineralkväveförrådet där till 57 kg N/ha (0-100 cm djup) den 14 juli, då kornet just gått i ax. Det fanns då mindre mineralkväve än i början av maj, dvs. före gödslingen. Därefter avtog mängden ytterligare till 43 kg N/ha både den 8/8 och 13/9. Vid dessa tidpunkter hade nitratkvävemängderna i skikten 0-20 och 20-40 cm minskat till obetydligheter i led 78N. Den 8/8 fanns det i dessa skikt bara 4 respektive 2 kg nitratkväve per ha och den 13/9 endast 2 respektive 2 kg/ha. Längre ned i alven fastställdes också minskningar av nitratkvävemängderna i jämförelse med förekomsten på våren och i början av juni, men mindre påtagligt. Fullmognad hos kornet registrerades 27-30 augusti, och kväveupptagningen (figur 6) bör ha avslutats något tidigare, dvs. mellan jordprovtagningarna den 8/8 och den 13/9. Under hösten anhopades mineraliserat kväve i marken, och fram till den 25/10 hade mineralkväveförrådet i 78N ökat till 60 kg N/ha inom 0-100 cm djup

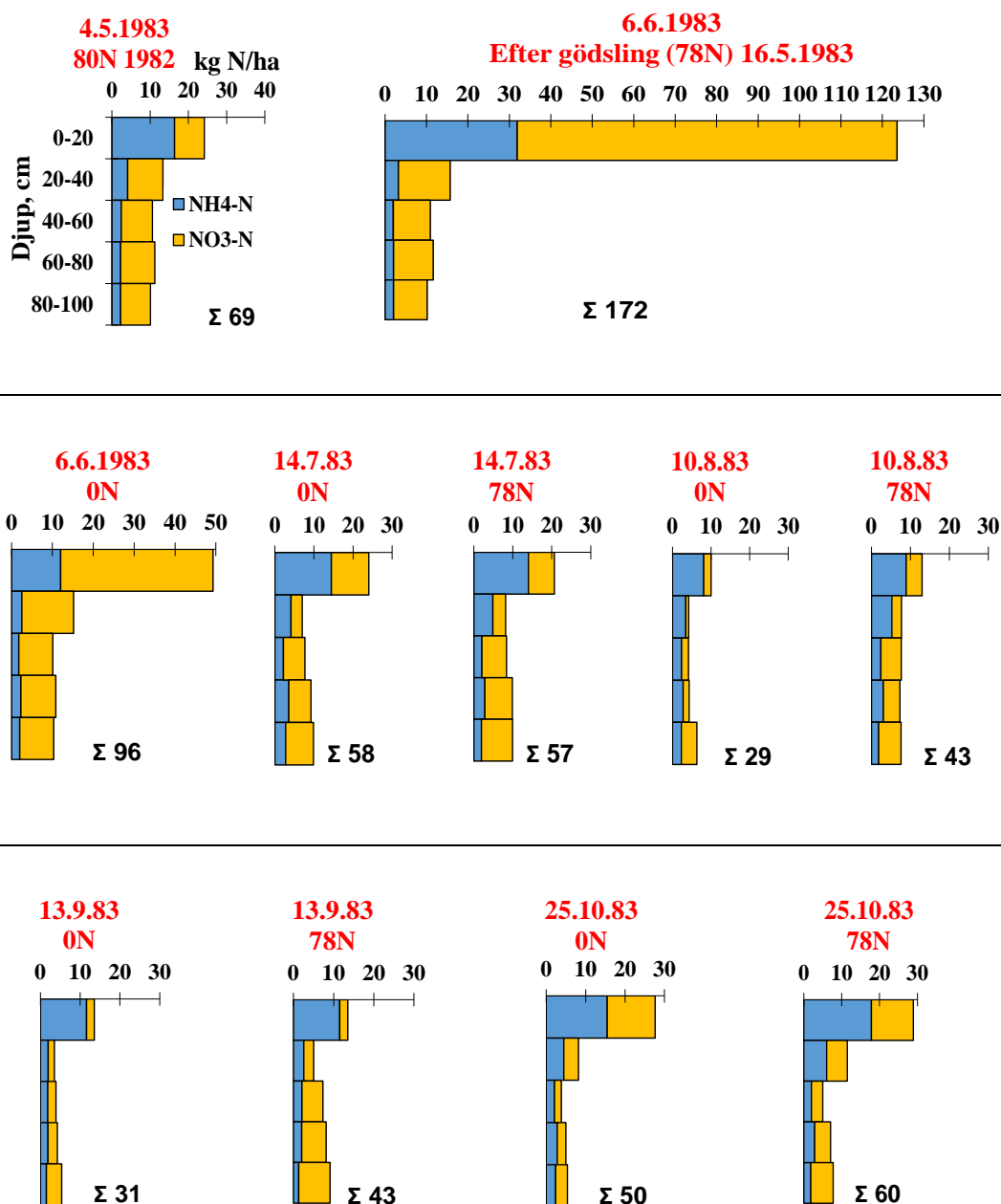


Figur 7. Årstidsvisa förändringar av mineralkväveförrådet i marken (0-100 cm djup) i försöket på Sävstaås 1983 vid odling av korn med två kvävegödslingsnivåer detta år: Led 0N (utan gödselkväve) och Led 78N (78 kg N/ha). De angivna mängderna mineralkväve vid gödslingstillfället (den 4 maj) i 78N avser summan av befintligt mineralkväve alldeles före gödslingen och tillfört mineralgödselkväve.

(figur 7 och 8). Det kväve som mineraliserats därtills under hösten återfanns huvudsakligen inom 0-20 cm djup och något även i skiktet 20-40 cm.

I det ogödslade ledet (0N) fastställdes 1983 öknings av mineralkväveförrådet från 69 kg N/ha (0-100 cm) vid provtagningen den 4/5 till 96 kg den 6/6 (figur 7 och 8), alltså ett tillskott på 27 kg N/ha. Då hade kornets kväveupptagning i detta led bara påbörjats, och ca 5 kg N/ha fastställdes i de ovanjordiska växtdelarna. Detta betyder att ett kväve mineraliserings tillskott på omkring 30 kg N/ha ägt rum under tiden 4/5 - 6/6. Därefter minskade mineralkväveförrådet i marken till 29 kg N/ha den 8 augusti. Då återstod 1-2 kg nitratkväve i varje 20-cm-skikt ned till 80 cm. På djupet 80-100 cm registrerades 4 kg nitratkväve per ha, vilket också var en minskning sedan våren. Fram till den 13/9 förändrades mineralkvävemängderna obetydligt (figur 7 och 8), vilket kan tyda på att kornets kväveupptagning fortsatte en kortare tid efter jordprovtagningen den 8/8 (jmf. figur 6). Fram till provtagningen under senhösten (den 25/10) ökade mineralkvävet i led 0N till 50 kg N/ha inom 0-100 cm, vilket innebär ett tillskott på 19 kg N/ha under tiden 13/9 - 25/10. I 0N fanns det den 25 oktober 10 kg N/ha mindre mineralkväve än i det gödslade ledet (78N), där det således uppstod en viss ökad kväveutlakningsrisk. I både 0N och 78N återfanns höstens kväve mineraliserings tillskott huvudsakligen i matjorden.

Under de båda föregående åren (1981 och 1982) hade det fram till avslutad kväveupptagning (under sensommaren-förhösten) inte uppkommit några påtagligare minskningar av mineralkväveförrådet i de djupare alvsiktet. År 1983 fastställdes det emellertid i led 0N den 8/8 och



Figur 8. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-100 cm djup i försöket vid Sävstaås från våren till hösten 1983 vid odling av korn i två led: 0N (0 kg N/ha) och 78N (78 kg N/ha tillförd som kalkkammonsalpeter den 16 maj).

vid de därefter följande provtagningarna tydligt mindre mängder mineralkväve i alvskikten ned till 100 cm i jämförelse med de tidigare provtagningstillfällena detta år. Även i led 78N fastställdes minskningar ned till 100 cm djup men inte lika påtagligt. Kornet 1983 tycktes således ha tagit upp befintligt kväve i alven ned till ca 100 cm. Orsaken kan vara att grödan 1983 hade större kvävebehov än tidigare års grödor. Kärnskornden 1983 i 0N blev 2860 kg/ha och i led 78N 5140 kg/ha (tabell 14). Det bättre kväveutnyttjandet i marken, som bör minska kväveutlakningsrisken, är i överensstämmelse med resultat från undersökningar på lerjord vid Lanna i Västergötland (Aronsson et al., 2006), där bättre avkastning tycktes medföra mindre kväveutlakning.

Under exempelvis 1981 (korn) och 1982 (havre) erhöles skördar i det kvävegödslade ledet på 3180 respektive 3680 kg/ha. Det verkar som om grödorna 1981 och 1982 inte ”behövde” utnyttja mineralkväve i djupare alvskikt. Minskningarna år 1983 ända ned till skiktet 80-100 cm, särskilt i led 0N, tyder vidare på tillräckligt djupgående rötter för så pass djupt kväveupptag. Jorden utgjordes ju av mellanlera och styv lera i alven (tabell 12). Maskgångar och torksprickor kan ha möjliggjort för rötterna att tränga ned till större djup. Det upptagna, djupare belägna kvävet tycks ha tagits tillvara under den senare delen av växtsäsongen (figur 8). Grödan föreföll i första hand ha utnyttjat kvävet i matjorden och den översta alven. När tillgången hade blivit otillräcklig i dessa övre skikt, synes kväve djupare ned ha tagits upp. Mineralkvävet i markprofilen i det gödslade ledet (78N) utnyttjades dock som framgått sämre än i led 0N. Vid provtagningarna den 8 augusti och den 19 september återstod det 14 respektive 12 kg mer mineralkväve per ha (0-100 cm) i 78N än i 0N. Skillnaderna avser främst kvarvarande nitratkväve. Detta tyder på att mineralkvävet i alven trots allt utnyttjades sämre vid ökad tillgång på kväve i markens översta delar.

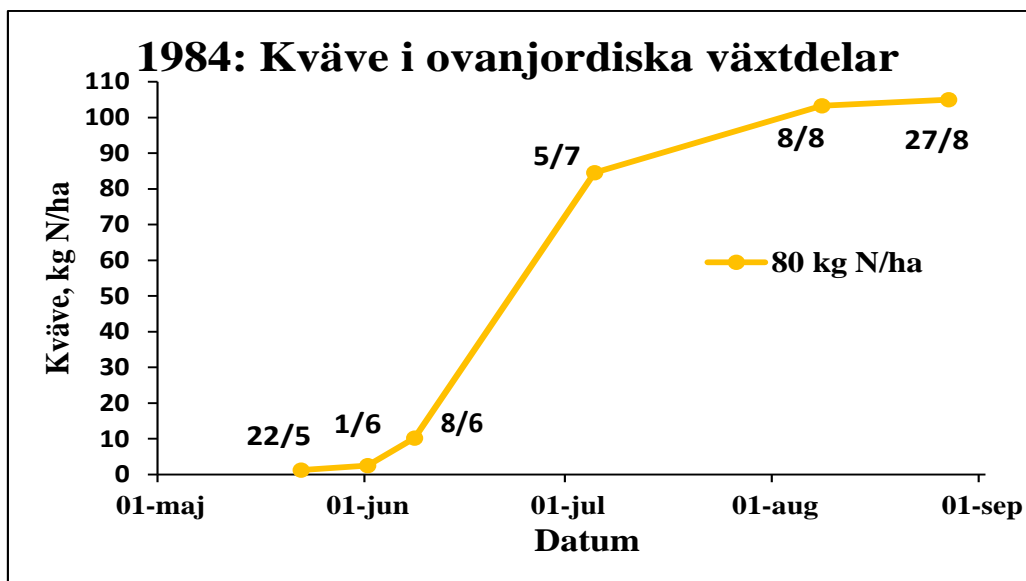
Kväveupptag i grödan och mineralkväve i marken 1984

Endast ett led (80N) ingick i försöket 1984. Där tillfördes 80 kg N/ha den 3 maj. Kornet 1984 gav god avkastning: 5100 kg kärna per ha (tabell 14), lika mycket som 1983 och betydligt mer än åren dessförinnan. Detta skördeutfall motsvarades av ett kväveinnehåll i de ovanjordiska växtdelarna på 105 kg N/ha vid skörden den 28 augusti (figur 9). Redan vid axgången (registrerad som den 5/7) innehöll de ovanjordiska växtdelarna 85 kg N/ha.

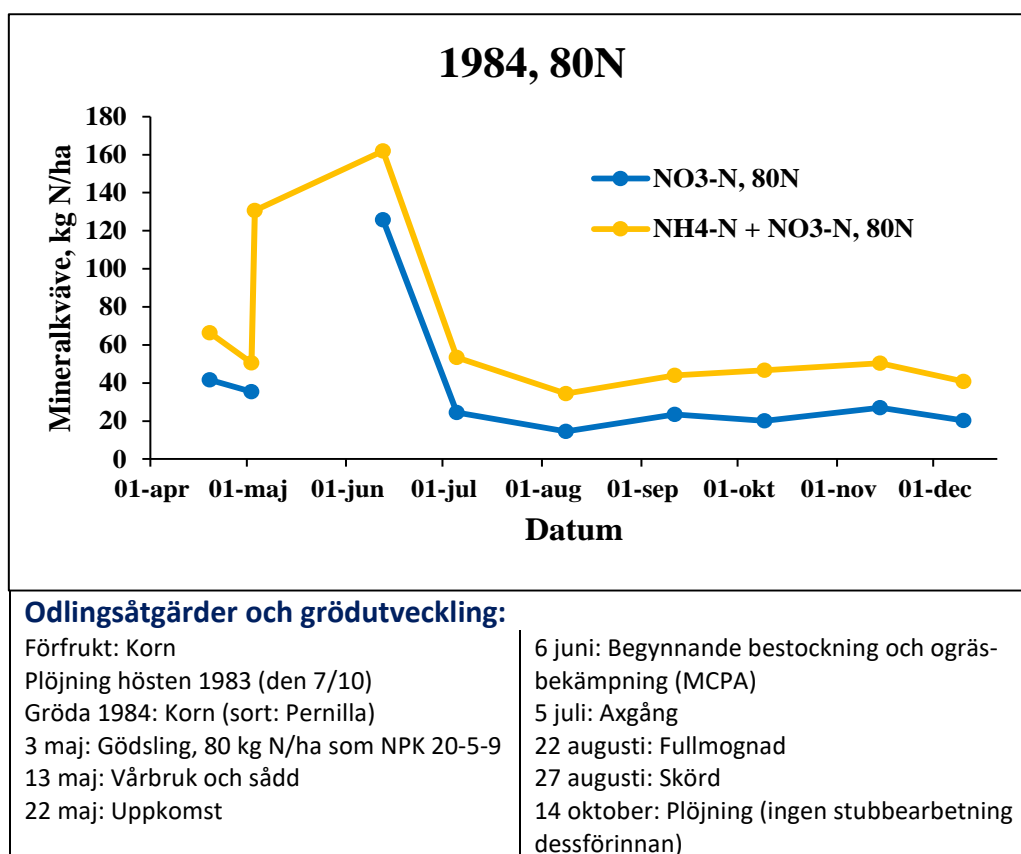
Vid tiden för axgången hade de stora mängder mineralkväve (inkl. gödselkväve) som fanns efter gödningen på våren (den 3/5) minskat så pass, att ungefär lika mycket då återstod i marken som före gödningen (figur 10 och 11), vilket också var fallet 1981-83. Fram till den 8 augusti medförde uppenbarligen grödans fortsatta kväveupptag, att det bara fanns 41 kg mineralkväve per ha kvar inom 0-100 cm djup. Från detta datum kan ytterligare något kväve ha tagits upp fram till fullmognad, att döma av kväveupptagningsförloppet i figur 9. Liksom 1981-83 ökade mängderna mineralkväve under hösten och nådde ett registrerat högsta värde den 14 november (figur 10 och 11), då 50 kg N/ha fastställdes inom 0-100 cm djup. Ökningen av mineralkväveförrådet under höstmånaderna till den 14/11 ses i figur 11 främst som tilltagande nitratkväve-mängder inom 0-20 och 20-40 cm djup. På 40-100 cm djup tycktes inga ändringar ha skett, efter det att kväveupptagningen avslutats under sensommaren.

Någon nedvaskning av kväve från de översta skikten ägde således inte rum under hösten. Efter den 14 november uppkom det emellertid en minskning inom 0-100 cm djup från 50 kg till 41 kg N/ha den 10 december. Av figur 11 framgår att det främst var nitratkväve inom 0-40 cm djup som förlorades under tiden 14/11 – 10/12. Det finns inga tydliga tecken på att nitratkväve vaskades nedåt i markprofilen. Förlusten skulle då kunna förklaras med denitrifikation och kväveimmobilisering.

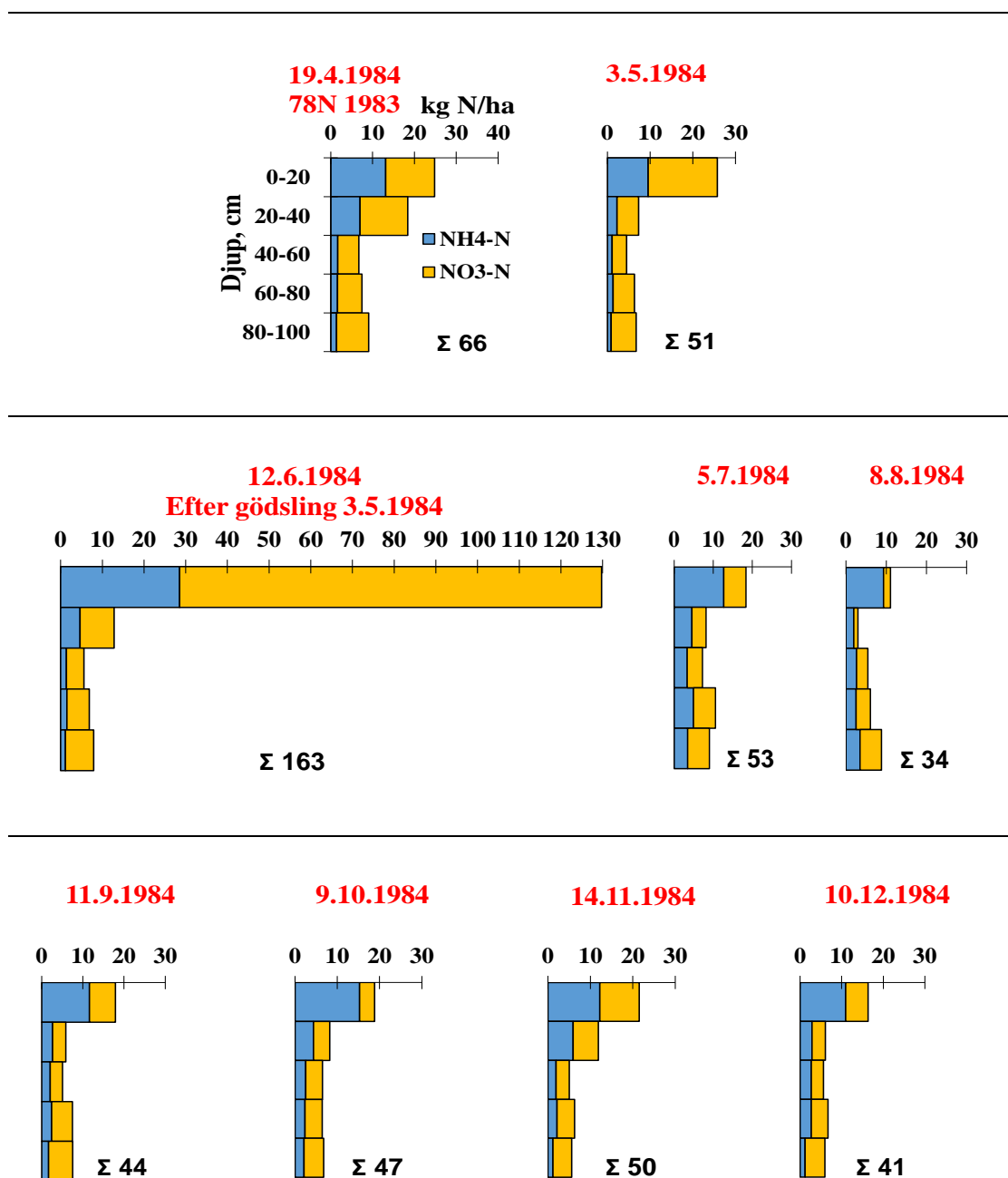
Från provtagningen den 3/5 till den 14/11 1984 finns det ej heller något som tyder på att nitratkväve skulle ha transporterats nedåt i markprofilen med eventuellt perkolerande nederbördsvatten. Ökande nitratkvävehalter i alven genom nedvaskning borde i så fall ha märkts som anhopningar eller ”pucklar” i de markskikt, dit nedtransporten skulle ha ägt rum. Det var tvärtom så att nitratkvävehalten minskade något i alven under sommaren, efter det att de stora mängderna mineralkväve (inkl. gödselkväve) i matjorden förbrukats av grödan. Resultaten vid prov-



Figur 9. Kväve upptaget i de ovanjordiska växtdelarna av grödan (korn) under växtsäsongen 1984 i försöket vid Sävstaås efter gödning med 80 kg N/ha. Datum för odlingsåtgärder och grödutveckling: se figur 9.



Figur 10. Årstidsvisa förändringar av mineralkväveförrådet i marken (0-100 cm djup) i försöket vid Sävstaås 1984 vid odling av korn, som gödslades med 80 kg N/ha. De angivna mängderna mineralkväve vid gödningstillfället (den 3 maj) avser summan av befintligt mineralkväve alldeles före gödningen och tillfört mineralgödselkväve.

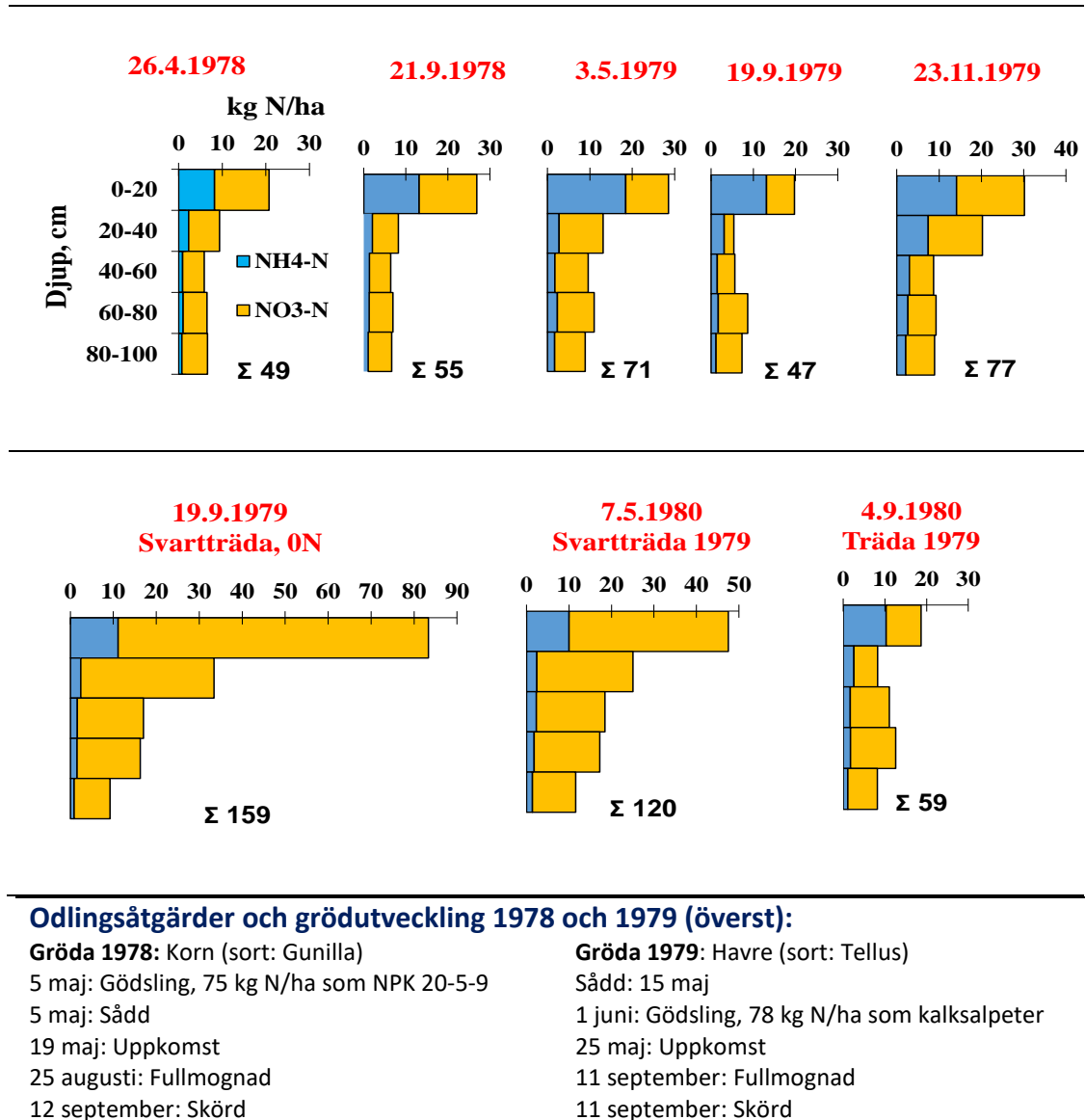


Figur 11. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-100 cm djup i försöket vid Sävstaås från våren till hösten 1984 vid odling av korn, som tillfördes 80 kg N/ha den 3/5.

tagningen den 8 augusti 1984, då minst mineralkväve registrerades, tyder på minskningar av nitratkvävemängderna ned t.o.m. 60-80 cm djup, efter de tidigare provtagningstillfällena detta år. Inom 0-20, 20-40, 40-60 och 60-80 cm djup fanns det bara 1,7, 1,1, 2,9 respektive 3,6 kg nitratkväve per ha kvar den 8 augusti. Vid föregående provtagning (5/7) erhöles inom respektive djup 5,7, 3,7, 3,9 och 5,7 kg/ha. Det kan förmodas att grödan tog upp kväve ned t.o.m. skiktet 60-80 cm, men inte längre ned. På djupet 80-100 cm fanns det den 5/7 och 8/8 i det närmaste en oförändrad mängd nitratkväve: 5,6 respektive 5,3 kg N/ha.

Mineralkväve i marken 1978-80

Resultaten 1981-84 har här redovisats först, eftersom jordprovtagningarna dessa år genomfördes i stort sett månadsvis från tiden före vårbruket till senhösten. År 1978 och 1979 togs prover för mineralkvävebestämning bara under våren och en kort tid efter skörd på hösten. År 1980 genomfördes visserligen provtagningar ungefär månadsvis för mineralkvävebestämning i jorden, men en del av proverna togs ut på ett felaktigt sätt efter kvävegödslingen på våren och redovisas därför inte. Resultaten från 1978 och 1979 visas i figur 12.



Odlingsåtgärder och grödutveckling 1978 och 1979 (överst):

Gröda 1978: Korn (sort: Gunilla)

5 maj: Gödsling, 75 kg N/ha som NPK 20-5-9

5 maj: Sådd

19 maj: Uppkomst

25 augusti: Fullmognad

12 september: Skörd

Gröda 1979: Havre (sort: Tellus)

Sådd: 15 maj

1 juni: Gödsling, 78 kg N/ha som kalksalpeter

25 maj: Uppkomst

11 september: Fullmognad

11 september: Skörd

Led med svartträda 1979 och efterföljande odling 1980 (underst):

Ingen kvävegödsling 1979

Gröda 1980: Korn (sort: Gunilla)

14 maj: Gödsling, 80 kg N/ha som NPK 20-5-9 15

15 maj: Sådd

13 juli: Axgång

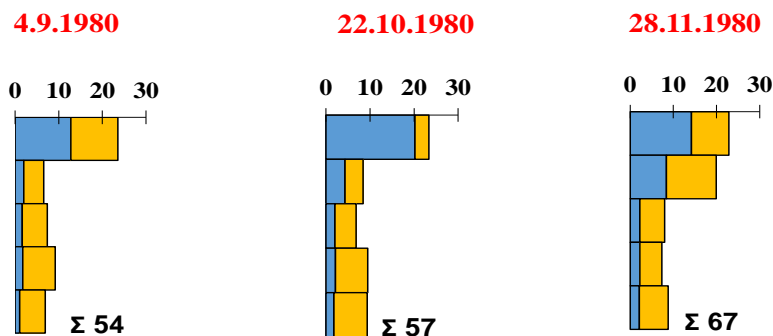
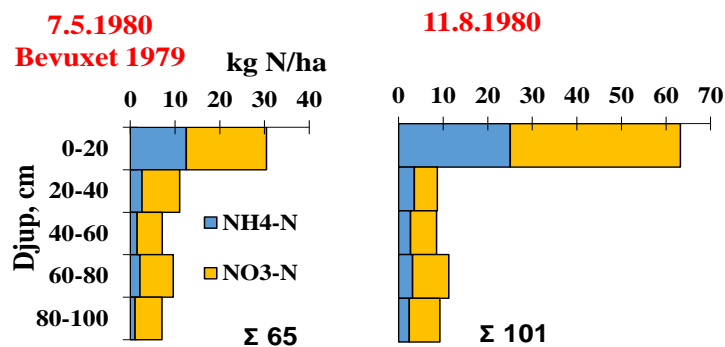
15 augusti: Fullmognad

28 augusti: Skörd

Figur 12. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-100 cm djup i försöket vid Sävstaås: **1, överst:** på våren och efter skörd på hösten 1978 och 1979 vid odling av korn respektive havre, som gödslades med 78 och 78 kg N/ha och **2, underst:** ett försöksled med svartträda (helträda) utan kvävegödsling 1979, där det efter trädan odlades korn 1980. Detta gödslades med kväve (80 kg N/ha). Mineralkvävemängden på trädan den 19.9.1979 (159 kg N/ha) kan jämföras med motsvarande mängd den 19/9 vid odling av havre (överst).

Före vårbruket på våren 1978 fanns det 49 kg mineralkväve per ha (0-100 cm) och 21/9 (efter skörden) detta år 55 kg N/ha (figur 12). Det senare var något mer än det brukade vara i början eller mitten av september. Det kan bero på att det hade börjat anhopas mineraliserat kväve överst i markprofilen efter avslutad kväveupptagning såsom beskrivits ovan för åren 1981-84. Ytterligare en orsak kan vara att avkastningen av kornet detta år blev mycket låg (2030 kg kärna per ha, tabell 14), så att grödan inte utnyttjade kvävet lika effektivt som under år med god skörd.

I början av maj 1979 innehöll marken 71 kg mineralkväve per ha (0-100 cm), figur 12. Detta tyder på kvävemineraliseringstillskott på ca 15 kg N/ha under den senare delen av hösten 1978 och möjligtvis även under vintern eller tidigt på våren. Vid provtagningen den 19 september 1979 fanns det 47 kg N/ha i marken. Minskningen sedan våren tyder på att grödan (havre) utnyttjat mineralkväve i alven åtminstone till 60-80 cm djup. Efter denna tidpunkt tilltog mineralkväveförrådet under hösten, och den 23/11 fastställdes 77 kg N/ha, således en ökning med 30 kg N/ha som uppkom inom 0-40 cm djup.



Odlingsåtgärder och grödutveckling:

Gröda 1979: Havre (sort: Tellus)

Gröda 1980: Korn (sort: Gunilla)

14 maj: Vårbruk och gödning (80 kg N/ha som

NPK 20-5-9)

15 maj: Sådd

24 maj: Uppkomst

10 juni: Begynnande bestockning

13 juli: Axbång

15 augusti: Fullmognad

28 augusti: Skörd

24 oktober: Plöjning

Figur 13. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-100 cm djup i försöket vid Sävstaås från våren till hösten 1980 vid odling av korn som gödslades med 80 kg N/ha.

Korn odlades i försöket på Sävstaås 1980. Denna gröda gödslades med 80 kg N/ha den 14 maj. Vid jordprovtagning den 7 maj fastställdes 65 kg mineralkväve inom 0-100 cm djup (figur 13). Uppenbarligen ledde torka under växtsäsongen till att utnyttjandet av gödselkvävet fördröjdes. Ännu den 11 augusti fastställdes totalt 101 kg mineralkväve per ha (0-100 cm), varav så mycket som 63 kg N/ha i matjorden (figur 13). Detta är betydligt mer än de mängder som vid denna årstid fastställdes i detta försök 1981-84. Kväveupptagningen tycktes emellertid ha fortsatt efter den 11/8, bl.a. genom tillväxt av grönskott. Det återfanns ”bara” 54 kg N/ha (0-100 cm) den 4 september. Därefter anhopades mineraliserat kväve på nytt i marken, främst inom 0-40 cm djup. Fram till den 28 november uppkom således en ökning med 13 kg N/ha till 67 kg N/ha inom 0-100 cm (figur 13).

Orsaken till att utnyttjandet av gödselkvävet fördröjdes under växtsäsongen 1980 synes vara liten nederbörd under våren och delar av sommaren (tabell 9). I maj fastställdes vid den närbelägna meteorologiska stationen Dönje (strax öster om Bollnäs) totalt 11 mm och i juli 26 mm. Det registrerades emellertid 122 mm i juni vid Dönje. Det var däremot ganska torrt vid Sävstaås i denna månad fram till midsommar, vilket gav upphov till kort strå hos kornet. Det är möjligt att lokala avvikelser (t.ex. skurar) gör att nederbördsuppgifterna från Dönje inte stämmer med förhållandena vid Sävstaås.

Grödans utnyttjande av mycket stora mineralkväveförråd i marken (1979-80)

Under 1980- och 1990-talen diskuterades i Sverige bruket av obevuxen träda (svartträda eller helträda) ur utlakningssynpunkt och behovet av kvävegödsling efter denna (jmf. Lindén & Wallgren, 1988; Wallgren & Lindén, 1991). År 1979 anlades yta med svartträda inom försöket vid Sävstaås. Avsikten var att genom anhopning av mineraliserat kväve framkalla ett större mineralkväveförråd än normalt i marken fram till hösten 1979 för att i princip studera hur detta kväve fördelades i marken under vinterhalvåret därefter och påverkade kväveutlakningsrisken. Dessutom avsågs att mer tydligt än annars belysa, hur djupare beläget mineralkväve (t.ex. på 40-100 cm djup) kom att utnyttjas av grödan under den därpå följande växtsäsongen (1980). Avsikten var vidare att beskriva kväveutnyttjandet i en odlingssituation då grödan därutöver erhöll en normal kvävegiva (här 80 kg N/ha), tänkt att ha tillförts mer eller mindre av brist på kunskap om kvävesituationen i marken, så att kvävetillgången blev överoptimal. En sådan odlingssituation är inte densamma som när en överoptimal kvävegiva tillförs under ett år med ett normalt mineralkväveförråd i marken på våren.

Trädan 1979 gödslades inte med kväve och hölls fri från ogräs dels genom kemisk bekämpning och dels genom harvningar. Under växtsäsongen detta år anhopades mineraliserat kväve i marken (0-100 cm), från 71 kg N/ha den 3/5 (gemensamt med försöksledet med havre, figur 12) till 159 kg N/ha den 19/9, dvs. ett tillskott på 88 kg N/ha. Det fanns då 112 kg N/ha mer kväve på trädan än efter skörden av havren (figur 12).

Eftersom marken på trädan var obevuxen under växtsäsongen 1979, måste evapotranspirationen ha blivit mindre än i ledet med havre detta år. Man får då räkna med att nederbördsvatten under växtsäsongen och hösten kom att röra sig nedåt i markprofilen tidigare än i jord som varit bevuxen. Även om det mesta av det mineraliserade kvävet fanns upptill i marken vid provtagning den 19/9, tycktes något då ha nått ned till skiktet 60-80 cm och kanske även till 80-100 cm (figur 12). Medan havren som nämnts tydligt tog tillvara kväve i alven till åtminstone 60-80 cm djup, ledde trädan uppenbarligen till ökad kväveutlakningsrisk. Under vinterhalvåret 1979-80 tycks således mineralkväve på trädan ha rört sig ytterligare nedåt i marken (figur 12). Mängden kväve minskade från 159 kg N/ha i september 1979 till 120 kg N/ha vid vårprovtagningen

den 3 maj 1980. Utöver förluster ned till jordlager under 100 cm djup kan en del av minskningen tänkas bero på denitrifikation. Trots nederbördsvattnets nedträngning i marken under vinterhalvåret återfanns likväl det mesta av mineralkvävet på våren i de övre markskikten. Detta kan tänkas bero på att den kalla vintern (tabell 8) medförde kraftig tjäle som motverkade perkolation av vatten genom markprofilen och dessutom gav upphov till viss ytavrinning på våren. År 1980 odlades korn efter trädan. Denna gröda gödslades med 80 kg N/ha. Att döma av det återstående mineralkväveförrådet den 4 september 1980 (efter skörden) hade grödan utnyttjat det mesta av kvävet efter trädan, åtminstone ned till ca 60 cm djup (figur 12). Men totalt återfanns 59 kg mineralkväve per (0-100 cm djup), varav en stor del inom 60-100 cm djup. Detta är mer än vid avslutad kväueupptagning eller under förhösten i leden med vårsäd 1979-84, med en kväuegiva på ca 80 kg N/ha och med stråsäd som förfrukt. Resultatet visar nödvändigheten av att anpassa kväuegödslingen efter svarträda, så att grödans kväuetillgång inte blir för stor.

Det är normalt att stora mängder mineraliserat kväue anhopas på svarträda (helträda) fram till sensommaren och fortsättningsvis under hösten. Sålunda fastställde Lindén (1987) 77-174 kg mineralkväue per ha (0-90 cm djup) redan i augusti. Wallgren & Lindén (1991) fann i medeltal 105 kg mineralkväue per ha (0-90 cm djup) på senhösten efter helträda i 14 tvååriga fältförsök i Göta- och Svealand. Detta var 60 kg N/ha mer än efter korn i samma försök. Efterföljande vår återfanns i genomsnitt 80 kg N/ha, vilket tyder på vissa förluster. Höstvetete hade såtts efter trädan. Svarträda förekommer sällan numera, men för att i förekommande fall motverka kväueförluster genom anhopningen av kväue, är det effektivast att så höstraps på trädan, där det är möjligt att odla denna gröda. Höstraps tar ju normalt upp stora kväuemängder på hösten. I medeltal för fyra undersökningar med höstraps (Lindén & Wallgren 1988; Aronsson & Torstensson, 2003; Engström et al. (2000); Engström & Lindén, 2008) innehöll denna gröda 60 kg N/ha ovan jord under senhösten, med variationer från 10 kg/ha (svagt bestånd) till 155 kg/ha.

Jämförelser mellan de olika åren 1978-84 i försöket vid Sävstaås

Den minsta mängden mineralkväue inom 0-100 cm under ett enskilt år fastställdes i augusti och början av september, uppenbarligen då grödornas kväueupptagning upphörde eller nyligen hade upphört (tabell 16). En kort tid efter skörd (medeldatum för jordprovtagningarna: 13/9) konstaterades mineralkväuerester inom 0-100 cm djup på i medeltal 48 kg N/ha (n = 7) efter gödsling med de kväuegivor som användes i försöket (led 78N, gödsling med 75-80 kg N/ha), se tabell 16. Vid den tidpunkt dessförinnan, då minst mängd mineralkväue fastställdes (medeldatum: 20/8), erhöles 45 kg N/ha (n = 5). Vid vårprovtagningarna (medeldatum: 29/4, dvs. före gödslingen), fanns det i genomsnitt 64 kg N/ha.

Det är högst troligt att skillnaden i mineralkväue mellan vår och avslutad kväueupptagning (i medeltal $64 - 45 = 19$ kg N/ha) utgjordes av kväue som togs upp av grödorna. Strax efter skörd återfanns det emellertid mer mineralkväue 1978 och 1980 (ca 55 kg N/ha) än övriga år (tabell 16). För år 1978 kan detta bero på mycket svag skörd (2030 kg/ha), och 1980 kan tidvis torka under våren och sommaren vara orsak till något större mineralkväuerester. Utan kväuegödsling återstod ca 38 kg N/ha de båda åren (1982 och 1983) då 0N-led ingick i försöket. Detta tyder på att utan kväuegödsling hade grödorna större behov av att utnyttja upptagbart kväue i markprofilen än efter gödsling. Därmed togs markkväuet bättre tillvara i ledet utan kväuegödsling (0N).

Det var i huvudsak nitratkväuet som förändrades från våren till tiden för avslutad kväueupptagning (tabell 17). I medeltal för 1980-84 minskade nitratkväuet inom 0-100 cm djup i det gödslade ledet (78N) från 40 kg N/ha vid vårprovtagningarna (medeldatum: 28/4) till 25 kg/ha då kväueupptagningen höll på att avslutas (medeldatum för provtagning: 20/8). Nitratkväuet i detta

Tabell 16. Mineralkväve inom 0-100 cm djup vid olika tidpunkter i försöket vid Sävstaås 1978-84: 1) på våren, 2) vid tiden för minsta mängd i marken, 3) i början av hösten (efter skörden) och 4) på senhösten.

År	N-giva	Vår, före vårbruk		Minsta mängd		Efter skörd		Senhöst	
		Datum	kg N/ha	Datum	kg N/ha	Datum	kg N/ha	Datum	kg N/ha
<i>Med kvävegödsling:</i>									
1978	75	26/4	49	-	-	21/9	55	-	-
1979	78	3/5	71	-	-	19/9	47	23/11	77
1980	80	7/5	65	4/9	54	4/9	54	28/11	67
1981	77	22/4	64	31/7	44	9/9	44	20/11	61
1982	80	3/5	62	15/9	48	15/9	48	5/11	71
1983	78	4/5	69	10/8	43	13/9	43	25/10	60
1984	80	19/4	66	8/8	34	11/9	43	14/11	50
Medel- tal	78	29/4	64*	20/8	45	13/9	48**	14/11	65
<i>Utan kvävegödsling (0N-led):</i>									
1982	0	3/5	62	15/9	45	15/9	45	5/11	65
1983	0	4/5	69	10/8	29	13/9	31	25/10	50
Medel- tal	0	4/5	66	28/8	37	14/9	38	31/10	58

*) 66 kg N/ha 1979-84. **) 46 kg N/ha 1980-84.

Tabell 17. Nitratkväve (kg/ha) skiktvis i marken (0-100 cm) 1980-84 i försöket vid Sävstaås dels på våren (före vårbruk och gödsling) och dels vid tiden för avslutad kväveupptagning på sensommaren-förhösten. Nitratkvävet igår i det mineralkväve som anges i tabell 16.

Djup (cm)	Kvävegödsling, medeltal 78 kg N/ha					Medel- tal	Utan kväve		Medel- tal
	Vår, provtagningsdatum:						Vår, datum:		
	7.5	22.4	3.5	4.5	19.4	28.4	3.5	4.5	4.5
	1980	1981	1982	1983	1984		1982	1983	
0-20	17,9	7,6	11,6	7,8	11,7	11,3	11,6	7,8	9,7
20-40	8,4	7,0	7,0	9,2	11,4	8,6	7,0	9,2	8,1
40-60	5,6	6,1	6,6	8,2	5,0	6,3	6,6	8,2	7,4
60-80	7,5	6,6	7,1	8,9	5,8	7,2	7,1	8,9	8,0
80-100	6,0	7,1	6,3	7,8	7,7	7,0	6,3	7,8	7,0
Summa	45,4	34,3	38,6	42,0	41,6	40,4	38,6	42,0	40,3
Vid tiden för avslutad kväveupptagning, provtagningsdatum:									
	4.9	31.7	15.9	10.8	8.8	20.8	15.9	10.8	28.8
	1980	1981	1982	1983	1984		1982	1983	
0-20	10,8	2,4	6,2	4,1	1,7	5,0	4,9	1,9	3,4
20-40	4,6	5,8	4,4	2,5	1,1	3,7	5,9	0,8	3,3
40-60	5,7	4,8	5,0	5,2	2,9	4,7	4,6	1,7	3,2
60-80	7,5	6,5	7,0	4,2	3,6	5,8	6,1	1,5	3,8
80-100	5,9	5,2	5,9	5,8	5,3	5,6	6,2	4,0	5,1
Summa	34,4	24,6	28,5	21,7	14,6	24,8	27,6	9,9	18,8

kvävegödslade led tycks ha utnyttjats av grödorna ned till ca 60 cm djup 1980-82 men 1983-84 till ca 80 cm, möjligen ännu något djupare under dessa båda sista år, då skördarna blev större än tidigare. I ledet utan kvävegödsling (0N), som bara fanns 1982 och 1983, förefaller grödornas utnyttjande av det på våren befintliga nitratkvävet ha varit bättre i alla markskikt. Vid avslutad kväveupptagning återstod det emellertid i båda leden en del nitratkväve, som under det efterföljande vinterhalvåret skulle kunna gå förlorat genom utlakning.

Under höstarna tilltog mineralkväveförråden (tabell 16). Senhöstarna 1979-84 (medeldatum: 14/11) fastställdes i medeltal 65 kg N/ha (0-100 cm). Detta innebär en genomsnittlig ökning med $65 - 48 = 17$ kg N/ha från september (medeldatum: 13/9) fram till en tid kort före vinterns ankomst.

Under vårarna (medeldatum: 29/4), en kort tid före vårbruket, fastställdes i medeltal 64 kg N/ha, alltså ungefär lika mycket som under senhöstarna (tabell 16). Jämförs emellertid enskilda senhöstar med efterföljande vårar fås för 1979/80, 1980/81, 1981/82, 1982/83 och 1983/84 följande förändringar av mineralkväveförråden under vinterperioden: -7, -3, +1, -2 respektive +6 kg N/ha, dvs. en medelminskning med 1 kg N/ha från senhöst till tiden strax före vårbruket. Sammantaget är dessa nettoförluster små. Det är troligt att en del av de minskningar som förekom under tre av de fem vinterhalvåren berodde på förluster av mineralkväve i samband med snösmältningen och avdränningen av överskottsvatten på våren. Så var uppenbarligen fallet våren 1984. Då fastställdes 66 kg mineralkväve inom 0-100 cm djup den 19 april, men förrådet minskade till 51 kg N/ha den 3 maj. Den 19 april fanns det fortfarande tjäle på ca 20-45 cm djup, vilket dittills kan ha motverkat avdränningen av markprofilen. Skillnaderna mellan senhöst- och vårprovtagningarna i försöket kan dock i viss mån innebära en underskattning av förlusterna från markprofilen. Efter senhöstprovtagningarna kan smärre mineraliseringstillskott ha ägt rum, tills marken frusit. Ett litet tillskott kan också ha skett före vårprovtagningarna. Ett oförändrat förråd från senhöst till vår kan då innebära en faktisk kväveförlust.

Kväveminaliseringen från vid avslutad kväveupptagning (medeldatum för provtagning: 20 augusti) till vårprovtagningarna (medeldatum: 29 april) ökade mineralkväveförrådet (0-100 cm) i medeltal från 45 kg N/ha till 64 kg N/ha 1980-84 (+19 kg N/ha) i det kvävegödslade ledet (78N), tabell 16. Detta netto avser kväveminaliseringstillskott minus förekommande kväveförluster.

De i stort sett oförändrade mineralkväveförråden från senhöst till vår kan jämföras med motsvarande skeenden i jordar i sydligare landsdelar. I åtta tvååriga fältförsök på moränlätteror i Skåne fastställde Engström (2010) minskningar av mineralkvävet från i medeltal 59 kg N/ha inom 0-90 cm djup på senhöstarna 2000-2003 till 39 kg tidigt på vårarna därefter. Nedgången (20 kg N/ha) motsvarar 34 % av mineralkvävet på senhösten. I två odlingsystem med ettåriga grödor i ett försök på styv lerjord (mycket styv lera i alven) 1979-84 vid Lanna i Västergötland uppstod det från slutet av november till mitten av mars tillskott av mineraliserat kväve (0-100 cm djup) på i medeltal ca 10 kg N/ha 1979-84 (Lindén, 2017). 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. Vårperioderna från mitten av mars kännetecknades emellertid av ökande avrinning genom snösmältning och tjällossning. Det blev då i flera fall tydliga minskningar av mineralkväveförråden i Lanna-försöket under denna tid.

I försöket vid Sävstaås innefattade perioden mellan senhöst- och vårprovtagningen dels den tid då marken var frusen under den egentliga vintern och dels avdräneringsperioden i samband med

snösmältning och tjällossning. Förändringarna i mineralkväveförråden på Lanna 1979-84 och vid Sävstaås under nästan samma år liknade därför i hög grad varandra genom i stort sett oförändrade mineralkvävemängder från senhöst till begynnande upptorkning på våren. På Lanna medförde detta förhållandevis små kväveutlakningsförluster (Lindén, 2017). Lättlerorna i de nämnda försöken i Skåne (Engström, 2010) skiljer sig från lerjorden på Lanna och vid Sävstaås genom förhållandevis stora förluster av mineralkväve från senhöst till tidigt på våren. Dessa olikheter torde bero på både klimat- och jordartsskillnader.

Jorden på Lanna hade en struktur med tydlig sprickbildning ned till ca 100 cm djup, vilket tillät djupt rotsystem, till minst 100 cm djup och i vissa fall till ca 150 cm. Grödorna tycktes utnyttja mineralkväve väl till åtminstone 100 cm djup. I lerjorden försöket vid Sävstaås (LML 0-40 cm, SL 40-80 cm och ML 80-100 cm djup, tabell 12) kunde grödorna (vårsäd) uppenbarligen inte utnyttja mineralkväve i marken lika djupt och effektivt som på Lanna. Orsaken tycks vara mindre sprickbildning än i Lanna-jorden. Det djupare belägna mineralkvävet, på 60-100 cm djup, kan härigenom med tiden ha gått förlorat i större utsträckning än på Lanna.

Ammoniumkväve inom 0-100 cm djup vid Sävstaås

Mängderna ammoniumkväve varierade betydligt mindre med åren och mellan olika årstider än nitratkvävet (figur 2, 5, 8, 11, 12 och 13). I likhet med mullhalten avtog ammoniumkvävemängderna med djupet i marken, ned till ca 40 cm. I skikten på 40-100 cm djup var mängderna likartat små. Dessa förhållanden kan anses tillhöra det normala, vilket belyses i liknande mineralkväveundersökningar i Götaland och Svealand (t.ex. Lindén, 1981; Lindén, 2017). I medeltal för vårarna (före gödsling), somrarna och höstarna (t.o.m. november) 1978-84 fanns det på 0-20 cm djup 13,9 kg ammoniumkväve per ha, standardavvikelse (SD) = 4,5 kg/ha (tabell 18). På 20-40 cm djup erhöles 3,9 kg/ha (SD = 1,8 kg/ha). I övriga skikt ned till 100 cm fastställdes ca 2 kg/ha (SD = 0,5-0,9 kg/ha). Sammantaget fanns det inom 100 cm djup i medeltal 23,9 kg ammoniumkväve per ha (SD = 5,7 kg). I dessa uppgifter ingår inte tiden omkring en månad efter gödsling på våren, eftersom ammoniumkväve tillfört med gödselmedlen skulle ge ökade mängder, så länge detta inte nitrifierats. De små variationerna mellan årstiderna (och även mellan åren) i ammoniumkväve innebär att förändringarna i mineralkväveförråden övervägande beror på växlingar i nitratkvävemängderna.

Tabell 18. Ammoniumkväve (kg/ha) i olika markskikt i försöket vid Sävstaås 1978-84, medeltal och standardavvikelser (SD). Provtagningar som gjorts inom ca en månad efter gödslingen på våren har inte tagits med. Med ”vår” avses tiden före gödsling på våren.

Markdjup (cm)	Hela året, utom vinter n = 36		Vår (april-maj) n = 9		Höst (sept.-nov.) n = 18	
	Medeltal	SD	Medeltal	SD	Medeltal	SD
0-20	13,9	4,5	12,7	4,5	14,3	4,4
20-40	3,9	1,8	3,6	2,0	4,0	2,0
40-60	2,0	0,5	1,7	0,5	2,1	0,4
60-80	2,3	0,7	2,0	0,5	2,1	0,4
80-100	1,8	0,9	1,5	0,6	1,5	0,4
Summa	23,9	5,7	21,5	6,6	23,9	5,3

Försök 1978-82 vid Östra Höle

Markegenskaper

Av tabell 19 framgår att försöksplatsen vid Östra Höle delvis kännetecknades av lättare jord. Visserligen innehöll jorden enligt mekanisk analys lättlera inom 0-40 cm djup, men lerets betydelse skall här inte överdrivas. Markens brukningsegenskaper liknade istället en mjällig finmojords. Exempelvis lämpade den sig för vårplöjning. Det är möjligt att en betydande del av lerinnehållet utgjordes av grovler, med mjälaliknande egenskaper. På 40-100 cm djup kännetecknades alven av lerig mjällig mo.

Mineralkväve bestämdes som nämnts inom 0-100 cm djup och i ett av leden (C) även till 200 cm (se nedan). Mekanisk analys utfördes dock inte i jorden på 100-200 cm djup. Av kostnads-skäl uppskattades där istället jordartssammansättningen visuellt och med utrullningsprov. Detta gav följande resultat: 100-125 cm djup: sa mo mj LL, 125-150 cm: mo mj LL, 150-175 cm: mo mj LL, 175-200 cm: 1 mj Mo.

Förekomsten av rötter undersöktes som nämnts visuellt i de olika markskikten i samband med vissa av de mineralkväveprovtagningar som ägde i september och vid efterföljande kväveanalys. Antalet rötter räknades inte, utan rotmängden bedömdes enligt följande skala: riklig rotförekomst - måttlig förekomst - enstaka rötter - inga rötter. I skiktet 20-40 cm fanns en övergång från riklig till måttlig förekomst, men i delar av borrhärnorna från detta jordlager fastställdes bara enstaka rötter. Vidare hittades enstaka rötter i skiktet 40-60 cm. Det fanns inga rötter på 60-200 cm djup, utom i ett par fall då det fastställdes några rotbitar på 60-80-cm-nivån. Den svaga förekomsten av rötter närmast under ca 40 cm och frånvaron av rötter på större djup hänger uppenbarligen samman med övergången från moig lättlera till mjällig mo vid omkring 40 cm djup och de djupare markskiktens karaktär som enkelkornjord.

Dräneringsförhållandena i marken undersöktes vid både vår- och höstprovtagningarna. För detta hade ett grundvattenståndsrör satts ut i vardera av de två blocken (se metodikbeskrivning ovan). Rören nådde ned till 2,10 m djup. Vid samtliga fem provtagningstillfällen på hösten (21.9.1978, 19.9.1979, 5.9.1980, 9.9.1981 och 15.9.1982) observerades inte något grundvatten inom 0-200 cm djup. Marken var vanligtvis förhållandevis "torr" ned till 200 cm. Exempelvis var det i september 1982 istället fuktigast i matjorden, uppenbarligen till följd av att höstens nederbördsvatten började tränga ned efter sommarens upptorkning av markprofilen. De generellt "torra" förhållandena i alven vid höstprovtagningarna tyder dels på djupt stående grundvattenyta och dels på att grödornas vattenförbrukning sommartid torkat upp marken (troligen även genom kapillär uppstigning till rotzonen).

Ej heller förekom det grundvatten inom 200 cm djup i samband med vårprovtagningarna (den 26.4.1978, 2.5.1979, 7.5.1980, 6.5.1981 och 4.5.1982). Däremot var det ofta mycket fuktigt eller rentav vått-mycket vått i matjorden och/eller i den övre alven vid vissa av dessa vårprovtagningar, beroende på att marken ännu ej torkat upp efter snösmältningen (såsom den 26.4.1978) eller att snön ännu ej smält (såsom den 6.5.1981) eller att det fanns tjäle kvar. Den 6.5.1981 låg det fortfarande omkring en decimeter snö på marken inom försöket. Vid tre av vårprovtagningarna fanns det tjäle kvar: inom 10-40 cm djup den 2.5.1979, på 20-40 cm djup den 7.5.1980 och på 20-30 cm djup den 6.5.1981. Överskottsvattnet överst i marken de båda våren 1979 och 1981 tycktes ha "dämts upp" av tjälen, så att perkolationen till djupare alvskikt hindrades eller försenades. Bara vid vårprovtagningen 1978 var det mycket vått i marken

Tabell 19. Jordartssammansättning (mekanisk sammansättning, % av jordens torrsubstans) inom 0-100 cm markdjup i försöket vid Östra Höle. Jordprovtagningen ägde rum den 21.09.1978. Beräkningen av mullhalt baseras på glödgningsförlust.

Markskikt (cm)	Jordartssammansättning					Jordartsbeteckning
	Ler	Mjåla	Mo	Sand	Mull- halt	
	<i>Kornstorleksfördelning (mm):</i>					
	<0,002	0,002-0,02	0,02-0,2	0,2-2	(%)	
0-20	23,5	29,4	38,4	3,9	4,8	mmh mj mo LL
20-40	18,4	27,5	48,4	3,5	2,2	nmh mj mo LL
40-60	6,0	8,9	83,0	1,4	0,8	mf l mj Mo
60-80	5,0	5,3	87,2	1,9	0,5	mf l mj Mo
80-100	8,8	10,7	77,4	2,5	0,7	mf l mj Mo

Tabell 20. Växtnäringstillstånd i markprofilen i försöket vid Östra Höle, jordprovtagning den 6.5.1981. För pH-värden redovisas två bestämningar: dels vid dåvarande Statens Lantbrukskemiska Laboratorium (SLL) och dels vid Avdelningen för växtnäringlära, SLU (VN), i det senare fallet med prover uttagna den 21.9.1978.

Mark- skikt (cm)	pH(H ₂ O)		mg per 100 g lufttorr jord samt P-AL-, K-AL- och KCL-klasser (inom parentes):				Totalkväve	
	SLL	VN	P-AL	K-AL	K-HCL	Mg-AL	% av ts	Ton/ha
0-20	5,6	6,3	4,4 (III)	11,5 (III)	215 (4)	5,9	0,21	6,0
20-40	5,2	5,8	2,0 (II)	3,9 (I)	220 (4)	3,6	0,10	2,2
40-60	5,2	5,7	2,1 (II)	1,9 (I)	195 (3)	1,7	0,03	1,6
60-80	5,3	6,0	3,4 (II)	2,4 (I)	160 (3)	2,0	0,02	1,5
80-100	5,5	6,3	2,8 (II)	3,5 (I)	160 (3)	4,0	0,01	0,9

inom hela djupet 0-200 cm. Vid fyra av de fem vårprovtagningarna tycktes därför inte nämnvärt med vatten från snösmältningen ha nått ned till de djupare alvskikten, utan detta vatten torde delvis ha avbördats från marken på annat sätt. Det är då troligt, att mineralkväve ej heller rörde sig så djupt ned i jorden som när tjäle saknas under vintern och våren (se även nedan).

Den förhållandevis lätta jorden i försöket medförde uppenbarligen svag kaliumtillgång i marken (tabell 20). Jorden var särskilt fattig på kalium inom 40-100 cm djup (K-AL-klass I). Även magnesiumtillgången var svag, särskilt i alven, uppenbarligen till följd av den lätta jorden. Fosfortillståndet i alven motsvarade P-AL-klass II. De bättre P- och K-tillstånden i matjorden torde i hög grad bero på tidigare gödslingar. Marken var kalkfattig, med pH-värden på 5,2-5,6 enligt analys vid dåvarande Statens Lantbrukskemiska Laboratorium. Analyser vid Avdelningen för växtnäringlära, Institutionen för markvetenskap, SLU, gav dock något högre pH-värden (tabell 20). I skikten under 100 cm djup erhöles följande pH-värden enligt analys vid Avdelningen för växtnäringlära: 7,0 (100-125 cm djup), 6,3 (125-150 cm), 6,6 (150-175 cm) och 6,4 (175-200 cm).

Skördar vid Östra Höle

I medeltal för 1978-82 gav led C (80 kg N/ha*år, 80N, ”normalgödslat”) en kärnskörd på drygt 2700 kg/ha (tabell 21), vilket i genomsnitt innebär en skördeökning på 1160 kg/ha jämfört med led A (utan kvävegödsling, 0N). Detta måste dock anses avspegla en ganska låg skördepotential. Avkastningen var emellertid i nivå med de dåtida s.k. länsskördarna av korn och havre (tabell 14). Som jämförelse kan också nämnas, att för perioden 2009-2016 blev de genomsnittliga korn- och havreskördarna i länet enligt den officiella statistiken endast obetydligt större, bara drygt 2900 kg/ha (tabell 15). Den allmänna skördenivån vid Östra Höle låg under den i försöket på lerjord vid Sävstaås (tabell 14). De närmaste förklaringarna torde vara, att bördighetsförhållandena var svagare i jorden vid Östra Höle, lokalklimatet något sämre och att tillgången på utnyttjbart markkväve generellt var ganska liten (se tabell 21 och nedan). Det utnyttjade markkvävet beskrivs här som kvävemängden i grödan i ledet utan kvävegödsling (A, 0N), tabell 21.

Generellt lägst skörd i led C (80N), ca 2200 kg/ha, erhöles 1981 (tabell 21). Kyla i juni (jmf. tabell 8) angavs av försöksutföraren Axel Rehnstedt vid dåvarande Lantbruksnämnden i Gävleborgs län (pers. medd.) som orsak till låg avkastning i försöket detta år.

Utan kvävegödsling (A, 0N) under alla år blev avkastningen 57 % av den i led C. I led B (40 N) erhöles 89 % av skörden i led C. I medeltal fanns det i led C 45 kg mineralkväve inom 0-100 cm djup på våren 1978-82, som minst 32 kg/ha 1978 och som mest 58 kg år 1982 (tabell 21). Den större mängden 1982, liksom i övriga led (se nedan), sammanföll med att det i led A (0N) blev högst skörd detta år. I övrigt varierade dock mineralkväveförråden på våren ganska lite och torde därmed ha haft mindre betydelse för variationerna i kväveförsörjningen mellan åren.

I avsaknad av provtagningar av grödans ovanjordiska växtdelar (kärna, halm och stubb) vid avslutad kväveupptagning såsom i försöket vid Sävstaås har mängderna utnyttjbart markkväve beräknats på basis av totalkvävet i kärnskördarna i det ogödslade ledet (A, 0N). Härvid har det antagits att halm och stubb innehöll 30-35 % av kvävet i de ovanjordiska växtdelarna, med

Tabell 21. Kärnskördar av korn och havre, mineralkväve på våren i led C (80N) samt totalkväve i grödan i led A (0N) 1978-82 i försöket vid Östra Höle. Avkastningen kan jämföras med skördarna (”länsskördarna”) i medeltal för Gävleborgs län (tabell 14) enligt den objektiva skördeuppskattningen (Statistisk årsbok för Sverige 1979-86).

År:	1978	1979	1980	1981	1982	Medeltal
<i>Gröda:</i>						
	Korn	Havre	Havre	Korn	Korn	
	<i>Mineralkväve (kg/ha, 0-100 cm djup) på våren i led C (80N):*</i>					
<i>Led och årlig kvävegödsling:</i>	32	46	45	45	58	45
	<i>Kärnskördar (kg/ha, 15 % vattenhalt):</i>					
A. Utan kväve (0N)	870	1930	1290	1090	2610	1560
B. 40 kg N/ha (40N)	2120	2830	2320	2040	2730	2410
C. 80 kg N/ha (80N)	2340	2570	3430	2190	3060	2720
D. Höstgödsling, 100 kg N/ha (100N Höst)	-	-	2900	1710	2740	2450
	<i>Totalkväve i grödan (kg N/ha) vid skörd i led A (0N):</i>					
Totalkväve i kärna	13	29	16	15	35	22
Totalkväve i hela grödan, inkl. rötter**	27	54	32	32	68	43

*) Jämför med tabell 22. **) Skattat (se beräkning nedan).

störst andel vid särskilt låga kärnskördar (jmf. Nyberg & Lindén, 2008). Vidare har det som vid Sävstaås antagits, att rötterna innehöll 25 % av den totalt upptagna kvävmängden (Hansson, 1987). Av resultaten (tabell 21) framgår det, att den beräknade mängden utnyttjbart markkväve i medeltal för 1978-82 uppgick till 43 kg N/ha, min. 27 och max. 68 kg N/ha. Genomsnittsmängden är liten i förhållande till resultat från andra undersökningar, även i jämförelse med jordar på gårdar utan djurhållning (Lindén, 1987). Den största mängden vid Östra Höle (68 kg N/ha) erhöles 1982, då mineralkväveförrådet i marken på våren var som störst.

Gödsling med kväve på hösten (led D, 100N Höst) till efterföljande års gröda gav skördar på 85 % av avkastningen i C år 1980-82 (tabell 21). Avsikten var emellertid inte att se höstgödsling med kväve som ett alternativ till vårgödsling utan att belysa, hur kväve (från matjorden) rörde sig i markprofilen (0-100 cm) från höst till vår (se nedan).

Mineralkväve i marken vid Östra Höle

Mängderna mineralkväve i marken (0-100 cm) undersöktes vid två tidpunkter varje år 1978-82: 1) på våren en kort tid före vårbruk och gödsling (medeldatum för jordprovtagning: 3 maj) och 2) efter skörden på hösten (medeldatum för provtagning: 15 september). Av tabell 22 framgår att mest mineralkväve fastställdes vid vårprovtagningarna: 42 kg N/ha som medeltal för led A (0N), B (40N) och C (80N), jämfört med i medeltal 32 kg N/ha i början av hösten. Provtagningarna på förhösten bör som nämnts ha skett ca en halv eller en månad efter avslutad kväveupptagning, således en tid efter det att mineralkväveförråden var som minst (jmf. studierna vid Sävstaås ovan). Vid provtagningen i september måste därför mineraliserat kväve ha börjat anhopa sig i jorden.

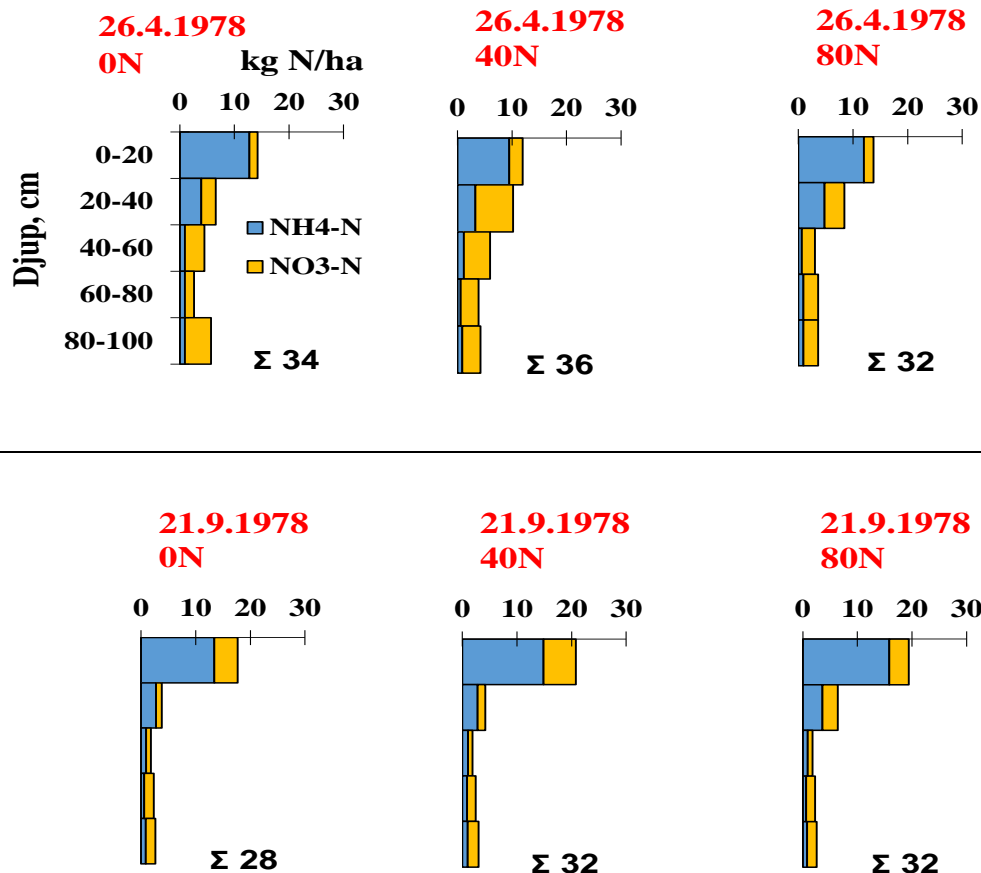
De större mineralkväveförråden på våren jämfört med i början på hösten tyder på att kväve-mineraliseringsstillskotten från hösten till tidigt på våren blev större än förekommande förluster av mineralkväve under denna årstid. Detta gäller alla vinterhalvår, trots att det ju är en ganska "lätt" jord på platsen (mjällig moig lättlera inom 0-40 cm och lerig mjällig mo på 40-100 cm djup). Denna jordtyp borde ge upphov till större kväveförluster än en mark med en ren lerjordsprofil. Det är troligt att långvarig tjäle hindrade nedvaskning av nitratkväve i marken under en större del av vinterhalvåret (jmf. Gustafson & Torstensson, 1983), se även avsnittet "Markegenskaper" ovan, avseende Östra Höle).

Tabell 22. Mineralkväve inom 0-100 cm djup 1978-82 i försöket vid Östra Höle under våren (medeldatum för provtagning: den 3 maj, före vårbruk och gödsling) och i början på hösten (medeldatum: den 15 september).

	1978		1979		1980		1981		1982		Medeltal	
	26/4	21/9	2/5	19/9	7/5	5/9	6/5	9/9	4/5	19/9	3/5	15/9
A (0N)	34	28	45	18	38	24	33	32	54	46	41	30
B (40N)	36	32	43	24	35	23	37	33	53	38	41	30
C (80N)	32	32	46	25	45	25	45	43	58	51	45	35
D (100N Höst)					118	33	123	58	113	78	118	56
Medeltal (A-C)	34	31	45	22	39	24	38	36	55	45	42	32

Fördelning av mineralkvävet inom 0-100 cm djup vid Östra Höle

Åren 1978-80 var nitratkvävemängderna i alven i led A (0N), B (40N) och C (80N) egentligen obetydliga, både på våren och i början på hösten (figur 14-16). Mest mineralkväve fastställdes dessa år inom 0-20 cm och 20-40 cm djup, där det mesta av ammoniumkvävet också fanns. De



Odlingsåtgärder och grödutveckling 1978:

Gröda: Korn (sort: Gunilla), förfrukt: korn

0N = utan kvävegödsling

40N = 40 kg N/ha på våren

80N = 80 kg N/ha på våren

Höstplöjning 1977

19 maj: Sådd

30 maj: Kvävegödsling

10 september: Fullmognad

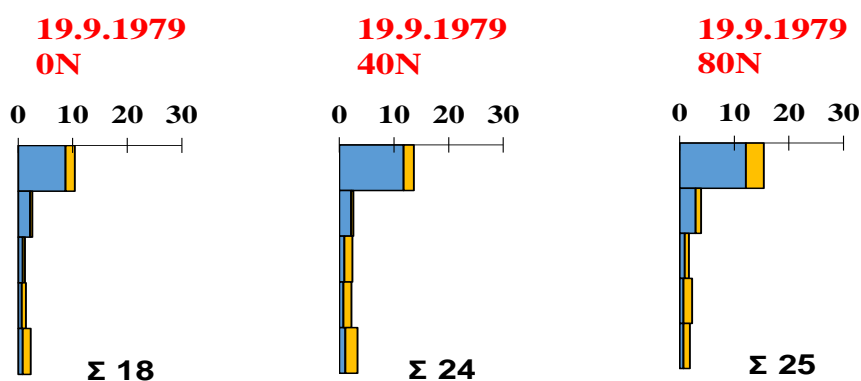
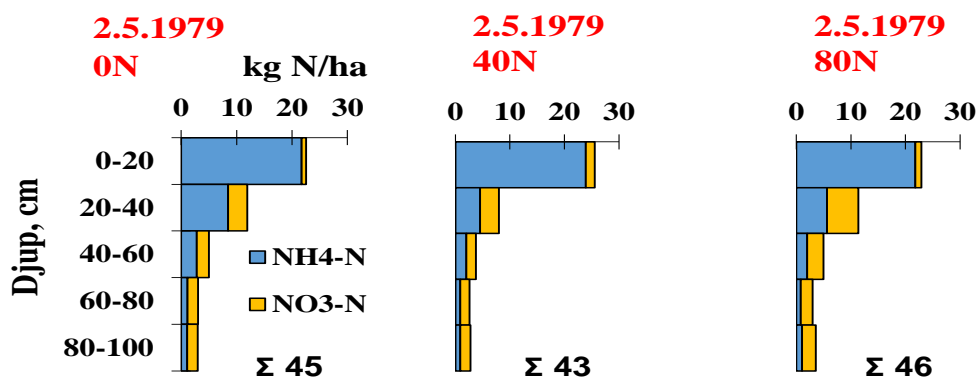
18 september: Skörd

Figur 14. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-100 cm djup i försöket vid Östra Höle 1978: *överst* före vårbruket och *underst* efter skörd, i början av hösten.

sammanlagda mängderna nitratkväve inom 0-100 cm var något större vid provtagningarna på våren än på hösten, liksom summan av ammonium- och nitratkväve (tabell 22).

Från höst- till vårprovtagningarna 1978-80 uppkom det i led A, B och C inte någon tydlig nedvaskning av nitratkväve ned till alvskikten på 40-100 cm djup. Detta kan som nämnts bero på förhållandevis kalla vintrar med tjäle, som hindrade nedvaskning.

Vårarna 1981 och särskilt 1982 (figur 17 och 18) fanns det i led A-C mer nitratkväve än på våren under de tidigare åren (figur 14-16). Det tycks som om kvävemineriseringen särskilt under vinterhalvåret 1981-82 blev större än under de föregående åren. Det är svårt att förklara detta med temperatur- och nederbördsförhållandena från höst till vår (tabell 8 och 9). Överoptimal kvävegödsling skulle delvis kunna förklara de ökande mängder nitratkväve i led C (80N) men inte i led A (0N) och B (40N). Förändringen gäller alla tre leden A, B och C, men ökningen var störst i led C.



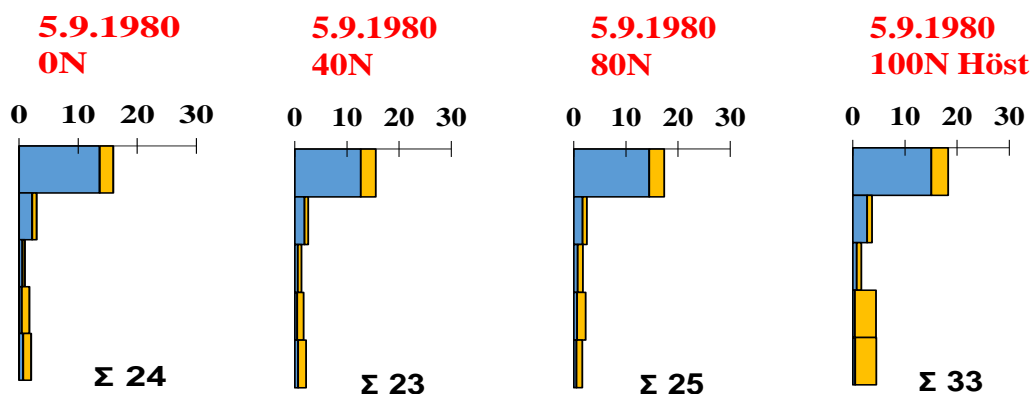
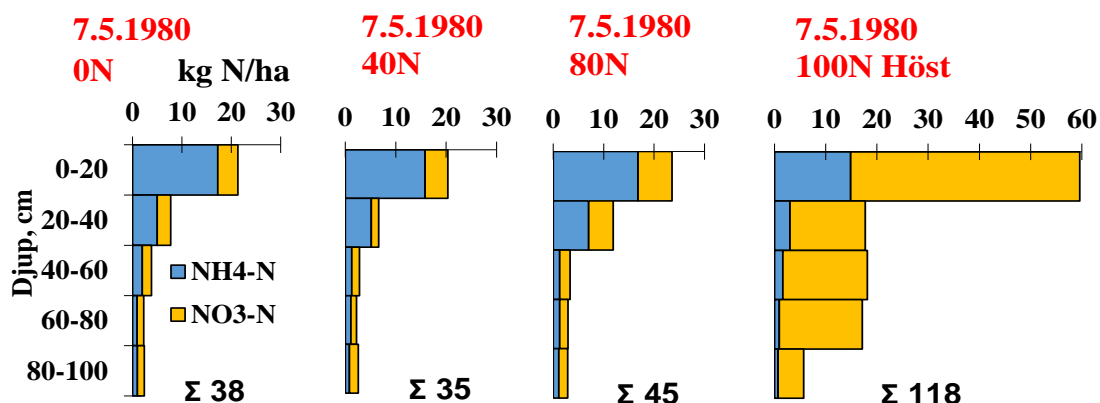
Odlingsåtgärder och grödutveckling 1979:

Gröda: Havre (sort: Puhti)
 0N = utan kvävegödsling
 40N = 40 kg N/ha på våren
 80N = 80 kg N/ha på våren

Höstplöjning 1978
 25 maj: Sådd
 25 maj: Kvävegödsling
 1 juni: Uppkomst
 4 oktober: Skörd

Figur 15. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-100 cm djup i försöket vid Östra Höle 1979: *överst* före vårbruket och *underst* vid havrens mognad på hösten.

Mängderna nitratkväve 1978-82 skiktvis i marken (0-100 cm) på våren (medeldatum: 3/5) och i början av hösten (medeldatum: 15/9) visas i tabell 23. Av denna tabell och figur 14-18 framgår, att det bara fanns små mängder nitratkväve i marken i början av höstarna, särskilt på 40-100 cm djup. Vid denna tid fastställdes inom 0-100 cm knappt 2 kg nitratkväve per ha mer i led C (80N) än utan kvävegödsling (led A, 0N). Detta tyder sammantaget på att måttfull kvävegödsling inte medförde någon nämnvärt ökad kväveutlakningsrisk. På 40-100 cm djup fastställdes det mindre nitratkväve än i försöket vid Sävstaås vid avslutad kväveupptagning (tabell 17). Som visats i figur 14-18 och tabell 23 ökade dock nitratkvävet fram till vårprovtagningarna, uppenbarligen genom kväve mineralisering under höstarna och i viss mån tidigt på våarna. Nitratkväve hade under vinterhalvåret rört sig ned till ca 100 cm djup och troligen i någon mån ännu djupare (se nedan). I medeltal fanns det i led A (0N) 3 kg/ha mer nitratkväve inom 0-100 cm på våarna än under förhöstarna, och i led C (80N) 7 kg/ha mer (tabell 23). Tas även ammoniumkvävet med,



Odlingsåtgärder och grödutveckling 1980:

Gröda: Havre (sort: Puhti)

0N = utan kvävegödsling

40N = 40 kg N/ha på våren

80N = 80 kg N/ha på våren

100N Höst = 100 kg N/ha hösten före (23 okt.)

20 maj: Vårplöjning

28 maj: Sådd

28 maj: Kvävegödsling på våren

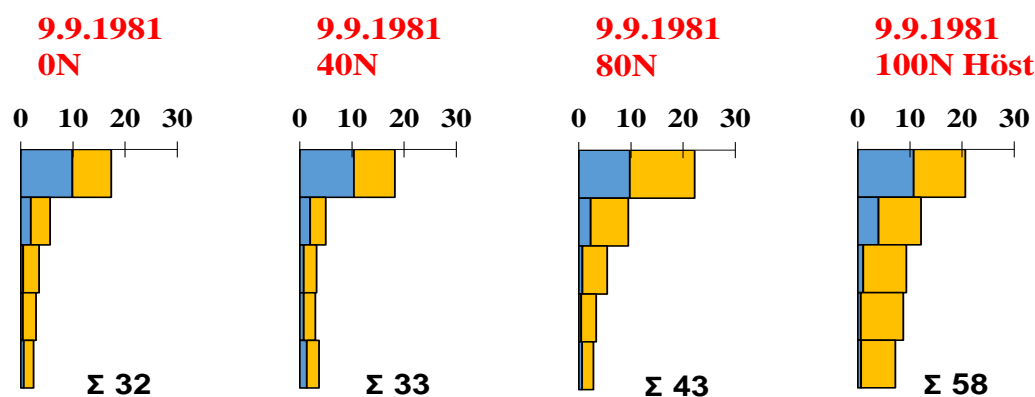
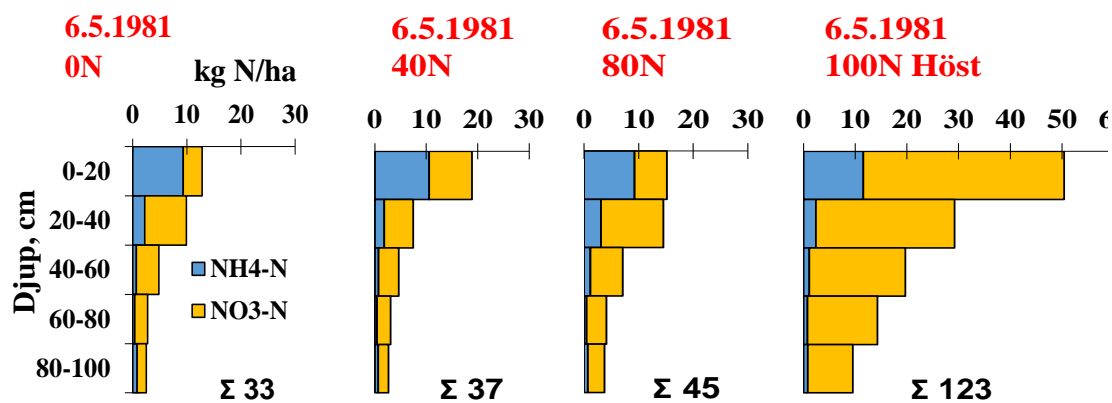
Fullmognad: 23 sept. (A), 28 sept. (B, C och D)

4 oktober: Skörd (sen skörd p.g.a. grönskott)

Figur 16. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-100 cm djup i försöket vid Östra Höle 1980: *överst* före vårbruket och *underst* vid gultmognad på hösten.

framgår det av tabell 22, att det i alla leden A, B och C fanns ca 10 kg mer kväve (mineralkväve) på våarna än på höstarna.

Jämför man nitratkvävevärdena på våren med värdena i början av hösten (tabell 23), fås en uppfattning om hur långt ned i marken som grödorna kunde utnyttja nitratkväve. Eftersom jordprovtagningen under förhösten ägde rum en kortare tid efter avslutad kväveupptagning, hade högst sannolikt en del frigjort kväve börjat ansamlas överst i marken, åtminstone inom 0-20 cm djup och troligtvis även inom 20-40 cm. De små nitratmängderna under förhösten i 40-60-cm-skiktet tyder på att nitratkväve, som bildats efter avslutad kväveupptagning, inte hade trängt djupare ned i marken än till ca 40 cm vid höstprovtagningen. Nitratkvävet på 40-100 cm djup i början av hösten, i jämförelse med våren, kan då sägas visa hur djupt ned i jorden kväve kunde utnyttjas av grödorna. I led A utan kvävegödsling (0N) fanns det våarna (före sådden) 1978-84 i medeltal 4,4, 3,1 och 3,0 kg nitratkväve per ha inom 40-60, 60-80 respektive 80-100 cm

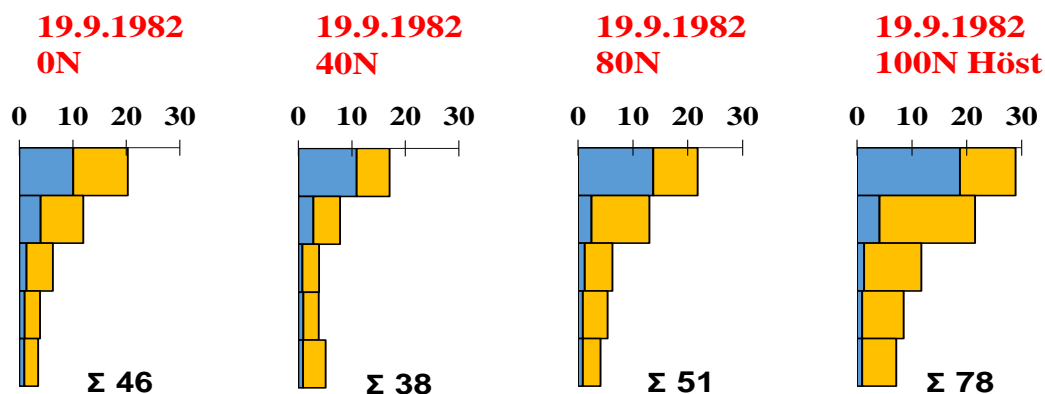
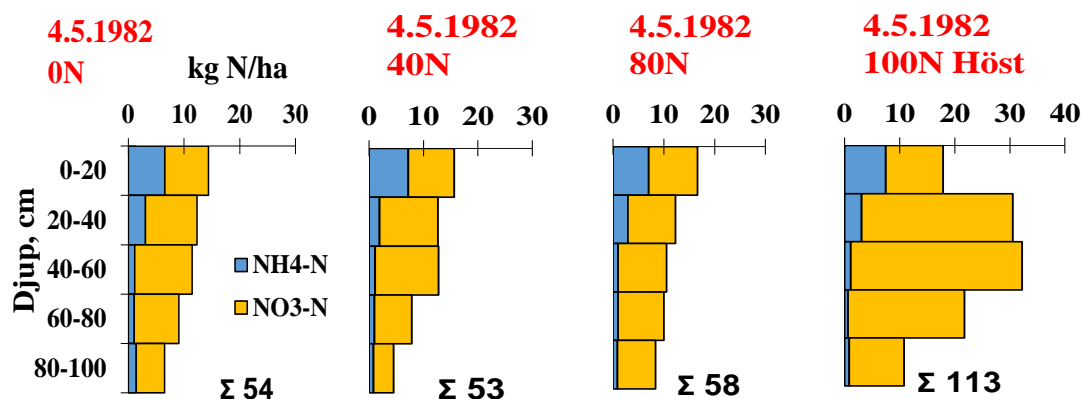


Odlingsåtgärder och grödutveckling 1981:

Gröda: Korn (sort: Agneta) 20 maj: Vårplöjning
 0N = utan kvävegödsling 22 maj: Sådd
 40N = 40 kg N/ha på våren 22 maj: Kvävegödsling på våren
 80N = 80 kg N/ha på våren 20 augusti: Fullmognad
 100N Höst = 100 kg N/ha hösten före (24 okt.) 29 augusti: Skörd

Figur 17. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-100 cm djup i försöket vid Östra Höle 1981: *överst* före vårbruket och *underst* efter skörd på hösten.

djup (tabell 23). Vid provtagningen under förhöstarna återfanns 2,3, 1,9 respektive 1,9 kg/ha i dessa skikt. Minskningarna från vår till höst är visserligen små, men de kan tyda på att nitratkväve utnyttjats åtminstone ned till ca 60 cm djup och troligen ännu djupare, om än i små mängder. År 1982 tycks nitratkväve ha tagits till vara ända ned till 80-100 cm djup i detta led (A, 0N), se figur 18. Rotdjupet var grunt på denna lättare jord: ned till ca 40 cm. Bara enstaka rötter kunde fastställas längre ned. Som tidigare nämnts är det troligt, att kapillär vattentransport under växtsäsongen upp till den egentliga rotzonen möjliggjort utnyttjandet av nitratkväve på 40-100 cm djup. Även i det "normalgödslande" ledet (C, 80N) uppkom minskningar av nitratkvävet i alven under växtsäsongen, troligen ända ned till 80-100 cm djup. Detta gäller även här särskilt 1982. Detta år blev skörden högre än tidigare (tabell 21), vilket kan tyda på större kvävebehov hos grödan (korn) detta år och därmed bättre utnyttjande av kvävet i marken.



Odlingstätter och grödutveckling 1982:

Gröda: Korn (sort: Gunilla)

0N = utan kvävegödsling

40N = 40 kg N/ha på våren

80N = 80 kg N/ha på våren

100N Höst = 100 kg N/ha hösten före (2 okt.)

21 maj: Vårplöjning

1 juni: Säd

9 juni: Uppkomst

11 juni: Kvävegödsling på våren

25-29 augusti: Fullmognad

17 september: Skörd

Figur 18. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-100 cm djup i försöket vid Östra Höle 1982: *överst* före vårbruket och *underst* efter skörd på hösten.

Led D (100N Höst), med tillförsel av 100 kg N/ha årligen som kalksalpeter i oktober 1979-81, infördes som nämnts för att tydligare kunna studera kvävet rörelser i marken och grödans utnyttjande av kväve i alven än i led A, B och C (med vårgödsling). Före 1979 hade led D behandlats som led C.

I led D fastställdes våren 1980-82 i medeltal 118 kg mineralkväve per ha inom 0-100 cm djup (tabell 22; figur 16-18). I början av höstarna dessa år återstod det i led D i medeltal 56 kg N/ha inom 0-100 cm. Det kan antas att mellanskillnaden i stort sett utgjordes av kväve som vårsåden tagit upp, tillsammans med kväve som mineraliserats under växtsäsongen. Men i led D, liksom i led A, B och C enligt ovan, borde restmängderna vid avslutad kväveupptagning ha varit något mindre än vid provtagningen i september ett par-tre veckor senare. De kvarvarande mineralkvävemängderna i led D under förhösten blev större 1981 och 1982 (tabell 22; figur 16-18). Detta tyder på att outnyttjat mineralkväve blev kvar i alven efter växtperioden, med en viss an-

Tabell 23. Nitratkväve (kg/ha) skiktvis i marken (0-100 cm) 1978-84 i försöket vid Östra Höle dels på våren (före vårbruk och gödning) och dels i början på hösten (en kort tid efter skörden). Nitratkvävet igår i det mineralkväve som anges i tabell 22. Minskningarna av nitratkvävet inom 40-100 cm djup från vår till förhöst kan tolkas som grödornas kväveutnyttjande av kväve i alven. Inom 0-40 cm torde dock mineralisering efter avslutad kväveupptagning ha påverkat värdena.

1. Utan kvävegödning (0N)						
<i>Vår</i>	Datum:					<i>Medeltal</i>
Djup, cm	26.4.78	2.5.79	7.5.80	6.5.81	4.5.82	<i>3 maj</i>
0-20	1,5	0,8	4,1	3,5	7,8	3,5
20-40	2,7	3,5	2,7	7,7	9,2	5,2
40-60	3,6	2,2	1,9	4,1	10,3	4,4
60-80	1,7	1,9	1,4	2,4	8,0	3,1
80-100	4,8	1,9	1,4	1,7	5,1	3,0
Summa	14,3	10,1	11,4	19,4	40,4	19,1
<i>Förhöst</i>	Datum:					<i>Medeltal</i>
Djup, cm	21.9.78	19.9.79	5.9.80	9.9.81	15.9.82	<i>15 sept.</i>
0-20	4,3	1,7	2,3	12,4	10,2	6,2
20-40	1,0	0,4	0,8	7,2	7,9	3,5
40-60	0,9	0,4	0,4	4,8	4,9	2,3
60-80	1,7	0,7	1,3	2,8	2,9	1,9
80-100	1,8	1,5	1,3	2,1	2,6	1,9
Summa	9,7	4,7	6,1	29,3	28,6	15,7

2. Med kvävegödning (80N), dvs. 80 kg N/ha						
<i>Vår</i>	Datum:					<i>Medeltal</i>
Djup, cm	26.4.78	2.5.79	7.5.80	6.5.81	4.5.82	<i>3 maj</i>
0-20	1,8	1,1	6,7	5,9	9,6	5,0
20-40	3,6	5,7	4,9	11,4	9,4	7,0
40-60	2,4	3,0	2,1	5,9	9,5	4,6
60-80	2,7	2,2	1,6	3,6	9,1	3,8
80-100	2,7	2,5	1,8	3,0	7,5	3,5
Summa	13,2	14,5	17,1	29,9	45,1	23,9
<i>Förhöst</i>	Datum:					<i>Medeltal</i>
Djup, cm	21.9.78	19.9.79	5.9.80	9.9.81	15.9.82	<i>15 sept.</i>
0-20	3,6	3,3	2,9	12,4	8,1	6,0
20-40	2,8	1,0	0,8	7,2	10,6	4,5
40-60	0,9	0,8	1,0	4,8	5,0	2,5
60-80	1,7	1,5	1,7	2,8	4,5	2,4
80-100	1,7	1,2	1,1	2,1	3,2	1,9
Summa	10,6	7,8	7,4	29,3	31,5	17,3

hopning under loppet av de tre åren som följd. Ansamlingen av mineralkväve i alven från hösten till våren 1981-82 kan, som nämnts för led A, B och C; delvis också bero på större kvävefri-görelse från höst till vår och nedvaskning av detta kväve i alven under vinterperioden.

Efter den första gödningen hösten 1979 fanns det på våren därefter 118 kg mineralkväve inom 100 cm djup, mot 45 kg N/ha i led C (figur 16). Av den tillförda gödselkvävemängden (100 kg N/ha) återfanns således 73 kg N/ha inom 100 cm djup. Förluster av något slag hade således uppkommit under vinterperioden. Jämfört med led C (80N) fanns det stora mängder nitratkväve ned till åtminstone 80 cm djup. En stor del av det tillförda kvävet återfanns dock i matjorden. Detta tyder på att nedvaskningen av nitratkväve i marken var begränsad efter en lång, kall vinter (tabell 8).

Vid höstprovtagningen 1980 (den 5 sept.) återstod 33 kg mineralkväve per ha (0-100 cm) i led D (100N Höst), jämfört med 23-25 kg i led A, B och C (figur 16). Minskningen i led D från våren till hösten gäller skikten inom 80 cm djup. Mycket lite nitratkväve återstod ned till ca 60 cm, med mängder av ungefär samma storlek som i led A-C. Eftersom rotnedträngningen i alven är begränsad i denna jord, kan minskningen av nitratkvävet i skikten under rottdjup bero på kapillär stigning av vatten i samband med grödans vattenupptagning (se även ovan).

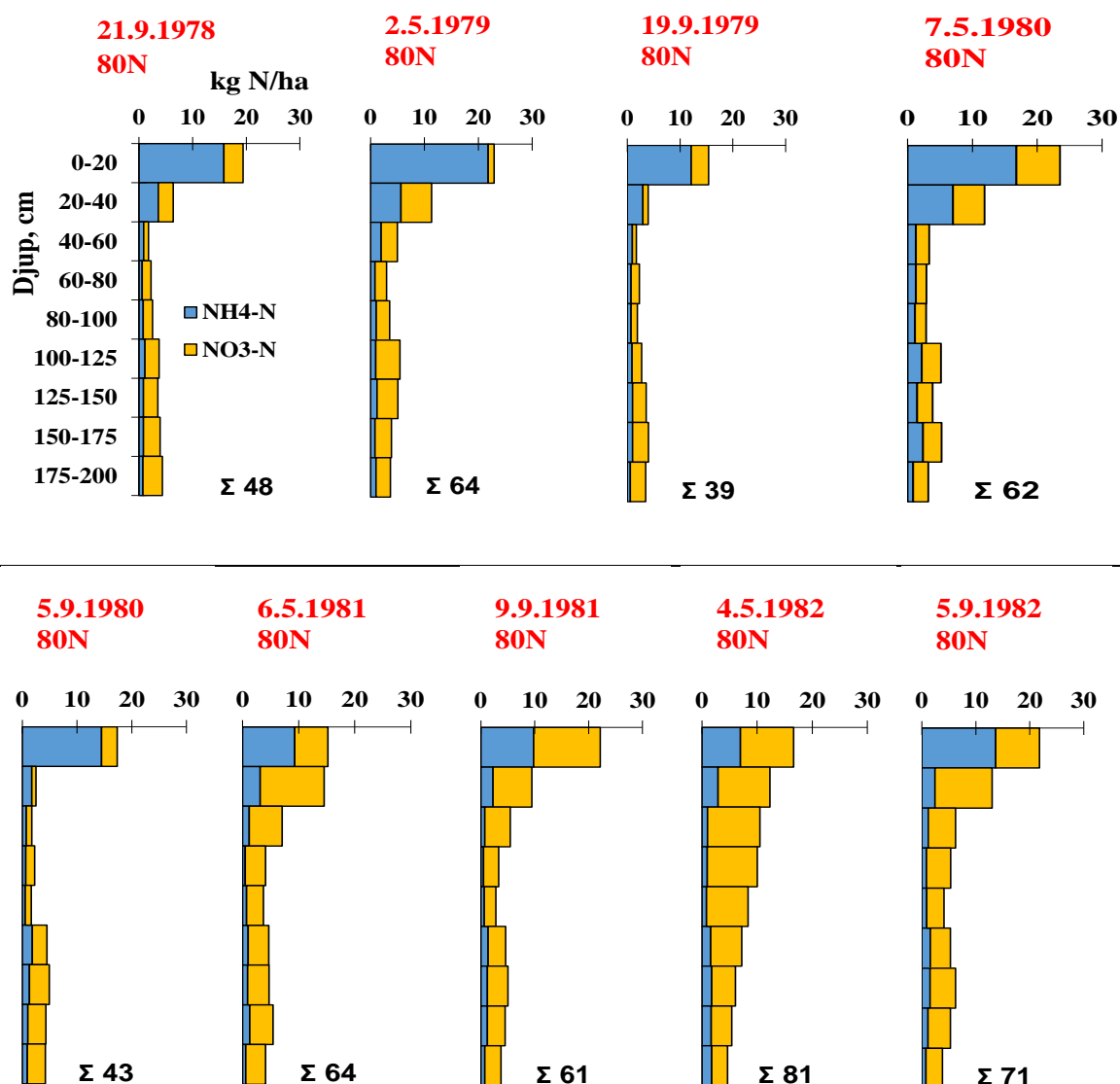
Efter gödningen på hösten 1980 återfanns i led D 123 kg mineralkväve per ha (0-100 cm) den 5 maj 1981 (figur 17). I led C (80N) fastställdes 45 kg/ha. Såsom våren 1980 fanns det mesta av nitratkvävet i led D i det övre markskiktet, men nedvaskning till minst 100 cm djup tycks ha skett. Fram till höstprovtagningen den 9 september 1981 minskade mineralkväveförrådet i led D till 58 kg N/ha. Minskningar av nitratkvävet hade ägt rum från matjorden ned t.o.m. skiktet 60-80 cm, medan nitratkvävmängden på 80-100 cm djup förblev närmast oförändrad från vår till höst.

Efter gödningen hösten 1981 vaskades nitratkvävet i led D djupare ned i markprofilen fram till våren 1982 (figur 18). I skiktet 0-20 cm återfanns mindre nitratkväve än de föregående åren. Istället fanns det en koncentrationstopp på 40-60 cm djup, med avtagande mängder såväl uppåt som nedåt i marken. Möjligen kan relativt mildt väder i mars 1982 (tabell 8) ha medverkat till större perkolerande vattenmängder i marken och därmed ökad nedvaskning av nitratkvävet denna vårvinter än de föregående åren. Vid höstprovtagningen den 19 september 1982 återfanns 78 kg mineralkväve per ha (figur 18), vilket var mer än de föregående åren. Detta kan jämföras med 51 kg i led C (80N). Växtsäsongen 1982 tycktes nitratkväve ned t.o.m. skiktet 80-100 cm delvis ha utnyttjats i led D. Under alla tre åren föreföll därmed nitratkväve i led D sammantaget ha tagits upp av vårsäden åtminstone ned till ca 80 cm djup. Dessa förhållanden styrker antagandet att kapillär stigning av vatten upp till rotzonen kan ha medverkat till utnyttjandet av nitratkväve djupt ned i denna mark med ganska lätt jord i alven, liksom i led A, B och C.

Nedvaskningen av nitratkvävet under vinterperioderna 1979-80, 1980-81 och i viss mån även 1981-82 efter höstgödningen i led D tycks ha varit högst måttlig på denna lättare jord. Resultaten kan jämföras med förhållandet i marken efter svartträda 1979 i försöket på lerjord vid Sävstaås (figur 12). På våren 1980 återfanns vid Sävstaås det mesta av det mineraliserade kvävet, som frigjorts under trädessommaren, inom den översta halvmetern i marken. Fördelningen i markprofilen under alla tre åren 1979-82 i den ganska lätta jorden vid Östra Höle liknar i detta avseende förhållandena i lerjorden vid Sävstaås. Resultaten från Östra Höle tyder sammantaget på att det varken i led A-C eller i led D förekommit någon större nedvaskning av nitratkväve ned under 100-cm-nivån under vinterhalvåret. Det bör därför bara ha uppkommit små kväveförluster ned mot grundvattnet från höst- till vårprovtagningarna.

Mineralkväve inom 0-200 cm djup vid Östra Höle

I led C (80N) togs jordprover även ut på 100-200 cm djup, i 25-cm-skikt (figur 19). Mängderna nitratkväve inom 100-200 cm djup var små (liksom inom 0-100 cm): 13 kg N/ha som medeltal för höstar och vårar. Mängderna på 100-200 cm djup tilltog med 1-2 kg/ha från höst till vår. Detta tyder på en viss, mindre nedvaskning under vinterhalvåret från jordlagren över 100 cm djup. Förråden av nitratkväve inom både 0-100 och 100-200 cm djup ökade emellertid fr.o.m. 1981. Höstarna 1978 och 1980 fanns det exempelvis 12 respektive 13 kg nitratkväve per ha inom 100-200 cm djup. På våren och hösten 1982 fastställdes 16 kg nitratkväve per ha. Förklaringen till ökade mängder på 100-20 cm djup kan som nämnts vara att kväve mineraliseringen var större under vinterhalvåret 1981-82 och att vädret delvis var vårligt i mars 1982. En ren gissning är, att det kunde ha varit föga tjäle under ett isolerande snötäcke denna vinter, med ökade mängder perkolerande vatten ned genom marken vid snösmältningen.



Figur 19. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-200 cm djup i försöket vid Östra Höle 1978-82, dels före vårbruket och dels efter skörd på hösten. Märk att djupskalorna för 0-100 cm och 100-200 cm djup är olika.

De förhållandevis små mängderna nitratkväve i alven i led A, B och C vid Östra Höle kan jämföras med liknande undersökningar utförda av Lindén (1981) år 1976-80 i de då pågående sex bördighetsförsöken i Skåne (i dåvarande Malmöhus län). I dessa bördighetsförsök utfördes mineralkvävebestämning under senhöst och tidigt på våren skiktvis till 200 cm djup på samma sätt som vid Östra Höle i en växtföljd med måttlig kvävegödsling: sockerbetor 1976 (gödsling med 140 kg N/ha), korn med insädd 1977 (60 kg N/ha), klövergräsvall 1978 (100 kg N/ha), höstvetete 1979 (100 kg N/ha) och åter sockerbetor 1980 (140 kg N/ha). I de tre bördighetsförsök som låg på lättare jordar fanns det inom 0-200 cm djup, inte minst på 100-200 cm djup, generellt mer mineralkväve än i marken vid Östra Höle. Även om grödorna och gödselkvävegivorna var andra, kan de större mineralkväveförråden på dessa skånska jordar bero dels på att det mildare klimatet medförde kraftigare kväveminerisering under vinterhalvåret och dels på att frånvaro av tjäle (utom kortare perioder) tillät mer omfattande nedvaskning av nitratkvävet i alven än vid Östra Höle. I de tre skånska bördighetsförsök som genomfördes på lerjordar var mineralkväveförråden däremot mindre. Detta torde i hög grad bero på djupare rotsystem i dessa lerjordar, med utnyttjande av kväve långt ned i alven (jmf. Lindén, 1981).

Ammoniumkväve inom 0-200 cm djup vid Östra Höle

Liksom i försöket vid Sävstaås (se ovan) varierade ammoniumkvävet i marken vid Östra Höle mindre mellan åren och mellan höst och vår än nitratkvävet (figur 14-19). I likhet med mullhalten avtog ammoniumkvävemängderna med djupet i marken, vilket får anses vara det normala. Så var ju fallet på Sävstaås och även i liknande mineralkväveundersökningar i Götaland och Svealand (t.ex. Lindén, 1981; Lindén, 2017). Mest ammoniumkväve fanns som nämnts inom 0-20 cm, i medeltal för alla tillfällena 13,4 kg/ha, standardavvikelse (SD) = 4,5 kg/ha. På 20-40 cm djup erhöles 3,5 kg/ha (SD = 1,7 kg/ha). I övriga skikt ned till 200 cm fastställdes ännu mindre mängder ammoniumkväve: i medeltal 0,8-1,4 kg/ha (SD = 0,2-0,5 kg/ha). I genomsnitt för vårar och höstar erhöles inom 0-100 cm djup 19,6 kg/ha. På våarna fanns där i medeltal 21,5 kg (medeldatum för jordprovtagning: 3 maj) och på höstarna 18,0 kg (medeldatum för provtagning: 15 september), alltså ganska lika förhållanden. Inom 100-200 cm djup fastställdes i genomsnitt 4,4 kg ammoniumkväve per ha. I hela profilen 0-200 cm fanns i medeltal 24 kg/ha, varav 27 kg på våren och 22 kg N/ha på hösten. Det var dock bara obetydliga skillnader i mängd mellan höst och vår i de enskilda skikten.

De likartade mängderna ammoniumkväve inom ett visst markdjup under undersökningsåren (1978-82) tyder på en viss balans mellan å ena sidan bildningen av ammoniumkväve genom kväveminerisering (samt tillförsel av gödselammoniumkväve) och å den andra nitrifikationen av detta ammoniumkväve. Bildas således en ökad mängd ammoniumkväve genom för tillfället gynnsamma mineraliseringsförhållanden eller gödsling, så ökar uppenbarligen nitratbildningen snart och balansnivån återställs (jämför med de ungefär månadsvisa undersökningarna vid Sävstaås). Detta bör gälla så långt ned i marken som mikrobiell aktivitet av detta slag kan påräknas.

Observationsförsök 1982-84 vid Gundbo, Alfta

Markegenskaper

Inom 0-30 cm djup utgjordes jorden av en måttligt mullhaltig-mullrik mjällig mellanlera med följande jordartssammansättning: 26,4 % ler, 58,3 % mjäla+finmo, 9,8 % grovmo+sand och 5,5 % mullhalt enligt analys vid dåvarande Provcentralen, SLU, Uppsala. Underst i detta skikt fanns en övergång till alv. Matjorden inom plogdjup torde därför ha haft något högre mullhalt än 5,5 %, och den graderades visuellt som mullrik. Volymvikten i skiktet 0-30 cm undersöktes vid två tillfällen (13.9.1983 och 11.9.1984), bl.a. för en viss kontroll av omräkningsfaktorn för volymvikt i den tillämpade modellen för beräkning av mineralkväve i jord i kg N/ha (se text ovan och

tabell 7). På 0-20 cm djup erhöles därvid volymvikter på 1,25 respektive 1,25 kg/L (n = 4). På 20-30 cm djup uppgick värdena till 1,44 respektive 1,32 kg/L (n = 2 respektive 4). Alvens egenskaper (på 30-60 och 60-90 cm djup) bestämdes visuellt med utrullningsprov. Jordarten bedömdes i båda alvskikten vara mjällig mellanlera. Alven tycktes visserligen vara ganska tät, men det fanns likväl smärre sprickor, små hålrum efter rötter och även maskgångar. Rötter fastställdes visuellt i borrhärnor i alven ned till ca 80 cm djup. Omkring sprickor på 30-60 cm djup iaktogs rostbruna gleybildningar, men i övrigt hade alven en gråaktig karaktär. Två grundvattenståndsror sattes ut inom 1984 års försöksyta. Dessa nådde ned till 2,10 m djup och användes med samma metodik som i försöket vid Östra Höle. I rören vid Gundbo fastställdes grundvattenyta på ca 90-115 cm djup vid månatliga mätningar från våren till september detta år. Rotdjupet och grundvattenytans läge under växtsäsongen styrker ett förmodande att grödan kunde utnyttja vatten och växtnäring förhållandevis djupt ned i alven, även i 60-90-cm-skiktet. Värden för markkarteringsanalyser finns dessvärre inte längre tillgängliga.

Skördar av korn, kväve i grödan och jordens bidrag till kornets kväveförsörjning vid Gundbo

Korn odlades alla tre åren 1982-84. Varje år användes som nämnts en ny försöksyta på platsen, så att inte några ackumulerade effekter av försöksbehandlingarna skulle uppkomma, till skillnad från upplägget av undersökningarna vid Sävstaås och Östra Höle. Detta gjordes bl.a. för att kvävegödslingsnivåerna inte skulle påverka undersökningarna av kvävemineriseringens storlek i efterföljande års studier. Kärnskördarna i led B, med tillförsel av 90 kg N/ha (90N) varje vår, uppgick till 4800-5300 kg/ha (tabell 24), med små skillnader mellan åren. Medeltalet 4990 kg/ha ligger mer än 2000 kg/ha över de s.k. länsskördarna för korn 1978-84 enligt den objektiva skördeuppskattningen (Statistisk årsbok för Sverige, 1979-86), se tabell 14. I det ogödslade ledet (A, 0N) erhöles 2300-3000 kg/ha i kärnskörd. Utan kvävegödsling innehöll kärnskördarna i medeltal 30 kg totalkväve per ha samt halm och stubb 18 kg N/ha, sammanlagt 48 kg N/ha (tabell 24).

Tabell 24. Kärnskördar av korn (kg/ha, 15 % vattenhalt) i observationsförsöket vid Gundbo samt kväveinnehåll i grödan i led A (utan kvävegödsling) vid tiden för avslutad kväveupptagning (ungefär gulmognad).

	1982	1983	1984	Medeltal
A. Kärnskörd, utan kvävegödsling (0N)	2630	2970	2310	2640
B. Kärnskörd, gödsling: 90 kg N/ha*år (90N)	4780	5320	4860	4990
<i>Kväveinnehåll vid avslutad kväveupptagning i led A:</i>				
Kärna	37	30	24	30
Halm (inkl. agnar och stubb)	12	24	18	18
Summa	49	54	42	48
Beräknat kväveinnehåll i hela grödan (= utnyttjbart markkväve)	66	73	56	65

Med det nämnda antagandet att kornets rötter innehöll 25 % av den totalt upptagna kvävemängden beräknades kväveinnehållet i hela grödan i led A (0N) uppgå till 66 kg N/ha 1982, 73 kg N/ha 1983 och 56 kg N/ha 1984, i medeltal 65 kg N/ha (tabell 24). Som ovan diskuterats kan detta kväveinnehåll sägas motsvara det kväve som kornet tagit upp från marken, under antagande att det inte skett några förluster av kväve från grödan. Detta totala kväveupptag benämns här utnyttjbart markkväve såsom i försöken vid Sävstaås och Östra Höle. I studier på gårdar utan djurhållning, nästan enbart i Göta- och Svealand, fastställde Lindén (1987) i genomsnitt 59 kg utnyttjbart markkväve per ha (n = 59; min. = 22, max. = 110). På gårdar med

djurhållning konstaterades i dessa undersökningar ett motsvarande medeltal på 80 kg N/ha (n = 33; min = 37, max = 152). Det fanns således ganska normala mängder utnyttjbart kväve i marken i försöket vid Gundbo.

Mineralkväve, kvävemineralisering och kväveutnyttjande i marken under växtsäsongen vid Gundbo

Av tabell 25 och 26 samt figur 20 framgår att det inom 0-90 cm djup fanns i storleksordningen 50 kg mineralkväve per ha tidigt under vårarna 1982-84 (medeldatum för provtagning: 4 maj). Av detta utgjordes drygt hälften av nitratkväve. Vid tiden för kvävetagningens avslutning (ungefär vid gulmognad) var ammoniumkvävemängderna som väntat i stort sett oförändrade i jämförelse med vårvärdena (se även nedan). I detta skede fanns det däremot endast små mängder nitratkväve kvar inom 0-90 cm djup i jämförelse med våren (tabell 25 och 27; figur 20): i medeltal för 1982-84 bara 5 kg N/ha i både det ogödslade ledet (A, 0N) och det gödslade (B, 90N). Antas det att inga förluster av mineralkväve ägt rum under växtsäsongen inom markdjupet 0-90 cm, kan differensen mellan mängderna mineralkväve på våren och vid gulmognad i led A (tabell 26) ses som den del av mineralkvävet från våren som korngrödan kunde ta upp. I medeltal erhöles 23 kg sådant utnyttjbart mineralkväve per ha i försöket vid Gundbo 1982-84 (tabell 26). Detta ingår som en del av det totalt upptagna, utnyttjbara markkvävet, i medeltal 65 kg N/ha (tabell 24 och 26). Resten utgörs definitionsmässigt av kväve som mineraliserats under växtsäsongen (se nedan).

Tabell 25. Mineralkväve (NH₄-N och NO₃-N, kg/ha) inom 0-90 cm djup tidigt på våren (före vårbruk och gödsling) och vid tiden för avslutad kväveupptagning i försöket vid Gundbo.

	Vår*			Gulmognad** : led A, utan kväve (0N)			Gulmognad** : led B, 90 kg N/ha (90N)		
	NH ₄ -N	NO ₃ -N	S:a	NH ₄ -N	NO ₃ -N	S:a	NH ₄ -N	NO ₃ -N	S:a
1982	25	26	51	31	7	38	46	6	52
1983	30	29	59	23	4	26	23	4	27
1984	19	28	47	20	3	23	23	5	28
Medeltal	25	28	52	25	5	29	30	5	36

*) Medeldatum: 4 maj. **) Medeldatum: 10 augusti.

Tabell 26. Beräkning av de årliga nettomineraliseringstillskotten av kväve (N_{net} , kg/ha) och mängderna utnyttjbart mineralkväve ($N_{mv} - N_{mg}$, 0-90 cm, kg/ha) i led A (utan kvävegödsling) under växtsäsongen, från tidigt på våren till gulmognad, i försöket vid Gundbo.

Beteckning:	Kväveinnehåll i hela grödan*	Mineralkväve tidigt på våren**	Mineralkväveid gulmognad**	Beräknad kvävemineralisering	Utnyttjat mineralkväve
	N_{uppt}	N_{mv}	N_{mg}	N_{net}	$N_{mv} - N_{mg}$
År: 1982	66	51	38	53	13
1983	73	59	26	40	33
1984	56	47	23	32	24
Medeltal	65	52	29	41	23

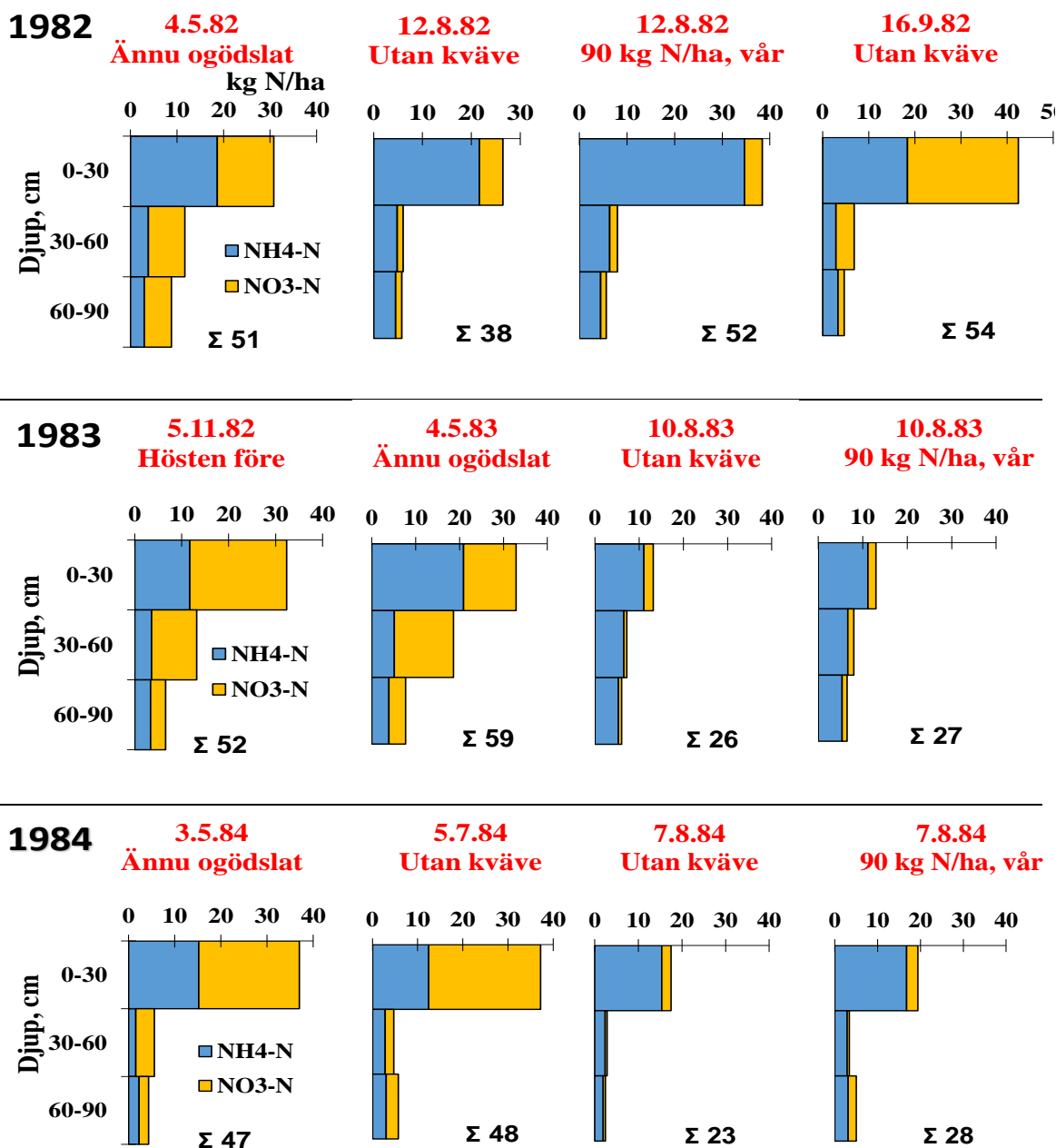
*) Jmf. tabell 24. **) Jmf. tabell 25.

Tabell 27. Nitratkväve (kg/ha) skiktvis i marken (0-90 cm djup) 1982-84 i försöket vid Gundbo dels på våren (före vårbruk och gödsling) och dels vid tiden för avslutad kväveupptagning (ungefär vid gulmognad). Nitratkvävet igår i det mineralkväve som anges i tabell 25 och 26. Jordprovtagningen på våren avser samlingsprov för led A (0 kg N/ha, 0N) och B (90 kg N/ha, 90N).

Kvävegödslingsled:		A (0N)		B (90N)		A (0N)		B (90N)	
		Vår		Vid gulmognad		Vår		Vid gulmognad	
År:	1982, datum:				1983, datum:				
Djup, cm	4 maj	12 aug.	12 aug.	4 maj	10 aug.	10 aug.			
0-30	12,2	4,8	3,7	12,0	2,1	1,8			
30-60	7,8	1,2	1,6	13,5	0,7	1,3			
60-90	5,8	1,3	1,2	3,8	0,7	1,1			
Summa	25,8	7,2	6,5	29,2	3,5	4,2			
År:	1984, datum:				Medeltal 1982-84, medeldatum:				
Djup, cm	3 maj	7 aug.	7 aug.	4 maj	10 aug.	10 aug.			
0-30	21,8	2,1	2,7	15,3	3,0	2,7			
30-60	4,0	0,4	0,5	8,4	0,8	1,1			
60-90	2,1	0,5	2,0	3,9	0,8	1,4			
Summa	27,9	3,1	5,0	27,6	4,6	5,2			

Av tabell 27 framgår, att nitratkvävmängderna minskade i alla tre skikten (0-30, 30-60 och 60-90 cm djup) från vårprovtagningarna (medeldatum: 4 maj) till tiden för avslutad kväveupptagning (medeldatum för provtagning: 10 augusti). I medeltal för 1982-84 fanns det på våren 8 och 4 kg nitratkväve per ha inom 30-60 respektive 60-90 cm djup (tabell 27). Vid gulmognad återstod det i genomsnitt knappt 1 kg/ha i vardera av dessa skikt i led A (0N) och något mer än 1 kg/ha per skikt i led B (90N). Då det fastställts rötter ned till ca 80 cm djup, är det troligt att minskningarna av nitratkvävet inom både 30-60 och 60-90 cm djup berodde på grödans kväveupptagning. Jordarten i alvskikten utgjordes av mjällig mellanlera. Det fanns uppenbarligen tillräckligt med sprickor, maskgångar m.fl. håligheter för rotnedträngning så pass djupt, så att nitratkväve ned till 80-90 cm kunde tas tillvara av grödan (korn alla tre åren).

De närmast likstora och mycket små mängderna nitratkväve i både led A (0N) och B (90N) vid avslutad kväveupptagning tyder på liten ökning av kväveutlakningsrisken vid den använda gödslingsnivån (90 kg N/ha). Det som annars främst skulle ha påverkat kväveutlakningen torde vara ansamlingen av mineraliserat kväve från avslutad kväveupptagning under sensommaren och fram till våren. Vid tiden för avslutad kväveupptagning fanns 1982-84 i medeltal 36 kg mineralkväve per ha (0-90 cm djup) i led B (tabell 25, figur 20). Vid vårprovtagningarna fastställdes i genomsnitt 52 kg N/ha. Skillnaden (16 kg N/ha) kan grovt räknat betraktas som en nettoökning av mineralkvävet från sensommar till tidigt på våren, orsakad av kvävemineraliseringstillskott minus förekommande kväveförluster. Något av detta kvävetillskott kan ha förlorats genom nedvaskning ned under 90 cm djup, men huvuddelen av mineralkvävet (inkl. nitratkvävet) under våren fanns främst inom 0-30 cm och 30-60 cm djup, medan det bara fastställdes små mängder på 60-90 cm djup (figur 20). Detta tyder på att kalla vintrar med tjäle i marken påtagligt förhindrade nedvaskning djupare ned i alven vid avdräneringen av vinterhalvårets överskottsvatten.



Figur 20. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-90 cm djup i observationsförsöket vid Gundbo 1982-84. Gröda: korn, som tillfördes 0 kg N/ha (= "Utan kväve", led A) eller 90 kg N/ha som N28 (led B) på våren varje år.

De praktiskt taget lika stora mängderna kvarvarande nitratkväve vid avslutad kväveupptagning i led A (0N) och B (90N), se tabell 25 och 27, tyder på att gödselkvävet i led B generellt utnyttjats väl av korngrödan och att givan (90 kg N/ha) var måttlig i förhållande till avkastningsnivån. De förhållandevis höga skördarna kan ha medverkat till det goda kväveutnyttjandet.

I mängden utnyttjat markkväve (i medeltal 65 kg N/ha) ingick i genomsnitt 41 kg N/ha, som enligt beräkningarna frigjordes genom mineralisering från tidig vår till gulmognad (tabell 26). Det kan anses ha varit normalstora mängder kväve som mineraliserades under växtsäsongen i

försöket vid Gundbo. Den beräknade kvävefrigörelsen motsvarar medeltalet för gårdar utan djurhållning enligt i studier i Göta- och Svealand (Lindén, 1987), där ett genomsnittligt kvävemineralsättningstillskott under växtsäsongen på 39 kg N/ha fastställdes (n = 59; min. = 7, max. = 77). På gårdar med djur erhöles i dessa undersökningar ett motsvarande medeltal på 56 kg sådant mineraliserat kväve per ha (n = 38; min = 28, max = 119). I en nordisk undersökning med korn i försök utan stallgödselbakgrund (Lindén et al., 1982a och b) erhöles i medeltal ett kvävemineralsättningstillskott på 41 kg N/ha (n = 23; min = 26, max = 71).

Ammoniumkväve i jorden vid Gunbo

Liksom i försöken vid Sävstaås och Östra Höle varierade mängderna ammoniumkväve vid Gundbo bara i liten utsträckning mellan åren och mellan olika årstider (tabell 25; figur 20). I medeltal fanns det 23,2 kg ammoniumkväve per inom 0-90 cm djup (standardavvikelse = 4,3 kg, n = 11), varav inom 0-30, 30-60 och 60-90 cm djup 15,7 kg (SD = 3,0), 3,9 kg (SD = 1,7) respektive 3,6 kg/ha (SD = 1,1). För att kunna jämföra med provtagningarna till 100 cm djup vid Sävstaås och Östra Höle antas här, att halterna ammoniumkväve inom 90-100 cm vid Gunbo var av samma storlek som på 60-90 cm djup. Detta antagande kan motiveras med att ammoniumkvävemängderna i olika alvskikt under ca 40 cm brukar vara i stort sett lika stora. Då fås sammanlagt 24,4 kg N/ha ned till 100 cm djup. Denna mängd kan jämföras med 23,9 kg/ha (0-100 cm) som medeltal i lerjorden vid Sävstaås och 19,6 kg/ha (0-100 cm) i den lättare jorden vid Östra Höle, se ovan.

Vid gulmognad vid Gundbo 1982 erhöles dock i led B (med tillförel av 90 kg N/ha som kalkammonsalpeter) en förhållandevis stor mängd ammoniumkväve: 46 kg N/ha inom 0-90 cm, varav det mesta i matjorden (tabell 25 och figur 20). Detta är svårt att förklara. Det skulle möjligen kunna bero på nedsatt nitrifikation av gödselammoniumkvävet p.g.a. torrt väder under en del av växtperioden, men detta överensstämmer inte med nederbördsdata från Dönje vid Bollnäs (tabell 9).

Mineralkväve på olika djup i marken och risker för utlakningsförluster efter växtsäsongen vid Gundbo

Det nitratkväve som före vårbruket fanns i alvskikten (30-60 och 60-90 cm djup) tycks som nämnts ha utnyttjats mycket bra av korngroden under varje växtsäsong (tabell 27; figur 20). Detta gäller både det ogödslade ledet (A) och det gödslade (B, 90 kg N/ha). Som beskrivits ovan kunde det fastställas rötter så långt ned som till ca 80 cm djup. Detta styrker ett förmodande, att kornet kunde utnyttja befintligt mineralkväve inte bara ytligt utan även ned 80-90 cm djup. Resultaten antyder dock, att rötterna i denna jord (mjällig mellanlera i matjord och alv) inte nådde lika långt ned som i undersökta lerjordar i Uppland samt Väster- och Östergötland (Lindén, 1981). I undersökningar på styv lerjord vid Lanna i Västergötland fanns det som nämnts rötter till 1-1,5 m djup (Lindén, 2017). Förekommande mineralkväve på större djup än 80-90 cm vid Gundbo borde därmed utnyttjas sämre än t.ex. i jorden vid Lanna.

Efter avslutad kväveupptagning den 12 augusti 1982 bestämdes mineralkväve i led A även den 19 september detta år (figur 20). Inom hela djupet 0-90 cm erhöles det vid septemberprovtagningen 16 kg/ha mer mineralkväve än vid avslutad kväveupptagning i augusti. Höstmineraliseringen hade därmed börjat ge tillskott till mineralkvävet i marken. Fram till den senare tidpunkten (19/9) ökade mineralkvävemängderna kraftigt i skiktet 0-30 cm men bara obetydligt

längre ned. Nederbörden därtills hade uppenbarligen inte gett upphov till någon nämnvärd nedtransport av nitratkväve från 0-30 cm till de djupare skikten. Det allra mesta av nitratkvävet fanns inom 0-30 cm djup.

På den nya, näraliggande platsen för försöket 1983 (på samma fält, gödslat med 80 kg N/ha) togs jordprover ut ”redan” den 5 november 1982 (figur 20). Antas det att 1982 och 1983 års försöksplatser är helt jämförbara, tycks det under hösten 1982 ha skett en viss mindre nedvaskning av nitratkväve från 0-30 cm till 60-90 cm djup, men bara obetydliga nitratkvävemängder förefaller ha nått längre ned än 90 cm.

Vid denna tidpunkt (5.11.1982) fanns det 52 kg mineralkväve inom 0-90 cm djup. Den 4 maj 1983 fastställdes en ökning till 59 kg N/ha. Det uppkom således ett nettotillskott av mineraliserat kväve på 7 kg N/ha från senhöst till vår. Samtidigt tycks ytterligare en del av nitratkvävet ha rört sig från matjorden ned till 30-60 cm djup, men synes knappast alls ha nått längre ned än så (figur 20). Resultaten tyder på att det mineralkväve som återstod efter avslutad kväveupptagning och det som sedan bildats genom mineralisering närmast helt fanns kvar inom rottdjup i början av maj, omkring tre veckor före vårbruket 1983 (figur 20). Samma resonemang kan gälla för vinterhalvåret 1983-84, om 1983 och 1984 års försöksytor också antas ha lika egenskaper.

Liksom i marken (0-100 cm) i de ovan redovisade försöken vid Sävstaås (lerjord) och Östra Höle (lättare jord) tycks förlusterna av mineralkväve från markprofilen vid Gundbo (0-90 cm) under vinterhalvåret ha varit små under de rådande väderförhållandena, med de jämförelsevis långa och kalla vintrarna i Hälsingland (tabell 8). Under växtsäsongerna utnyttjades som framgått det övervintrande mineralkvävet väl av kornet vid Gundbo. Sammantaget måste dessa båda förhållanden ha minskat riskerna för kväveutlakning på denna jord.

Observationsförsök 1982-84 vid Bofara, Kilafors

Markegenskaper

Inom 0-30 cm djup utgjordes jorden av en måttligt mullhaltig mjällig lättlera med följande sammansättning: 17,0 % ler, 62,0 % mjåla+finmo, 16,1 % grovmo+sand och 4,8 % mull enligt analys vid dåvarande Provcentralen, SLU, Uppsala. Mullhalten i det egentliga matjordsskiktet (ned till plogdjup) borde givetvis ha varit något högre än 4,8 %. Alven på 30-60 och 60-90 cm djup bestod av mjällig mellanlera enligt visuell bedömning och utrullningsprov.

Provgrävningar 1983 visade att det saknades tydliga sprickor i alven, men maskgångar fastställdes ned till åtminstone 80 cm djup. I borrhärnor, som tagits ut på 0-30, 30-60 och 60-90 cm djup under växtsäsongen 1982 för mineralkvävebestämning studerades förekomsten av rötter visuellt. Det visade sig att rötter inte bara fanns ned till 60 cm djup utan även i delar av skiktet 60-90 cm. Detta innebär att mineralkväve i alven ned till 60-90 cm djup i viss mån bör ha kunnat tas upp av grödan. Lerlagret fortsatte ned ca 130 cm. Därunder fanns stenig morän. Marken var väl-dränerad. Vid mätningar under växtsäsongen 1984 i två grundvattenståndsrör ned till ca 150 cm djup (med i övrigt samma metodik som i försöken vid Östra Höle och Gundbo) kunde det inte fastställas något grundvatten över 110-120 cm djup. Vid försöksstarten 5.5.1982 hade jorden på försöksplatsen ett pH-värde på 5,6 inom 0-30 cm djup. P-AL-värdet uppgick till 3,7 (klass II) och K-AL-värdet till 20,4 mg per 100 g lufttorr jord (klass IV).

Skördar av korn, kväve i grödan och jordens bidrag till grödans kväveförsörjning vid Bofara
 Kärnskördarna 1982-84 av kornet i led B med tillförsel av 50 kg N/ha som kalkammonsalpeter på våren (i tillägg till flyt gödseln) uppgick till 3500-5400 kg/ha (tabell 28). Medeltalet (4350 kg/ha) är ca 1600 kg/ha större än genomsnittet för de s.k. länsskördarna 1978-84 enligt den objektiva skördeuppskattningen (Statistisk årsbok för Sverige, 1979-86), se tabell 14. I ledet utan mineralgödselkväve på våren (A) erhöles 2800-3700 kg/ha i kärnskörd. Skördarna skall ses mot bakgrund av att både led A och B ju tillförts svinflyt gödsel på höstarna 1980-83 och även under de föregående åren sedan mitten av 1970-talet. I led A innehöll kärnskördarna i medeltal 45 kg totalkväve per ha, och här till fanns 24 kg N/ha i halm och stubb, sammanlagt 69 kg N/ha (tabell 28).

Under det nämnda antagandet att kornets rötter innehöll 25 % av den totalt upptagna kvävemängden beräknades kväveinnehållet i hela grödan i led A (utan kvävegödsling på våren) uppgå till 82 kg N/ha 1982, 113 kg N/ha 1983 och 82 kg N/ha 1984 (tabell 28), i medeltal 92 kg N/ha. Detta kan som nämnts sägas motsvara det kväve som kornet tagit upp från marken, under antagande att det inte skett några förluster av kväve från grödan. Här ingår verkan av kvävet i den flyt gödsel som tillfördes på höstarna.

Tabell 28. Kärnskördar av korn (kg/ha, 15 % vattenhalt) i observationsförsöket vid Bofara samt kväveinnehåll i grödan i led A (0N, utan kvävegödsling) vid tiden för avslutad kväveupptagning (ungefär gulmognad).

	1982	1983	1984	Medeltal
Kärnskörd, utan kvävegödsling (A) på våren	2810	3730	2500	3010
Kärnskörd, vårgödsling med 50 kg N/ha (B)	3490	5420	4130	4350

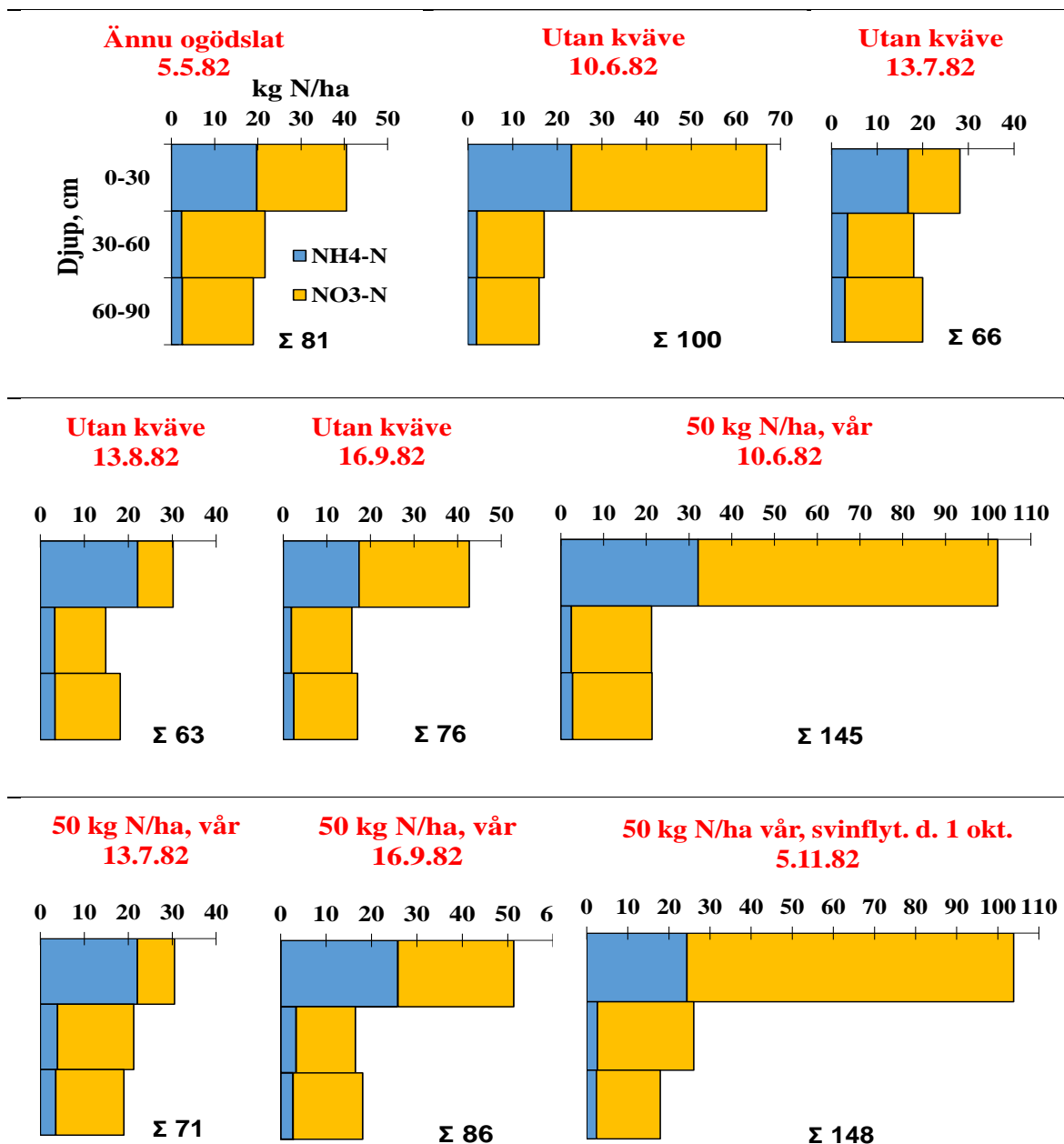
Kväveinnehåll vid avslutad kväveupptagning i led A (utan kvävegödsling):

	1982	1983	1984	Medeltal
Kärna	43	60	35	45
Halm (inkl. agnar och stubb)	18	25	27	24
Summa	61	85	62	69
Beräknat kväveinnehåll i hela grödan (= utnyttjbart kväve i marken)	82	113	82	92

Tabell 29. Mineralkväve (NH₄-N och NO₃-N, kg/ha) inom 0-90 cm djup tidigt på våren (före vårbruk och gödsling) och vid gulmognad, dvs. den ungefärliga tiden för avslutad kväveupptagning i försöket vid Bofara.

	Vår*			Gulmognad **			Gulmognad		
	NH ₄ -N	NO ₃ -N	S;a	NH ₄ -N	NO ₃ -N	S;a	NH ₄ -N	NO ₃ -N	S;a
1982	25	56	81	32	54	86	Ej provtaget		
1983	28	99	127	21	27	48	17	39	56
1984	21	107	128	23	41	64	29	42	71
Medeltal	25	87	112	25	41	66	23	40	63

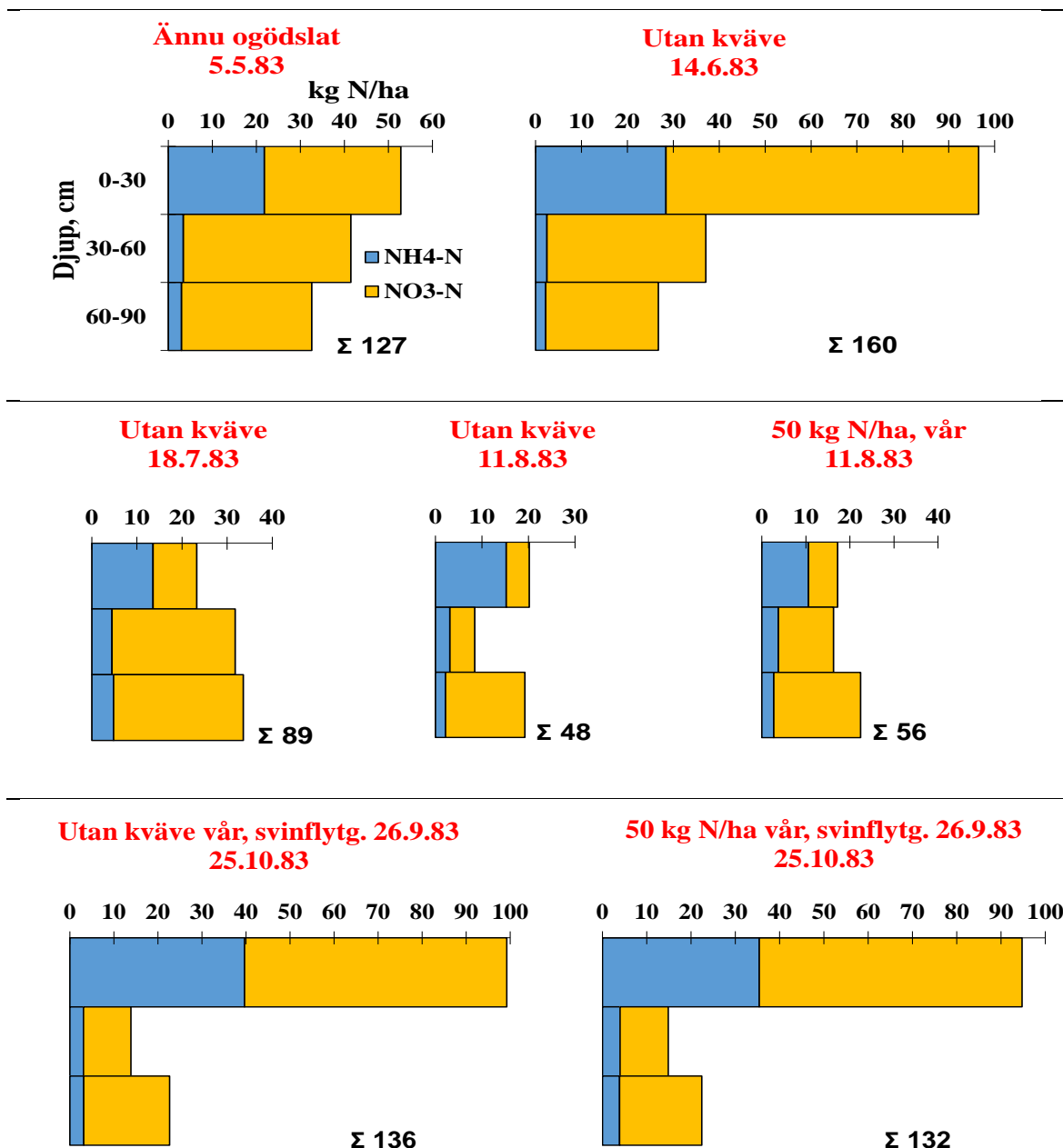
*) Medeldatum: 5 maj. **) Medeldatum: 11 augusti.



Figur 21. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-90 cm djup i försöket vid Bofara från våren till hösten 1981. Gröda: korn, som tillfördes 0 kg N/ha (0N = "Utan kväve") eller 50 kg N/ha (50N) som kalkammonsalpeter den 19 maj 1982. Svinflytgödsel spreds dels hösten 1981 och dels den 1 oktober 1982.

Mineralkväve och kväveutnyttjande i marken under växtsäsongen vid Bofara

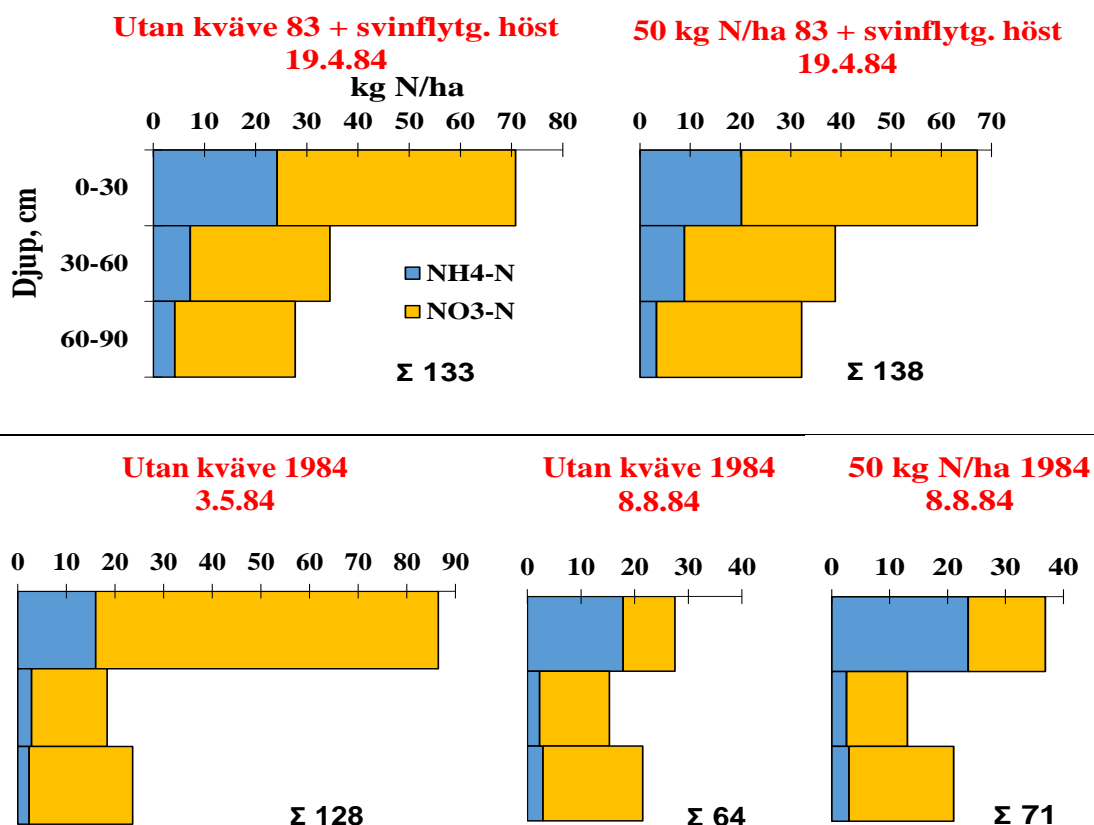
På våren under alla tre åren 1982-84 fanns det i försöket vid Bofara betydligt mer nitratkväve inom 0-90 cm djup än i de tre andra försöken (vid Sävstaås, Östra Höle och Gundbo). Detta kan givetvis förklaras av den årliga spridningen av svinflytgödsel i månadsskiftet september-oktober. Av tabell 29 och figur 21-23 framgår att det inom 0-90 cm djup fanns i storleksordningen 80-130 kg mineralkväve per ha tidigt på våarna (provtagningar 3-5 maj), varav ca 60-100 kg N/ha i form av nitratkväve. Nitratkvävet hade rört sig ned i marken från höst till vår (figur 21-23), men det allra mesta därav tycks ha stannat kvar inom 0-90 cm djup under vinterhalvåret.



Figur 22. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-90 cm djup i försöket vid Bofara från våren till hösten 1983. Gröda: korn, som tillfördes 0 kg N/ha (0N = "Utan kväve") eller 50 kg N/ha (50N) som kalkammonsalpeter den 25 maj 1983. Svinflytgödsel spreds dels den 1 oktober 1982 och dels den 26 september 1983.

Mängderna nitratkväve på våren ökade med åren, vilket delvis kan förmodas bero på ackumulerad verkan av de årliga flytgödselspridningarna. I jämförelse med nitratkvävet var ammoniumkvävemängderna ganska lika varje vår (se även nedan).

Vid provtagningarna i gulmognadsstadiet, dvs. ungefär vid tiden för kvävetagningens avslutning, var ammoniumkvävemängderna som väntat i stort sett oförändrade i jämförelse med vårvärdena (tabell 29, figur 21-23). Från vår till gulmognad minskade visserligen nitratkvävet, men nitratkväveresterna blev större än i de tre andra försöken. Inom 0-90 cm djup återstod i medeltal



Figur 23. Ammonium- och nitratkväve, kg/ha, skiktvis i marken inom 0-90 cm djup i försöket vid Bofara från våren till hösten 1984. Gröda: korn, som tillfördes 0 kg N/ha (0N = "utan kväve") eller 50 kg N/ha (50N) som N28 den 14 maj 1984. Svinflytgödsel spreds den 26 september 1983. Provtagningarna den 19 april avser 1983 års led 0N (utan kvävegödsling) och 50N.

41 kg nitratkväve per ha i led A (0N, utan kvävegödsling på våren). Detta tyder på att grödan inte kunde utnyttja allt kväve i marken, trots att inget mineralgödselkväve hade tillförts i led A.

Antar man att inga förluster av mineralkväve ägt rum under växtsäsongen inom markdjupet 0-90 cm, kan differensen mellan mineralkväveförråden på våren och vid gulmognad (tabell 29) ses som den del av det mineralkväve från våren som korngrödorna kunde ta upp. I medeltal erhöles 46 kg sådant utnyttjbart mineralkväve per ha (inkl. utnyttjat flytgödselkväve) i ledet utan kvävegödsling på våren i försöket vid Bofara 1982-84, medan det i försöket vid Gundbo (utan stallgödselbakgrund) fastställdes 23 kg N/ha (tabell 25 och 26). Det tillvaratagna mineralkvävet vid Bofara ingår som en del av det totalt upptagna, utnyttjbara kvävet i marken, i medeltal 92 kg N/ha (tabell 28). Skillnaden (också 46 kg N/ha) kan anses utgöra ett kvävetillskott genom nettomineralisering under växtsäsongen.

Åren 1983 och 1984 fastställdes det vid gulmognad 7-8 kg mer mineralkväve per ha inom 0-90 cm djup i led B (50N, kompletteringsgödsling på våren med 50 kg N/ha) än i A (0N, ogödslad på våren), se tabell 29 och figur 21-23. För 1982 saknas jämförelse mellan led A och B vid gulmognad, men båda dessa led provtogs den 16 september 1982. Då fastställdes det inom 0-90 cm djup i led A 76 kg mineralkväve per ha och i led B 86 kg/ha, alltså 10 kg N/ha mer med vårgödsling än utan sådan.

Mineralkväveresterna vid gulmognad 1982-84 (i medeltal ca 65 kg N/ha, 0-90 cm) blev som nämnts större än vid motsvarande tidpunkt i försöken vid Sävstaås, Östra Höle och Gundbo, med och utan gödsling med kväve. Detta gäller i synnerhet i alvskikten (figur 21-23). Kornet tog uppenbarligen i första hand upp kväve rätt ytligt i jorden, vilket särskilt gäller växtsäsongerna 1982 och 1984. Förklaringen kan vara, att den samlade mängden växttillgängligt kväve inom 0-90 cm djup i både led A och B (bestående av flytgödselkväve, övervintrande mineralkväve och kvävemineraliseringsstillskott under växtsäsongen, samt mineralgödselkväve i B) översteg kornets behov.

Situationer som dessa, med mycket nitratkväve i alvskikten, kunde ha undvikits genom att istället sprida flytgödseln före vårbruket. Även om det nitratkväve som härstammade från flytgödseln i huvudsak kan ha stannat inom 90 cm djup från hösten till våren, av kväveprofilbilderna att döma (figur 21-23), kan outnyttjat kväve i alvskikten efter avslutad kväveupptagning ha rört sig ned under rotzonen under efterföljande vinterhalvår. Detta borde med åren ha medfört ökad kväveutlakning. Resultaten visar att det även med de dåvarande, förhållandevis kalla vinterhalvåren i södra Norrland (jmf. tabell 8) fanns risker för ökade kväveförluster genom utlakning efter flytgödselspridning i början av hösten.

Ammoniumkväve i marken vid Bofara

Liksom i försöken vid Sävstaås, Östra Höle och Gundbo varierade mängderna ammoniumkväve vid Bofara bara i liten utsträckning mellan åren och mellan olika årstider (tabell 29; figur 21-23). I medeltal fanns det 26,5 kg ammoniumkväve per inom 0-90 cm djup (standardavvikelse = 5,2 kg, n = 17), varav inom 0-30, 30-60 och 60-90 cm djup 20,0 kg (SD = 4,7), 3,6 kg (SD = 1,8) respektive 3,0 kg/ha (SD = 0,7). Här har resultat från provtagningar inom ca en månad efter gödsling på våren och efter flytgödselspridning i september-oktober höstarna 1982-83 inte beaktats. För att jämföra med provtagningarna till 100 cm djup vid Sävstaås och Östra Höle antas här liksom för försöket vid Gundbo, att halterna ammoniumkväve inom 90-100 cm var av samma storlek som på 60-90 cm djup. Detta antagande kan motiveras med att ammoniumkvävemängderna i olika alvskikt under ca 40 cm brukar vara i stort sett lika stora. Då fås sammanlagt 27,5 kg N/ha ned till 100 cm djup vid Bofara. Detta kan jämföras med i medeltal 23,9 kg/ha i lerjorden vid Sävstaås och 19,6 kg/ha i den lättare jorden vid Östra Höle (0-100 cm) samt 24,4 kg/ha (beräknat, se ovan) i lerjorden vid Gundbo.

Efter spridning av svinflytgödsel på hösten tycks det ammoniumkväve, som därvid tillfördes, ha nitrifierats ganska snabbt (figur 21-23). Denna gödsling bör knappast ha påverkat ammoniumkvävevärdena vid vårprovtagningarna. Detta exemplifieras först med provtagningarna hösten 1982 (figur 21). Då spreds flytgödsel den 1 oktober. I led B (med tillförsel av 50 kg N/ha som kalkkammonsalpeter på våren före) fanns det dessförinnan (den 16 september) 32 kg ammoniumkväve och 54 kg nitratkväve per inom 0-90 cm djup (summa 86 kg N/ha). Den 5 november fastställdes 29 kg ammoniumkväve och 118 kg nitratkväve per ha inom 0-90 cm djup (summa 148 kg N/ha). Ökningen avser således helt och hållet tilltagande nitratkvävemängder i marken jämfört med den 16 september. Det med svinflytgödseln tillförda ammoniumkvävet hade sålunda nitrifierats inom loppet av drygt en månad på hösten. Det rädde plusgrader hela oktober och fram till provtagningen den 5/11, utom några dygn under den senare delen av oktober, enligt data från SMHI:s meteorologiska station Dönje vid Bollnäs. Medeltemperaturen

för oktober 1982 uppgick till 3,9°C (tabell 8). Vid jordprovtagning på våren därefter (den 5 maj 1983) var ammoniumkvävemängderna helt ”normala” (figur 22).

År 1983 tillfördes svinflytgödseln den 26 september. Vid jordprovtagning den 25 oktober i 1983 års led A och B fastställdes 46 respektive 43 kg ammoniumkväve per ha (0-90 cm djup). Detta var betydligt mer än vid provtagningen dessförinnan (11 augusti), vid gulmognad (figur 22). Inom 0-90 cm fanns det i led A och B 90 respektive 89 kg nitratkväve per ha, vilket också var mycket mer än vid gulmognad. Det är tydligt att en stor del av ammoniumkvävet i flytgödseln hunnit nitrifieras, men inte allt (figur 22). Det hade varit plusgrader alla dygn sedan spridningen den 26/9 enligt uppgifter från den meteorologiska stationen vid Dönje. Medeltemperaturen för oktober 1983 uppgick till 5,5°C (tabell 8). Fram till jordprovtagningarna på våren (19/4 och särskilt den 3/5) hade ammoniumkvävet minskat till normala mängder. Återstoden av gödselammoniumkvävet vid provtagningen den 25/10 tycks således ha nitrifierats under den mellanliggande kalla årstiden.

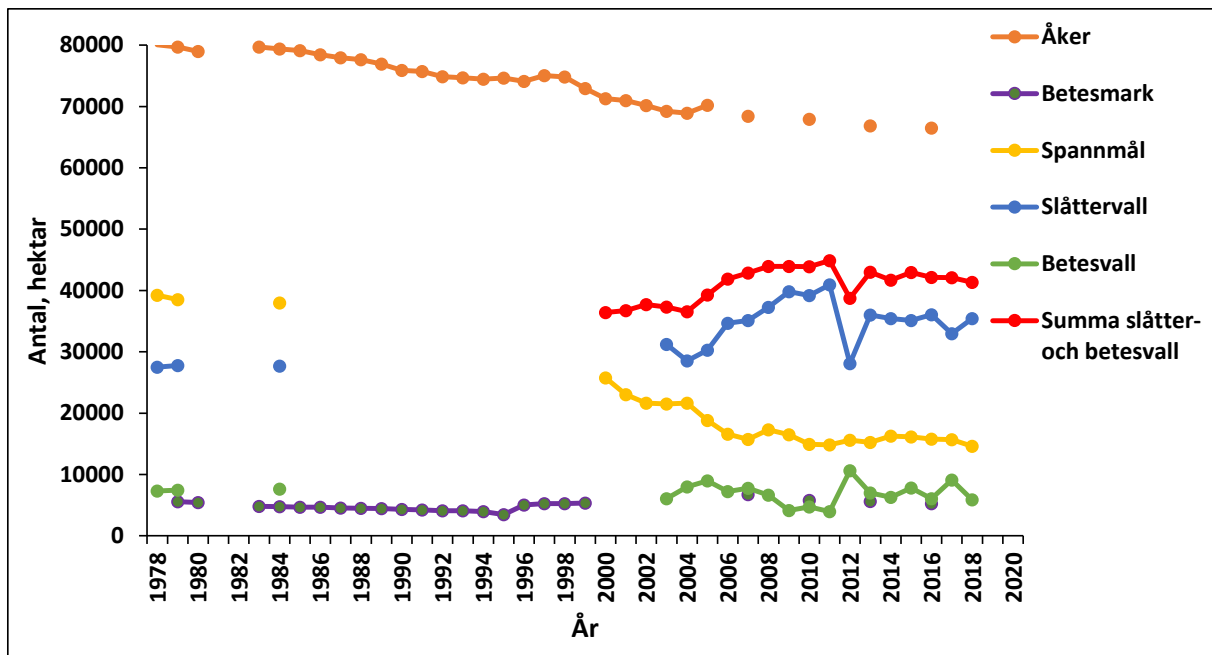
Uppenbarligen kan det under hösten ske en betydande nitrifikation av gödselammoniumkväve även under sydnorrländska förhållanden, i varje fall efter flytgödselspridning i början av denna årstid. Lindén et al. (2003) fann i inkubationsstudier under fältförhållanden, med nötflytgödsel inblandad i jord, att det vid 5°C återstod omkring 50 % av det tillförda gödselammoniumkvävet och vid 2°C ca 70 % vid provtagning två veckor efter tillförseln av gödseln. Efter fyra veckor hade det skett en fullständig nitrifikation vid temperaturer över 0°C. Det fordrades temperaturer vid eller strax under nollpunkten för att större ammoniumkvävemängder skulle återfinnas efter fyra veckor. Resultaten från Bofara 1983-84 visar emellertid, att det även under tiden fr.o.m. november t.o.m. mitten av april pågick nitrifikation. Detta bör främst ha ägt rum under perioder då marken var ofrusen.

Jordbrukets utveckling i Gävleborgs län sedan slutet av 1970-talet och troliga förändringar i framtiden – betydelse för kväveutlakningsriskerna

Användning av åkerarealen i Gävleborgs län

I de ovan redovisade fältförsöken i Hälsingland 1978-84 beskrivs kväveförhållanden i jordarna enbart vid odling av korn och havre. Detta innefattar odlingsbetingelser med en växtsäsong på vanligen 3-3,5 månader (tabell 2, 4, 5 och 6) och obevuxen mark därefter från höst till vår. Från och med avslutad kväveupptagning (på sensommaren-förhösten) hos dessa vårsädesgrödor medförde den fortsatta kvävefrigörelsen i jorden i försöken, att mineraliserat kväve ansamlades i marken. Sådan anhopat mineralkväve kan leda till kväveförluster under vinterhalvåret. Frågan är då hur stor del av åkerarealen i detta län som från tiden för försöken och fram till nutiden utgjorts av vårsäd och hur övrig åkermark använts. Olika grödslag påverkar ju kväveutlakningen på skilda sätt. En gröda som växer och tar upp kväve även under en del av hösten medför, att höstmineraliserat kväve kan tas tillvara i större eller mindre utsträckning före vintern. Därmed minskar riskerna för kväveförluster under den kalla årstiden.

För att belysa detta visas nedan statistik för jordbruksmarkens användning 1978-2018 i Gävleborgs län. Uppgifterna har hämtats från Jordbruksstatistisk årsbok 1979, 1980, och 1985 samt 2001-2014, Statistisk årsbok för Sverige 1986-2000 samt Jordbruksstatistisk sammanställning 2015-2019. Utifrån denna statistik kan trender även för framtiden i viss mån dras.



Figur 24. Förändring av åkerarealen och dess användning i Gävleborgs län 1978-2018 enligt uppgifter från Jordbruksstatistisk årsbok 1979, 1980 och 1985, Statistisk årsbok för Sverige 1986-2000, Jordbruksstatistisk årsbok 2001-2014 samt Jordbruksstatistisk sammanställning 2015-2019. Officiell statistik om areal och arealanvändning har inte offentliggjorts för de år då data saknas i figuren.

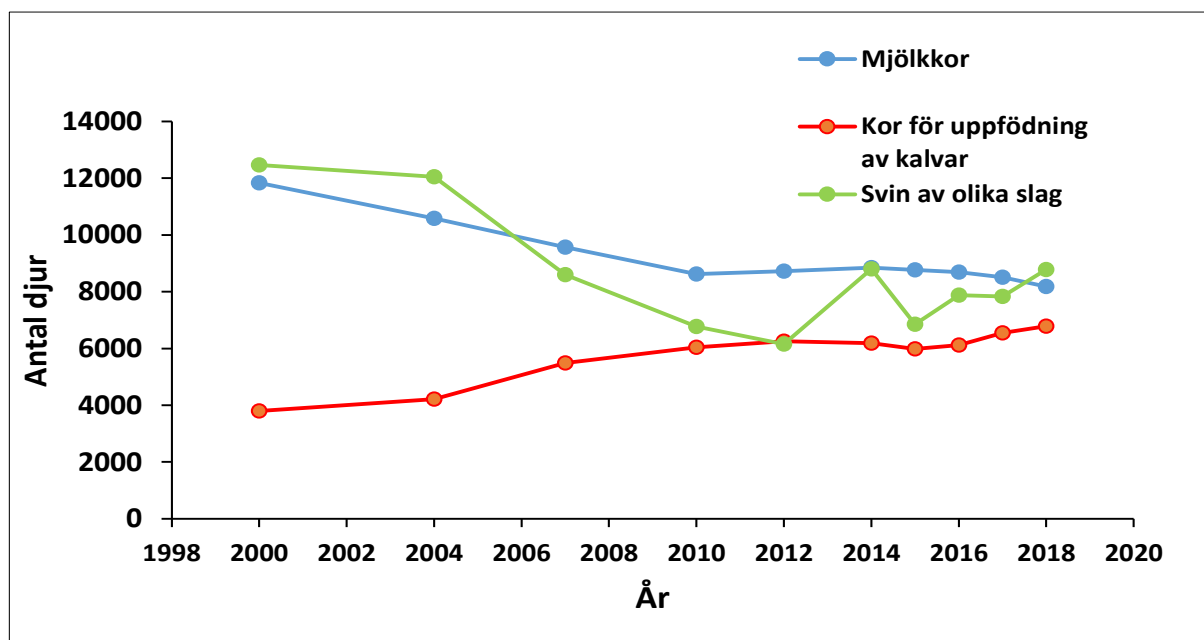
Figur 24 beskriver hur åkerarealen i Gävleborgs län och användningen av denna har förändrats under perioden 1978-2018, dvs. under ca 40 år. När nu denna rapport skrivs, visar den tillgängliga, officiella statistiken den totala åkerarealen bara fram till 2016. Den samlade åkermarken i Gävleborgs län minskade från ca 80000 ha 1978 till 66500 ha år 2016. Det senare året fanns det omkring 2580000 ha åker i hela Sverige. Av landets totala åkerareal låg således bara ca 2,6 % i Gävleborgs län. Detta innebär i princip, att länets åkermark endast till en liten del bidrar till eutrofiering av haven runt Sveriges kuster. Härtill kommer förändringar i användningen av åkermarken, som tyder på att länets jordbruk allt mindre belastar grund- och ytvatten till följd av växtnäringsförluster. Detta belyses nedan enbart med avseende på kväveförhållandena.

En påverkansfaktor i sammanhanget är spannmålsarealen i Gävleborgs län. Denna reducerades från 39000 ha 1978 till bara 14600 ha 2018. Däremot ökade slåttervallen från 27500 ha 1978 till 35400 ha år 2018. Mest slåttervall fanns det omkring år 2010 (39000-40000 ha). Arealen betesmark, dvs. bete på mark som inte kan jordbearbetas, har under denna årsräcka hållit sig ganska oförändrad på 4000-6000 ha. Betesvallens omfattning (dvs. arealen bete på åker) redovisas i den officiella statistiken i stort sett endast för 2003-2018. Under denna tid förändrades denna areal likaså bara i mindre utsträckning i Gävleborgs län och har i stort sett hållit sig inom intervallet 6000-9000 ha.

Minskningen av åkerarealen sedan 1987 (17 %) och spannmålsarealen (63 %) innebär att den samlade kvävebelastningen på grund- och ytvatten från jordbruksmark i Gävleborgs län bör ha minskat under de gångna ca 40 åren. När man slutar odla spannmål på ett fält i denna landsdel, är det vanligt att man etablerar vall där. Det är alltså troligt att en del av den minskade spannmålsodlingen ersatts med vallodling. Detta bör ha bidragit till mindre kväveförluster, då kväveutlakningen från vall normalt blir mindre än vid odling av stråsäd (jmf. t.ex. Gustafson & Torstensson, 1984a; Gustafson, 1985; Bergström & Kirchmann, 2000; Torstensson, 2003). I

bygder med minskande jordbruksmark är det vidare vanligt, att vall är det sista grödslaget, innan odlingen helt upphör. En del av den nedlagda åkermarken, med vall som sista gröda, kan sedan ha lämnats att växa igen, medan en annan del planterats med skog. Ytterligare en del kan ligga som obrukad vall (ett slags ”träda”), som slås av varje år eller vissa år för att odlingslandskapet inte skall växa igen. Sporadiskt kan sådan träda komma att utnyttjas för skörd av grovfoder, om det råder brist på detta såsom torrsummare 2018. Enligt Jordbruksstatistisk sammanställning (2016-2019) omfattade trädesarealen i Gävleborgs län 3200-3700 ha år 2015-2018. Begreppet ”träda” definieras inte i Jordbruksstatistisk sammanställning, men trädan torde utgöras av mark huvudsakligen bevuxen med gräs, och normalt borde inte jordbearbetad svartträda avses. Kväveutlakningen från sådana mer eller mindre nedlagda, gräsbevuxna åkermarker måste vara obetydlig. Aronsson et al. (2006) visade, att kväveutlakningen från ogödslad s.k. vallträda var högst obetydlig, trots att det ingick klöver i vallväxtblandningen.

Den starkt reducerade spannmålsarealen i Gävleborgs län måste medföra, att mineraliserat kväve inte anhopas i länets åkermark i lika hög grad på hösten som tidigare, och till skillnad från de ovan redovisade försöken. Istället innebär den nämnda, ökade vallarealen, att marken är bevuxen med en gröda som växer och tar upp kväve under en längre tidsperiod, med början tidigare på våren och med fortsättning längre in på hösten än vid odling av t.ex. vårsäd. Det är dessutom troligt, att en del av vallen har odlats och numera odlas mer eller mindre extensivt, med måttlig, liten eller ingen insats av gödselmedel. Anledningen till detta förmodande är, att antalet mjölkkor minskat, medan kor för uppfödning av kalvar (dvs. köttjursproduktion) ökat i antal (figur 25). Mjölproduktion kräver ju foder med hög koncentration av protein och energi, vilket innebär behov av högavkastande slätter- och betesvallar samt kraftfoder i form av spannmål, producerad på den egna gården eller inköpt från t.ex. grannar. Mjölproduktion fordrar därför ändamålsenlig gödsling av grödorna, även om baljväxter (klövergräsvallar, foderarter) ingår i växtföljden. Detta innebär i konventionellt jordbruk ett behov av mineralgödsel (inkl. kväve) som komplement till stallgödseln. Allt detta ändras, när mjölkproduktionen upphör.



Figur 25. Förändring av antalet djur i lantbruket i Gävleborgs län år 2000-2018 enligt uppgifter från Jordbruksstatistisk årsbok 2001-2014 samt Jordbruksstatistisk sammanställning 2015-2019. Kor för uppfödning av kalvar avser djur för köttproduktion.

Slutar man med mjölkproduktion och övergår till köttjursproduktion, kan istället mindre protein- och energirikt foder delvis användas, även om något kraftfoder kan behövas till dikor när kalvarna föds upp. Man kan även klara köttjursuppfödningen helt utan kraftfoder. Vall för vinterfoder till köttdjur kan delvis produceras mer extensivt, med mindre gödsling och på mer långvariga vallar. Ett undantag kan vara uppfödning av yngre tjurar på stall, med intensivare utfodring. En annan aspekt på köttdjur, till skillnad från mjölkkor, är att de mycket väl kan beta på mindre näringsrik betesmark, som inte gödslas. Det kan vara tidigare åkermark som har blivit sådant bete. Köttjursproduktion medger att man på detta vis kan fortsätta att använda oregelbundna fält med odlingshinder, backar och sank svackor. Vidare har antalet får ökat, från exempelvis ca 11800 år 2000 och 16700 år 2010 till närmare 18600 år 2018 (Jordbruksstatistisk årsbok, 2001 och 2011; Jordbruksstatistisk sammanställning, 2019). Fårskötsel innebär delvis också en form av extensiv användning av åkerjord och utnyttjande av naturlig betesmark. Köttjuren och fåren bidrar till bevarandet av ett öppet odlingslandskap och till biologisk mångfald. Övergång till köttjurs- och fårproduktion, med delvis extensivare markanvändning och utan spannmålsodling, innebär vidare att kväveutlakningen från åkermarken hålls på en låg nivå.

I trakter med små nötkreatursgårdar och allt äldre brukare är det ibland osäkert vad som händer med åkerarealen t.ex. vid generationsskiften. Marken hotas då ofta av att läggas ned i områden med sämre åkermark och svårare brukningsbetingelser, vad gäller t.ex. arronderings- och dräneringsförhållanden. Denna jord kan i bästa fall istället bli utnyttjad av andra lantbrukare, med t.ex. köttjursproduktion. Vallarna blir i sådana fall ofta långliggande och brukas extensivt, med liten eller ingen gödsling. Man tar helt enkelt vara på vallfoder på större ytor, istället för att satsa på höga skördar på en mindre areal, för att få så billigt foder som möjligt. Detta är dock gynnsamt från utlakningssynpunkt.

Av tabell 30 framgår att i medeltal bara 65 % av åkerarealen i Gävleborgs län 1997-2016 gödslats med kväve i mineralgödsel och/eller stallgödsel. Användningen av gödsel tycks totalt sett också ha minskat under denna period. Dessa uppgifter tyder på att en tilltagande del av arealen odlas extensivt (t.ex. ogödslad vall) eller ligger som bevuxen träda. I genomsnitt har den gödslade åkermarken i länet tillförts ca 70 kg N/ha bestående av mineralgödselkväve och växttillgängligt kväve i stallgödsel (tabell 30).

Tabell 30. Användning av kväve i mineral- och/eller stallgödsel i Gävleborgs län vissa år fr.o.m. 1997 enligt Statistisk årsbok för Sverige (1998), Jordbruksstatistisk årsbok 2000-2006 och Jordbruksstatistisk sammanställning (fr.o.m. 2008).

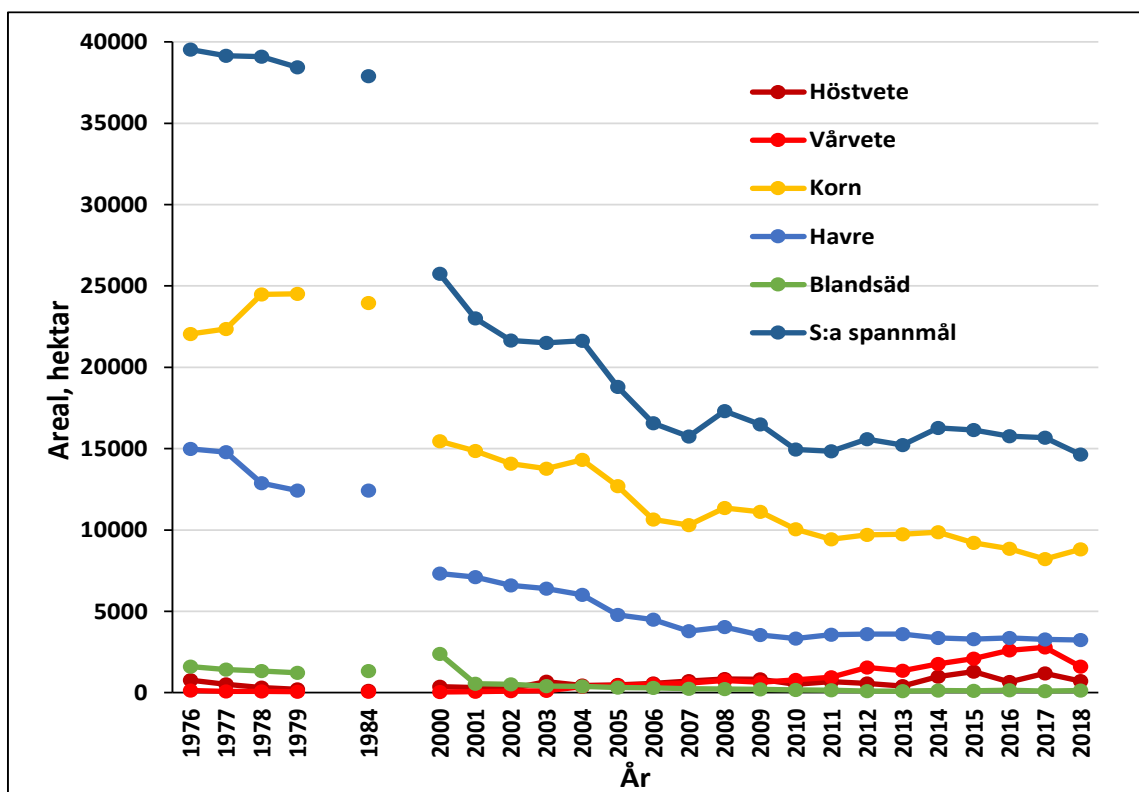
År	Areal, ha	Andel gödslad areal, %	Växttillgängligt kväve ¹ , kg/ha	Kommentar
1997	69000	70	70	1) Gäller växttillgängligt kväve från mineralgödsel och/eller stallgödsel. Kväve från stallgödsel avser enligt de angivna källorna den beräknat växttillgängliga delen av totalkväveinnehållet. Uppgifter för mellanliggande, ej medtagna år finns inte redovisade i de angivna källorna.
1999	66500	82	70	
2001	62800	68	61	
2003	61700	69	66	
2005	62600	60	69	
2007	62400	54	76	
2008/2009	64500	61	80	
2010/2011	63600	59	76	
2012/2013	62900	65	79	
2015/2016	62200	59	75	
Medeltal		65	7	

Åkermark, som lagts ned eller övergått till att brukas som mer eller mindre extensivt bete, är normalt av sämre slag vad gäller markbördighet, arrondering och dränering. Det rör sig ofta om oregelbundna fält, flerstädes med backar och svårdränerade svackor, eller mindre åkertegar omgivna av skog. Det är svårt att t.ex. bedriva spannmålsodling lönsamt på sådan jord. Den åkerjord i Gävleborgs län, som blir kvar i framtiden och kan användas för odling av spannmål och andra ettåriga grödor (öppen växtodling), utgörs och kommer därför att utgöras av mark med potential för bättre skördar. Såsom ovan visats i försöken i Hälsingland, innebär högre avkastning att kvävet i marken blir bättre utnyttjat, förutsatt att kvävegödslingen är väl anpassad till behovet. Detta bör minska kväveutlakningsriskerna.

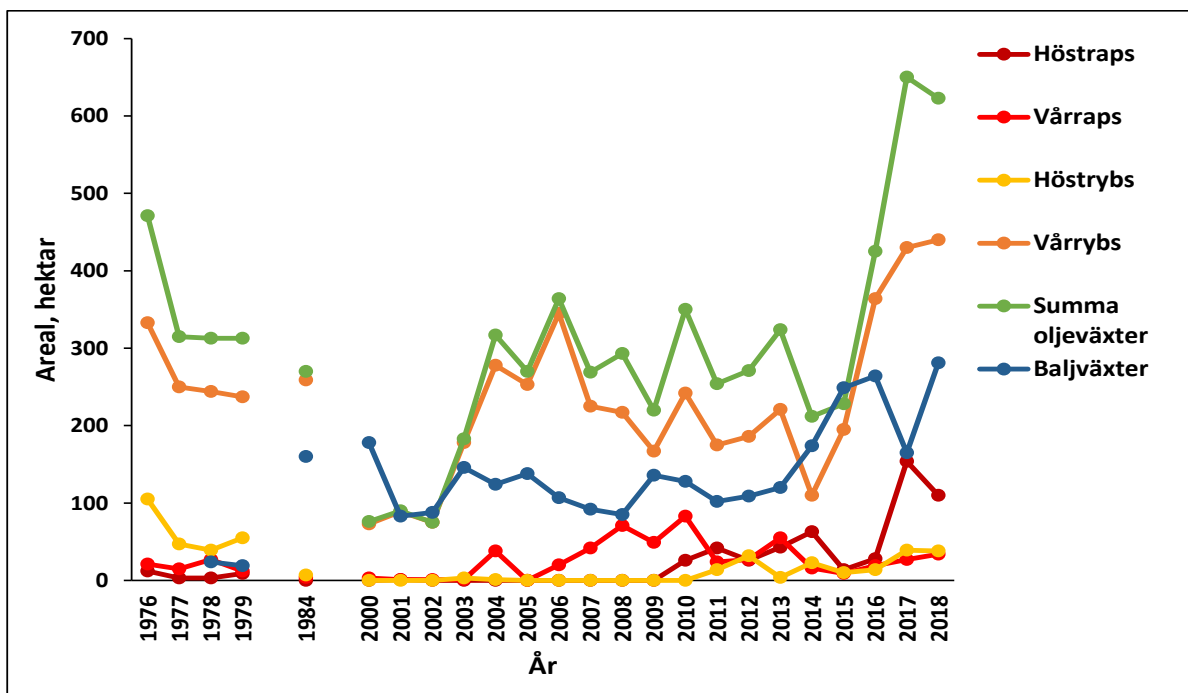
Grödor på åker i öppen växtodling i Gävleborgs län

Arealen av olika spannmålsgrödor i Gävleborgs län 1976-2018 framgår av figur 26. Odlingen av korn och havre och även av blandsäd minskade kraftigt under denna period. År 2018 återstod ca 8800 ha korn och 3200 ha havre. Arealen höst- och vårvete har varit obetydlig, men den har tilltagit något sedan 2005-2010. I medeltal för perioden 2014-18 odlades höstvetete på knappt 1000 ha och vårvete på 2200 ha. Odlingen av råg och rågvete var blygsam under hela perioden 1976-2018 och omfattade ca 40 respektive 80 ha 2014-18.

Förändringarna av arealen oljeväxter och foderärter 1976-2018 visas i figur 27. Vårrys var vanligast och odlades på i storleksordningen 200-300 ha. Odlingen av denna gröda har ökat under senare år. Höstrybs, höstraps och vårraps var växtslag med mycket liten odling eller periodvis närmast ingen odling alls. Arealen höstraps har dock ökat något, och denna gröda odlades på i medeltal drygt 70 ha 2014-18. Av vårraps fanns det då bara ca 20 ha och höstrybs 25 ha.



Figur 26. Fördelning av olika stråsådesslag på spannmålsarealen i Gävleborgs län 1976-2018 enligt uppgifter från Jordbruksstatistisk årsbok 1979, 1980 och 1985, Statistisk årsbok för Sverige 1986-2000, Jordbruksstatistisk årsbok 2001-2014 samt Jordbruksstatistisk sammanställning 2015-2019. Officiell statistik om areal och arealanvändning har inte offentliggjorts för de år då data saknas i figuren.



Figur 27. Förändring av odlingen av oljev växter och baljväxter (främst foderärter) i Gävleborgs län 1976-2018 enligt uppgifter från Jordbruksstatistisk årsbok 1979, 1980 och 1985, Statistisk årsbok för Sverige 1986-2000, Jordbruksstatistisk årsbok 2001-2014 samt Jordbruksstatistisk sammanställning 2015-2019. Officiell statistik om areal och arealanvändning har inte offentliggjorts för de år då data saknas i figuren.

Odlingen av baljväxter (foderärter) har ökat sedan millennieskiftet till i medeltal 225 ha under åren 2014-18 (figur 27). Potatisodlingen i Gävleborgs län är liten och avtagande. År 2015-2018 omfattade den bara 200-170 ha. Det kan förmodas att arealerna av oljev växter och foderärter i Gävleborgs län kommer att tillta i ett varmare, framtida klimat. Detta innebär möjligheter till mer omväxlande växtföljder, åtminstone där vall inte ingår i odlingen. Resultatet blir dels positiv efterverkan i form av högre skördar av spannmål som eftergröda och dels god kväveefterverkan (Ohlander, 1988; Nyberg & Lindén, 2008; Lindén, 2008).

Trolig förändring av växtodlingen i Gävleborgs län med hänsyn till ett framtida varmare klimat och fortsatt omvandling av jordbruket

Som framgått har odlingen av höstvetete, vårvete, höstraps, vårraps och foderärter hittills varit blygsam i Gävleborgs län. Som nämnts kan man dock se en svag tendens till ökande areal av dessa grödor, som ju kräver gynnsammare klimatbetingelser än korn och havre. Med ett allt varmare klimat, som kan likna Mälardalens, borde odlingen av dessa mer krävande grödor komma att öka, i synnerhet som saluvärdet hos dessa växtslag är bättre än för fodersäd (havre och korn). Rågvete kan i viss mån komma att ersätta korn och havre som fodersäd. Höstraps och baljväxter medför emellertid större risk för kväveutlakning genom ökad anhopning av mineralkväve i marken under hösten och vintern efter skörden (Engström, 2010; Nyberg & Lindén, 2008). Det blir då angeläget att så höstvetete eller annan höstsädd efter dessa grödor, med tidig sådd för att höstsädden skall kunna ta upp så mycket kväve som möjligt innan det blir för kallt. Förutom tilltagande framtida odling av olika höstgrödor, med högre avkastningsförmåga än motsvarande vårsädda grödor, torde ett varmare klimat medföra ökade skördar av de traditionella vårsädesgrödorna korn och havre i Gävleborgs län. Till detta medverkar tidigare och längre växtsäsonger, som möjliggör odling av senare, mer högavkastande sorter. Alla

dessa förändringar kan öka behovet av gödselkväve. För att motverka ökad kväveutlakningsrisk bör gödningen av grödorna anpassas efter skördenivå och förbrukernas kväveefterverkan (www.jordbruksverket.se). Dessa framtidsutsikter gäller den bestående, bättre delen av åkermarken i länet, där odlingen av spannmål och andra ettåriga grödor kan förbli lönsam.

Arealanvändningen i Gävleborgs län kan även komma att påverkas på andra sätt genom fortsatt förändring av jordbrukets produktionsinriktning. Mjölproduktionen kan komma att minska, exempelvis vid generationsskiftet och om det åter uppstår prisfall på mejeriprodukter. Upphör mjölproduktionen på en gård, behövs det mindre arealer fodersäd. Motsvarande gäller svinproduktionen, som under senare år omfattat i storleksordningen 8000 djur i Gävleborgs län (figur 25). Prisfall och allt äldre svinproducenter kan minska produktionen. Den ökande trenden att äta vegetarisk mat kan komma att reducera kött- och fläskproduktionen bl.a. i Gävleborgs län. Även i dessa fall skulle behovet av fodersäd avta. Detta kan i sin tur medföra nedläggning av jordbruksmark.

Oavsett produktionsinriktning kan driften på många gårdar upphöra, när brukarna uppnår hög ålder och om ingen är villig att ta vid efter dem. Detta kan i många fall vara nära förestående. Åldersfördelningen hos företagarna i jordbruket är ju skev. Exempelvis var 2016 ca 60 % av jordbruksföretagarna i produktionsområdet Nedre Norrland 55 år och äldre (Jordbruksstatistisk sammanställning, 2019). Utvecklingen är avhängig av om det finns efterföljare. Barn till brukarna har mycket ofta flyttat från orten för att studera och fått en yrkeskarriär utanför de areella näringarna. Barn som bor kvar på hemorten har likaså ofta skaffat sig andra yrken och kan inte tänka sig att återvända till jordbruket. Detta kan medföra att jordbruksdriften helt upphör, särskilt på gårdar med sämre jordbruksmark. Det är även av detta skäl troligt att ytterligare jordbruksmark kommer att läggas ned eller övergå till extensivt bruk i Gävleborgs län i framtiden. De bästa jordarna i de centralare jordbruksbygderna i länet torde dock fortsätta att odlas. Där kan driften bli mer diversifierad genom ökad odling av avsalugrödor såsom höst- och vårvete och oljevaxter.

Som framgått torde de nämnda förändringarna av jordbruket i länet sammantaget innebära en fortsatt minskning av jordbruksarealen och dessutom mindre mark i öppen växtodling (såsom spannmål), men större andel extensivt odlad vall i Gävleborgs län. Som nämnts torde odlingen av stråsäd och andra ettåriga grödor troligen komma att koncentreras till de bättre jordarna. Det borde följaktligen bli en minskning av den areal som ligger utan levande växtlighet på hösten (dvs. stubbåker och bearbetad mark), där det alltså saknas en gröda som kan ta upp kväve under denna årstid. Samtidigt kommer klimatförändringen troligen att medföra, att kväveminaliseringen på sådan mark ökar under den vegetationslösa årstiden. Även om detta medför ökande kväveutlakningsrisker på denna typ av mark, borde förändrad arealanvändning i länet totalt sett leda till minskad belastning på grund- och ytvatten med kväve från jordbruket.

Övergripande diskussion och slutsatser samt innebörd i ett förändrat klimat

Avkastning i försöken 1978-84, dvs. i ett tidigare, kallare klimat

Skördenivåer och kvävegödning i försöken

Avkastningen av grödorna korn och havre i försöken blev måttlig och i de flera fall förhållandevis låg. I försöket vid Sävstaås erhöles i medeltal för 1978-84 kärnskördar på 3660 kg/ha (som minst 2030 och som högst 5140 kg) efter årlig gödning med i medeltal 78 kg N/ha (tabell 14).

I ett led utan kvävegödning (i två år) uppnåddes skördar på 2650 kg/ha. Vid Östra Höle erhöles efter gödning med 80 kg N/ha per år en medelavkastning 1978-82 på endast 2720 kg/ha, och utan kvävegödning alla fem åren 1560 kg/ha (tabell 21). I observationsförsöket vid Gundbo (tabell 24) uppgick dock kärnskördarna (korn) 1982-84 till 4990 kg/ha efter tillförsel av 90 kg N/ha, och utan kvävegödning till 2640 kg. Vid Bofara 1982-84, med årlig spridning av svinflytgödsel under förhösten i hela försöket, erhöles efter kompletteringsgödning med 50 kg N/ha (som kalkammonsalpeter på våren) kärnskördar på i medeltal 4350 kg/ha och utan detta mineralgödselkväve 3010 kg (tabell 28). Dessa avkastningsnivåer i de fyra försöken kan jämföras med de s.k. länskördarna enligt den objektiva skördeuppskattningen i Gävleborgs län 1978-84: i genomsnitt 2760 kg korn och 2640 kg havre per ha (tabell 14).

Dessa måttliga eller i flera fall låga skördenivåer i försöken tyder på att större kvävegivor inte var motiverade. De använda mängderna motsvarade ungefär de normalt rekommenderade i området vid tiden för försöken. Anpassning av gödningen efter avkastningsförmågan som i nutiden ingick givetvis inte i dåtidens gödslingsråd. Jordbruksverket rekommenderar för Norrland numera (Börling et al., 2018) kvävegivor på 45, 65, 85 och 100 kg N/ha till korn vid avkastningsnivåerna 3000, 4000, 5000 respektive 6000 kg/ha, när gödseln radmyllas, och ett tillägg med 10 kg N/ha vid bredspridning. Dessa rekommendationer gäller förfrukt stråsåd, vilket även var fallet i de fyra redovisade försöken, där vårsåd ju odlades alla år. De svaga skördarna vid Östra Höle kan innebära, att kvävegivan borde ha varit mindre än 80 kg N/ha. Som nämnts kan den låga skördenivån bl.a. bero på lokalklimat och mindre bördig jord med ganska lågt pH-värde. Samtidigt var mängderna utnyttjbart markkväve mestadels små (se nedan), vilket egentligen borde öka behovet av gödselkväve.

Anpassning av kvävegödningen till skördenivåerna

I försöken användes fasta kvävegivor i de olika leden under alla år. I praktiskt jordbruk sker dock normalt en anpassning av gödningen till fältspecifika förhållanden, såsom avkastningsnivå och förfrukt. Det kan emellertid vara svårt att anpassa kvävegödningen på våren till förväntad skördenivå, inte minst i landsdelar där kalla perioder under växtsäsongen hämmar tillväxten. Så var fallet särskilt vid Sävstaås 1978, då kärnskörderna bara blev 2030 kg/ha. Den högsta avkastningen uppnåddes 1984 och uppgick till 5140 kg/ha vid samma kvävegödningsnivå (ca 78 kg N/ha). Vid Östra Höle erhöles likaså lägst skörd 1978 (2340 kg/ha), efter gödning med 80 kg N/ha. Högst skörd uppnåddes där 1980 (3430 kg/ha). Årsvariationen var på denna plats emellertid ganska liten. Avkastningen blev likaså ganska jämn alla tre åren vid Gundbo: som lägst 1983 med 4860 kg/ha och högst 1982 med 5320 kg/ha efter gödning med 90 kg N/ha på våren. Vid Bofara erhöles minst avkastning 1982 (3490 kg/ha) och högst 1983 (5420 kg/ha), efter årlig flytgödselspridning på hösten och kompletteringsgödning med 50 kg N/ha på våren.

I dessa försök skulle det ha varit svårt att i förväg (vid vårbruk och gödning) bedöma grödans tillväxt och kvävebehov under den kommande växtsäsongen och då anpassa kvävegödningen därefter, om detta varit ett mål. Utvecklingen av sensorer för skanning av odlade växters egenskaper ha emellertid gett nya möjligheter. I landsdelar och till grödor där det är möjligt att tillföra delade kvävegivor kan den andra givan numera bättre anpassas till växternas tillväxt- och kvävestatus under växtsäsongen genom reflektansmätning på växtmassan med N-sensor i samband med tilläggsgödningen (www.yara.se/vaxtnaring/verktygsladan/yara-n-sensor/). Där re-

flektansmätning inte är aktuell, får man försöka bedöma avkastningsnivån på basis av skördeuppgifter från ett antal tidigare år. Skördevariationerna i försöken ovan visar dock att detta blir osäkert.

Framtida skördenivåer genom klimatförändring – konsekvenser för kvävegödslingen

Om man räknar med ett varmare framtida klimat, torde detta för Hälsinglands del leda till stigande avkastning av t.ex. spannmål, vilket i sin tur kan medföra ökat behov av gödselkväve till grödorna. Detta innebär då större givor av mineralgödselkväve, bl.a. till stråsäd efter stråsäd, om ett stigande kvävebehov inte kan täckas med befintlig stallgödsel och förgrödor med god kvävefterverkan. Vid en ökning av skörden med ett ton per ha vid optimal gödsling till vårkorn anbefaller som nämnts Jordbruksverket ett tillskott på 15-20 kg N/ha som mineralgödselkväve (Börling et al., 2018). För höstvetete, som i ett varmare klimat torde bli en vanligare gröda i Hälsingland än nu, rekommenderas en ökning av kvävegivan med 20 kg N/ha. Tidigare försök med gödsling till vårkorn visar dock ett behov av ca 25 kg N/ha per ton ökad kärnskörd vid ekonomiskt optimum (Lindén, 1987; Lindén et al., 1992b; Olsson, pers. medd., se Lindén, 2008). För höstvetete anger Engström & Gruvaeus (1998) och Engström (2010) ca 15 kg N/ha för en skördestegring med 1 ton/ha vid ekonomiskt optimal kvävegödsling. Delin et al. (2005) fastställde dock i höstveteförsök ett behov av 24 kg N/ha för ett tons skördeökning vid optimum.

Som nämnts var de s.k. länsskördarna i Hälsingland låga under försöksåren 1978-84: för korn i medeltal 2760 kg/ha och för havre 2640 kg/ha (tabell 14). Fram till de godtyckligt valda åren 2009-2016 hade en ökning av länsskördarna skett till i genomsnitt 2940 kg/ha för korn och 2960 kg/ha för havre (tabell 15). Detta är en blygsam förbättring, trots att årsmedeltemperaturen i området tycks ha ökat med i genomsnitt en grad från 1978-84 till 2010-17 (tabell 10). Man kan dock anta, att skördarna av spannmål i ett framtida klimat, liknande Mälardalens i nutiden, kommer att medföra tydligt stigande avkastningsnivåer. Genom längre växtsäsong kan ju senare och därmed högre avkastande sorter odlas, liksom grödor med längre tillväxttid (t.ex. vårvete istället för vårkorn, eller vårraps istället för vårrybs). Medeldatum för sådden i de fyra försöken i Hälsingland var den 18/5 (n = 18, tidigaste datum: 5/5; senaste: 1/6), se tabell 2, 4, 5 och 6. Fullmognad inträffade i genomsnitt den 27/8 (tidigast 18/8 och senast 11/9). Såtiden i dessa försök kan jämföras med sådatum 1980-84 i ett långvarigt försök vid Lanna i Västergötland (Lindén, 2017): i medeltal den 26 april (tidigast 16/4 och senast 7/5). Sådatum skilde således ca tre veckor mellan försöket på Lanna och de fyra försöken i södra Hälsingland. Skulle vårsäd i Hälsingland kunna sås omkring den första maj eller ännu tidigare i ett framtida klimat, borde växtsäsongen kunna börja minst två-tre veckor tidigare, med högre avkastningspotential som följd.

Härtill kommer tilltagande areal av höstsådda grödor i ett varmare klimat, vilka också avkastar mer än vårsådda växtslag. En annan motivering för ökade medelskördar i Gävleborgs län är att odlingen på sämre avkastande jordar som nämnts kan komma att läggas ned (blir obrukad mark), eller att man där övergår till att odla vall, som är en mindre krävande gröda, eller utnyttjar sådan sämre mark som bete (se ovan). Alla dessa möjliga förändringar torde sammantaget innebära ökande kvävegödsling på den i framtiden återstående arealen med spannmål m.fl. ettåriga grödor i Hälsingland.

Växttillgängligt kväve i marken

Utnyttjbart markkväve i försöken

I de fyra försöken beräknades mängden utnyttjbart markkväve på basis av totalkväveinnehållet i grödornas ovanjordiska växtdelar i leden utan gödselkväve och genom skattning av kvävemängden i rötterna (jmf. s. 24 (Sävstaås) samt tabell 21, 24 och 28). Resultaten har sammanförts i tabell 31. I det utnyttjade markkvävet ingår definitionsmässigt dels den utnyttjbara delen av det mineralkväve som funnits i marken på våren (se nedan) och dels det kväve som mineraliserats under växtsäsongen och tagits upp av grödan.

De mängder utnyttjbart markkväve som jorden levererade vid Sävstaås, Östra Höle och Gundbo kan i genomsnitt anses ligga ganska nära de medeltal för sådant kväve som redovisats i försök i Göta- och Svealand av Lindén (1987). I de senare fastställdes i medeltal 59 kg utnyttjbart markkväve per ha på gårdar utan djurhållning (max. 110 kg/ha, min. 22 kg/ha, n = 59). På gårdar med djur erhöles i medeltal 80 kg utnyttjbart markkväve per ha.

Tabell 31. Sammanställning av mängderna utnyttjat kväve från marken (kg N/ha), dvs. kväve som tagits upp av stråsäden, i försöken vid Sävstaås, Östra Höle, Gundbo och Bofara. Detta kväve bestämdes i leden utan tillförsel av mineralgödselkväve (0N-led) som totalkväve i grödornas ovanjordiska delar samt skattad kvävemängd i rötterna vid avslutad kväveupptagning. Vid Östra Höle beräknades mängden utnyttjbart markkväve på basis av totalkvävehållet i kärnskoroden. Vid Bofara ingår även utnyttjat kväve härstammande från den svinflytgödsel som spreds hösten före.

Försök	År:							
	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	Medeltal
Sävstaås					63	70		67
Östra Höle	27	54	32	32	68			43
Gundbo					66	73	56	65
Bofara					82	113	82	92
Medeltal								67

Tabell 32. Sammanställning av de beräknade mängderna utnyttjat, övervintrande mineralkväve (kg N/ha) i försöken vid Sävstaås (0-100 cm djup), Östra Höle (0-100 cm) och Gundbo (0-90 cm). Detta kväve har beräknats som skillnaden mellan mineralkväveförråden på våren före kvävegödsling och på sensommaren-förhösten (vid tiden för avslutad kväveupptagning). Vid Östra Höle utfördes den senare jordprovtagningen dock på förhösten (efter skörd), varför den utnyttjade mängden torde ha underskattats.

Försök	År:							
	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	Medeltal
Sävstaås								
0N					17	40		29
78N			12	20	14	26	32	19
Östra Höle								
0N	5	28	14	1	8			11
80N	0	21	19	1	7			10
Gundbo								
0N					13	33	24	23
90N					0	32	20	17

En del av det utnyttjade markkvävet utgörs som nämnts av mineralkväve som övervintrat i marken. Antar man att 1) inga förluster av mineralkväve ägt rum från vårprovtagningarna till provtagningarna vid avslutad kväveupptagning, att 2) kväve som mineraliserats under växtsäsongen helt utnyttjats och att 3) allt gödselkväve förbrukats på ett eller annat sätt, kan den utnyttjade delen av mineralkvävet beräknas som den minskning i mängd som uppstod från våren till avslutad kväveupptagning. Av tabell 32 framgår sådana beräkningar dels för leden utan kvävegödsling (0N) och dels för leden med kvävetillförsel på våren (78N vid Sävstaås, 80N vid Östra Höle och 90N vid Gundbo). I leden utan kvävegödsling tycks i allmänhet 10-30 kg mineralkväve per ha utnyttjats. Med kvävegödsling blev de utnyttjade resterna större, varför i storleksordningen 10-20 kg/ha av mineralkvävet då kan sägas ha tagits upp av grödorna. Det övervintrande mineralkvävet bidrag till grödornas kväveförsörjning var sammantaget ganska litet i dessa försök.

Metod för bedömning av markens kväveleverans och av verkan av höstspridd stallgödsel - för exaktare kvävegödsling

Det utnyttjbara markkvävet kan anses utgöras av kväve som mineraliserats i jorden dels från den föregående hösten till våren och dels under växtsäsongen i fråga. Eftersom ett varmare klimat medför längre och varmare höstar, mildare vintrar, tidigare vårar samt längre växtsäsonger, torde detta medföra ökad mineralisering av kväve på årsbasis. En sådan utveckling kan påverka behovet av gödselkväve.

Uppgifter om tillgången på utnyttjbart markkväve (såsom i försöken vid Sävstaås, Östra Höle och Gundbo, tabell 31) behövs för anpassning av kvävegödslingen i det praktiska jordbruket. För detta kan man i likhet med 0N-rutorna i försöken i Hälsingland använda s.k. nollrutor, som avser små rutor utan kvävegödsling under det aktuella året på fält med stråsäd. Det föreslås här, att man även använder nollrutor för att uppskatta kvävetillgången efter stallgödselspridning på hösten, såsom i försöket vid Bofara, men även efter vårspridning.

Används nollrutor under några år efter varandra, får man en serie resultat liknande dem i tabell 31. Dessa visar skillnader i kväveleverans mellan åren, t.ex. efter olika förfrukter. Väntar man till mognaden för bestämning av grödans kväveupptag i nollrutor, kan dock årets resultat utnyttjas först under ett efterföljande år. Ett annat problem är hur man skall kunna bestämma kväveupptaget i nollrutorna på ett enkelt sätt i praktisk odling. Detta återstår att lösa. För att under pågående växtsäsong ändå få ett mått på jordens kväveleverans kan man inför spridningen av en andra kvävegiva bedöma skillnaden i grödans utveckling inom nollrutan och inom det omgivande fältet (Greppa Näringen, 2017; Börling et al., 2018; Fällman, 2019).

Grödornas utnyttjande av mineralkväve på olika markdjup i relation till markegenskaperna

Efter tjällossning och viss upptorkning på våren var mängderna mineralkväve i marken (0-100 cm eller 0-90 cm djup) i försöken vid Sävstaås, Östra Höle och Gundbo förhållandevis stora i jämförelse med andra årstider (tabell 16, 22, 25 och 33). Provtagningarna vid Sävstaås visade dessutom, att mängderna ammonium- och nitratkväve nådde sina högsta årsvärden efter kvävegödslingen i samband med vårbruket (figur 1, 4, 7 och 10). Genom stråsådesgrödornas kväveupptagning började så småningom förråden av sådant kväve att minska. I början eller mitten av juli återstod inte mer än före gödslingen på våren. Under sommarens lopp reducerades sedan mineralkvävet ytterligare genom grödornas fortsatta kväveupptagning. Minst mineralkväve fastställdes vid tiden för gulmognad och avslutad kväveupptagning i augusti eller i några fall i

Tabell 33. Sammanfattande data för mineralkväve vid olika tidpunkter i medeltal i försöken vid Sävstaås (1978-84, jmf. tabell 16), Östra Höle (1978-82, jmf. tabell 22) och Gundbo (1981-84, jmf. tabell 25): 1) på våren, 2) vid tiden för minsta mängd i marken (sensommar), 3) i början av hösten (en kort tid efter skörden) och 4) på senhösten.

	Vår, före vårbruk		Minsta mängd		Efter skörd		Senhöst	
	Datum	kg N/ha	Datum	kg N/ha	Datum	kg N/ha	Datum	kg N/ha
<i>Sävstaås (0-100 cm djup):</i>								
0N (n = 2)*	4/5	66	28/8	37	14/9	38	31/10	58
78N (n = 5-7)	29/4	64	20/8	45	13/9	48	14/11	65
<i>Östra Höle (0-100 cm djup):</i>								
0N (n = 5)	3/5	41	-	-	15/9	30	-	-
80N (n = 5)	3/5	45	-	-	15/9	35	-	-
<i>Gundbo (0-90 cm djup):</i>								
0N (n = 3)	4/5	52**	10/8	29	-	-	-	-
90N (n = 3)	4/5	52**	10/8	36	-	-	-	-

*) Bara 1982 och 1983. **) Gemensamma prover för 0N och 90N.

början av september (år med sen grödutveckling). I detta skede fanns det betydligt mindre mineralkvävemängder i marken än före gödslingen på våren (tabell 33). Det är högst troligt att skillnaden i mineralkväve mellan vår och avslutad kväveupptagning (vid Sävstaås i medeltal 64 – 45 = 19 kg N/ha) huvudsakligen utgjordes av kväve som tagits upp av grödorna.

Behovet av gödselkväve blir större, om tillgången på utnyttjbart markkväve är liten eller måttlig och avkastningspotentialen samtidigt är högre (jmf. Lindén et al., 1992b; Engström, 2010). I jorden vid **Gundbo** (mjällig mellanlera) var mängden utnyttjbart markkväve medelmåttig (i medeltal 65 kg N/ha, tabell 24 och 31), men avkastningen blev förhållandevis stor (tabell 24). Därför kan den tillförda kvävegivan 90 kg N/ha sannolikt inte anses ha varit för stor. De små mineralkväveresterna (varav ”bara” 5 kg nitratkväve per ha inom 0-90 cm i både led 0N och 90N) vid avslutad kväveupptagning tyder på detta (tabell 25 och 27; figur 20). Mineralkvävet i alvskikten (30-60 och 60-90 cm) tycktes ha utnyttjats väl av korngrödorna vid Gundbo. Rötter fastställdes visuellt i alven ned till ca 80 cm djup. Det är troligt att kväve utnyttjats ned till 80-90 cm djup.

Vid **Östra Höle** (0-40 cm djup: moig lättlera, 40-100 cm: mjällig mo) fanns det i led A (0N), B (40N) och C (80N) förhållandevis små mineralkväveförråd såväl på våren som på hösten (tabell 22 och 33; figur 14-18). Mängden utnyttjbart markkväve (tabell 20) var därför liten eller måttlig, utom det sista året 1982. De år då marken vid Östra Höle levererade mer kväve än annars genom större övervintrande mineralkväveförråd, blev skördarna i ledet utan kvävegödsling högre än annars (tabell 21 och 22). Mineralkvävet i alven tycktes ha utnyttjats väl, trots rötter bara till ca 40 cm djup. Det är troligt att kapillärlag bidragit till detta genom upptransport av nitratkväve till rotzonen. I början på hösten (medeldatum: 15/9) fanns det 5 kg/ha mer mineralkväve i det normalgödslande ledet (80N) än utan kvävegödsling alla år (0N), se tabell 22 och 33.

I försöket vid **Sävstaås** (lätt mellanlera, styv lera-mellanlera i alven) fanns det rötter ganska frekvent ned till 60-80 cm djup, men bara enstaka inom 80-100 cm. Mineralkväveresterna vid

avslutad kväveupptagning blev minst 1983 och 1984 (tabell 16 och 33), då mineralkväve tycktes ha tagits upp av grödorna ned till ca 80 cm djup (figur 8 och 11). Dessa båda år erhöles goda kärnskördar, ca 5100 kg/ha (tabell 14). Under de föregående åren utnyttjades befintligt mineralkväve inte lika djupt ned i marken, vilket sammanföll med lägre skördar (2030-3680 kg/ha) och därmed antagligen mindre kvävebehov hos grödorna. Resultaten från Sävstaås tyder på att förhållanden som gynnar god avkastning förbättrar kväveutnyttjandet i marken. Detta är i överensstämmelse med resultat från undersökningar på lerjord vid Lanna i Västergötland (Aronsson et al., 2006), där bättre avkastning tycktes minska kväveutlakningen.

I försöket vid **Bofara** 1982-84 på lättlera (mjällig mellanlera i alven) tillfördes ju ca 40 ton svinflytgödsel per ha varje höst. Grödan (korn) gav som nämnts ganska god skörd, i medeltal 4350 kg/ha i ledet med kompletteringsgödsling på våren med 50 kg N/ha. Stora mängder mineralkväve fanns inom hela provtagningsdjupet (0-90 cm) på våren till följd av spridningen av flytgödsel på hösten (figur 21-23). Även om rötter kunde fastställas ned till ca 80 cm djup, utnyttjades kvävet i alvskikten (30-60 och 60-90 cm) dåligt av kornet. Detta gäller även i ledet utan kompletteringsgödsling på våren, där dock i medeltal 92 kg N/ha från marken togs tillvara av kornet (tabell 28 och 31). Detta utnyttjade kväve synes huvudsakligen ha befunnit sig i matjorden och allra överst i alven. I det utnyttjade kvävet ingår kväve som flytgödseln bidragit med. Det borde givetvis ha blivit ett effektivare utnyttjande av kvävet i flytgödseln, om denna spritts på våren och detta kväve då enbart hamnat i matjorden efter jordbearbetning.

I det nämnda försöket på styv lera vid Lanna i Västergötland (Lindén, 2017) var kväveutlakningen förhållandevis liten. Denna jord har en god aggregatstruktur och påtaglig sprickbildning långt ned i alven, vilket medförde att rötterna i försöket i fråga trängde ned till minst en meters djup, i vissa fall ända till ca 1,5 m djup. Markstrukturförhållandena i denna jord kan förmodas vara representativa för en stor andel av mellanlerorna och de styva lerorna inom det mellan-svenska låglandet, såsom i Östergötland samt i mellersta och södra Uppland. Det stora rotdjupet i Lanna-försöket ledde uppenbarligen till att mineralkväve kunde tas upp av grödorna längre ned i marken än i de fyra försöken i Hälsingland. I de senare tycktes mineralkväve i alven i allmänhet kunna utnyttjas ned till grovt räknat 80 cm djup, men vid Bofara och vissa år vid Sävstaås sämre än så. Sprickbildningen i alven var mindre frekvent på lerjordarna i försöken vid Sävstaås, Gundbo och Bofara än vid Lanna. I den lättare jorden vid Östa Höle var rotsystemet som nämnts grunt (ned till ca 40 cm).

Gott kväveutnyttjande i alven i försöken i Hälsingland förutsatte vidare, att kvävetillgången (inkl. mängden gödselkväve) var väl anpassad till grödans behov. Vid högre avkastningsnivåer tycktes kvävet i alven som nämnts utnyttjas bättre än om skörden blev svag. Goda väderförhållanden och välriktade odlingsåtgärder (andra faktorer än kvävegödsling), som gynnar god avkastning, bör därför förbättra kväveupptaget från marken och minska mineralkväveresterna vid mognad – i nutiden och framtiden. Detta reducerar i sin tur kväveutlakningsriskerna. Men i de nämnda jordarna i Hälsingland bör det p.g.a. mindre rotdjup finnas större risk än vid Lanna i Västergötland att kväve, som under vinterhalvåret vaskats djupare ned i alven, går förlorat i ett senare skede. Det kväve som förblir outnyttjat av grödorna i de djupare delarna av alven riskerar ju efter växtsäsongen att röra sig vidare nedåt och nå grundvatten, diken och andra vattendrag under efterföljande vinterhalvår. Frågan är då i vilken utsträckning jordarna i försöken vid Sävstaås, Östra Höle, Gundbo och Bofara är representativa för åkerjordar i Hälsingland med avseende på strukturen i alven och rotdjupet. Detta har inte kunnat undersökas.

Inverkan av kvävegödslingen under våren på de outnyttjade nitratkväveresterna vid avslutad kväveupptagning i försöken utan flytgödselspridning

Mängderna ammoniumkväve förändrades ganska lite från en årstid till en annan, uppenbarligen beroende på att de ammoniumjoner som bildas vid kvävemineralisering snabbt omvandlas till nitratjoner (se ovan). Vidare är ju ammoniumjonerna i hög grad adsorberade på markpartiklarna och följaktligen föga rörliga i marken. Istället är det nitratkvävet som är lättroligt och därmed normalt utgör den viktigaste, direkta orsaken till kväveutlakningen. Grödornas utnyttjande av nitratkväve på olika djup i marken under växtsäsongen är därför en faktor som påverkar kväveutlakningsrisken under efterföljande höst och vinterhalvår.

I försöket vid **Sävstaås** fanns det på vårarna 1980-84 i medeltal 40 kg nitratkväve per ha inom 0-100 cm djup (tabell 17). Vid tiden för avslutad kväveupptagning återstod 25 kg N/ha i det gödslade ledet (78N), och utan kvävegödsling (0N, 1982 och 1983) 19 kg N/ha. Vid denna tidpunkt 1982 och 1983 fanns det i led 78N således en outnyttjad nitratkväverest som i medeltal var 6 kg/ha större än i 0N. På 40-60, 60-80 och 80-100 cm djup återstod det vid denna tid 1978-84 i det kvävegödslade ledet i medeltal 4,7, 5,8 respektive 5,6 kg nitratkväve per ha, och i det ogödslade ledet 3,2, 3,8 respektive 5,1 kg/ha som medeltal för 1982 och 1983. Nitratkvävet i alven utnyttjades således ofullständigt av grödorna, även utan kvävegödsling. Detta innebär en viss ökad kväveutlakningsrisk.

I början på höstarna 1978-82 återfanns det på 40-60, 60-80 och 80-100 cm djup i ledet utan kvävegödsling (0N) i försöket vid **Östra Höle** i medeltal 2,3, 1,9 respektive 1,9 kg nitratkväve per ha (tabell 23). Med ”normal” kvävegödsling (80N) fastställdes vid samma tidpunkt 2,5, 2,4 respektive 1,9 kg/ha. Dessa restmängder får betraktas som små och borde innebära liten risk för påtagligare kväveförluster. I hela markprofilen 0-100 cm fanns det utan kvävegödsling i medeltal 15,7 kg nitratkväve per ha i början på höstarna. Med kvävegödsling fastställdes 17,3 kg/ha, dvs. ca 1,5 kg/ha mer.

I försöket vid **Gundbo** fastställdes det på 30-60 och 60-90 cm djup under vårarna 1982-84 i medeltal 8,4 respektive 3,9 kg nitratkväve per ha (tabell 27). Vid avslutad kväveupptagning återstod bara 0,8 respektive 0,8 kg/ha i ledet utan kvävegödsling (0N) och 1,1 respektive 1,4 kg/ha i ledet med tillförsel av 90 kg N/ha (90N). I hela markprofilen 0-90 cm fastställdes i 0N 4,6 kg nitratkväve per ha och i 90N 5,2 kg/ha, en skillnad på 0,6 kg N/ha. Kväveutnyttjandet i alven blev således mycket gott, även i det gödslade ledet. Detta måste innebära obetydligt ökad kväveutlakningsrisk vid gödslingsnivån i fråga.

Gödsling med ”normala” kvävemängder på våren till vårsäd (med förfrukt vårsäd) innebar i dessa tre försök i Hälsingland, att det vid avslutad kväveupptagning vanligen blev kvar ca 1-6 kg/ha mer nitratkväve i markprofilerna (0-100 eller 0-90 cm djup) än utan kvävegödsling. Beaktas summan av ammonium- och nitratkvävet (dvs. mineralkvävet) blir skillnaden något större (tabell 33): 8 kg N/ha mer vid Sävstaås, 5 kg N/ha mer vid Östra Höle och 7 kg N/ha mer vid Gundbo genom kvävegödslingen. Dessa resultat kan jämföras med liknande undersökningar i Västergötland. I ett försök på lerjord vid Lanna tillfördes 1988-92 årligen 100-110 kg N/ha som mineralgödselkväve till vårsädesgrödor (tre år) och 140 kg N/ha till vårraps (ett år), se Lindén et al. (1993). Inom 0-90 cm djup fanns det vid avslutad kväveupptagning i medeltal 2-5 kg/ha mer mineralkväve än utan kvävegödsling. I ett försök på mojord i Västergötland fastställdes det inom 0-90 cm djup vid avslutad kväveupptagning hos vårsäd 1993-98 i genomsnitt 2-3 kg

mineralkväve mer efter tillförsel av 90 kg N/ha på våren än utan kvävegödsling samma år (Lindén et al., 1999). I en samnordisk undersökning (Lindén et al., 1992b) erhöles det i medeltal 5 kg mer mineralkväve per ha inom 0-100 cm djup efter ekonomiskt optimal kvävegödsling till korn än utan gödselkväve samma år. Dessa jämförelser av de ökade mängder restkväve, som ”normal” gödsling orsakat i relation till ogödslat, tyder på små skillnader mellan olika jordbruksområden, men vårsädesgrödorna i försöket vid Sävstaås tycktes utnyttja kväve i marken något mindre effektivt. Orsakerna kan vara något grundare rotsystem p.g.a. mindre sprickbildning djupare ned i alven, kortare växtsäsong och delvis låga kärnskördar. Ett varmare framtida klimat, som medger högre skördar, kan i sådana fall tänkas förbättra kväveutnyttjandet i viss mån vid normal gödsling.

Vårsädesgrödornas utnyttjande av stora mängder övervintrande mineralkväve

I tre av försöken skapades stora mineralkväveförråd på höstarna för att undersöka, i vilken utsträckning detta kväve kunde tas upp av grödorna under efterföljande växtsäsong. I försöket vid Sävstaås anlades helträda (svartträda) 1979, där mineraliserat kväve anhopades i markprofilen under sommaren. Våren därpå tillfördes 80 kg N/ha som mineralgödselkväve för att belysa en situation, där ”brukaren” inte tänktes vara medveten om anhopningen av kväve på trädan. Vid Östra Höle infördes ett led med tillförsel av 100 kg N/ha som kalksalpeter höstarna 1979-81. Inget kväve tillfördes i detta led på våren. I försöket vid Bofara spreds svinflytgödsel (ca 40 ton/ha) höstarna 1980-83, varefter en uppdelning på två led skedde följande vårar: det ena utan mineralgödselkväve och det andra med 50 kg N/ha i form av kalkkamonsalpeter som kompletteringsgödsling.

I lerjorden på helträdan vid **Sävstaås** fanns det 159 kg mineralkväve per ha inom 0-100 cm djup den 19 september 1979, jämfört med 47 kg N/ha vid samma tidpunkt efter havre med vårsäd som förfrukt (figur 12). Det mesta av kvävet på trädan fanns i markens övre delar. På våren 1980 fastställdes 120 kg N/ha, alltså närmare 40 kg/ha mindre än på hösten. Trots nederbördsvattnets nedträngning i marken under vinterhalvåret återfanns dock det mesta av detta mineralkväve i de övre markskikten. Detta kan tänkas bero på att den kalla vintern (tabell 8) medförde kraftig tjäle, som motverkade perkolation av vatten genom markprofilen och då kanske även gav upphov till viss ytavrinning på våren (jmf. Gustafson & Torstensson, 1983). Grödan 1980 (korn) tycktes kunna utnyttja det mesta av mineralkvävet på trädan, åtminstone till 80 cm djup. I början av september 1980, strax efter skörden, återstod det 59 kg mineralkväve per ha inom 0-100 cm djup. Om inga förluster av mineralkväve antas ha uppkommit under växtsäsongen, innebär detta att kornet skulle ha kunnat utnyttja $120 - 59 = 61$ kg N/ha. I det ordinarie ledet (med stråsäd som förfrukt) fanns 54 kg N/ha efter kornskörden. Även om en stor del av kvävet från trädan kunde utnyttjas, visar resultaten att man bör minska kvävegödslingen året efter svartträda, jämfört med stråsäd som förfrukt.

I den lättare jorden i försöket vid **Östra Höle** fastställdes efter gödslingen med kalksalpeter höstarna 1979-81 (led 100N Höst) stora mängder mineralkväve på våarna därefter (figur 16-18): 118, 123 och 113 kg N/ha inom 0-100 cm djup i början av maj 1980, 1981 respektive 1982. I ledet utan kvävegödsling (led 0N) erhöles vid samma tidpunkt 45, 45 respektive 58 kg N/ha. I led 100N Höst fanns det mesta av mineralkvävet upptill i markprofilen våarna 1980 och 191, men våren 1982 låg tyngdpunkten i fördelningen på ca 40-60 cm. Det torde ha varit de förhållandevis kalla vintrarna (tabell 8), med långvarig tjäle i marken, som gjorde att kvävet i så stor utsträckning fanns kvar inom 100 cm djup på denna lättare jord. Vidare kan ytavrinning tack

vare tjälen ha minskat överskottsvattnets perkolations ned genom jorden och därmed motverkat förluster av kväve (jmf. Gustafson & Torstensson, 1983. En kort tid efter skörden av vårsåden dessa år (1980, 1981, och 1982) fanns det 33, 58 respektive 78 kg mineralkväve per ha inom 0-100 cm. Mängderna hade under växtsäsongen minskat ned till 80-100 cm djup. Det tycks som om upptransport av kväve genom kapillär stigning till rotzonen möjliggjort kväveutnyttjande ned till detta djup.

Efter den årliga spridningen av svinflytgödsel på hösten i försöket på lättlera (mjällig mellanlera i alven) vid **Bofara** fastställdes det under vårarna 1982, 1983 och 1984 stora mängder mineralkväve på 30-60 och 60-90 cm djup (figur 19, 20 och 21). Kväve från flytgödseln hade uppenbarligen rört sig nedåt och fördelats ned till minst 90 cm djup under hösten och vintern. I början av maj 1982 fanns det 81 kg mineralkväve per ha inom 0-90 cm djup. I ledet utan kvävegödsling på våren minskade förrådet till 63 kg N/ha vid avslutad kväveupptagning i mitten av augusti. Grödans utnyttjande av mineralkvävet var dåligt inom 30-60 cm och troligen inget alls på 60-90 cm djup. Våren 1983 fastställdes det 127 kg mineralkväve per ha inom 0-90 cm, och utan kvävegödsling på våren återstod det 48 kg/ha den 11/8. Kväve hade utnyttjats ganska väl på 30-60 cm men bara delvis på 60-90 cm djup. Den 19 april 1984 fanns det 135 kg mineralkväve per ha (0-90 cm). Den 8/8 återstod 64 kg/ha i ledet utan kompletteringsgödsling på våren. Kvävet på 30-60 cm tycktes delvis ha utnyttjats men nästan inget på 60-90 cm djup. I det led som kompletteringsgödselats med 50 kg N/ha på våren fanns det 7-10 kg mer mineralkväve kvar vid avslutad kväveupptagning i augusti-september 1982-84 än utan denna vårgödsling. Trots ganska goda kornskördar i försöket vid Bofara (i medeltal 4350 kg/ha 1982-84 i ledet med kompletteringsgödsling, tabell 28) utnyttjades som framgått mineralkvävet i alven högst ofullständigt. Även om rötter hade konstaterats ned till ca 80 cm djup i denna mjälliga mellanlera, måste rotsystemet i alven ha varit alltför glest för ett effektivt kväveupptag i alvsikten. Huvudorsaken torde dock vara att kvävetillgången ytligt i marken var så god, att korngrödan inte "behövde" ta upp djupare beläget kväve.

Med anledning av resultaten från lerjorden vid Bofara kan man ställa sig frågan, i vilken utsträckning det finns liknande lerjordar i Hälsingland, på vilka grödorna har begränsade möjligheter att under växtsäsongen ta upp kväve som vaskats djupare ned i alven under hösten och vintern dessförinnan. Även i lerjorden vid Sävstaås blev ju utnyttjandet av mineralkväve ofullständigt djupare ned i alven. Däremot tog grödorna i försöken vid Gunbo (lerjord) och Östra Höle (lättare jord) uppenbarligen upp kväve effektivt ned till ca 80-90 cm djup. Resultaten visar vidare, att man även i ett kallare klimat såsom i Hälsingland 1978-84 bör undvika situationer med större mineralkväveförråd i alven på hösten, såsom efter helträda under sommaren och efter flytgödselspridning på hösten.

Kvävemineralisering under hösten och vintern – en orsak till kväveutlakningen

Som nämnts nådde mineralkväveförråden i marken vid **Sävstaås** (0-100 cm djup) sina troligen lägsta värden i augusti eller början av september, dvs. vid tiden för avslutad kväveupptagning (tabell 16 och 33). Mineralkvävemängderna i försöket började sedan öka igen, uppenbarligen genom fortsatt kvävemineralisering. Ökningarna pågick fram till senhösten, men i vissa fall uppkom därefter minskningar, troligen genom förluster orsakade av höstnederbörden. Detta innebär likväl en genomsnittlig ökning med $65 - 45 = 20$ kg N/ha (jmf. tabell 16 och 33) vid Sävstaås från tiden för avslutad kväveupptagning (medeldatum för provtagning: 20/8) fram till en tid kort före vinterns ankomst (medeldatum för provtagning: 14/11). Som jämförelse kan nämnas, att det på en styv lerjord vid Lanna i Västergötland 1979-84 fastställdes en ökning av

mineralkvävet (0-100 cm djup) med i medeltal 9 kg N/ha från avslutad kväveupptagning till november i en växtföljd med huvudsakligen stråsäd och med 19 kg N/ha i en kornmonokultur med höstspredning av svinflytgödsel vart annat år (Lindén, 2017). Den senare ökningen gäller höstar utan flytgödseltillförsel. På en mojord i Västergötland uppgick motsvarande kvävetillskott åren 1993-98 till i genomsnitt 12 kg N/ha inom 0-90 cm djup (Lindén et al., 1999). Den något större ökningen av mineralkväveförrådet vid Sävstaås, trots kallare klimat i Hälsingland, kan bero på den jämförelsevis höga mullhalten i matjorden (7,6 %).

Mineralkväveförråden blev ganska oförändrade från senhösten och fram till våren i försöket vid Sävstaås: i medeltal 65 kg N/ha inom 0-100 cm djup på senhöstarna (medeldatum: 14/11) och 64 kg N/ha under vårarna (medeldatum: 29/4), dvs. en kort tid före vårbruket (tabell 16 och 33). Jämförs emellertid enskilda senhöstar med efterföljande vårar fås för 1979/80, 1980/81, 1981/82, 1982/83 och 1983/84 följande förändringar av mineralkväveförråden under vinterperioden: -12, -3, +1, -2 respektive +6 kg N/ha, dvs. en medelminskning med 2 kg N/ha från senhöst till tiden strax före vårbruket. Sammantaget kan dessa förluster anses vara små. Det är troligt att de minskningar som förekom under tre av de fem vinterhalvåren till en del berodde på förluster av mineralkväve i samband med snösmältningen och avdränningen av överskottsvatten på våren. Nettotillskottet av mineralkväve i jorden vid Sävstaås från avslutad kväveupptagning till våren uppgick i medeltal till 19 kg N/ha.

Förändringarna från senhösten till våren i försöket vid Sävstaås kan jämföras med motsvarande utveckling i två odlingssystem på Lanna i Västergötland, det ena med huvudsakligen stråsådesgrödor och det andra en kornmonokultur. Där tilltog mineralkvävet 1979-84 med 4 respektive 6 kg N/ha från november till mars (Lindén, 2017). Tas hänsyn till utlakningen av nitratkväve (i genomsnitt 4 kg N/ha), kan ett kvävemineralsättningstillskott på 8 respektive 10 kg N/ha beräknas för denna tid. I det nämnda försöket på mojord i Västergötland (Lindén et al., 1999) tilltog mineralkvävet med ca 3 kg N/ha från november till den senare delen av april, som medeltal för åren 1993-98. På denna mojord uppgick utlakningen av totalkväve under motsvarande period till i genomsnitt 20 kg N/ha. Summeras mineralkväveökningen och kväveutlakningen, fås ett mineraliseringstillskott på troligen ca 20 kg N/ha under vinterperioden. De påtagliga mineraliseringstillskotten under vinterperioden i dessa båda jordarna i Västergötland kan innebära att kvävefrigörelse i liknande omfattning även uppkommer vintertid i ett framtida varmare klimat i Hälsingland.

I försöket vid **Gundbo** ökade mineralkväveförrådet (0-90 cm) under vintern och tidigt på våren 1983/84 från 52 kg N/ha den 5/11 till 59 kg N/ha den 4/5 (+7 kg N/ha), se figur 20. Trots det då rådande, jämförelsevis kallare klimatet åren 1979-84 (tabell 8) kunde det tydligen uppkomma smärre kvävemineralsättningstillskott under vinterhalvåret (november-april). Vid Gunbo flyttades försöket en kort sträcka varje år. Antas mineralkvävemängderna vid avslutad kväveupptagning på de nya platserna ha varit desamma som i ledet med en kvävegiva på 90 kg N/ha, kan nettoökningen av mineralkväveförråden från avslutad kväveupptagning (medeldatum för provtagning: 10/8) till efterföljande vår (medeldatum: 4/5) uppskattas till i genomsnitt 16 kg N/ha under de tre försöksåren.

Vid **Östra Höle**, där jordprovtagning bara utfördes efter skörd på hösten och tidigt på våren, blev det en nettoökning av mineralkvävet (0-100 cm) från 32 kg efter skörd (medeldatum för provtagning: 15/9) till 42 kg/ha på våren (3/5), se tabell 22. Detta tillskott (10 kg N/ha) bör främst ha tillkommit under höstmånaderna. Hade jordprovtagning istället skett vid avslutad kväveupptagning, borde tillskottet ha blivit några kg N/ha större.

Av resultaten från Sävstaås, Gundbo och Östra Höle framgår att man kan räkna med ett nettotillskott av mineraliserat från augusti eller början av september till månadsskiftet april-maj på 10-20 kg N/ha i dessa jordar. De faktiskt frigjorda kvävemängderna kan givetvis ha varit större än så, till följd av kväveförluster under vinterhalvåret.

Denna nettoökning från höst till vår utgör en del av mineralkvävet årscykel vid odling av t.ex. vårsäd år efter år. Dessa resultat från försöken i Hälsingland stämmer väl överens med erfarenheter från undersökningar längre söderut i landet (Linden, 1981 och 2017). Det övervintrande mineralförrådet utnyttjas av grödan under den efterföljande växtsäsongen, tills ett minimum åter nås vid avslutad kväveupptagning. Efter väl anpassad kvävegödsling, som enligt ovan bara medför smärre ökning av de outnyttjade kväveresterna i marken, torde kvävemineraliseringen under hösten och även under delar av vintern normalt vara den främsta orsaken till kväveutlakning från åkerjord under vinterhalvåret, fram till markens upptorkning under våren.

Höst- och vintermineralisering av kväve i ett varmare, framtida klimat

Ett framtida varmare klimat i t.ex. Gävleborgs län medför att växtsäsongen börjar tidigare och avslutas senare än i försöken där 1978-84, och även i jämförelse med nutiden. Detta gör det som nämnts möjligt att odla senare och högre avkastande sorter av t.ex. vårkorn och havre i denna landsdel. Andra växtslag kan få ökad areal, såsom vårvete, höstvete, rågvete, våraps och höstraps (se ovan). Likväl torde sådana ettåriga grödorna (utom vårvete och våraps) då komma att mogna tidigare än kornet och havren i försöken i Hälsingland 1978-84 och i nutiden. Mognad och skörd inträffar ju normalt tidigare i södra Sverige än i Hälsingland. Detta innebär att kväveupptagningen kommer att avslutas tidigare. Därmed börjar mineraliserat kväve att anhopas i marken tidigare. Samtidigt medför mildare höstar, att kvävefrigörelsen kan ske fortare och pågå längre, innan marken fryser vid vinterns inbrott (och om den överhuvudtaget fryser i framtiden).

Temperaturens betydelse för höstmineraliseringens storlek framgår av inkubationsstudier under fältförhållanden på fyra skilda platser i Sverige utförda av Lindén et al. (2003). Matjord från Götala i Västergötland användes i undersökningarna på de fyra ställena och under två olika år (2000 och 2001). Platserna utgjordes av åkerfält vid Lilla Böslid i södra Halland, Lanna i Västergötland, Hamre i södra Dalarna och Röbbäcksdalen nära Umeå i södra Västerbotten. För inkubationsundersökningarna år 2000 tillsattes en sandig mojord i plastflaskor. Dessa sattes ut inom 10-20 cm djup på fälten på de fyra platserna omkring den 15 september. Omkring den 1 december togs flaskorna upp för analys. Studierna upprepades 2001 med utsättning av flaskorna med en moig sandjord omkring den 1 oktober, varefter de togs upp för analys ca 15 december. I studierna år 2000 mineraliserades det under den angivna höstperioden vid Lilla Böslid, Lanna, Hamre och Röbbäcksdalen kvävemängder motsvarande 20, 19, 17 respektive 14 kg N/ha, beräknat för ett 10-cm-skikt i matjorden. I höststudierna 2001 erhöles mineraliseringstillskott på 12, 10, 7 respektive 8 kg N/ha. För ett 20 cm tjockt matjordsskikt blir tillskotten dubbelt så stora, och likaså skillnaderna mellan platserna. Resultaten visar att tillskotten av mineraliserat kväve blev störst vid Lilla Böslid längst i söder och avtog norrut. Man kan förmoda, att de mineraliserade kvävemängderna skulle bli större på de nordligare platserna Hamre och Röbbäcksdalen, om temperaturen vore så hög under hösten som vid Lilla Böslid och Lanna. Ett framtida varmare klimat bör därför medföra tilltagande höstmineralisering i åkerjord, exempelvis i Gävleborgs län.

Genom framtida mildare vintrar i t.ex. Gävleborgs län kan kvävemineraliseringen i större utsträckning även fortgå under denna årstid såsom i de nämnda försöken i Västergötland (Lindén et al., 1999; Lindén, 2017), t.ex. i ofrusen mark i samband med tövädersperioder. Tjäljen blir troligen grundare och kortvarigare. Snö kan falla på ofrusen mark, så att kvävemineraliseringen

ändå kan fortgå genom snöns isolerande verkan (jmf. Lindén et al., 2003). Kvävefrigörelsen stoppas således inte upp av frusen jord i samma utsträckning som i ett kallare klimat. Våren kommer dessutom tidigare. Allt detta kan innebära att större kvävemängder frigörs från avslutad kväveupptagning på sensommaren till våren. Denna förändring i jämförelse med försöken åren 1974-84 torde redan (under 2010-talet) ha påbörjats. Av tabell 10 framgår att årsmedeltemperaturen vid SMHI:s meteorologiska station Hudiksvall i Hälsingland ökat med 1°C från 1978-84 till 2010-17. Temperaturökningen var dessutom störst under de kalla årstiderna. Samtidigt tycktes vinternederbörden stiga, enligt data från Simeå norr om Bollnäs (tabell 11).

En sådan ökad höst- och vintermineralisering genom högre temperaturer kan medföra större kväveförluster genom utlakning, särskilt om vinternederbörden tilltar. Med mindre tjäle i marken och större andel töperioder kan överskottsvatten perkolera ned genom marken under längre perioder än exempelvis under åren 1978-84, då försöken i Hälsingland genomfördes. Nedvaskningen av nitratkväve från höst till vår ned till djupare delar av alven var där normalt liten eller måttlig. I försöket vid Östra Höle syntes överskottsvattnet överst i marken under vårarna 1979 och 1981 ha ”dämts upp” av tjälen, så att perkolationen till djupare alvskikt hindrades eller minskades. Vid fyra av de fem vårprovtagningarna vid Östra Höle tycktes inte nämnvärt med vatten från snösmältningen ha nått ned till de djupare alvskikten, utan detta vatten torde delvis ha avbördats från marken på annat sätt (förmodligen genom dels ytavrinning och dels avdunstning vid jordens upptorkning på våren). Det är troligt att långvarig tjäle på så sätt hindrade eller bromsade nedvaskningen av nitratkväve i marken under en större del av vinterperioden, såsom figur 14-18 visar (jmf. Gustafson & Torstensson, 1983 och 1984b). Visserligen bör det vatten som avbördas genom ytavrinning också innehålla en del kväve, men med detta ytavrinnande vatten transporteras mindre kvävemängder än med dräneringsvattnet enligt undersökningar 1975-81 av Gustafson & Torstensson (1983) på ett svagt sluttande fält med övervägande lerig mo vid Röbbäcksdalen i södra Västerbotten.

I undersökningarna vid Röbbäcksdalen varierade den årliga ytavrinningen från 116 till 232 mm och utgjorde i genomsnitt 68 % av den totala årsavrinningen. På en mjälalättlera i södra Dalarna (10 % lutning) redovisade Persson (2000) i medeltal för åren 1993-98 en ytavrinning på drygt 60 mm, som mest 157 och 185 mm. Brink et al. (1983) fastställde i ett försök på en postglacial lera (5-6 % lutning) vid Flinkesta i Södermanland 1977-82 årliga variationer i ytavrinningen från 171 mm 1978 till 10 mm 1982. Hög vinternederbörd och kraftig tjäle medförde där stor ytavrinning. Omfattningen av ytavrinningen varierade enligt dessa olika undersökningar geografiskt och mellan åren, beroende på vintervädret. Sådana variationer borde ha haft skiftande betydelse för nedvaskning av kväve i åkermark under vinterhalvåret och för utlakningen av nitratkväve. Med allt mildare vintrar, mer barmark och mindre tjäle bör ytavrinningen generellt minska. Numera tycks ytavrinning normalt saknas på planare eller något sluttande jordar i t.ex. Mälardalen. Gränsen för detta torde förflyttas alltmer norrut.

Gävleborgs län: Inverkan på kväveutlakningen av jordbrukets utveckling sedan slutet av 1970-talet och troliga förändringar i framtiden

De fyra försöken vid Sävstaås, Östra Höle, Gundbo och Bofara var belägna i södra Hälsingland och därmed ganska centralt i Gävleborgs län. Från tiden för försöken (1978-84) har jordbruket i länet genomgått förändringar fram till nutiden, vilka måste ha reducerat den totala kväveutlakningen från länets åkermark. Till dessa utlakningspåverkande skeenden hör, att den samlade åkermarken i Gävleborgs län minskade från ca 80000 ha 1978 till 66500 ha år 2016 (figur 24). Minskningen (-17 %) kan till en liten del bero på att åker tagits i anspråk för bebyggelse, vägar m.m. Men den största delen av bortfallet avser uppenbarligen nedlagd åkermark, som

lämnats att växa igen, planterats med skog eller hålls öppen genom någon slags landskapsvårdande skötsel. Den reducerade åkerarealen måste totalt sett innebära minskade kväveförluster till grund- och ytvatten.

Av landets totala åkerareal 2016 fanns bara ca 2,6 % i Gävleborgs län. Detta innebär i princip, att länets åkermark endast till en ringa del bidrar till växtnäringstillförseln till haven i Sveriges närhet. Härtill kommer förändringar i användningen av den bestående åkermarken, som tyder på att länets jordbruk allt mindre belastar grund- och ytvatten till följd av växtnäringstillförluster. Spannmålsarealen i Gävleborgs län (huvudsakligen korn och havre) reducerades från 39000 ha 1978 till bara 14600 ha 2018 (figur 24 och 26). I spannmålsarealen 2014-18 ingick höstvetete på knappt 1000 ha och vårvete på 2200 ha som medeltal för denna årsräcka, men odlingen tenderade att öka något (figur 26). Arealen råg och rågvete var blygsam och omfattade ca 40 ha respektive 80 ha 2014-18. Oljeväxtodlingen har sedan början av 2000-talet uppgått till i storleksordningen 300 ha men har tenderat att öka (figur 27). Baljväxter (främst foderarter) har under samma period odlats på grovt räknat 100-250 ha (figur 27). Det är således knappast alls så, att andra ettåriga grödor har ersatt den minskande arealen korn och havre.

Däremot ökade slåttervallen från 27500 ha 1978 till 35400 ha år 2018 (figur 24). Det är troligt att en del av den minskade spannmålsodlingen ersatts med vallodling. Arealen betesmark och betesvall har dock under denna tid hållit sig ganska oförändrad på 4000-6000 respektive 6000-9000 ha. År 2016 upptog slätter- och betesvall tillsammans 63 % av åkerarealen i Gävleborgs län, medan spannmål odlade på 24 %.

Den starkt reducerade spannmålsarealen i Gävleborgs län (-63 %) måste ha medfört, att mineraliserat kväve, såsom i de ovan beskrivna försöken 1978-84, numera inte anhopas i länets åkermark på hösten i lika hög grad som tidigare. Den ökade vallarealen innebär därmed, att en större andel av den bestående åkern är bevuxen med en gröda som växer och tar upp kväve under en längre tidsperiod, med början tidigare på våren och med fortsättning längre in på hösten än vid odling av t.ex. vårsäd. Det är dessutom troligt, att en del av vallen har odlats och numera odlas mer eller mindre extensivt, med måttlig, liten eller ingen insats av gödselmedel. Anledningen är att antalet mjölkkor minskat, medan kor för köttjursproduktion ökat i antal (figur 25). Mjolkproduktion kräver ju foder med hög koncentration av protein och energi, vilket innebär behov av högvärdande slätter- och betesvallar samt kraftfoder i form av fodersäd m.m. Vid köttjursproduktion kan man istället använda mindre protein- och energirikt foder. Vall för vinterfoder till köttdjur kan därför produceras mer extensivt, med mindre gödsling och på mer långvariga vallar. Vidare har antalet får ökat, från exempelvis ca 11800 år 2000 till närmare 18600 år 2018. Fårskötsel innebär vanligtvis också en form av extensiv användning av åkerjord och utnyttjande av naturlig betesmark. Övergång till köttjurs- och fårproduktion, med extensivare markanvändning, bör vidare innebära att kväveutlakningen från åkermarken i fråga hålls på en mycket låg nivå. Ett tecken på denna extensivare odling är att i medeltal bara 65 % av åkerarealen i Gävleborgs län 1997-2016 gödslades med kväve i mineralgödsel och/eller stallgödsel (tabell 30). En del av den ogödslade åkern utgörs troligen av bevuxen ”träda”, i princip nedlagd åker där gräset slås av vissa år.

I framtiden torde åkerarealen i Gävleborgs län komma att minska ytterligare, bl.a. till följd av att sämre åkermark läggs ned. Den i genomsnitt allt äldre lantbrukarkåren i länet medför, att många brukare kommer att upphöra med driften i en nära framtid. Mjolkproduktionen kan av detta och andra skäl komma att minska på ytterligare ett antal gårdar, särskilt på dem med mindre besättningar. Även om man där övergår till köttdjur eller får, kommer då behovet av fodersäd (främst korn och havre) att bli mindre totalt sett i länet. Upphör djurhållningen på

gårdar där man behövt fodersäd, kommer spannmålsodlingen på åkermarken i fråga i många fall att upphöra, om det inte finns behov av tillskottsmark på andra gårdar i trakten. Orsaken är att lönsamheten skulle bli tveksam vid övergång till att odla stråsäd till avsalu där jorden är mindre lämplig, t.ex. genom ogynnsamma dränerings- och arronderingsförhållanden samt sämre lokalklimat. I sådana fall kan odlingen av marken även komma att upphöra. Slutsatsen av dessa skeenden är att fodersädesarealen fortsatt kommer att reduceras i länet.

Å andra sidan kommer troligen ett varmare framtida klimat att möjliggöra mer omfattande odling av lönsammare grödor såsom höst- och vårvete samt oljeväxter i Gävleborgs län, men bara på de bättre jordarna i länet. Även om ett varmare klimat enligt ovan medför större kväveminerialisering under höstar och vintrar efter stråsäd och andra ettåriga grödor, med ökad kväveutlakningsrisk som följd, är det troligt att förlusterna av kväve från åker (och före detta åkermark) till grund- och ytvatten totalt sett kommer att reduceras genom den beskrivna, fortsatta minskningen av fodersädesarealen. Till denna utveckling bidrar även bättre kväveutnyttjande genom högre skördar i ett varmare klimat och förbättrad odlingsteknik i olika avseenden på den återstående arealen. Till det senare hör senare och mer högavkastande sorter av skilda grödor, teknik för anpassning av kvävegödslingen till avkastningsförmågan inom skilda fältdelar samt rådgivning för spridning av stallgödsel vid lämpliga tidpunkter för bästa möjliga kväveutnyttjande.

Referenser

- Andersson, S. 1955. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. VIII. En experimentell metod. Grundförbättring 8, specialnummer 2, 7-98.
- Aronsson, H. & Torstensson, G. 2003. Höstgrödor – Fånggrödor – Utlakning. Kvävedynamik och kväveutlakning i två växtföljder på moränlera i Skåne. Resultat från 1993-2003. Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvårdslära. Ekohydrologi 75, 27 s.
- Aronsson, H. & Torstensson, G. 2004. Beräkning av olika odlingsåtgärders inverkan på kväveutlakningen. Beskrivning av ett pedagogiskt verktyg för beräkning av kväveutlakning från enskilda fält och gårdar. Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvårdslära. Ekohydrologi 78, 29 s.
- Aronsson, H., Lindén, B., Stenberg, M., Torstensson, G., Rydberg, T. & Forkman, J. 2006. Växtnäringsutlakning från en lerjord med höstveteväxtföljd och vallträda. Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvårdslära. Ekohydrologi 93, 42 s.
- Bergström, L. & Kirchmann, H. 2000. Minskar ekologisk odling utlakningen av kväve? Sveriges Lantbruksuniversitet, Fakta Jordbruk 20, 4 s.
- 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.
- Brink, N., Gustavsson, A.S. & Ulén, B. 1983. Yttransport av växtnäring från stallgödsblad åker. Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 13, s. 3-14.
- Börling, K., Hjelm, E., Kvarmo, P., Listh, U., Malgeryd, J. & Stenberg, M. 2018. Rekommendationer för gödsling och kalkning 2019. Jordbruksverket, Jordbruksinformation 18, 2018, 105 s.
- Delin, S., Lindén, B. & Berglund K. 2005. Yield and protein response to fertilizer nitrogen in different parts of a cereal field: potential of site-specific fertilization. European Journal of Agronomy 22, 325-336.

- 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. & Gruvaeus, I. 1998. Ekonomiskt optimal kvävegödsling till höstvete, analys av 160 försök från 1980 till 1997. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för jordbruksvetenskap, Skara. Rapport 3, serie B Mark och växter, 28 s.
- Engström, L. Lindén, B. & Roland, J. 2000. Höstraps i Mellansverige – Inverkan av såtid och ogräsbekämpning på övervintring, skörd och kvävehushållning. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för jordbruksvetenskap Skara. Rapport 16, serie B Mark och Växter, 30 s.
- Engström, L. & Lindén, B. 2008. Kväveförsörjning i ekologiska odlingssystem med vall – höstraps – vete. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för precisionsodling. Rapport 16, 35 s.
- Eriksson, A.K. & Bång, M. 2018. Översyn av nitratkänsliga områden. Jordbruksverket. Rapport 2018:29, 79 s.
- Fällman, A. 2019. Gödsla med grundupplägget – kompensera med nollrutor. Lantmannen 140, nr 3 2019, s. 42-43.
- Greppa Näringen, 2017. Vi mäter kväveupptaget i ogödslade nollrutor i höstvete. Greppa näringen. Säsongsnytt, vecka 17, 2017, 2 s.
- Gustafson, A. 1985. Växtnäringsläckage och motåtgärder. Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 20, 44-59.
- Gustafson, A. & Torstensson, G. 1983. Växtnäringsförluster vid Röbbäcksdalen. Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 13, 35-48.
- Gustafson, A. & Torstensson, G. 1984a. Växtnäringsförluster i Vagle. Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 15, 27-37.
- Gustafson, A. & Torstensson, G. 1984b. Växtnäringsförluster i Offer. Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 15, 39-51.
- Hansson, A.-C. 1987. Roots of arable crops: production, growth dynamics and nitrogen content. Doktorsavhandling, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi och miljövärd. Rapport 28, 118 s.
- Höglin, S. 1998. Agrarhistorisk landskapsanalys över Gävleborgs län. Länsöversikt. Landskapsprojekt 1998:5, Riksantikvarieämbetet och Läns museet Gävleborg, 39 s.
- Johansson, O. 1963. Jordprovtagning för markkartering. Växtnäringsnytt 19, häfte 1, 1:7-11.
- 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. Ärternas 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. 2015a. Kvävetillgång i odlade mulljordar i Kvismardalen i Närke. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö. Rapport 16, 75 s.
- Lindén, B. 2015b. Inverkan av vattenmättnad på kvävemineralisering, nitratbildning och utlakningsrisker i en odlad mulljord från Närke. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö. Rapport 17, 48 s.

- Lindén, B. 2017. Mineralkväve i marken och kväveutlakning i olika odlingssystem. Resultat från ett fältförsök vid Lanna försöksstation i Västergötland. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö, Avdelningen för vattenvårdslära. *Ekohydrologi* 148, 92 s.
- Lindén, B. & Wallgren, B. 1988. Kväveanrikning på träda – utlakningsrisker och motåtgärder. Sveriges lantbruksuniversitet, Konsulentavdelningens rapporter. Allmänt 136, 139-151.
- Lindén, B., Lyngstad, I., Sippola, J., Sjøegaard, K. & Kjellerup, V. 1992a. Nitrogen mineralization during the growing season. I. Contribution to the nitrogen supply of spring barley. *Swedish J. agric. Res.* 22: 3-12.
- Lindén, B., Lyngstad, I., Sippola, J., Sjøegaard, 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 J. agric. Res.* 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, Avdelningen för vattenvårdslära. *Ekohydrologi* 33, 37 s.
- 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, Avdelningen för vattenvårdslära. *Ekohydrologi* 51, 57 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. Rapport 10, serie B Mark och växter, 52 s.
- Linerfur, H., Norberg, L., Kyllmar, K., Andersson, S. & Blomberg, M. 2019. Växtnäringsförluster i små jordbruksdominerade avrinningsområden 2017/2018. Årsredovisning för miljöövervakningsprogrammet Typområden på jordbruksmark. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö, Avdelningen för vattenvårdslära. *Ekohydrologi* 161, 56 s.
- Mattsson, L. 2006. Kväveintensitet – avkastning och kväveupptag. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för växtnäringslära. Rapport 212, 43 s.
- Norberg, L. & Stjernman Forsberg, L. 2018. Utlakning från jordbruksmark i Västra Götalands län – Utvärdering av undersökningar 1988-2015. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö, Avdelningen för vattenvårdslära. *Ekohydrologi* 154, 37 s.
- Nyberg, A. & Lindén, B. 2008. Åkerbönor som förfrukt till vårsäd i ekologisk odling. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för precisionsodling. Rapport 15, 40 s.
- Näås, O. & Odentun, E. 1957. Nytt jordborr för markfysikaliska undersökningar. *Grundförbättring* 10, 1-7.
- Ohlander, L.J.R. 1988. Odlingssystem och växtföljder. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växtodlingslära. Andra upplagan.
- Persson, K. 2000. Jordbearbetningens inverkan på fosforförlusterna från en mjälalättlera i södra Dalarna. Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvårdslära. *Ekohydrologi* 52, s. 5-14.

- Sveriges officiella statistik, Statistiska Centralbyrån, 1979, 1980, 1981, 1982/83, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999 och 2000. *Statistisk årsbok för Sverige* 1979, 1980, 1981, 1982/83, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999 och 2000.
- Sveriges officiella statistik, Jordbruksverket och Statistiska Centralbyrån, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 och 2014. *Jordbruksstatistisk årsbok med data om livsmedel*, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 och 2014.
- Statistiska Centralbyrån och Jordbruksverket, 2015, 2016, 2017, 2018 och 2019. *Jordbruksstatistisk sammanställning med data om livsmedel – med tabeller*, 2015, 2016, 2017, 2018 och 2019. www.jordbruksverket.se
- Sveriges Officiella Statistik, Jordbruksverket, 2016. Normskördar för skördeområden, län och riket 2016. Statistiska Meddelanden, JO 15, SM 1601, 68 s.
- Söderström, M. & Piikki, K. 2016. Digitala åkermarkskartan – detaljerad kartering av textur i åkermarkens matjord. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö, Precisionsodling och pedometri. Precisionsodling Sverige, teknisk rapport 37, 21 s. Kartan återfinns på SLU:s webbplats:
<https://gisslu.maps.arcgis.com/apps/StorytellingSwipe/index.html?appid=e55d28b98d2241e0a6c91ae42073b52f#>
- Torstensson, G. 2003. Ekologisk odling – Utlakningsrisker och kväveomsättning. Ekologiska odlingssystem med resp. utan djurhållning på lerjord i Västra Götaland. Resultat från perioden 1997-2002. Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvårdslära. Ekohydrologi 73, 38 s.
- Torstensson, G., Gustafson, A., Lindén, B. & Skyggesson, G. 1992. Mineralkvävedynamik och växtnäringsutlakning på en grovmojord med handels- och stallgödslande odlingssystem i södra Halland. Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvårdslära, Ekohydrologi 28, 24 s.
- Wallgren, B. & Lindén, B. 1991. Residual nitrogen effects of green manure crops and fallow. Swedish J. agric. Res. 21: 67-77.
- Yara 2019. Så fungerar Yara N-sensor, www.yara.se/vaxtnaring/verktygsladan/yara-n-sensor/.