8.75

64/300

F O R E L E S N I N G E R

I

G J Ø D S E L L Æ R E

AV

A S B J Ø R N S O R T E B E R G

DEL I

REVIDERT UTGAVE

AV

GJØDSELLÆRE I

AV

M. ØDELIEN
(1954)

LANDBRUKSBOKHANDELEN/UNIVERSITETSFORLAGET
1965.

Innholdsfortegnelse.

F Ø R S T E D E L

side

I. Historikk 1

II. Plantenes næringsstoffer 7

1. Kort oversikt over de enkelte stoffer 8

2. Noen fra gjødslingssynspunkt viktige forhold ved plantenes stoffopptaking 16

III. Næringsbehov og gjødselbehov 20

IV. Avlinga som funksjon av vekstfaktorene 22

V. Næringsstoffhusholdningen i jorda 28

1. Nitrogen 28

2. Fosfor 35

3. Kalium 43

4. Kalsium 48

5. Andre stoffer 57

VI. Noen merknader om humushusholdningen 68

VII. Fruktbarhet, kulturtilstand, næringstilstand, hevd og næringsstoffbalanse m.m. 70

F o r o r d.

Forelesningene er en revidert utgave av M. Ødelien: Forelesninger i gjødsellære, del I, kapitel I - VII. Stoffordningen er den samme. Noen avsnitt er utvidet noe, mens andre er kortet inn. Samlet har denne del av forelesningene økt bare ubetydelig sammenliknet med de samme kapitler i siste utgave (1954) av Ødeliens forelesninger.

Norges Landbrukshøgskole i desember 1964.

Asbjørn Sorteberg.

I. Historikk.

Landbrukshistorien forteller om gjødslingens praksis opp gjennom tidene og om de vekslende oppfatninger av hva gjødslas virkning på planteveksten består i. Her skal vi bare nevne enkelte trekk som sammenlagt kan gi et bilde av gangen i utviklingen, og hvorden vår tids teori og praksis på dette felt er vokst fram.

Allerede oldtidens jordbruksforfattere ga praktiske råd om gjødsling. De hadde også sine teorier om plantenæring og gjødselvirkning. Blant de greske oldtidsforfattere kan vi nevne Xenophon (440-353 f. Kr.), en elev av Sokrates. Han skrev blant mye annet også om grønngjødsling.

Romerne hadde mange forfattere som skrev store verker om jordbruk. Mange av disse arbeider er bevart - fullstendig eller delvis - helt ned til vår tid. Cato (234-149 f. Kr.), Varro (116-28 f. Kr.), Virgilius (70-19 f. Kr.) og mange flere skrev bøker om jordbruk. Mest kjent er Columella, som levde i det første århundre etter Kristus. Han skrev et verk med tittelen "De re rustica", ,,,, som omfatter 12 bd. Det ble brukt som kildeskrift gjennom hele oldtiden, middelalderen og langt ut i den nyere tid.

Den gamle romerske landbrukslitteratur handler om en mengde spørsmål vedkommende jordas dyrking og gjødsling. Det gis t.eks. råd om mergling, grøfting og gjødsling. Belgplantene omtales som planter som gjør jorda rikere, i motsetning til kornartene.

Det var Aristoteles' lære om plantenes fysiologi som dannet det teoretiske grunnlag for gjødsellæren og plantedyrkingen i det hele tatt gjennom hele oldtiden. Den gikk bl.a. ut på at all plantenæring finnes i jorda. Her påvirkes den av varmen, så den kan opptas av planterøttene i ferdig tilstand. Den er ikke gjenstand for videre omsetninger i planten, men brukes som den er til å bygge opp dens forskjellige organer. Aristoteles levde over tre hundre år f. Kr. (38-322 f. Kr.), og hans lære holdt seg helt til det 17. århundre. De vitenskapelige teorier kunne oppnå en meget respektabel alder i de dager.

Det er karakteristisk for oldtidens landbrukslitteratur at den inneholder en merkelig blanding av verdifull erfaring og riktige iakttagelser, abstrakte spekulasjoner og overtro. De gamle forfattere gav mange gode praktiske råd, bl.a. om gjødsling. De teoretiske forklaringen var resultater av naturfilosofi. Dessuten hadde overtroen en rommelig plass. De lærte bl.a. at gjødsla helst skal kjøres ut ved voksende måne. Da virker den kraftigst og lengst. Columella

var forresten av en noe annen mening. Han mente at gjødsla helst skal spres ved minkende måne for å unngå for mye ugras. Læren om månefasenes innflytelse på gjødselvirkningen og på planteveksten ellers holdt seg og gikk igjen i litteraturen så seint som i det 18. århundre. Ja, vi er ikke ferdig med den ennå. Den er dukket opp igjen i våre dager i visse antroposofiske læresetninger.

Da den romerske kultur gikk til grunne, inntrådte også en forfallsperiode i litteraturen om jordbruksspørsmål. Maurerne stod som kjent høgt i kultur i et avsnitt av middelalderen. De hadde også en jordbrukslitteratur, hvor de samlet og bygde videre på det grunnlag oldtidsforfatterne hadde lagt. Av denne arabiske jordbrukslitteratur finnes det rester i franske og spanske biblioteker.

I det 12. og 13. årh. begynnet det så smått å vokse opp en ny jordbrukslitteratur i Europa. Omkring år 1300 skrev italieneren Crescentiis (1230-1310) et stort verk om jordbruk. Det bygde først og fremst på oldtidens litteratur, men støttet seg også til arabiske skrifter. Det dannet grunnlaget for en rekke verker om jordbruk i over 300 år.

Omkring år 1600 kan vi merke at en ikke lenger følte seg så helt trygg på den gamle lære om plantenes ernæring, den som skrev seg fra Aristoteles. Den ene etter den andre begynte å streife inn på nye teorier. Nå kom det en periode da en søkte etter plantenes prinsipp (= næring). Denne forskningsretning er særlig karakteristisk for tidsrommet 1630-1750.

Omkring år 1600 skriver franskmannen Palissy at når kveitehalmen brennes ute på jordet, virker den som gjødsel, fordi den gir tilbake til jorda de stoffer som ble bortført med avlinga. Han gjør uttrykkelig oppmerksom på at saltene i asken må være den næring som plantene tar opp fra jorda. Dette er noe fullstendig nytt. Allerede oldtidsforfatterne kjente nok til askens virkning på planteveksten, men de forklarte den bl.a. med at asken ødela skadelige insekter i jorda. Palissy var visstnok den første som oppfattet asken, eller rettere sagt saltene den inneholder, som plantenæring.

Litt seinere gjorde belgieren van Helmont (1577-1644) et berømt forsøk. Han fylte 90,7 kg tørket jord i et jernkar og plantet en ung pileplante som veide 2,3 kg, i jorda . Jorda var dekket med en perforert jernplate for å hindre stofftilførsel i form av støv. Forsøket varte 5 år, og i denne tiden ble det bare vatnet med destillert vatn. Ved forsøkets slutt veide planten 76,6 kg. Jorda ble tørket og veid, og det viste seg at vekten var ca. 56 g mindre enn ved forsøkets begynnelse. Helmont trakk den slutning av sitt forsøk at vektøkningen på 74,3 kg

skrev seg bare fra vatnet. Vatnet måtte altså være plantenæringen. Nå vet vi jo at van Helmont gjorde den feil at han overså at jorda letnet 56 g, og at han heller ikke regnet med den rolle lufta spiller.

Noen år seinere (omkr. 1650) framsatte Glauber en hypotese om salpeter (nitrat) som plantenes prinsipp. Han viste ved forsøk at salpeter virket sterkt på veksten.

Med van Helmont og Glauber kom forsøket inn som hjelpemiddel ved plantefysiologiske undersøkelser. Det har jo, som vi vet, seinere fått den aller største betydning både i denne vitenskap, i gjødsellæren og for plantedyrkingen i det hele.

Engelskmannen Woodward utførte også forsøk, som resulterte i en teori om at ikke vatn, men visse bestanddeler i jorda var plantenes egentlige næring. Han mente at vatnet bare tjener som oppløsningsmiddel for disse stoffer.

Andre mente at plantene levde av fete oljer i jorda og av vatn og varme. Saltene tjente bare til å gjøre næringsstoffene tilgjengelige for plantene. Enkelte mente at selve jordpartiklene var plantenæring. Den ivrigste talsmann for denne oppfatning var engelskmannen Jethro Tull (1674-1740). Jethro Tull mente at salpeter, vatn, luft, varme og jord er av betydning for veksten, men jorda er den egentlige næring. "For mye salpeter etser plantene", sa han, "for mye vatn drukner dem, for mye luft tørker røttene ut, og for sterk varme svir dem, men for mye jord kan plantene aldri få". Han la den aller største vekt på finsmuldring av jorda, ikke minst i veksttiden, og anbefalte radsåing og radrensing. Han ble således talsmann for en uriktig teori, men en til en viss grad riktig praksis.

Den oppfatning at visse fete stoffer i jorda var den egentlige plantenæring, holdt seg lenge. Wallerius (1709-1785), som var professor i kjemi i Uppsala, var også av denne mening. Kjemikeren Home i England forsøkte liksom Wallerius å kaste lys over spørsmålet om plantenes ernæring ved kjemiske analyser og ved forsøk. Han nevnte seks slags plantenæring: Luft, vatn, jord, forskjellige slags salter, olje og varme. Det var i det hele stor usikkerhet og uklarhet om plantenes næringsstoffer og ernæringsprosesser i denne tid. Den gamle lære var brutt ned, og en hadde ikke funnet fotfeste i en ny.

Allerede Aristoteles hadde vært inne på at plantene tok opp organisk stoff fra jorda. Denne lære holdt seg i forskjellig form hos mange forfattere gjennom det 17. og 18. århundre. De antok at jordas organiske stoff, humusstoffene, på en eller annen måte var plantenes viktigste næring. Denne lære er blitt kalt humusteorien, og dens mest berømte talsmann var den tyske lege Albrecht Daniel Thaer (1752-1828), som viet jordbruksforskningen det meste av sitt arbeid. Han sa bl.a.:

"Når en unntar vatnet, er humus det eneste stoff i jorda som er næring for plantene". Mineralstoffene mente han bare har betydning ved å lette omsetningen av humusstoffene. Thaer hadde en overordentlig stor innflytelse i Tyskland, og det skyldes vel hans innflytelse mer enn noe annet at humusteorien kom til å spille en større rolle i Tyskland enn noe annet sted.

Men omtrent på samme tid som humusteorien ble satt i høgsetet av Thaer, ble det gjort en rekke oppdagelser som godtgjorde at plantene får sitt karbon fra lufta. I 1775 offentliggjorde Priestly forsøk som viste at plantene renser lufta, i motsetning til dyrene som forurenser den. Straks etter viste Ingen-Housz at [illegible] plantene bare tar opp karbondioksyd i lys. Senebier påviste at plantene skiller ut oksygen når de tar opp karbondioksyd. Og i 1804 kunne de Saussure legge fram forsøksresultater som viste både plantenes fotosyntese og deres respirasjon, og som også godtgjorde at tørrsubstansen i plantene øker som følge av fotosyntesen.

Det viktigste resultat av disse fire forskeres arbeider sammenlagt kan vi uttrykke ved synteseligningen:

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

Dermed var de grønne planters karbonernæring fastslått, men det tok ennå sin tid før kjennsgjerningene fikk makt over humusteorien og disse viktige oppdagelser kom til sin rett. Gjennombruddet for den nye lære kom med Justus von Liebig (1803-1873).

Om plantenes askebestanddeler mente en lenge at de var uten vesentlig betydning, og at de ble dannet i planten og ikke opptatt utenfra. Men alt omkring år 1600 var Palissy av den oppfatning at aske inneholder salter som er viktige for plantenes vekst. I begynnelsen av det 19. årh. sluttet de Saussure (1767-1845) av sine forsøk at plantene tok opp mineralstoffene utenfra, og at askebestanddelene er uunnværlige for plantene.

I 1830-årene tok Carl Sprengel (1787-1859), en elev av Thaer, avstand fra humusteorien. Han mente at ikke bare humus, men også en rekke andre stoffer er næringsstoffer for plantene. Han hevdet at mineralstoffene er viktige og mente jordbrukerne må tilføre mineralstoffer til jorda. Han påviste at visse salter virker sterkt på veksten, og at virkningen kunne være ulik på forskjellig slags jord. Han forsøkte også å lage gjødsel. Men hverken dette tiltak eller hans lære slo igjennom, og han døde upåaktet og glemt.

I 1840 kom Liebig's berømte arbeid: "Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie". Her framsetter Liebig sin lære om plantenes ernæring og om gjødsling. Han bryter helt med humusteorien og hevder klart

og bestemt at karbondioksyd, vatn og mineralstoffer er plantenes næring, og dertil nitrogen, som Liebig mente plantene får fra lufta med regnvatnet i form av ammoniakk. Å gjødsle med nitrogen skulle derfor etter Liebig's mening være unødvendig. Han holdt også på at plantene opptar nitrogenet som ammoniakk - ikke som nitrat.

I dette og seinere arbeider utformet Liebig det grunnlag som vi for en ikke liten del bygger gjødsellæren på ennå den dag i dag. Han førte mineralteorien fram til seier. Han formet sin minimumslov og sin lære om rovdrift og erstatning og la dermed grunn for næringsstoff- og gjødselstatikken.

Uten å undervurdere alt det nye som kom med Liebig,skal vi likevel huske at atskillig i hans lære skriver seg fra hans forgjengere. Vi har sett at Palissy, de Saussure og Sprengel hadde vært sterkt inne på mineralstoffenes betydning for plantene. Sprengel berørte også kjernen i minimumsloven. Han var oppmerksom på at mangel på bare ett stoff kunne være avgjørende for hvor stor avlinga blir. Liebig koblet sammen på en genial måte det som allerede forelå. Og han fikk overmåte stor innflytelse ved sin glimrende framstillingsevne og ved sin uredde, pågående kamp for de nye læresetninger.

Naturligvis tok Liebig også feil i mangt og mye. Han tok feil når han mente at gjødsling med nitrogen var unødvendig, og at ammoniakk er den eneste nitrogenforbindelse plantene kan nytte. Men i hovedtrekk var Liebig's lære riktig, og ikke minst fikk han en overordentlig stor betydning ved det liv han vakte i jordbruksforskningen. Han gav nemlig støtet til fortsatt utforskning av så mange spørsmål. Liebig knyttet jordbruksforskning og naturvitenskap sammen på en måte som aldri før.

Liebig fikk mange motstandere, som hadde et annet syn på mange av de spørsmål han befattet seg med. En av dem var franskmannen Boussingault (1802-1887). Han drev grunnleggende forsøk på sitt gods Bechelbronn i Elsass. Han analyserte jord, gjødsel og avling, drev forsøk med forskjellig omløp og mye annet. Han hevdet nitrogengjødslingens betydning og var inne på belgplantenes særstilling når det gjelder nitrogenopptakingen.

I 1843 ble den engelske forsøksstasjon Rothamsted opprettet. Her virket Lawes og Gilbert. De utførte forsøk med planteernæring og gjødsling. Begge hevdet nitrogengjødslas betydning og deltok i en hissig feide mot Liebig i dette spørsmål. Det samme gjorde tyskerne Stockhardt og Wolff.

I 1842 utkom et arbeid av tyskerne Wiegmann og Polstorff. Her er det levert endelig bevis for at plantene tar opp saltene fra jorda og ikke lager dem selv.

og besteht et kjerndelskryd, vann og mineralstoffer er plantenes næring, og derfra nitrogen, som Liebig mente planten får fra luften med regnvannet i form av ammoniakk. Å gjødsle med nitrogen skulle derfor etter Liebig's mening være unødvendig. Han holdt også på at plantene opptar nitrogenet som ammoniak - ikke som nitrat.

I dette og senere arbeider uttrykker Liebig det prinsipp som vi for en lite tiden det bygger plantevekstene på også den dag i dag. Han forte mineralsalter fram til sofen. Han fastslo sin mineralteori og ein lære om rovdrift og erstatning og la dermed grunn for mineralgjødsel- og jordbruksindustrien.

Men å undervurdere ale det nye som kom med Liebig, skal vi likevel bestemt et arbeiding i hans lære skriver seg fra hans forgjengere. Vi har sett at Priestley, de Saussure og Sprengel hadde vært sterkt inne på mineralstoffenes betydning for plantene. Sprengel hevdete også kjernen i minimumsloven. Han var oppmerksom på at mangel på bare ett stoff kunne være avgjørende for hvor stor avlinga blir. Liebig kobler sammen på en genial måte det som allerede forelå. Og han fikk overvinne stor lamlyrelse ved sin glimrende framstillingsevne og ved sin uredde, pågående kamp for de nye læresetninger.

Naturligvis tok Liebig også feil i mangt og mye. Han tok feil når han mente at gjødsling med nitrogen var unødvendig, og at ammoniakk er den eneste nitrogenholdige plantene kan nytte. Han i hovedtrekk var Liebig's lære riktig, og ikke minst fikk han en overordentlig stor betydning ved det liv han vekte i jordbrukslærakademiet. Han gav mange stoter til forsøkt utforskning av så mange spørsmål. Liebig begrøtet jordbruksforskning og naturvitenskap sammen på en måte som ikke ikke.

Liebig fikk mange motstandere, som hadde et annet syn på mange av de spørsmål han beskftet seg med. En av dem var franskmannen Boussingault (1802-1887). Han var grundiggende forsøk på alt gods beskjeftiget i Elsass. Han analyserte jord, gødsel og avling, drev forsøk med forskjellig omlæp og øve annet. Han hevder nitrogenholdtigheten bestemte og var inne på belgplantenes sverdtilling når det gjelder nitrogenopptakingen.

I 1843 ble den engelske forskningsinstitutt Rothamsted opprettet. Her virket Lawes og Gilbert. De utførte forsøk med plantecovering og gjødsling. Dette hevdet nitrogenholdige betydning og deltok i en hitsig tvist mot Liebig i dette spørsmål. Den ennne gjorde dyrkene Stockhardt og Ville.

I 1862 utkom et skrift av tyskeren Wagner og Polstorff. Her er det foltet doktrinbevis for at planene tar opp salene fra jorda og ikke lager dem selv.

De mange spørsmål om plantenes ernæring som det ble slik diskusjon om på Liebig's tid, ble nøyere utredet ved vasskulturforsøk. Denne forskningsmåte ble utviklet av Sachs og Knop m.fl. etter midten av det 19. århundre. Andre brukte sand som voksemedium.

Alt i oldtiden hadde en den oppfatning at belgvekstene ikke pinte jorda ut, men tvertimot gjorde den bedre. I det 19. århundre var flere inne på den tanke at belgvekstene måtte ha en annen N-kilde enn andre planter, bl.a. Boussingault. Men løsningen på gåten kom først i 1886, da Hellriegel og Wilfarth på et naturforskermøte i Berlin la fram resultatene av sine undersøkelser over belgplantenes N-forsyning. De godtgjorde at belgplantene står i en særstilling med hensyn til N-forsyningen, og de antok at det er bakterier i belgplantenes rotknoller som er i stand til å assimilere det fri nitrogen i lufta, og siden avgi en del av dette nitrogen til plantene. I 1888 påviste Bejerinck bakterien, som ble kalt Bacillus radicicola, seinere Bact. radicicola. I det siste er slektsnavnet Rhizobium mye brukt.

Men alt før den vitenskapelige forklaring var funnet, hadde Schultz-Lupitz benyttet seg av denne belgvekstenes særevne i stor stil ved grønngjødsling til den magre sandjord på godset sitt.

Etter Hellriegel, Wilfarth og Bejerinck's viktige oppdagelser ble det stor interesse for bakteriologien. Allerede i 1877 hadde Mintz gjort det høgst sannsynlig at nitrifikasjonen måtte være en mikrobiologisk prosess. I 1890 isolerte Winogradsky nitrifikasjonsbakteriene. Seinere fant en de frittlevende nitrogensamlende bakterier Clostridium Pasteurianum og Azotobacter chroococcum.

Enkelte av den plantefysiologiske forsknings problemer og resultater etter århundreskiftet kommer vi inn på seinere.

Særlig stort har framskrittet i dette tidsrom vært innen et annet fag som gjødsellæren støtter seg til, nemlig jordbunnslæren. Den første behandling av jordbunnslæren som særskilt vitenskap kan regnes til 60-årene av forrige århundre. Etter århundreskiftet har jordbunnslæren vært gjenstand for en rivende utvikling. Av de utallige spørsmål av viktighet for gjødsellæren, som jordbunnsforskningen har kastet lys over, nevner jeg bare plantenæringsstoffenes absorpsjon, frigjøring og transport i jorda. Her har bl.a. den kolloidkjemiske forskning fått stor betydning.

Siden Liebig's tid har kjemien vært den viktigste grunnvitenskap for gjødsellæren. Ikke bare i forskningsarbeidet, men også i gjødslingens praksis har den kjemiske forskning og dens resultater satt sterke spor. Framstillingen av handelsgjødsel, som både er blitt en viktig industrigren og av så stor betydning for

jordbruket, er et resultat av kjemisk og fysisk forskning og av tekniske framskritt i forening.

For utbyggingen av den moderne gjødsellære har endelig dyrkingsforsøket spilt en viktig rolle. Van Helmont utførte som før nevnt karforsøk allerede omkr. år 1600. I de følgende to hundre år hører vi at det leilighetsvis ble gjort karforsøk, men det er først fra det 19. århundre karforsøkene med jord, sand og vatn er blitt utviklet til det viktigste forskningsmiddel de nå er, og brukt i stor utstrekning. P. Wagner og E.A. Mitscherlich er to kjente navn i arbeidet med karforsøk med direkte sikte på praktiske gjødslingsspørsmål.

Markforsøk av aller enkleste slag er vel eldre enn karforsøk. ("Åkerprøver" anbefales av enkelte forfattere allerede for over 200 år siden.) I første halvdel av forrige århundre ble mer planmessige og målbevisste markforsøk bl.a. utført av Boussingault på Bechelbronn og J.B. Lawes og J.H. Gilbert på Rothamsted. (En del av de eldre gjødslingsforsøk på Rothamsted fortsetter ennå etter ca. 100 års forløp.) Markforsøkenes metodikk er etter hvert utviklet så de nå tilfredsstiller forholdsvis strenge krav til moderne forskningsmidler. Her har dansken P. Nielsen (1829-1897), Bastian R. Larsen (1856-1919) og flere andre forskere fra de nordiske land gjort en fortjenestfull innsats. Markforsøkene er blitt et verdifullt forskningsmiddel i gjødslingsspørsmål og av overordentlig stor betydning for gjødslingens praksis.

Kjemi, plantefysiologi, jordbunnslære og dyrkingsforsøk er grunnpilarene for den moderne gjødsellære.

II. Plantenes næringsstoffer.

I alt er ca. 60 grunnstoffer påvist i plantene. Mange stoffer er alltid å finne i plantelegemet, andre kan forekomme eller mangle. Noen finnes i relativt store, andre i ytterst små mengder. Noen er absolutt nødvendige for plantenes normale vekst og utvikling, andre kan unnværes og synes altså ikke å spille noen livsviktig rolle. Av de unnværlige stoffer som normalt forekommer i plantene, ser enkelte ut til å kunne være nyttige for noen arter eller under visse forhold. Å kunne påvise grunnstoffer i plantene når de forekommer i meget små mengder, er ellers også et spørsmål om analysemetodikk og om hvor gode måleapparatene er.

Iallfall til og med første tiår av dette århundre var det vanlig lære at disse 10 grunnstoffer er nødvendige for plantene: C, O, H, N, P, S, K, Ca, Mg og Fe. I virkeligheten har det aldri vært så fullkommen enighet om avgrensingen mellom nødvendige og unnværlige stoffer som en kan få inntrykk av etter den populære

framstilling. Seinere er det godtgjort at også B, Mn, Cu, Zn, Mo og Cl er nødvendig for sannsynligvis alle høgere planter. Mange mener også at Na er et nødvendig plantenæringsstoff. En rekke andre stoffer ser ut til å være nyttige for enkelte plantearter eller under visse forhold. Det er tilfelle med Si, T, V, Cr m.fl. Det er ikke umulig at ennå flere stoffer kan komme til i rekken av dem som regnes for nødvendige for plantene.

Om mange av disse stoffer har en lenge visst at de er giftige selv i små mengder. Den nyere kunnskap om dem går ut på at de i enda mindre mengder er nødvendige for plantenes livsfunksjoner. Når unntas klor, opptrer de normalt i så små mengder at det er mest praktisk å angi dem i millionteedeler av tørrstoffet, mens mengden av de øvrige næringsstoffer mer praktisk uttrykkes i prosent. Mn, B, Cu, Zn, Fe, Mo og Cl kalles ofte mikronæringsstoffer, dvs. stoffer som plantene trenger bare i svært små mengder. De andre kan vi kalle makronæringsstoffer. I stedet for mikronæringsstoffer brukes ofte betegnelsene mikrostoffer, sporstoffer eller sporelementer. Disse betegnelser hentyder bare til at det er stoffer som opptrer i små mengder, ikke at de er næringsstoffer. Betegnelsene burde derfor helst brukes i en videre betydning.

Når det gikk så lang tid før det ble oppdaget at mikronæringsstoffene har avgjørende betydning for plantenes livsfunksjoner, var det nettopp fordi det trenges så bitte små mengder av dem. Ved forsøk blir behovet for slike stoffer lett dekket ufrivillig og ukontrollert ved forurensninger i kjemikalier, ved forekomst i vatnet eller ved små stoffmengder som skriver seg fra forsøkskarenes vegger. Sammen med det som finnes i frøet, kan dette være nok til normal utvikling av plantene. Det dreier seg ofte om så små mengder at det skal fine analysemetoder til å påvise og bestemme dem og særlig stor forsiktighet for å unngå at plantenes behov blir dekket ukontrollert.

1. Kort oversikt over de enkelte stoffer.

Vi skal ikke her gå nærmere inn på det som er kjent om de enkelte stoffers plantefysiologiske forhold, men bare nevne enkelte ting som er av særlig interesse i gjødsellæren.

K a r b o n.

Karbon utgjør oftest over 40 % av tørrstoffet i plantene. Det tas opp som CO_2 fra lufta gjennom bladene og nyttiggjøres ved fotosyntesen. Av CO_2 og vatn og med lyset som energikilde lager de grønne planter karbohydrater, som igjen kan brukes ved syntesen av andre organiske stoffer. Det gamle stridsspørsmål om plant-

ene også kan ta opp karbonforbindelser gjennom røttene, må vel nå kunne besvares slik at de kan nytte visse oppløselige organiske stoffer, men under naturlige vekstvilkår spiller sikkert karbonforsyningen ad denne vei liten eller praktisk talt ingen rolle.

N i t r o g e n.

Nitrogen må de fleste grønne vekster få fra jorda gjennom røttene. Av høgere planter er det særlig belgvekstene som kan nytte det elementære nitrogen i lufta, ved symbiose med knollbakterier.

Fra jorda tas nitrogenet først og fremst opp som nitrat. Men ved forsøk i sterilt system er det godtgjort at også ammoniumsalter kan nyttes direkte, dvs. uten at det først er foregått nitrifikasjon. De forskjellige vekster har noe ulik evne til å ta opp ammonium-N, og ammoniumsaltenes effektivitet kan også veksle med mengden av visse andre joner i næringsoppløsningen. Ammoniumsaltene nyttes således bedre ved høgere pH i næringssubstratet enn ved låg, og i sur væske er bl.a. nærvær av Ca-joner av betydning for effektiviteten. For de fleste kulturvekster synes nitrat å være sikrere og bedre som direkte nitrogenkilde enn ammoniumsalter, men det er ingen tvil om at mer eller mindre nitrogen også under naturlige vekstvilkår tas opp som ammonium-N.

Nitrit er plantegift selv i nokså små mengder, men det er godtgjort at også nitriter kan nyttes direkte i visse konsentrasjoner. Nitrit spiller ingen rolle som gjødsel. I jorda omsettes det som kjent til nitrat. Da denne omsetning går raskt, er nitritmengden i jorda alltid forsvinnende liten.

Plantenes evne til å nytte direkte visse N-holdige organiske stoffer som nitrogenkilde har vært omstridt. Her har bl.a. den finske forsker Virtanen gitt interessante bidrag til utredning av spørsmålet. Etter Virtanens forsøk skal plantene kunne ta opp bl.a. asparaginsyre og glutaminsyre. De forskjellige vekster ser ut til å ha ulik evne til å nytte organiske nitrogenforbindelser. Rødkløver vokste til og med bedre med organisk nitrogen enn med nitrat, mens det var omvendt med t.eks. kvitkløver. I et forsøk med rødkløver i steril kvartssand ble avlinga og N-mengden i avlinga pr. kar:

	Tørrstoff, g	N-mengde, mg
Kaliumnitrat	2,329	50,6
Asparaginsyre	4,428	90,9
Asparagin	2,108	43,8

I et annet forsøk brukte han ekstrakt av god grasmyrtorv som N-kilde:

	N i næringsvæsken, mg:		I avlinga:	
	Ved starten	Til slutt	Tørrstoff, g	N-mengde, mg
Bygg:				
Med torvekstrakt	18,5	9,7	0,650	9,5
Uten - " -	0	0	0,125	0,7
Erter:				
Med torvekstrakt	30,8	15,1	0,930	21,1
Uten - " -	0	0	0,268	5,6

Virtanens forsøk kan i likhet med endel andre forsøk bare tolkes på den måten at plantene er i stand til å ta opp visse oppløselige organiske nitrogenforbindelser. Det er nærmere bestemt visse aminosyrer og visstnok enkelte amider (bl.a. urinstoff) som er tjenlige som direkte nitrogenkilde.

Selv om det altså synes sikkert at plantene kan ta opp visse organiske nitrogenforbindelser, er det ikke dermed gitt at dette betyr noe synderlig for nitrogenforsyningen under naturlige vekstvilkår.

Virtanen mener også å ha påvist at bakterieknollene på belgvekstenes røtter tar til å skille ut nitrogenforbindelser mens plantene ennå står på et tidlig utviklingstrinn. Det dreier seg vesentlig om aminosyrer, og disse ser ut til å kunne nyttes direkte av andre planter som vokser sammen med belgvekstene. Det utskilte nitrogen skal nemlig kunne nyttes også om vekstsubstratet holdes sterilt. Rotknollene fortsetter å skille ut nitrogen gjennom hele veksttiden, og det skal iflg. Virtanen være betydelige nitrogenmengder som de levende bakterieknoller gir fra seg. Om dette er det ellers delte meninger.

I plantene er nitrogenet som kjent vesentlig til stede i organisk form, først og fremst som eggekvite og mer eller mindre amider, men også i mindre mengder i klorofyll, alkaloider m.fl. Uorganiske nitrogenforbindelser kan også opptre i mindre mengde. I blad og andre saftige plantedeler kan en ofte påvise nitrat. I visse arter, og særlig etter sterk nitrogengjødsling eller på jord med kraftig nitrifikasjon, kan nitratinnholdet være mye større enn vanlig (t.eks. i rotvekster). Også som følge av direkte mangel på et eller annet stoff kan nitratinnholdet i plantene øke sterkt. Nitratopphoping i plantene må kunne tas som et uttrykk for mangel på likevekt mellom nitrogenabsorpsjonen og fotosyntesen.

Råproteininnholdet er som kjent forskjellig for ulike arter og plantedeler, og det varierer sterkt med utviklingstrinnet. Ved rikelig nitrogenforsyning

kan totalinnholdet av nitrogen bli atskillig høgere enn vanlig. I slike tilfelle utgjør ofte de stoffer som ved analyse sammenfattes under fellesnavnet amider, en større del av totalmengden enn ellers.

Nitrogenforsyningen virker sterkt på plantenes vekst og stoffproduksjon, samtidig som den også gir seg til kjenne i deres utseende og kan virke på avlingskvaliteten på forskjellig vis. Ved svært knapp nitrogenforsyning blir plantene lyst grønne, bladene mindre enn ellers og blomstene ofte færre og mindre. Planter av grasfamilien busker seg lite. Med svak vekst følger vanlig mindre evne til å komme over angrep av parasitter og andre ytre skader.

Særlig rik nitrogenforsyning ytrer seg bl.a. ved mørk grønn farge, rikt bladverk, og ved sterkere busking hos grasartene. Den vegetative utvikling blir frodig og varer lenger. Modningen sinkes, framfor alt hvis tilgangen på nitrogen er stor lenge ut gjennom veksttiden. Poteter reagerer for slik gjødsling ved å utvikle svært ris, mens utviklingen av knoller sinkes. Stor bladmasse, lange strå og forholdsvis svakt utviklet støttevev øker faren for at kornåkeren legger seg. Også treaktige vekster fortsetter veksten lenge på høstkanten ved rik nitrogenforsyning og blir dermed mer utsatt for frostskade. Den anatomiske bygning endres, bl.a. ved at visse vev blir løsere, og ved svakere utviklet kutikula. Dette kan være en fordel for enkelte grønnsaksvekster, men det kan også være en ulempe, fordi plantene blir mer disponert for visse soppsykdommer (rust, meldugg).

F o s f o r.

Fosfor opptas vesentlig som fosfatjoner av ortofosfat. Både $H_2PO_4^-$ og HPO_4^{--} kan opptas av plantene. De surstoffattige og surstoffrie uorganiske fosforforbindelser er utjenlige som P-kilde og er til dels sterke plantegifter. Om plantenes evne til å nytte visse organiske fosforforbindelser har meningene vært delte. Slike stoffer som lesitin, fytin og nukleinsyrer kan visstnok brukes direkte som fosforkilde, men det er uvisst om dette har noen betydning under naturlige vekstvilkår.

I plantelegemet opptrer fosfor i visse eggekvitestoffer, i fosfatider, m.fl. organiske stoffer og for en del i uorganisk form. Fosfor transporteres forholdsvis lett i planten. Etter som planten modnes, øker fosforinnholdet i frøet betydelig.

Ved siden av at fosfor er bestanddel av visse organiske stoffer, har det også sine funksjoner i plantenes livsprosesser. Her skal vi bare nevne noen særvirkninger av stoffet som er av interesse i gjødsellæren. Sterk fosformangel kan sinke kornmodningen, mens god forsyning kan påskynde den. I praksis er vel fosfatgjødslingens virkning på modningstiden som regel ganske svak, men under visse forhold ser den ut til å kunne bety atskillig.

Mange undersøkelser viser at røttene blir bedre utviklet ved god forsyning med fosfor enn ved svak. Dette gjelder både rotvekster og korn, og bl.a. i Storbritannia blir det også tillagt betydning for eng- og beitevekster.

Knapp fosforforsyning gir seg ikke så tydelig til kjenne i plantenes utseende som nitrogenmangel. Ved sterk fosformangel blir plantene misfarget på forskjellig vis. Kornartene får t.eks. en rødfiolett farge, særlig på bladskjeder og stengler. Dette skal skyldes opphoping av sukker, som fremmer dannelsen av antocyan. Ved samtidig rikelig nitrogenforsyning blir bladplaten mørkegrønn.

K a l i u m.

Kalium tas opp av en rekke forskjellige kaliumsalter.

I plantene finnes stoffet i størst mengde i de vegetative deler og særlig i bladene. Det er i uorganisk form, bare bundet til organiske stoffer i salter av organiske syrer. En stor del av kaliuminnholdet finnes i cellesaften.

Kalium ser ut til å være særlig viktig for karbohydratproduksjonen, men spiller også en rolle for eggekvitesyntesen og andre prosesser, t.eks. celledelingen. For eggekvitesyntesen synes det som om kalium har betydning ved reduksjonen av nitratet i plantene.Er kaliumforsyningen dårlig, ser kalium ut til å motvirke potetenes tilbøyelighet til å bli mørke når de kokes.

Anatomisk kan kalium bl.a. virke til en kraftigere utvikling av støttevevet. Kornplantene skulle etter dette få stivere strå. Bladene ser også ut til å få tykkere kutikula. Dette kan kanskje forklare at planter som er godt forsynt med kalium, motstår melduggangrep bedre enn de som lir av kaliummangel. Tilstrekkelig forsyning med kalium påstås også å betinge en mer økonomisk vasshusholdning og skulle dermed sette plantene i stand til å klare seg bedre i tørke. Om dette i tilfelle skyldes nedstemt transpirasjon, større opptaking av vatn eller begge deler, er ikke helt klart. På forsøksfelter ser en ikke sjelden at kløver og høstkorn blir mest skadd om vinteren der det er sterkere mangel på kalium. Dette kan henge sammen med det høgere sukkerinnhold som er påvist i unge høstkornplanter etter god gjødsling med kalium, eller skyldes en større saltkonsentrasjon i cellesaften. God gjødsling med kalium ser også ut til å ha en særvirkning deri at plantene blir noe mer motstandsdyktige mot låg temperatur i veksttiden (nattefrost).

De forskjellige særvirkninger av kalium (eller kaliumsalter) henger visstnok nøye sammen med virkningen på stoffproduksjonen (avlinga). Særvirkningene vil som regel opphøre når kaliummengden er blitt så stor at en fortsatt øking

Mange undersøkelser viser at rotene blir lavere utviklet ved god forsyning med fosfor enn ved svak. Dette gjelder både rotvekster og korn, og bl.a. i Storbritannia blir det også tilført betydning for eng- og beitevekster.

Knapp fosforforsyning gir sog ikke så lydelig til kjenne i plantenes utseende som nitrogenmangel. Ved sterk fosformangel blir plantene mistarget på torskjellig vis. Kornartene får t.eks. en rødlilaett farge, særlig på bladskjeder og stengler. Dette skal skyldes opphopning av sukker, som fremmer dannelsen av antocyan. Ved samtidig rikelig nitrogenforsyning blir bladfatten mørkegrønn.

K a l i u m.

Kalium tas opp av en rekke forskjellige kaliumsalter.

I plantene finnes stoffet i storest mengde i de vegetative deler og særlig i bladene. Det er i uorganisk form, men under til organiske stoffer i saftet av organiske syrer, ln eller del av kaliumholdet finnes i cellesaften.

Kalium ser ut til å være særlig viktig for karbohydratproduksjonen, men spiller også en rolle for eggekvitesyntesen og andre processer, t.eks. celledelingen. For eggekvitesyntesen synes det som om kalium har betydning ved reduksjonen av nitratet i plantene. Er kaliumforsyningen dårlig, ser kalium ut til å motvirke potensens tilbøyelighet til å bli mørke når de koges.

Anatomisk kan kalium bl.a. virke til en kraftigere utvikling av stoffene. Kornplantene skulle etter dette få sterkere strå. Bladene ser også ut til å få tykkere kutikula. Dette kan kanskje forklare at planter som er godt forsynt med kalium, mesterår meldiggerep bedre enn de som lir av kaliummangel. Tilstrekkelig forsyning med kalium pårådes også å bringe en mer økonomisk vassnutnytting og skulle dermed sette plantene i stand til å klare seg bedre i tørke. Om dette i tilfelle skyldes nedsatt transpirasjon, storre oppsuking av vann eller bedre deler, er ikke helt klart. Å forsyksfeiter ser en ikke sjelden at kløver og hestekorn blir mest skadd av vintersen der det er sterkest mangel på kalium. Dette kan henge sammen med det høyere sukkerinnhold som er påvist i unge hestekornplanter ved god gjødsling med kalium, eller skyldes en storre saftkonsentrasjon i cellesaften. God gjødsling med kalium ser også ut til å ha en sannsynlig dårl at plantene blir noe mer motstandsdyktige mot lå temperatur i vekstidden (nattfrost).

De forskjellige forvirklinger av kalium (eller kaliumsalten) henger vissnok nøye sammen med virkningen på stoffproduksjonen (avlinga). Sørvirkning - ene vil som regel opphøre når kaliumsvingdet er blitt så stor at en forretatt økning

ikke gjør avlinga vesentlig større. Det vil m.a.o. ikke svare til hensikten å gjødsle særlig sterkt med kalium bare for å gjøre høstkornplantene mer vintersterke, potetene sterkere mot nattefrost eller liknende.

Riktig sterk kaliummangel ytrer seg mer eller mindre tydelig ved misfargede, særlig kvite , gulaktige eller brune flekker og partier på bladene, alt etter hvilken vekst det gjelder.

K a l s i u m.

En rekke forskjellige kalsiumsalter kan tjene som kalsiumkilde. I plantene forekommer kalsium i størst mengde i bladene. Frø og som regel også knoller inneholder lite kalsium. I unge blad er en stor del av kalsiummengden oppløselig i vatn, i eldre en mindre del. Den uoppløselige del består først og fremst av oksalat. En del kalsium synes også å være bundet til organisk stoff på en eller annen måte.

Hvilke funksjoner kalsium har, vet vi lite om. Somme har ment det vesentlig tjener til å felle ut visse organiske syrer som blir til ved stoffomsetningene i planten.

M a g n e s i u m.

forekommer i plantene i mengder som stort sett nærmest kan sidestilles med fosfor. Det opptrer dels i organiske og dels i uorganiske forbindelser. Det er bl.a. bestanddel av klorofyll og ser ellers ut til å ha visse oppgaver i stoffomsetningen og stofftransporten.

Mangel på magnesium gir seg først og fremst til kjenne ved nekrotiske bladflekker, til dels ved ujamn fordeling av klorofyllet, og hos frukttrær ofte ved tidlig bladfall og fruktfall.

S v o v e l

kan de grønne planter bare ta opp av sulfater. Surstoffattige og surstoffrie svovelforbindelser er plantegift. Proteinstoffer og en del andre organiske stoffer inneholder svovel. Mangel på svovel kan hos flere vekster minne om nitrogenmangel ved at plantene blir lysegrønne.

J e r n

finnes bare i små mengder i plantene. Det er nødvendig for klorofylldannelsen, men det er ikke bestanddel av klorofyll. Jernmangel ytrer seg ved klorose.

ikke gjøre avslaga vesentlig større. Det vil m.a.o. ikke være til hemsikten å gjødsle samtlig sterkt med kalium bare for å gjøre mostkomplantene mer vinterstarke, forbrente sterkest av rotterest eller likende.

Ofteg sterk kaliumgjødsling vekst og mer eller mindre tydelig ved mislargrøde, sæmlig kvite . gulbrigte eller brune flekker og partier på bladene, eller etter hvilken vekst der gjødsles.

K a l s i u m.

En rekke fysiologiske kalsiumsalter kan tjene som kalsiumkilde. I planteriket forekommer kalsium i storst mengde i bladene. Frø og som regel også knoller inneholder lite kalsium. I unge blad er en stor del av kalsiummengden omplassert i vekst, i eldre en mindre del. Den oppløselige del består først og fremst av oksalat. En del kalsium synes også å være bundet til organisk stoff.på en eller annen måte.

Hvilke funksjoner kalsium har, vet vi lite om. Sannsynligvis er det vesentlig tjener til å felle ut visse uønskede syrer som blir til ved stoffomsetningene i planten.

M a g n e s i u m.

Forekommer i planteriket i mengder som stort sett messet kan erstattes med fosfor. Det opptrer dels i organisk og dels i uorganisk forbindelser. Det er bl.a. bestanddel av klorofyll og ser ut til å ha viss oppgave i stoffomsetningen og stofftransporten.

Mangel på magnesium gir seg først og fremst til kjenne ved nekrotiske bladflekker, til dels ved ujevn fordeling av klorofyllet, og hos fruktterer ofte ved tidlig bladfall og fruktfall.

S v o v e l

Kan de grønne planter bare ta opp av sulfater. Svovelfattige og svovelfrie svovelforbindelser er giftige. Proteinstoffer og en del andre organiske stoffer inneholder svovel. Mangel på svovel kan hos flere vekster hemme en microorganisme ved at planteres tørr lyngpåføre.

J e r n

Finnes bare i små mengder i plantene. Det er nødvendig for klorofyldannelsen, men det er ikke bestanddel av klorofyll. Jernmangel yrker seg ved klorose.

M a n g a n

virker sannsynligvis bl.a. som katalysator ved forskjellige oksydasjons- og reduksjonsprosser i plantene. Det trenges bare i små mengder, men forekommer likevel i litt større mengder i plantene enn flere andre mikronæringsstoffer. Dets funksjoner er lite kjent, men mangel på mangan har ofte ytringsformer som er forholdsvis lett å kjenne. Lysflekksjuke skyldes manganmangel. Den opptrer særlig på havre, men også på andre kornarter, og gir seg til kjenne tidlig i veksttiden ved lyse, visne bladflekker, som ordner seg i rekker på langs av bladet, særlig på den nedre halvdel. Ved sterke angrep skyter ikke plantene. På andre vekster (bygg, poteter, beter, jordbær, kål osv.) er sjukdomstegnene noe annerledes, men sterkere manganmangel ytrer seg nesten alltid ved bladflekker, der vevet dør og tørker inn.

B o r

har vist seg å være nødvendig for en lang rekke vekster. Det er sannsynligvis uunnværlig for alle grønne planter. Borinnholdet i plantene er svært lite. En god beteavling kan inneholde opp til 50 g B pr. dekar. De aller fleste andre avlinger inneholder langt mindre, en bra kornavling bare noe slikt som 2-3 g eller enda mindre.

Hvorfor bor er nødvendig, er ikke på det rene ennå. Ved en kraftig virkning på kolloidene antas det å spille en rolle for stoffopptaking og stofftransport. Videre ser det ut til å være nødvendig for celledelingen.

Bormangel ytrer seg ved forskjellige sykdommer og abnormiteter på kulturvekstene. Vattersott på kålrot og nepe, og hjerteråte på fórbete og sukkerbete er vel de mest utbredte bormangelsykdommer. Ellers kjenner en forskjellige ytringsformer av bormangel på blomkål, selleri, gulrot, rødbete m.m.fl, likeså hos eple, pære o.a. frukttrær. Kornartene og andre enfrøbladede vekster har lite borbehov og er sjelden utsatt for bormangel under naturlige vekstvilkår. Særlig sterk bormangel hos kornartene ytrer seg ved abnormt sterk busking som fortsetter unormalt lenge, ved korte stengelinternodier og stengler, til dels ved at aksskytingen uteblir eller ved dårlig kjerneutvikling (få korn). Kløver reagerer for bormangel ved dårlig rotutvikling, veksthemming og, som så mange andre vekster, ved svak blomstring og dårlig frøsetting.

K o p p e r

har sannsynligvis bl.a. visse katalytiske virkninger i plantene. Det forekommer i ørsmå mengder. En havreavling inneholder t.eks. bare noe slikt som 3-4 g Cu pr. dekar.

Gulspissjuke (særlig på bygg og havre, men også på kveite, mindre på rug) er den lengst kjente og mest omtalte ytringsform for koppermangel. Kornplantene får tidlig gule bladspisser, som visner, ruller seg sammen og blir hengende som tråder ned fra resten av bladplaten. Sterkt angrepne planter skyter ikke topp eller aks. Når sykdommen opptrer i mildere form, kan plantene være nesten fri for sykdomstegn på bladene og skyte normalt, men det blir lite eller ikke korn. Koppermangel er ellers kjent hos mange andre kulturvekster, t.eks. kålrot, nepe, gulrot, kløver og flere grasarter, sjeldnere på treaktige vekster. Sjukdomstegnene er ofte lite karakteristiske. Skaden er nesten alltid større på den generative enn på den vegetative utvikling.

S i n k.

Sinkmangel ytrer seg ofte ved mangelfull klorofyllutvikling.

M o l y b d e n.

Molybdeninnholdet i plantene er overordentlig lite. Mindre enn 1 g Mo i avlinga fra et dekar er nok for de fleste eller kanskje alle urteaktige vekster. Mo ser bl.a. ut til å ha en funksjon i nitratreduksjonen i plantene. Molybdenmangel er best kjent hos blomkål. Her ytrer den seg bl.a. ved deformerte blad (whiptail). Men også på mange andre vekster er molybdenmangel kjent. Ved sterk mangel blir de eldste blivende blad først angrepet.

K l o r.

At klor er nødvendig for de høgere planter, ble en først klar over for ca. 10 år siden. Behovet for klor er stort som mikronæringsstoff betraktet. Når klormangel derfor ikke med sikkerhet er påvist før, må dette helst skyldes at stoffet lett opptas ukontrollert selv i karforsøk. Bl.a. kan klorinnholdet i lufta bety noe.

Klormangelsymptomer skal være bladklorose og tidlig visning av bladene. Salat og tomat er oppgitt å reagere sterkest for klormangel. Klor tas opp som klorid.

Klormangel er ikke påvist her i landet, og det er neppe grunn til å tro at vi skal få klormangel ved plantedyrking på friland med den gjødslingspraksis vi har.

Vår interesse for klor er særlig knyttet til dets skadelige virkning på noen vekster, framfor alt når det blir tilført i store mengder. Klor senker således tørrstoff- og stivelsesprosenten i poteter. Likeså skal tomater og jordbær, og ellers flere hagevekster, være klorømfintlige. Det ser ellers ut til å være noen uklarhet når det gjelder visse planters ømfintlighet for klor.

Til slutt tar vi med litt om et par grunnstoffer som ikke regnes for nød-

OPPTAK AV PLANTENÆRING GJENNOM RØTTENE.

		Grunnstoff	Opptas fortrinnsvis som	Innhold i plantetørrst. Størrelsesorden.
16	10	H		
		O		
		C		
		S	SO_4^{--}	Del av prosent
		N	NO_3^-, NH_4^+, visse aminosyrer og amider	Prosent
		P	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{--}, lesitin, fytin, nukleinsyrer	Del av prosent
		K	K^+	Prosent
		Ca	Ca^{++}	Del av prosent til prosent
		Mg	Mg^{++}	Del av prosent
		Fe	Fe^{++}	ppm.x) til del av prosent
		Cu	Cu^{++}	ppm.
		Mn	Mn^{++}	ppm. til del av prosent
		Zn	Zn^{++}	ppm.
		B		ppm.
		Mo	MoO_4^{--}	ppm. eller deler av ppm.
		Cl	Cl^-	Del av prosent til prosent.

Det prosentiske innhold kan avvike noe fra det som er oppført her. Det kan også variere mye for ulike vekster og tidspunkt for høsting. Innholdet kan ellers variere sterkt for ulike deler av planten.

x) Eng.: parts per million.

vendige næringsstoffer, men som likevel under visse forhold kan være nyttige eller spille en rolle på annen måte.

N a t r i u m

finnes alltid i plantesaken, til dels i større mengde. Av de mange forsøk må en slutte at det ikke er absolutt nødvendig, men det kan være nyttig. Særlig ser beter ut til å sette pris på natrium. At natrium også ellers kan være til nytte, og da særlig ved knapp forsyning med kalium, ble først påvist av Hellriegel og er siden bekreftet mange ganger. Men natrium kan aldri helt erstatte kalium. Dette forklares gjerne slik at Na kan erstatte K til visse funksjoner (t.eks. i virkningen på det osmotiske trykk i cellene), men K har visse spesialfunksjoner som Na ikke kan utføre. Natrium setter m.a.o. plantene i stand til å klare seg med mindre kalium, men kan ikke erstatte det helt.

K i s e l

regnes vanlig heller ikke for nødvendig. Både markforsøk og karforsøk har vist at silikater fremmer veksten når fosforforsyningen er knapp, men årsaken til dette ligger visstnok iallfall vesentlig i kjemiske prosesser i jorda. Det er usikkert om kisel i denne sammenheng spiller noen plantefysiologisk rolle. Men det er heller ikka utelukket at stoffet har en viss plantefysiologisk betydning. Forsøk også fra de seinere år tyder på det.

2. Noen fra gjødslingssynspunkt viktige forhold ved plantenes stoffopptaking.

Mineralstoffene blir normalt vesentlig tatt opp gjennom røttene. Med unntak av belgvekstene (og enkelte udyrkede vekster av andre plantefamilier), er det samme tilfelle med nitrogenet. Men plantene kan også ta opp både mineralstoffer og nitrogen gjennom overjordiske organer, særlig gjennom bladene. Under naturlige vekstvilkår er vel dette oftest av liten betydning når en ser bort fra forskjellige lågere planter, t.eks. planter som lever i havet. For kulturplantene kan det derimot være viktig under visse forhold. Ved mangel på mikronæringsstoffer kan det til dels være mer praktisk å sprøyte plantene med en oppløsning av vedkommende stoff enn å blande det inn i jorda og henvise plantene til å finne det igjen der. Den samme framgangsmåte kan brukes for magnesium til frukttrær. Det går også an å sprøyte urinstoff i oppløsning over bladverket på frukttrær i stedet for å gjødsle med nitrogengjødsel på vanlig måte.

Nyerer undersøkelser synes ellers å fastslå at under visse forhold kan opptak av plantenæring gjennom bladene direkte fra lufta bety noe for kulturplantene. Således skal plantene kunne oppta betydelig med svovel på denne måte. I denne korte

omtale av noen plantefysiologiske forhold blir det særlig stoffopptakingen gjennom røttene vi kommer til å behandle.

Plantene har som kjent evne til å utvikle seg normalt (og til en viss grad vokse like godt) ved nokså ulik tilgang på de forskjellige næringsstoffer. Denne tilpasningsevne er naturligvis meget viktig både for viltvoksende og dyrkede vekster. Den skyldes for det første planteneg selektive absorpsjonsevne, dvs. deres evne til å ta opp næringsstoffene i andre mengdeforhold enn de forekommer i den næringsoppløsning de vokser i. For det annet har plantene en viss evne til å økonomisere med stoffer som det er knapp tilgang på, og til innen visse grenser å disponere et opptatt overskott slik at det ikke gjør skade. Dette viser seg ved at det prosentiske innhold av de enkelte stoffer i plantelegemet kan variere betydelig uten at det resulterer i store vekstforstyrrelser. Begge egenskaper sammen gjør at planten finner seg til rette i næringsoppløsninger med annen sammensetning eller ved en annen tilgang på de ulike stoffer enn den som i og for seg skulle høve best.

Men tilpasningsevnen gjelder bare til en viss grad. Hvis konsentrasjonen av de forskjellige stoffer i næringsoppløsningen forskyves ut over visse grenser, blir noen stoffer enten opptatt i for store eller i utilstrekkelige mengder. Følgen blir skadevirkninger, som vi vanlig betegner som giftvirkninger eller som mangelsjukdommer. Begge betegnelser er uttrykk for forstyrrelser i de normale livsfunksjoner. Det avgjørende er ikke bare konsentrasjonen (tilgangen) på hvert enkelt stoff for seg, men i høg grad også konsentrasjonsforholdet mellom visse stoffer. Konsentrasjonen av et bestemt jon i næringsoppløsningen kan ha vesentlig innflytelse på den fysiologiske virkning av andre joner. Vi kjenner mange fysiologiske interferensvirkninger mellom næringsstoffene.

Høg konsentrasjon av ett stoff krever i mange tilfelle en høg konsentrasjon også av et bestemt annet stoff. Hvis t.eks. kveitekorn spirer i destillert vatn, vokser frøplantene til næringsforrådet er oppbrukt. Tilføres et næringssalt, t.eks. $MgCl_2$, blir veksten mye dårligere. I en oppløsning av både $MgCl_2$ og $CaCl_2$ blir derimot veksten nesten som i destillert vatn. På tilsvarende måte kan to næringsoppløsninger med hvert sitt stoff i så stor konsentrasjon at det virker skadelig, bli uskadelig når de blandes sammen. Dette er utslag av joneantagonisme.

En kjenner en lang rekke eksempler på antagonisme. Det er t.eks. et antagonistisk forhold mellom K og Mg, mellom Ca og K, Ca og Mg, mellom Mn, Cu m.fl. tunge metaller og Fe osv. At plantene kan vokse ved lågere pH i næringsoppløsninger og jord når konsentrasjonen av næringssalter er stor enn når den er liten, må også oppfattes som et utslag av antagonisme. Ca^{++} har framtredende evne til å minske de uheldige virkninger av sterk surhet i næringssubstratet.

Vi kjenner også eksempler på interferensvirkninger som består i at god tilgang på ett næringsstoff kan lette plantenes forsyning med et bestemt annet stoff. God forsyning med nitrat kan t.eks. til en viss grad sette plantene i stand til å ta opp noe mer kalium og magnesium. Dette er det motsatte av antagonisme og blir av enkelte kalt synergisme.

Her fester vi oss særlig ved at et stoff som blir opptatt i uforholdsmessig stor mengde, kan vanskeliggjøre opptakingen eller transporten av ett eller flere bestemte andre stoffer. Den nødvendige likevekt i stoffopptaking og normale livsfunksjoner ellers er altså betinget av at mengdeforholdet mellom de forskjellige stoffer i næringsoppløsningen ikke blir forskjøvet ut over visse grenser. En næringsoppløsning som svarer til disse krav, sies å være balansert. Er det et misforhold i konsentrasjonen av de ulike stoffer, betegnes næringsoppløsningen som ubalansert. Skadevirkningen på plantene kan enten oppfattes som mangel på visse stoffer eller som giftvirkninger av andre, uten at det er lett å skille mellom de to årsaker.

Ubalanserte næringsoppløsninger får en særlig lett i vasskulturforsøk. Men tilsvarende forhold forekommer også i jord, selv om absorpsjons- og frigjøringsprosesser her virker til større stabilitet.

Enda et forhold av betydning i gjødsellæren er næringssaltenes fysiologiske reaksjon. Dermed mener vi den ulike spesifikke virkning de enkelte næringssalter har på vekstsubstratets reaksjon, uavhengig av den kjemiske reaksjon saltene har oppløst i vatn. Kalsiumnitrat er et nøytralt salt, men det har likevel tendens til å forskyve vekstsubstratets reaksjon i alkalisk retning. Virkningen på reaksjonen gjør seg først gjeldende når plantene kommer med i spillet. Vi sier at kalsiumnitrat er et fysiologisk alkalisk næringssalt. Ammoniumsulfat endrer reaksjonen i motsatt lei og kalles derfor et fysiologisk surt salt. Et næringssalt som ikke har noen tydelig virkning på vekstsubstratets (spesielt næringsoppløsningens) reaksjon, betegner vi som fysiologisk nøytralt.

Også dette forhold antas å henge sammen med stoffopptakingen gjennom røttene. En må gå ut fra at næringsstoffene som regel vandrer inn i planterøttene som joner. Særlig gjennom litt lengre tid finner en at plantene ofte opptar noenlunde ekvivalente mengder av katjoner og anjoner. Men ofte finner en at det blir opptatt mer av den ene jonegruppen. Noen næringsstoffer opptas t.eks. særlig den første del av vekstiden, mens andre blir opptatt mer jevnt over et lengre tidsrom, noe som for kortere perioder kan føre til betydelige forskyvninger i opptaket av katjoner og anjoner.

En kan sannsynligvis betrakte opptaket av næringsjoner slik at en del blir opptatt som jonepar, t.eks. som $K^+ + NO_3^-$, som $NH_4^+ + NO_3^-$ eller som

$Ca^{++} + 2\ NO_3^-$. For $Ca(NO_3)_2$ opptar ellers plantene mer NO_3^- enn Ca^{++}. En slik overskuddsopptakelse av et anjon skjer ved at planterøttene utskiller OH^- eller HCO_3^-. Herved vil innholdet av OH^- i jordvæsken øke, og pH vil stige. Ved tilførsel av $(NH_4)_2SO_4$ vil plantene ta opp mer NH_4^+ enn SO_4^{--} mot å utskille H^+. Dette vil føre til at jordvæsken blir surere, og pH vil falle. Den sterkt sure virkning av ammoniumsulfat skyldes ellers ikke bare den fysiologisk sure virkning, men også for en stor del at ammoniumnitrogenet blir nitrifisert. (Mer om dette seinere.)

Ved utskilling eller utbytting av joner fra røttene, som framfor alt ser ut til å omfatte H^+, OH^- og HCO_3^-, kan altså planterøttene oppta katjoner og anjoner uavhengig av hverandre.

Næringssaltenes fysiologiske reaksjon kommer sterkest fram i karforsøk. Det henger sammen med at det ofte blir brukt relativt store gjødselmengder og dertil ofte vekstsubstrater med liten bufferevne (næringsoppløsninger, kvartssand eller blandinger av kvartssand og jord). Til veksthuskulturer som gjødsles med svært store nitrogenmengder, kan virkninger også være tydelig etter ett enkelt års gjødsling. Ved vanlig gjødsling i jordbruket blir den vanlig først tydelig etter flere eller mange års forløp.

I omtalen om nitrogen har vi ellers vært inne på at plantene også kan oppta visse organiske fraksjoner gjennom røttene. Noe lignende kjenner vi også til for enkelte organiske fosforforbindelser. At organiske forbindelser i molekyls form kan bli opptatt av plantene, er det ingen tvil om. En annen sak er om en slik opptakelse har noen større betydning for næringsforsyningen.

At opptakelse av plantenæring kan foregå også gjennom andre organer enn røttene, har vært kjent lenge. Tilførsel til bladverket av ferrosulfat i oppløsning er således omtalt så tidlig som i 1844. I naturen har denne måte for opptak av plantenæring størst betydning for sjøplantene, der hele plantens overflate står i ernæringens tjeneste. For planter i jord- og hagebruket er det særlig under spesielle forhold vi tilfører næringsstoffer på denne måte. Interessen for å gi næringsstoffene til bladverket har tiltatt i den seinere tid, bl.a. på grunn av at det kan være praktisk å gi en næringsoppløsning til plantene samtidig som en sprøyter mot ugras, soppangrep etc.

Denne form for næringstilførsel blir til dels kalt bladgjødsling. (eng. = Foliar Feeding), da det gjerne er bladene med sin store overflate som særlig opptar næringsstoffene. Men også andre overjordiske plantedeler opptar næringsstoffer på samme måte. Også ved en slik form for næringstilførsel opptas

næringsstoffene visstnok vanlig som joner. Men unntak finnes. Bl.a. skal urinstoff opptas meget lett som molekyl.

Det ser ut til at alle næringsstoffer kan opptas gjennom bladene. I vasskulturforsøk er det påvist at bønner utviklet seg og satte frø under forhold der alle mineralstoffer ble gitt som oppløsning til de grønne plantedeler. Det ser ellers ut til at katjoner opptas raskere enn anjoner.

Ved bladgjødsling er effekten av de forskjellige næringsstoffer avhengig både av hvor raskt stoffet absorberes og hvor hurtig det transporteres i planten etter det har trengt inn i plantevevet. For begge deler kan det variere mye for de forskjellige stoffer.

III. Næringsbehov og gjødselbehov.

Begrepet næringsbehov kan ha et kvalitativt eller kvantitativt innhold. Her bruker vi det i kvantitativ forstand og legger den betydning i ordet at hver vekst må ta opp en viss minstemengde av hvert næringsstoff for å gi en avling av en viss størrelse.

Det prosentiske innhold av de forskjellige næringsstoffer i de ulike vekster varierer mye, ikke bare med utviklingstrinnet, men også etter vekstvilkår, gjødsling m.m. Tabellen nedenfor er et forsøk på å stille opp middeltall for innholdet av N, P og K i de viktigste jordbruksvekster, uttrykt i prosent. Tallene støtter seg i det alt vesentlige til norske analyser. For de vekster eller vekstdeler som det er oppført to tallverdier for, refererer tallet i parentes seg til nyere analyser, mens det første tallet er fra analyser fra avlinger høstet før året 1947. Det høgere innhold som de nyere analyser viser, skyldes nok i hvert fall delvis den sterkere gjødsling. For innholdet i kløver og timotei må det ellers bety mye at slåtten nå foregår på et tidligere tidspunkt enn hva som var vanlig før.

Analysene av poteter, fórnepe og kålrot gjelder for friskt plantemateriale, mens de andre analyser refererer seg til vanlig lufttørt materiale.

merkingsstoffene vitenskap vanlig som John K.D. Gunnek finnes Bl.a. ekst uvikstoff oppnår mer lett som molekyl.

Det er et tilfelle av alle merkingsstoffer kan oppfra glynne bindene. I vesskjurtilstand er det plaist at benzen overlikt sog og ratte ino under forhold der alle atomelsestoffer ville gitt sen opplysning til de grunne plantedeler. Det er ellers et tilfelle kopper vanlere cen anjomer.

Ved planetjuglin er efterhånden av de forskellige merkingsstoffer anhuslig bæn av hver radit stoffet absorbere og hver hvrlig det transporteres i planten etter det har trengt inn i plantevevet. For bygge delar kan det vanlere øye for de forskjellige stoffer.

III. Herbicidbruk og plantefysiologi.

Begrepet fysiologi kan ha et kvalitativt eller kvantitativt innhold. Her kunner vi der i kvantitativ forstand er legger den betydning i ordet at hver vekst må ta opp en viss minstemengde av hvert merkingsstoff for å gi en avling av en viss storrelse.

Der psykologiske innhold av de forskjellige merkingsstoffer i de ulike vekster varierer øye, ikke bare med utviklingstrinnet, men også etter vekstvilkår, gjødsling m.m. Tidsfaktorer nedenfor er et forsøk på å stille opp middeltall for importder av N, P og K i de viktigste jordbruksvekster, utrykt i prosent. Tallene oppfatter seg i det ait vesentlige til norske analyser. For de vekster eller vekstdeler som der er oppført to tallene disse for, refererer tallet i parentes seg til nyere analyser, mens det første tallet er fra analyser fra avlinger høstet for øret 1941. Det høyere tronnd er som de nyere analyser viser, skyldes nok i hvert fall delvis den stadige gjødsling. For landbruk i Kleve er timotei må det eller hay øye ve rifstem tå jeno de på er tilligere tlæpunkt enn hva som var vanlig for.

Anvisere av p-tekster. Men er en kilrer gjødsler for fjelte plantematerialer, sune de nytre nr lysser reforterer ser til vanlig lufterer materiale.

Middelinnhold av N, P og K, i prosent.

Vekst/vekstdel	N		P		K	
Bygg, korn	1,55	(1,57)*	0,29	(0,34)*	0,46	(0,48)*
" halm	0,60	(0,63)*	0,09	(0,11)*	0,79	(1,17)*
Havre, korn	1,65		0,29		0,46	
" halm	0,60		0,09		0,91	
Kveite, korn	1,90		0,31		0,43	
" halm	0,45		0,07		0,71	
Rug, korn	1,70		0,31		0,50	
" halm	0,45		0,07		0,71	
Rødkløver	1,85	(2,61)**	0,22	(0,30)**	1,66	(2,77)**
Timotei	1,00	(1,47)**	0,18	(0,24)**	1,45	(2,15)**
Poteter, knoller	0,30	(0,29)*	0,05	(0,05)*	0,50	(0,49)*
" ris	0,30		0,07		0,42	
Fornepe, røtter	0,15		0,04		0,25	
" blad	0,30		0,04		0,25	
Kålrot, røtter	0,17	(0,20)*	0,04	(0,04)*	0,25	(0,28)*
" blad	0,30	(0,38)*	0,06	(0,04)*	0,25	(0,36)*

*) Analyser fra avlingsprøver uttatt særlig fra den sydlige del av Østlandet.
**) Analyser fra avlingsprøver uttatt fra hele landet.

En kan også tale om vekstenes ulike gjødslingsbehov eller forskjellige krav til gjødsel. Dermed mener vi at noen kulturvekster krever sterk gjødsling for å gi god avling, mens andre under samme forhold kan gi bra avling med vesentlig svakere gjødsling. Dette henger delvis sammen med næringsbehovet, men skyldes også vekstenes ulike evne til å skaffe seg næringen. Næringsbehov og gjødslingsbehov faller altså ikke sammen.

Vekstenes ulike evne til å skaffe seg næringsstoffene kan ha flere årsaker:

1. Rotsystemet kan være kraftigere eller svakere utviklet.

2. Planterøttene kan tenkes å være mer eller mindre aktive til å skaffe næringen til veie. Om disse ting vet vi lite.

3. Næringen kan tas opp gjennom kortere eller lengre tid. Det kan bli opptatt særlig mye i visse perioder, eller opptakingen kan være jamnere fordelt gjennom lengre tid. Jo kortere tid en vekst har til å ta opp de næringsstoffer

den trenger, og jo mer stoffopptakingen er konsentrert om kortere perioder av veksttiden, desto større krav vil det under ellers like forhold stilles til innholdet av tilgjengelig næring i jorda.

4. Foruten ulik evne til å nytte jordnæringen er belgvekstenes særevne til å ta nitrogen fra lufta en viktig årsak til at vekstenes næringsbehov og gjødslingsbehov ikke faller sammen.

Noen eksempler vil vise forholdet mellom næringsbehov og gjødslingsbehov: Neper, kålrot, poteter og kål har stort næringsbehov. Særlig trenger de mye nitrogen og kalium. De må gjødsles sterkt selv om næringen tas opp gjennom et langt tidsrom. Bygg setter større krav til gjødslingen og næringsinnholdet i jorda enn t.eks. havre. Dette skyldes ikke at bygget har større næringsbehov, men må iallfall delvis ha sin grunn i at det har et svakere rotsystem og tar opp næringen i løpet av kortere tid.

Alle belgvekster er rike på nitrogen, men trenger likevel mindre nitrogen fra gjødsel og jord enn andre vekster, fordi de er i stand til å nytte det elementære nitrogen i lufta. Grasartene i eng og på beite inneholder mye mindre nitrogen enn kløverartene, men trenger sterkere nitrogengjødsling.

IV. Avlinga som funksjon av vekstfaktorene.

Av erfaring vet vi at økt næringstilgang (stigende gjødselmengder) innen visse grenser virker til kraftigere vekst og større avling. Med andre vekstfaktorer som temperatur, vassforsyning m.fl. er det i hovedsaken på samme vis. Særlig i gjødsellæren er det viktig å finne mer almengyldige kvantitative uttrykk for sammenhengen mellom vekstfaktorenes virkeintensitet og avlingsstørrelsen.

Den første som søkte å gi et generelt uttrykk for hvordan avlingsstørrelsen bestemmes av vekstfaktorene, var Justus von Liebig. Han gjorde det ved den såkalte minimumslov, som sier at "det næringsstoff som er til stede i minimum i forhold til behovet, bestemmer hvor stor avlinga blir". A. Meyer utvidet loven ved å skrive den om til "den vekstfaktor som er til stede i minimum - " osv. Denne formulering av minimumsloven er den vanligste. (Som nevnt i den historiske oversikt hadde Sprengel før Liebig vært inne på det som er kjernen i minimumsloven.)

Minimumsloven framstilles ofte ved ei tønne med ulike lange staver. På samme måte som den korteste stav bestemmer hvor mye vatn tønna kan holde, slik beror avlingsstørrelsen på minimumsfaktoren. Dette bilde skriver seg ikke fra Liebig, men ble som flere andre slike bilder til ved en konkurranse om den mest instruktive framstillingsmåte av det essensielle i minimumsloven.

Liebig taler om minimumsfaktoren i entall - altså en enkelt faktor som setter grense for hvor stor avlinga blir. Konsekvensen måtte være at en bare kunne oppnå større avling ved å stille denne faktor gunstigere. Liebig er også vanlig tillagt den oppfatning at avlingsøkningen skulle være direkte proporsjonal med endringen i minimumsfaktoren opp til det punkt hvor denne faktor ikke lenger er i minimum. I virkeligheten er det tvilsomt om Liebig har tenkt seg direkte proporsjonalitet mellom økingen i minimumsfaktoren og avlingsøkningen. Han er nok kommet med enkelte uttalelser som kan tolkes slik, men andre uttalelser tyder på det motsatte. Det er i det hele tatt et uklart punkt hos Liebig. En seinere tysk vitenskapsmann, P. Wagner, uttalte seg derimot en tid klart for direkte proporsjonalitet mellom næringstilføring og avling.

Liebigs minimumslov har utvilsomt hatt meget stor betydning - ikke bare i gjødsellæren eller med tanke på planteproduksjonen i det hele tatt. Hovedinnholdet i minimumsloven er til og med overført til forhold langt utenfor landbruksnæringen.

Da spørsmålet ble nærmere utredet ved forsøk, viste det seg snart at denne lære ikke holder stikk. Således fikk Hellriegel i karforsøk med stigende N-mengder en sigmoid avlingskurve, dvs. en kurve som viser at avlingene først stiger svakt, derpå sterkere og så igjen svakere.

Blant de mange forsøk på å finne matematiske uttrykk for vekstfaktorenes virkning på avlinga er Mitscherlich's ligning den mest kjente.

Vi skal først se på den teori ligningen bygger på. Mitscherlich går ut fra at hvis vekstvilkårene var optimale på alle vis, hvis det m.a.o. i et tenkt tilfelle ikke eksisterte noen minimumsfaktor, ville en få absolutt maksimalavling. Det ville ikke være mulig å drive avlinga høgere opp ved å endre de ytre vekstvilkår, men bare gjennom endring av plantenes indre egenskaper (ved foredlingsarbeid). Er derimot en eller flere vekstfaktorer ikke til stede i optimum, må avlinga bli mindre. Stilles denne eller disse faktorer gunstigere, øker avlinga. På grunnlag av forsøk mener Mitscherlich å kunne stille opp to "lover":

1. Loven om vekstfaktorenes virkning.
2. Loven om vekstfaktorenes virkningsfaktor.

Loven om vekstfaktorenes virkning lyder slik: "Den meravling en får ved en viss øking av en vekstfaktor, er proporsjonal med differansen mellom maksimalavlinga og avlinga før (uten) forandringen". Med maksimalavlinga menes her den største avling en kan få ved å øke bare den vekstfaktor en i hvert enkelt tilfelle har for øye, mens alle andre blir uforandret. Det er altså den største avling en kan få ved en

gitt konstellasjon av alle andre vekstfaktorer, ikke den teoretiske absolutte maksimalavling det var tale om ovenfor. Denne sats gjelder for alle vekstfaktorer.

Loven om vekstfaktorenes virkningsfaktor lyder: "Hver vekstfaktor har en bestemt virkningsfaktor, som er uforanderlig under alle forhold". Virkningsfaktoren karakteriserer nøyere virkemåten for den enkelte vekstfaktor. I ligningen skulle virkningsfaktoren for nitrogen ha en bestemt tallverdi, virkningsfaktoren for fosforsyre (P_2O_5) en annen og for kali (K_2O) en tredje. Alle verdier skulle være konstante - uten variasjon etter planteart, jord, meterologiske forhold osv.

Med dette kommer Mitscherlich til følgende generelle matematiske uttrykk for en enkelt vekstfaktors virkning på avlinga:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = (A - y)\ c$$

Δy er meravlinga for en uendelig liten øking Δx av en vekstfaktor, A = maksimalavlinga, y = avlinga før forandringen av x og c = virkningsfaktoren for vedkommende vekstfaktor.

Av det matematiske uttrykk ovenfor vil en se at avlingsøkningen for økning av vekstfaktoren x er proporsjonal med differansen A - y, som stadig må minske etter som tilførselen av vekstfaktoren øker. Avlingsøkningen for stigende mengder av vekstfaktoren x må altså avta pr. enhet av vekstfaktoren, dvs. avlingskurven blir krum (konveks). Proporsjonaliteten mellom differensen A - y og meravlinga kan framstilles enkelt ved å sette den "mengde" av en vekstfaktor som gir avlinga $\frac{1}{2}$ A til 1. Med tanke på gjødsellæren kan vi kalle denne enhet for en næringsenhet. Setter vi y før tilsetting av vekstfaktoren = 0, A = 100 og $\frac{A}{2}$ altså = 50, får vi:

Næringsenhet	Diff. A - y	Meravling	Totalavling
1ste.....	100 - 0 = 100	50	50
2nen.....	100 - 50 = 50	25	75
3dje.....	100 - 75 = 25	12,5	87,5
4de.....	100 - 87,5 = 12,5	6,25	93,75

Som vi ser, er dette en del av en uendelig rekke. Ved den forenklede framstilling kommer en aldri opp til 100.

Fig. 1 uttrykker loven om vekstfaktorenes virkning på denne enkle måten. Prinsippet er almengyldig uten forskjell etter tallverdien av c. Forholdet mellom meravlingene ved 1, 2, 3 osv. næringsenheter skal være det samme selv om c og kurvens form varierer, og hvor på avlingskurven en befinner seg ved starten. Framstillingsmåten kan bare brukes når en regner med næringsenheter av størrelse som angitt ovenfor.

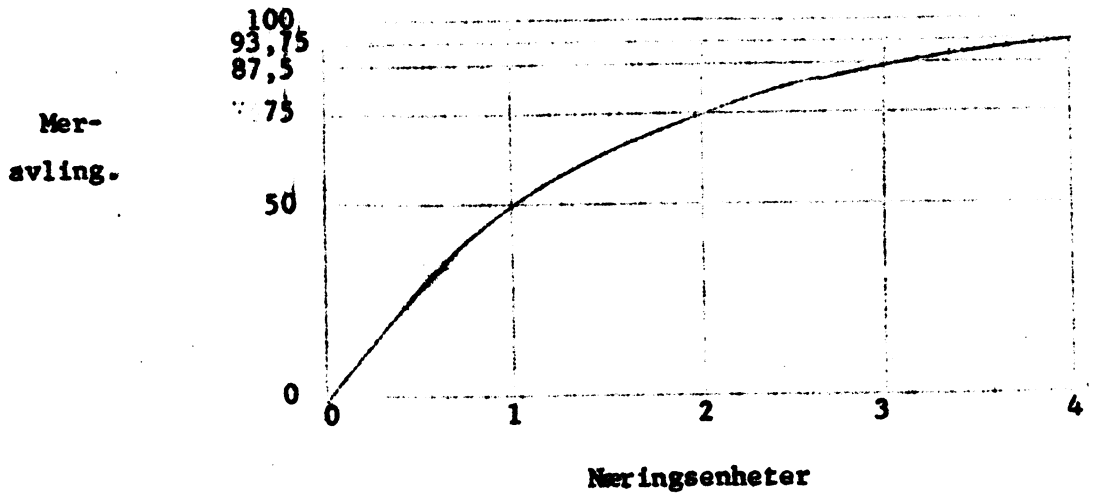


Fig. 1.

Etter integrering av ligningen på forrige side får en:

$$\log (A-y) = \log A - cx$$

Ved hjelp av denne ligning kan en under bestemte forutsetninger beregne avlingskurvens forløp for ett forsøksfelt eller middel for en serie forsøksfelter (A og c beregnes da først etter bestemte ligninger).

Avlinga bestemmes iflg. Mitscherlich i hvert enkelt tilfelle ved et samspill mellom flere faktorer, men hver faktor virker på sin karakteristiske måte

Fig.2 illustrerer samspillet mellom ulike mengder av to faktorer (x og z).

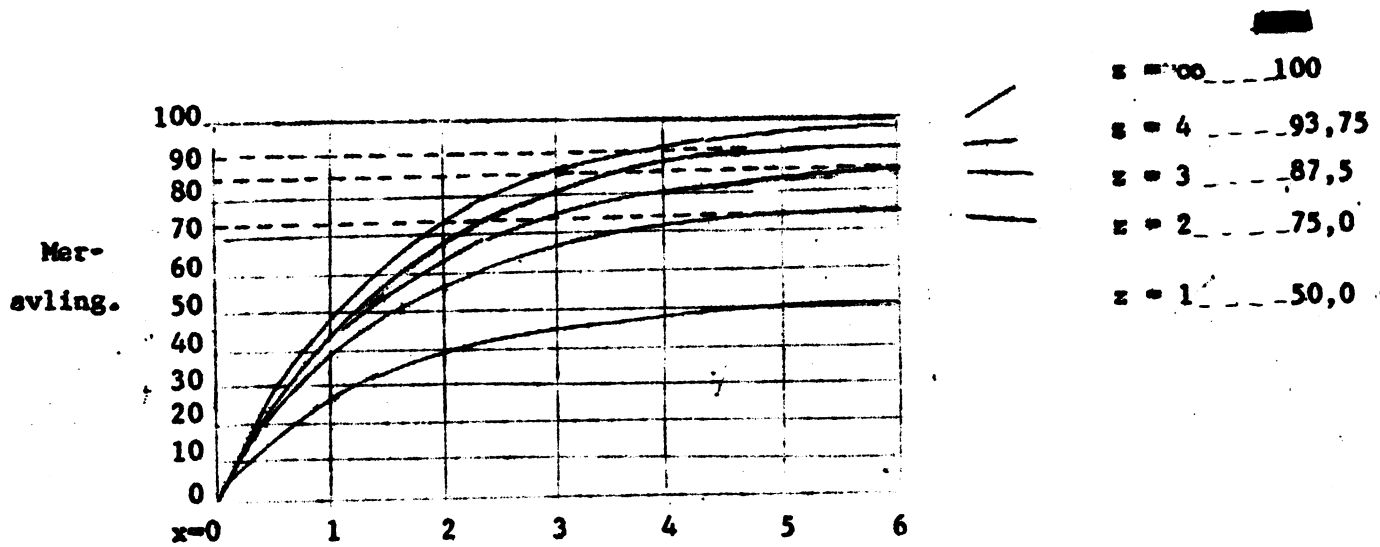


Fig. 2.

Når z varierer, endres maksimalavlinga og dermed også avlinga for en hvilken som helst verdi av x.

Mitscherlich's lov gir altså for det første greitt uttrykk for at det ikke er direkte proporsjonalitet mellom endringen i en vekstfaktor og den resulterende meravling. Dette betyr et avgjort framskritt sammenliknet med Liebig's minimumslov. Som fig.2 viser, kommer det også klart fram at avlinga bestemmes ved et samspill mellom flere vekstfaktorer. Dette svarer langt bedre til vår erfaring enn minimumslovens ordlyd om en minimumsfaktor.

Erfaring lærer at en som regel kan øke avlinga ved å stille flere faktorer gunstigere hver for seg. En får t.eks. utslag for flere næringsstoffer gitt enkeltvis, for både gjødsling, kalking og vatning hver for seg osv. Slik skal det være iflg. Mitscherlich, men ikke etter minimumsloven når en tar den bokstavelig.

Skjønt Mitscherlich's ligning har mange fordeler, kan vi ikke oppfatte den som uttrykk for en naturlov, slik som Mitscherlich selv har gjort. Det kan gjøres mange og ganske sterke innvendinger mot den. Læren om virkningsfaktorens konstans holder ikke stikk, og setningen om vekstfaktorenes virkning er ikke almengyldig. Videre har det vært innvendt at avlingskurven også har en nedstigende gren. Tilfører en overdrevet store næringsmengder, eller lar en i det hele tatt en eller flere vekstfaktorer virke overdrevet sterkt, gjør de skade, og avlinga blir mindre. Ved et tillegg til Mitscherlich's ligning i den opprinnelige form har en villet gi uttrykk for at en fullstendig avlingskurve også har en nedstigende gren.

Også den oppstigende del av kurven får ofte en annen form ved forsøk enn den skulle ha etter ligningen. Ved forsøk med stigende mengder av ett eller flere næringsstoffer får en av og til sigmoide avlingskurver, eller relativt større meravlinger for noe større næringsmengder enn for mindre. I karforsøk med næringsoppløsning eller sand er den sigmoide kurveform til og med nokså vanlig. Forløpet av den første del av avlingskurven må kunne tolkes slik at tilveksten bremses ved at det relative innhold av stoffet i plantene øker. I markforsøk er derimot minkende meravlinger for like store doser av gjødsel eller næringsstoff det vanligste. Årsaken kan tenkes å være at markforsøket så godt som alltid viser oss bare en del av avlingskurven. Vi får ikke med det første kurvestykket, fordi jorda selv gir en del næring til forsøksveksten.

Men også i markforsøk hender det ikke sjelden at meravlinga blir forholdsvis større for store gjødselmengder enn for små. Dette må oppfattes som deler av sigmoide meravlingskurver. Årsakene kan her likevel oftest føres tilbake til andre forhold, t.eks. til plantefysiologiske eller jordbunnskjemiske forhold.

Forholdsvis større utslag for større gjødselmengder enn for små er t.eks. ingen sjelden foreteelse i forsøk med stigende fosfatmengder. I forsøk med stigende nitrogengjødselmengder til eng og beite med mye kløver finner en ikke sjelden forholdsvis større utslag for store gjødselmengder enn for mindre. Dette henger nok iallfall delvis sammen med de forandringene i bestandens botaniske sammensetning som gjødslinga er årsak til. En gir på en måte de ulike gjødselmengder til forskjellig plantebestand, og eksemplet står altså i en annen stilling enn når det gjelder en enkelt planteart.

Selv når stigende gjødselmengder gir stadig avtakende meravling for et visst kvantum, kan avlingskurven avvike mye fra Mitscherlich's ligning. En kan i det hele tatt gjøre mange innvendinger mot den, og det er lett å finne eksempler på at den ikke svarer til resultater av forsøk. Mitscherlich's ligning er ikke almengyldig, men den er i mange tilfelle et tilnærmet uttrykk for hvordan avlinga varierer med en vekstfaktor. Oppfattet på denne måten er den ofte til nytte ved behandling av tallmaterialet fra forsøk.

Mitscherlich's ligning er ikke den eneste matematiske formulering av avlinga som funksjon av vekstfaktorene. Det er forsøkt med mange andre. Her skal vi bare nevne hyperbelligningen:

$$y = \frac{A\,x}{B + x}$$

x = en viss mengde av en vekstfaktor, y = den tilsvarende avling, A = maksimalavlinga, og B er en koeffisient som må beregnes i hvert enkelt tilfelle.

Som navnet sier, gir ligningen en hyperbel, altså en avlingskurve med minkende utslag for suksessiv øking av faktoren, men med en noe annen form enn den en får etter Mitscherlich's ligning. Også hyperbelligningen er til dels gitt et tillegg slik at den kommer til å omfatte også den nedgående del av avlingskurven.

I noen tilfelle kan forsøksresultatet svare best til Mitscherlich's ligning, i andre tilfelle til hyperbelligningen, og i atter andre tilfelle er ingen av dem brukbare. En må selvsagt alltid undersøke om observasjonene viser tilstrekkelig samsvar med den ligningen en vil bruke.

Om framgangsmåten ved regningen med de to ligninger viser jeg til K.A. Bondorff: Landbrugets Jorddyrkning I. København 1938.

V. Næringsstoffhusholdningen i jorda.

Jorda er for det første leverandør for større eller mindre mengder av plantenæringsstoffer. På få unntak nær er den også et nødvendig mellomledd når vi vil gripe inn i plantenes næringsforsyning ved gjødsling. Som regel kan vi ikke gi næringen direkte til kulturvekstene på samme måte som til husdyra. I veksthus går det ock an å drive økonomisk plantedyrking i næringsoppløsninger, uten egentlig jord. Til en viss grad kan en også i praksis sprøyte grønne planter med næringsoppløsninger og henvise dem til å ta opp næringsstoffene gjennom bladverket. Dette er i mange tilfelle aktuelt for mikronæringsstoffer. Ellers nytter en plantenes evne til å ta opp næring gjennom bladene når en sprøyter frukttrær med oppløsninger av magnesiumsulfat eller av urinstoff. Men som regel må vi tilføre mineralstoffer og nitrogen via jorda. I jorda kan stoffene få forskjellig skjebne som har avgjørende betydning for næringseffekten.

Næringsstoffhusholdningen i jorda har altså stor interesse i gjødsellæren. Med næringsstoffhusholdningen mener vi i en sum tilføring og bortføring av stoffer, mange slags stoffomsetninger, binding og frigjøring på ulike måter, stofftransport med vatn og på annet vis m.m.

1. Nitrogen.

Over 99 % av alt nitrogen på vår klode forekommer fritt i lufta. Mindre enn 1 % er tilstede i bundet form.

Nitrogeninnholdet i jorda varierer fra noen hundredels prosent i humusfattig mineraljord til over 3 % i særlig godt formoldet myrjord. De absolutte mengder er vanlig noen hundre kg pr. dekar i mineraljord. I mektigere lag av nitrogenrik torv kan mengden gå opp i noen få tonn N pr. dekar. Til jamføring kan nevnes at lufta over ett dekar jord nær havets nivå over alt på kloden inneholder ca. 7800 tonn nitrogen.

Bare noen få plantearter kan nytte det elementære nitrogen i lufta direkte. Belgvekstene kan under gunstige forhold ta 10-20 kg N pr. dekar fra lufta i løpet av sommeren. Blågrønne alger kan nyttiggjøre seg noe luftnitrogen direkte. Det samme gjelder visse frittlevende mikroorganismer i jorda (Azotobacter spp., Clostridium spp.). De spiller sannsynligvis vesentlig mindre rolle enn ofte antatt, fordi nitrogenbindingen krever omsetning av store mengder organisk stoff for å skaffe energi.

Litt nitrogen kommer til jorda med nedbøren. Mengdene kan variere fra adskillig under 0,5 kg til betydelig over 1 kg pr. dekar om året. Undersøkelser

her i landet har oftest vist under en halv kg. I endel undersøkelser fra de seinere år hvor i alt 12 nedbørstasjoner har vært med, varierte det totale innhold av N for de ulike stasjoner fra 0,08 til 0,6 kg. I middel var innholdet ca. 0,2 kg hver for nitrat-N og ammonium-N. (J.Låg: Tilføring av plantenæringsstoffer med nedbøren i Norge. Forskn.fors. i landbr. 1963, 185-195). Ammonium-N skriver seg fra brenning og råtning av organisk stoff eller er tilstede i bitte små partikler av organisk materiale som stiger opp fra jord og vatn, mens nitratet er dannet ved elektriske utladninger i atmosfæren.

Det aller meste av nitrogenet i jorda er i organisk bundet form og ikke direkte tilgjengelig for de grønne planter. Men det organiske materiale er som kjent gjenstand for nedbryting, som besørges av lågere dyre- og planteorganismer i jorda. Plante- og dyrerestene spaltes gjennom mange mellomledd og ad forskjellige omveier til uorganiske sluttprodukter, bl.a. ammoniumforbindelser, som i sin tur kan gå over til nitrat. På denne måten blir nitrogenet litt om senn tilgjengelig for de høgere planter.

Jordas bidrag til plantenes nitrogenforsyning beror på hvor mye nitrogen som går over i nyttbar form i løpet av en viss tid, t.eks. en vekstperiode. Dette avhenger av flere faktorer som for oversiktens skyld kan innordnes under 3 punkter:

1. Humusmengden.
2. Omsetningshastigheten.
3. Humuskvaliteten.

Under ellers like forhold vil naturligvis tilgangen på nyttbart nitrogen fra jorda rette seg etter innholdet av organisk stoff.

Omsetningshastighetens betydning er også uten videre klar. Den beror dels på det organiske stoffs beskaffenhet og andre jordegenskaper, dels på ytre forhold. Høg temperatur (innen visse grenser), god tilgang på oksygen og tilstrekkelig fuktighet påskynder omsetningen av organisk stoff. Låg temperatur, liten tilgang på oksygen og sterk uttørking sinker eller stanser destruksjonsprosessene. Knapp forsyning med de mineralstoffer som mikroorganismene trenger, og sterkt sur jordreaksjon bremser også omsetningshastigheten.

Humuskvaliteten har betydning på flere måter. Noen organiske nitrogenforbindelser nedbrytes lett og raskt, andre er mer resistente. Dessuten har mengdeforholdet mellom C og N stor betydning. Organisk stoff med vidt C/N-forhold avspalter ikke N. Nitrogenet brukes opp etter hvert av de mikroorganismer som besørger nedbrytingen. Omsetningen fører bl.a. til et karbontap i form av CO_2.

Derved blir C/N-forholdet gradvis snevrere. Når denne utvikling er nådd til et visst punkt, blir det nedbrutt større mengder nitrogenforbindelser enn det som trengs til å dekke mikroorganismenes behov. Dermed begynner en avspalting av ammoniumforbindelser, som kan komme de høgere planter til gode.

Noen eksempler vil vise hva disse forhold betyr for kulturvekstenes nitrogenforsyning: Myrjorda er i hvert fall prosentisk rik på nitrogen, men det absolutte nitrogeninnhold varierer mye. I udyrket tilstand er myrjorda oftest lite omsatt her i landet. Derfor gir den som regel forholdsvis lite nitrogen til kulturvekstene de første år. Grøfting, jordarbeiding, kalking, gjødsling med fosfat- og kaliumgjødsel og eventuelt innblanding av mineraljord påskynder omsetningen av det organiske stoff. I god grasmyrtorv varer det ikke lenge før nitrogenmobiliseringen går så raskt at det betyr mye for kulturvekstenes nitrogenforsyning. Kvitmosetorv har mindre nitrogeninnhold. De forskjellige kulturinngrep setter nok omsetningen i gang, men jorda beholder i lang tid et vidt C/N-forhold og gir lite nitrogen fra seg til kulturvekstene. Nitrogenbehovet må dekkes ved gjødsling eller gjennom belgvekster.

Udyrket mineraljord har ofte råhumus. Den har liten betydning som nitrogenkilde de første år etter oppdyrkingen. Ellers vet vi at mineraljord i forsvarlig kultur som regel gir fra seg mer nitrogen desto rikere den er på humus.

Høgt over havet og langt mot nord, der sommeren er kort og kjølig, går nitrogenmobiliseringen mye langsommere enn i varmere klima. På slike steder spiller til og med godt forholdet myrjord mindre rolle som nitrogenkilde.

Organisk materiale som blir blandet inn i jorda, kan ha svært forskjellig virkning på nitrogenhusholdningen. Er det relativt nitrogenrikt og nedbrytes raskt, kan det tjene som en god nitrogenkilde fra første stund. Er det rikt på lett spaltbare karbohydrater og relativt nitrogenfattig, vil det i første omgang tvert imot være årsak til et nitrogenkonsum ved mikroorganismer. Karbohydratene er energikilde for mikroorganismene, som formerer seg overordentlig sterkt. Hvis nitrogeninnholdet i det organiske stoff er for lite til å dekke mikrobenes nitrogenbehov, bruker de nitrat- og ammoniumnitrogen som skriver seg fra jord eller gjødsel, og overfører det til organisk form. Etter en tids forløp er mye av karbonet gått vekk som CO_2. Masser av døde mikroorganismer destrueres. Nitrogenkonsumet opphører, og en avspaltning av uorganiske nitrogenforbindelser kan begynne. Dette inntreffer ved noe forskjellig C/N-forhold. Broadbent fant at det foregikk et nitrogenkonsum når forholdet var videre enn 33 og en ammoniakkavspaltning når det kom ned i 17 eller lågere. Mellom disse grenser forekom hverken nitrogenassimilasjon eller ammoniakkavspaltning av større betydning.

Organisk materiale som nedbrytes langsomt, virker mindre sterkt både i den ene og den annen retning.

Et lite laboratorieforsøk av Waksman og Tenney (U.S.A.) illustrerer godt hvor forskjellig ulikt organisk materiale virker på nitrogenhusholdningen. De undersøkte CO_2-utviklingen, avspaltingen av ammoniumnitrogen og N-assimilasjonen etter innblanding i jord av 2 g tørrstoff av rugplanter på forskjellig utviklingstrinn, og lagring av prøvene i et tidsrom på 27 døgn. Resultatet var:

	CO_2-utvikling, mg C	Avspaltet amm.-N, mg	N-assimilasjon, mg
Plantene 25-35 cm høge	286,8	22,2	0
" like før skyting.....	280,4	3,0	0
" " " blomstring.....	199,5	0	7,5
" nesten modne.....	187,9	0	8,9

Det unge plantemateriale inneholder mindre lignin og har et trangere C/N-forhold enn det eldre. Det første er blitt omsatt raskere og har avspaltet ammonium-N, mens det eldre materiale tvert imot har ført til N-assimilasjon.

Som praktiske eksempler kan nevnes at nedpløying av en grønn belgvekstavling virker som nitrogengjødsel, mens innblanding av halm i jorda resulterer i nitrogenforbruk. Frisk eller lite omsatt halm i jorda om våren vil redusere nitrogentilgangen og vanlig minske avlinga hvis det ikke blir gjødslet tilsvarende sterkere med nitrogen.

For å få et riktigere bilde av det som er sagt ovenfor, skal vi ha i minne at det samtidig foregår både mineralisering av organiske nitrogenforbindelser og overføring av uorganisk nitrogen til organisk form i jorda. For de høgere planters nitrogenforsyning fra jorda er det avgjørende om den ene eller den annen retning er i overvekt, og hvor stor overvekten er.

Det uorganiske nitrogen i jorda forekommer praktisk talt bare som NH_4^+ og NO_3^-. Kulturjord inneholder vanlig lite NH_4-N når en ser bort fra en kortere tid etter gjødsling med ammoniumsalter eller med husdyrgjødsel. Nitratmengden svinger sterkt med gjødsling, nitrifikasjon og plantenes nitrogenforbruk.

Nitratjonene absorberes ikke i jorda og holder seg altså i jordvæsken. Derfor er de lett utsatt for å vaskes ut. Det behøver likevel ikke alltid å være slik at alt nitrat som blir vasket ut fra matjordsjiktet etter plantene er høstet, er tapt for plantene neste år. Nyere nederlandske undersøkelser har således vist at framfor alt planter med djuptgående rotsystem neste år kan nytte endel av det nitrat som måtte være vasket ned til jordsjikter under matjordsjiktet i løpet av

Organisk materiale som nedbrytes langsomt, vil som mindre sterkt både i det ene og den anden retning.

Et lille laboratorieforsøk av Ågren og Geiger (U.S.A.) illustrerer godt hvor forskjellig de organiske materialer virker på nitrogenholdningen. De undersøkte CO_2-utvikling, avspaltning av ammoniaknitrogen og N-assimilasjonen efter inblanding i jord av 4 g tørrstoff av nogle av de på forskjellig sædskiftetrinn, og lagring av prøvene i et tidsrom på 27 døgn. Resultatene var:

	CO_2-utvikl. mg C	Avspaltet NH_3-N mg	N-assimilasjon mg
Plantene 25-30 cm høye	289,8	22,2	0
" ikke for skyting..... ...	280,4	3,0	0
" " blomstring	299,5	0	7,5
" modne modne.....	187,9	0	8,9

Det unge plantematerialet innholder mindre ligninn og mer av transpere C/N-forholdet som det eldre. Det forøvrige er blitt omsatt raskere og har avspaltet ammonium-N, mens det eldre materiale tvert imot har ført til N-assimilasjon.

Som praktisk eksempel kan nevnes at nedpløying av en grønn bølgvekstavling virker som nitrogengjødsel, mens inblandning av halm i jorda resulterer i nitrogenforbruk. Frisk eller ikke omsatt halm i jorda om våren vil redusere nitrogentilgangen og vanlig mikse avlinger hvis det ikke blir gjødslet tilstrekkelig sterkere med nitrogen.

For å få et riktigere bilde av det som er angående overfor, skal vi ha i minne at det samtlig foregår både mineralisering av organisk nitrogenholdig materiale og overføring av uorganisk nitrogen til organisk form i jorda. For de høyere plantes nitrogenforsyning fra jorda er det avgjørende om den ene eller den annen retning er i overvekt, og hvor stor overvekten er.

Det uorganiske nitrogen i jorda er som vi vet hovedsakelig i form som NH_4^+ og NO_3^-. Kulturjord inneholder vanlig ikke NH_4-N når en ser bort fra en kortere tid etter gjødsling med ammoniaksalter eller med husdyrgjødsel. Mikroorganismene svinger stadig med gjødsling, nedbrytning og plantenes nitrogenforbruk.

Nitratjonene overhøvelse ikke i jorda og holder seg stort i jordvannet. Derfor er de lett utsatte for å vaskes ut. Det behøver likevel ikke utfelle å være slik at alt nitrat som blir vasket ut fra mottagelighet eller plantene er bortkastet, at tapt for plantene betyr det. Ifølge nedenstående undersøkelser har allikevel vist at transpere alt planter med dypgående røtter som de kan nytte ennå i det nitrat som måtte være vasket bort til jordsjikter under nåværende åkers lopet av

høsten eller vinteren, og markforsøk i Nederland har vist at behovet for nitrogengjødsel har vært minst når høst- og vinternedbøren forut har vært liten. (Pauw. F. van der, 1962: Effect of winter rainfall on the amount of nitrogen available to crops. Plant and Soil, 16: 316-380). Om disse forhold vet vi ellers lite når det gjelder vårt land, men det er ikke urimelig om forholdene kan variere mye sett på bakgrunn av de store ulikheter i klimaet hos oss.

NH_4-joner bindes til jordkolloider med elektronegativ ladning på samme måte som metalljonene (nærmest som K^+). I visse leirmineraler kan NH_4^+ i likhet med K^+ (se seinere) inngå i mineralenes krystallgitter. Forutsetningen for at ammonium skal bindes på denne måte, er at leirmineralene må ha avgitt gitterbundet kalium slik at det er plass for andre joner. Etter dette må gitterbinding av NH_4^+ særlig kunne bli av noe omfang hvis leirjorda i lengere tid er blitt tappet for kalium. Når NH_4^+ forholdsvis lett kan erstatte K^+ i krystallgitteret, skyldes det at de begge er enverdige joner og at jonediametrene er noenlunde like store (1,33 Å for K^+ og 1,43 Å for NH_4^+).

Ammonium (og kalium) bundet på denne måte sies gjerne å være <u>fiksert</u> og er relativt tungt tilgjengelig for plantene. På den annen side er næringsstoffene da godt beskyttet mot utvasking.

Om faren for ammonium- (og kalium-) fiksering i våre leirjorder vet vi foreløpig ikke stort. Det ser riktignok ut til at leirmineralene illitt og vermiculitt (som kan være fikserende) forekommer relativt hyppig, men vi mangler ennå undersøkelser om fikseringsgraden. I Sverige er endel slike undersøkelser utført i seinere tid (Hans Nömmik: Faktorer inverkande på kvävehushållningen i marken. Växt-mær.-Nytt, häfte 5, 1954). I innsamlede leirjordsprøver ble det i laboratorieforsøk tilsatt ammoniumsulfat som etter noen tid (2 døgn) ble rystet og vasket med en KCl-oppløsning (1 normal). Ammonium som ikke ble ekstrahert ved denne prosess, ble betraktet som <u>fiksert.</u> I et materiale på vel 200 jordprøver uttatt fra 14 forskjellige steder var resultatet at 9-49 % av det tilførte ammonium ble fiksert (tallene er middeltall for steder). I dette materiale var det sterk positiv korrelasjon mellom jordas fikseringsevne og pH, dvs. økende pH og økende kalkinnhold førte til tiltakende fiksering. Fikseringen tiltok også med økende innhold av leirpartikler i jordprøven.

Sett i relasjon til at NH_4^+ bindes til jordkolloidene (og kanskje delvis også blir fiksert) og i kulturjord vanlig blir raskt nitrifisert, er det forståelig at ammonium bare finnes i jordvæsken i meget små mengder og er lite utsatt for utvasking.

Utvaskingen av nitrogen varierer med klima, jord, gjødslings- og bruksmåte m.m. Den er vanlig størst om høsten og vinteren så lenge det ikke er tele i jorda.

Braadlie målte og analyserte grøftevatnet fra et dyrket jordstykke med leirjord på forsøksgarden Voll og fra et dyrket grasmyrareal på Mæresmyra. Undersøkelsene strakte seg over 2 år på Voll og 1 år på Mæresmyra. Nitrogenmengdene i grøftevatnet ble i middel pr. dekar og år:

	Voll	Mæresmyra
Nitrat-N.....	0,928 kg	0,086 kg
Amm.-N.....	0,025 "	0,011 "
Org. N.....	0,771 "	1,209 "
Ialt.....	1,724 kg	1,306 kg

Årsnedbøren var nesten 800 mm på Voll og ca. 630 mm på Mæresmyra. Jamført med resultatene av liknende undersøkelser i andre land er ikke tallene urimelige, men det er likevel ting som tyder på at disse og de tilsvarende tall for andre stoffer som blir gjengitt lenger fram, er i største laget. Grøftevatnet utgjorde nemlig 70-85 % av nedbøren. Det er usannsynlig mye og gir grunn til mistanke om at vatnet i virkeligheten er kommet fra et større areal enn det er regnet med.

I lysimeterforsøk på Ås var N-mengden i avløpsvatnet fra leirjord i middel ca. 1,5 g/m^2 de seinere år etter at jorda hadde pakket seg godt sammen. De første år mens jorda ennå lå løs, var den større.

Ved slike undersøkelser i andre land har en funnet at nitrogenet vesentlig blir vasket ut som nitrat. I grøftevatnet på Voll og Mæresmyra har en betydelig del av nitrogenet vært i organisk bundet form. Slik undersøkelsene ble utført, er det ikke utelukket at mye av det organiske stoff er kommet til i grøftemunningen eller like etter vatnet kom ut av denne. I lysimeterforsøkene fant vi også betydelige mengder av organisk stoff i avløpsvatnet så lenge jorda i lysimeterkarene ennå ikke hadde pakket seg godt sammen. Seinere har det vært lite organisk N i vatnet. Det er altså usikkert hvor mye vekt en i det hele tatt skal legge på tallene for denne nitrogenfraksjon.

De nitrogenmengder kulturjorda taper ved utvasking, er som regel små jamført med det som blir tatt bort med avlingene.

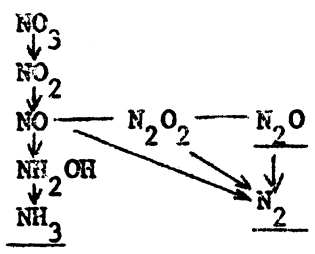
Under visse forhold ser jorda ut til å kunne tape adskillig nitrogen som gass. For et stykke prærieland i Saskatchewan i Canada har en satt opp dette regnskap for nitrogenet i jorda:

	%	lb pr. acre
N i jorda før oppdyrking	0,371	6940
N " " 22 år etter "	0,254	4750
Differanse		2190
Funnet i avlingene		700
N-tap på annen måte		1490 = ca. 23 %
N-tap " " " pr. år		68 = 7,6 kg/dekar

Klimaet er slik at det ikke kan ha foregått noen utvasking. En har ellers funnet noe liknende andre steder der klimaet er omtrent like ens. Forholdet kan heller ikke forklares ved vinderosjon. Jord som er oppbevart i store kar, har nemlig også mistet nitrogen på en måte som vi ikke kjenner nøyere til. En regner derfor med at jorda under visse forhold, t.eks. når prærien blir dyrket opp, mister elementært nitrogen. I det siste har en vært inne på at dette tap kanskje kan oppstå under nitrifikasjonsprosessen.

At gassformig nitrogen kan tapes fra kulturjord ved denitrifikasjon, er lenge kjent. Høgt vassinnhold i jorda og mye av lett spaltbart organisk materiale vil øke faren. Bl.a. nyere svenske laboratorieundersøkelser tyder på at tap av gassformig N eller gassformige N-forbindelser ved denitrifikasjon kan bety endel selv om jorda ikke er helt eller tilnærmet vassmettet (Hans Nommik: Faktorer inverkande på kvävehushållningen i marken. Växt-nær.-Nytt, häfte 5, 1954).

Reduksjonen av nitrat skal kunne gå i forskjellige retninger, som hver for seg kan medføre tap:



I de svenske undersøkelser ble det funnet at både N_2O og (seinere) N_2 ble avspaltet fra jord som var tilført nitrat.

Optimumstemperaturen for denitrifikasjonen ligger vesentlig høgere enn en vanlig finner i kulturjord hos oss, men i vassmettet jord skal denitrifikasjonen kunne bli betydelig selv ved ca. 10 °C, og den er påvist ned til noen få plussgrader. Som konklusjon for de svenske undersøkelser er det regnet med at en kan se bort fra tap av nitrat ved denitrifisering hvis jorda har under 60 % vassmetning og luftvekslingen samtidig er god.

Teoretisk skulle det være mulig at en begynnende nitrifikasjon i jorda kan stoppe hvis oksygentilgangen blir dårlig, og bli avløst av denitrifikasjon med tap av N.

Om tap av gassformig N og gassformige N-forbindelser spiller noen rolle i praksis hos oss, vet vi foreløpig lite om.

Til slutt et eksempel på gjødselnitrogenets skjebne i jorda:
I et 5-årig lysimeterforsøk på Ås (Ødelien og Vidme: Lysimeterforsøk på Ås 1938-43. Meld. fra N.L.H. 1945) ble det gjødslet med 1,5 kg/m^2 storfegjødsel hvert av de 4 første år (ledd II), 3 kg 1. og 3. år (III) og 6 kg 1. år (IV). Dessuten ble det brukt like mye N, P og K i etter tur kalkammonsalpeter + superfosfat + kaliumsulfat som i ledd II hvert år (V), og som III hvert annet år (VI). Ledd I var ugjødslet. Forsøksveksten var poteter alle år. Det ble funnet følgende merinnhold av N i knoller og ris (røttene ble etterlatt i jorda), jamført med ugjødslet (i % av tilført N):

	II	III	IV	V	VI
I avling	30,4 %	32,9 %	36,5 %	66,4 %	64,9 %
" avløpsvatn.....	0,3 "	4,3 "	6,1 "	4,7 "	0,3 "
Rest.....	66,9 "	62,8 "	57,4 "	28,9 "	34,8 "

"Resten" må i dette tilfelle antas å være bundet i jorda i organisk form eller fiksert som NH_4^+. Vi har i hvert fall ikke kjennskap til prosesser som kan gi grunnlag for noen annen forklaring under slike forhold.

2. Fosfor.

Fosforinnholdet i helt tørr jord er vanlig av størrelsesordenen 0,01-0,1 % P. I matjorda er stoffet dels i uorganisk og dels i organisk form. Den organiske fraksjon utgjorde:

Etter Damsgaard-Sørensen (Danmark)
i 445 prøver av dyrket jord.....20-80 %
" Armi Kaila (Finland)
i middel for 30 prøver av sand- og mojord..... 42 "
" " " 40 " " leirjord..... 40 "
" " " 30 " " myrjord..... 61 "

Noe eldre amerikanske undersøkelser viste 15-50 % organisk bundet P. I præriejorda i U.S.A. regner en i middel med nesten 50 % av fosformengden i organisk form.

Superfosfat drar ingen verkan på pH

Thomasfosfat ($Ca_4P_2O_9$ saknar ihålig rätt sammansättning)

100 kg Tomasfosfat ekvivalent med 2/3 100 kg kalksteinmjöl
(omk 50 kg $CaCO_3$).

Tomasf. kan ha bättre verkan som superf. på
sur jord. Ihålig bens kalkverkanden, men
vanlig. P i superf. kan bli verksam hände.

Storparten av det uorganiske fosfor er dels tilstede i primær form som apatitt, dels sekundært bundet til Ca, Al, Fe eller til kolloider, særlig leirkolloider. De viktigste organiske fosforforbindelser i jorda er fytin og nukleinsyrer.

I mineraljord er både de uorganiske og de organiske fosforforbindelser i jorda tungt oppløselige. Ved ekstraksjon med vatn får en bare ut ytterst små mengder. Jordvæsken inneholder oftest bare brøkdeler av 1 mg P pr. l. Når en gjødsler med vassløselig fosfat (t.eks. primært kalsiumfosfat i superfosfat), bindes fosfatjonene raskt og nesten fullstendig. Fosforinnholdet i jordvæsken tiltar ikke vesentlig.

I samsvar med dette er fosfor lite bevegelig i jorda. Det vandrer bare i mindre grad og svært langsomt nedover med synkevatnet, og er vanlig bare utsatt for ubetydelig utvasking. I jord med podsollprofil er det nok lett å påvise en transport av fosfor nedover i jorda, men dette er vel å merke resultatet av en prosess som har strukket seg over lange tidsrom. Braadlie fant bare 0,017 mg P pr. l og 9 g P pr. dekar og år i avløpsvatnet fra leirjord på Voll. De tilsvarende tall på Æresmyra var etter tur 0,004 mg og 2 g. I lysimeterforsøk er utvaskingen ofte større for alle stoffer enn i marken, men også her dreier det seg om små mengder P. Noen middeltall fra lysimeterforsøk, uttrykt pr. dekar, viser:

Rothamsted	110 g P
Aberdeen	55 " "
Darmstadt	9-35" "
Ås	7-9 " "

Største delen av det tilførte fosfor har tendens til å holde seg i det jordsjikt der det blir mekanisk innblandet. Fordelingen i jordprofilet retter seg altså i høg grad etter innblandingsmåten og jordarbeidingen. I dyrket jord her i landet er vanlig matjorda vesentlig rikere på fosfor enn de djupere sjikter. Ved overgjødsling på eng og beite blir en stor del absorbert i et forholdsvis tynt overflatesjikt. Følgende tall fra undersøkelser på et kulturbeite i Sverige viser særlig stor forskjell i innholdet av lett oppløselig fosfor i ulik avstand fra jordoverflaten:

Dybde, cm	0-2	2-4	4-6	6-10	10-15	15-20
Laktattall	172	156	22	8	4	3

Plantene gjør også sitt til det ulike fosforinnhold i forskjellig dybde i jord som ligger til eng eller beite i noen år. Planterøttene tar opp fosfor også fra de djupere sjikter og etterlater en del av det i den store rotmasse

nærmere jordoverflaten og i planterester oppå jorda.

Den raske og vidtgående utfelling av fosfatjoner fra jordvæsken skyldes dels at de bindes til metalljoner, særlig Fe, Al og Ca. Dels bindes de til kolloider, særlig kolloide seskvioksyder. De fosfatjoner som kommer i jordvæsken ved forvitring av det primære fosforholdige mineral apatitt, i gjødsel eller ved nedbryting av organiske fosforforbindelser, bindes i utpreget sur jord fortrinnsvis til Fe, Al, og til jern- og aluminiumrike kolloider. Ved svakt sur, nøytral og alkalisk reaksjon felles de vesentlig av Ca som en rekke forskjellige fosfater, fra sekundært fosfat til basiske kalsiumfosfater.

Bl.a. vår landsmann Thorbjørn Gaarder har belyst dette både ved forsøk med oppløsninger og ved undersøkelser av naturlig jord. (Gaarder: Die Bindung der Phosphorsäure im Erdboden. Medd. nr. 14 fra Vestlandets forstl. forsøksstation. 1930. Gaarder og Grahl-Nielsen: Die Bindung der Phosphorsäure im Erdboden II. Untersuchungen aus West-Norwegen. Medd. nr. 18 fra Vestlandets forstl. forsøksstasjon. 1935). De første forsøk viste bl.a. at i en oppløsning med ekvivalente mengder av fosfatjoner og metalljoner felles fosfatjonene mest fullstendig av Fe ved pH ca. 2,2, av Al ved ca. 3,7 og av Ca ved pH > 6. Ved stort overskott felles fosfatjonene nesten fullstendig som ferrifosfat i pH-intervallet 4-7,5 og som aluminiumfosfat ved pH 5-7,5. Videre viste det seg at silikatjoner kan motvirke fosfatjonenes felling mer eller mindre. De legger beslag på en del Fe- eller Al-joner. Kolloid jern- og aluminiumhydroksyd virker omtrent som de tilsvarende joner, og kolloid kiselsyre på liknende måte som silikatjoner. Humuskolloider virker prinsipielt på samme måte som kolloid kiselsyre og innen et videre pH-intervall enn denne.

Gaarder og Grahl-Nielsen arbeidet med sterkt utvasket jord fra udyrkede steder på Vestlandet. Etter tilsetning av stigende mengder syrer og baser til jord og vatn i visse mengdeforhold undersøkte de fosfatkonsentrasjonen i filtratet innen et svært vidt pH-intervall når det hadde innstilt seg en likevekt mellom den faste og den flytende fase. På dette grunnlag tegnet de oppløselighetskurver for jordfosfatene. Videre undersøkte de mengdeforholdet i kolloidmaterialet mellom humusstoffer og kiselsyre på den ene side og kolloide seskvioksyder på den annen side. De første har som kjent syrekarakter og kalles derfor ofte asidoider, mens de siste har basekarakter og kalles basoider. Forholdet kan angis ved kvotienten $\frac{\text{Asidoider}}{\text{Basoider}}$ eller forkortet $\frac{A}{B}$.

Denne nokså summariske karakteristikk av kolloidmaterialet viste sterk sammenheng med de funne oppløselighetsforhold for jordfosfatene. Jord med liten tallverdi av kvotienten $\frac{A}{B}$ viste seg å gi svært små fosfatmengder i filtratet innen

et større eller mindre pH-intervall. Mengden av fosfatjoner i filtratet var i hvert fall større ved noe høgere pH når asidoidmengden var større i forhold til basoidmengden. Som eksempel kan nevnes at filtratet av en jord med $\frac{A}{B} = 0,10$ praktisk talt ikke inneholdt fosfatjoner i området pH 3-8. Filtratet av en annen jord med kvotienten 0,46 inneholdt svært lite fosfatjoner ved pH < 4, men noe mer (0,1-0,2 mg PO_4 pr. 0,1 l filtrat ved pH > 4). I en tredje jord med $\frac{A}{B} = 3,52$ varierte innholdet av fosfatjoner i filtratet i pH-intervallet fra ca. 2 til ca. 7 mellom 3 og nesten 6 mg PO_4 pr. 0,1 l.

I mindre ekstrem jord må nødvendigvis andre stoffer spille en større rolle. Bl.a. må en regne med en mer eller mindre framtredende virkning av Ca^{++}, i hvert fall ved noe høgere pH. G. Semb har brukt Gaarders arbeidsmetoder på jord fra forskjellige steder på Østlandet og har som en måtte vente funnet oppløselighetskurver av andre og innbyrdes forskjellige typer. (G. Semb: Undersøkelser over fosforsyrens oppløselighet i østnorske jordtyper. Meld. fra N.L.H. 1943.)

Disse undersøkelser av Gaarder m.fl. har som så mange andre bare omfattet den uorganiske fosforfraksjon i jorda. Vi nøyer oss her med å peke på at den uorganiske absorpsjonsmekanisme er bestemt av mange faktorer. På den ene side beror den på jordreaksjonen og mengden av aktivt Al, Fe og Ca m.fl. stoffer (de første både som joner og i kolloide forbindelser). På den andre side retter den seg etter mengden av humuskolloider og kolloid kiselsyre. Ved høgere pH spiller også kullsyren en rolle. Videre fester vi oss ved at fosfatjonene i stor utstrekning også blir bundet til kolloider.

Den organiske fosforfraksjon er de seinere år med rette blitt gjenstand for større oppmerksomhet enn før. I likhet med N og S kan P gå over fra uorganisk til organisk form når det blir assimilert av mikroorganismer og høgere planter. Omvendt kan det organiske bundne P mineraliseres når mikroorganismer eller dyr bryter ned organisk stoff. I jorda går omsetningene i begge retninger, men ikke like lett under alle forhold. Mineralisering av organisk bundet P begynner først når fosforinnholdet i det organiske stoff overstiger en terskelverdi, som iflg. Armi Kaila (Finnland) i middel ligger ved ca. 0,2 % P i tørrstoffet, men ellers kan variere betydelig oppover eller nedover. Lett omsettelig organisk stoff med lågt fosforinnhold (t.eks. halm) vil være årsak til assimilasjon av uorganisk P ved mikroorganismer.

Fra gjødslingssynspunkt er hovedspørsmålet hvilken rolle det organisk bundne fosfor spiller som fosforkilde for plantene. På den ene side vet vi at fytin og nukleinsyrer lett blir spaltet av ensymer, og at de også ser ut til å kunne nyttes direkte av plantene. Dette skulle tale for at det organisk bundne

fosfor kan bli tilgjengelig etter hvert som proteinstoffer og andre stoffer brytes ned. På den annen side har de seinere års forskning vist at nukleinsyrer og fytin kan bindes slik i jorda at de er lite utsatt for ensymvirkning og ikke kan tas opp av plantene. I utpreget sur jord bindes fytin til Fe og Al og blir derved lite tilgjengelig for plantene. På liknende måte ser nukleinsyrene ut til å bli bundet til leirmineraler ved sterkt sur reaksjon. Alt i alt synes det organisk bundne fosfor å spille en betydelig, men nokså varierende rolle for plantenes fosforforsyning.

Sett fra vekstdyrkingssynspunkt må fosforhusholdningen i jorda i det hele tatt betegnes som treg og lite økonomisk. Holder vi oss bare til fosforinnholdet i de nyttbare plantedeler og ser bort fra innholdet i røtter og andre planterester som blir igjen i jorda, utgjør stigningen i det totale P-innhold i avlingene etter gjødsling med fosfor som regel bare 10-20 % av den tilførte mengde og til dels mindre det første året, selv når en bruker rimelige fosformengder til jord i mindre god fosfortilstand. Settes utnyttingsgraden av det tilførte P = total-P i avling etter P-gjødsling - total-P i avling uten P-gjødsling, tar altså plantene som regel ikke opp over 10-20 % av P-mengden i gjødsla første året, og vel oftest neppe mer enn 20-30 % de første 5 år. Om en kunne ta P-innholdet i røtter, stubb og andre planterester med i regnestykket, ville bildet ikke bli vesentlig forandret. Til gjengjeld kan virkningen av en enkelt gjødsling med noe større fosformengder vanlig påvises gjennom mange år. Men summen av det påviselige merinnholdet i avlingene pleier vanlig ikke overstige noe slikt som 50 %, og kan være betydelig mindre. Stigningen i laktattallet eller andre liknende kjemiske uttrykk for jordas fosfortilstand etter gjødsling er også vanlig mye mindre enn den som svarer til den tilførte P-mengde. På den annen side er nedgangen i laktattallet mindre enn det som svarer til nettobortføringen av P med avlingene.

Forklaringen på alt dette må særlig ligge i absorpsjonsforholdene. Den praktiske konsekvens er for det første at det kreves store fosformengder i gjødsla til å sette jorda i vesentlig bedre fosfortilstand. For det annet vil en god fosfortilstand holde seg i forholdsvis lang tid. Forutsatt at absorpsjonsforholdene for fosfor ikke er særlig ugunstige, er fosfortilstanden sterkt preget av jordas gjødsling med fosfor i kortere eller lengre tid tilbake.

På bruk med sterk gjødsling gjennom atskillige år tilbake finnes vanlig et vesentlig større fosforforråd enn på svakt gjødslede bruk. Det viser seg bl.a. på den måten at utslagene for fosfat i markforsøk oftest er vesentlig mindre på de første.

I middel for en årrekke tar vanlige avlinger av våre vanlige jordbruksvekster bort fra jorda mellom 1 og 2 kg P pr. dekar og år. Det skal altså ikke store fosformengder i gjødsel til for å oppnå likevekt mellom tilføring og bortføring. Med det nåværende fosforforbruk her i landet tilfører vi sannsynligvis atskillig over dobbelt så mye fosfor i gjødsel som vi tar bort med avlingene. Det kan ikke være tvil om dette betyr en gradvis forbedring av fosfortilstanden. På den annen side må det etter det som er sagt ovenfor, ventelig tilføres et større eller mindre overskott av P for å holde jorda i uforandret fosfortilstand på lengre sikt.

Det ligger nær å spørre om noe kan gjøres for å øke virkehastigheten og totaleffekten av det fosfor vi tilfører i gjødsel, og for å mobilisere en del av fosforreservene i jorda.

Ved kalking av sur jord kan en del fosfatjoner frigjøres ved avspalting fra Fe- og Al-fosfater og fra forbindelsen med kolloidmaterialet i jorda, og felles igjen som forskjellige slags kalsiumfosfater ved høgere pH. Enda mer betyr det kanskje at organisk bundet fosfor blir mobilisert ved raskere nedbryting av organisk stoff i det hele tatt, og ved avspalting og raskere mineralisering av organiske fosforforbindelser som er bundet til visse uorganiske stoffer i sur jord (jfr. ovenfor). Alt dette resulterer i at plantene finner mer nyttbart P i jorda. Derfor viser markforsøkene ofte betydelig mindre avlingsutslag for fosfatgjødsling på kalket enn på ukalket og sur jord. På den annen side kan svært sterk kalking føre til at det dannes basiske kalsiumfosfater, som inneholder P i mindre lett tilgjengelig form.

Da kalkingen forandrer absorpsjonsmekanismen i jorda, kan også fosfor som blir tilført etter kalkingen, komme til større nytte. Noen tall fra et lite laboratorieforsøk vi gjorde for noen år siden, illustrerer at det kan være betydelig forskjell på fosforabsorpsjonen i ukalket og kalket jord. Av 5 forskjellige prøver av leirjord ble det laget en serie uten og en med kalk. Begge serier ble delt i en rekke uten og en med superfosfat. Etter at prøvene hadde stått en tid, ble laktattallet bestemt. Merinnholdet av laktatoppløselig P i de fosfatgjødslede rekker utgjorde i prosent av den tilsatte P-mengde i superfosfat:

Jord nr.	1	2	3	4	5	Middel
Ukalket	27 %	14 %	20 %	12 %	25 %	19,6 %
Kalket	33 "	25 "	24 "	23 "	31 "	27,2 "

Slike tall kan ellers variere sterkt alt etter pH og innholdet av jern og aluminium.

I kalkrik (og særlig sterkt kalket) jord kan en del av det fosfor som er tilført i gjødsel, gå inn i nydannet apatitt og da sannsynligvis bare svært lang-

somt bli nyttbart for plantene igjen. Dette er påvist på de gamle forsøksfelter på Rothamsted.

Foruten ved måtelig kalking kan en til en viss grad beskytte fosfatjonene som kommer i jorda med gjødsel, mot ugunstig absorpsjon ved radsåing av lett oppløselig fosfat. Når fosfatet blir plassert som en streng i høvelig dybde, kommer det i mindre grad i berøring med jorda og kan bedre holde seg i tilgjengelig form. I flere forsøk i andre land har en på denne måte oppnådd til dels betydelig bedre fosforeffekt det første året. Hvor stor forskjellen kan være de seinere år, er mindre klart.

Ved gjødsling med granulert superfosfat skulle en teoretisk sett ha håp om å oppnå noe liknende i mindre grad.

I enkelte tilfelle har en fått bedre virkning av superfosfat ved å blande det i husdyrgjødsel før spredningen. En må anta at dette vesentlig vil være tilfelle på jord med svært ugunstige absorpsjonsforhold. Husdyrgjødsla kan til en viss grad og for en tid minske fosfatjonenes kontakt med jorda. Den intime kontakt mellom fosfatjonene og organiske gjødselkolloider vil vel til en viss grad virke i samme lei.

Ved valg av høvelige fosfatgjødselslag skulle en også kunne ha håp om å oppnå noe bedre effekt. I jord med svært ugunstige absorpsjonsforhold for P skulle tyngre oppløselige fosfater være å foretrekke. På slike steder kan t.eks. thomasfosfat virke bedre enn superfosfat.

Både markforsøk og karforsøk har vist at gjødsling med silikater kan sette plantene i stand til å klare seg bedre ved knapp forsyning med fosfor. Dette ble først påvist i de klassiske markforsøk på Rothamsted i England. Tallene nedenfor viser middelavlingene av bygg i tidsrommet 1864-94.

Gjødsling	Korn, kg/dekar		Halm, kg/dekar	
	Uten silikat	Med silikat	Uten silikat	Med silikat
Nitrat	159	199	203	249
" + fosfat	248	255	309	324
" + kaliumsalt	168	214	225	272
" + fosfat + kaliumsalt	242	261	318	347

Silikatvirkningen er størst ved knapp forsyning med fosfor. Årsaken må først og fremst være at silikatjonene gjør jordfosfatene mer tilgjengelige. I praksis har dette liten betydning, da det er billigere å gjødsle med fosfat enn med silikat.

Vi kan altså til en viss grad og på forskjellige måter gripe inn i fosforhusholdningen i jorda, men ikke i den grad som vi kunne ønske.

(The phosphorus cycle and soil fertility, av W. H. Pierre i Jour. of the American Society of Agronomy, vol. 40 (1948) er en leseverdig oversikt.)

I myrjord må absorpsjonsforholdene for fosfor kunne avvike betydelig fra det som her er skissert. Særlig må forholdene være annerledes på askefattig kvitmosemyr. Nyere karforsøk med tidligere udyrket meget rein kvitmosetorv fra Ås-myra og med grasrik kvitmosetorv fra Smøla viste at plantene tok opp mye mer av det tilførte gjødselfosfat enn hva en vanlig finner for mineraljord. Fosforopptaket var også betydelig større ved svak eller moderat kalking enn når denne var sterkere. Det langt større opptak av fosfor fra disse myrjorder enn fra mineraljord antas særlig å bero på at myrjorda må ha inneholdt lite av jern og aluminium som kan binde fosforet. (Jernmangel på plantene har ikke vært sjelden i forsøk med disse myrjorder.) Det større fosforopptak ved svakere enn sterkere kalking beror sannsynligvis på både at i denne jord er det Ca-bindingene som er de viktigste for fellingen av uorganisk fosfor, og at omsetningen av det organiske materiale har gått raskere den første tid ved sterkere kalking. Derved er mer fosfor blitt bundet organisk og i hvert fall midlertid blitt unndratt plantene. Et treårig karforsøk med havre i kvitmosetorv fra Ås-myra viser i sum for hele forsøksperioden (alle mengder er beregnet pr. dekar):

Kg CaO	Ledd	Tilført P	Innhold i loa	Opptatt P i % av tilført
300	a	6 kg	4,64 kg	77
	b	14 "	11,88 "	85
	c	38 "	31,00 "	82
1200	a	6 "	3,08 "	51
	b	14 "	8,04 "	57
	c	38 "	18,08 "	48

Da forsøket ikke har med ledd uten P, vil en i prosentallene også få med det fosfor som måtte komme fra jorda. Denne torven er imidlertid så fattig på fosfor at feilen blir liten om en ser bort fra jordas bidrag til plantenes fosforforsyning.

I et annet karforsøk ble det brukt myrjord (fra Smøla) fra et forsøksfelt som ved oppdyrkingen to år i forveien var kalket med 600 kg CaO pr. dekar. I sum for de to år var det gjødslet med 150 kg superfosfat pr. dekar. I karforsøket ble ett av leddene ikke gjødslet med fosfor de to første årene. Avling og opptatt P, alt pr. dekar, og prosent P i lufttørr loavling de to år for dette ledd var:

[illegible] med [illegible]
Snäppan [illegible] med K

	1. år.	2. år.
Kg avling	612	1830
% P i avlingen	0,08	0,10
Kg P i avlingen	0,52	1,83

Den større loavling, det større prosentiske og totale innhold av P i avlingen annet enn første forsøksår kan vanskelig tolkes på annen måte enn at noe av det tilførte fosforet mens jorda lå til markforsøk, er blitt lettere tilgjengelig i karforsøksperioden. Da reaksjonsforholdene ikke er endret, er det sannsynlig at det er organisk bundet fosfor som her er "kommet igjen".

3. Kalium.

Kaliuminnholdet i jorda kan variere fra noen hundredels prosent til 4-5 %. De høgste tall må betegnes som sjeldne unntak. Minimumsverdiene er også svært sjeldne for mineraljord, men vanlige for myrjord.

En stor del av kaliuminnholdet i jorda er bundet i krystallgitteret i primære og sekundære kaliummineraler. De viktigste primære kaliummineraler hos oss er ortoklas, biotitt og muskovitt. De sekundære kaliumholdige mineraler finner vi dels i leirskifer o.l. sedimentære bergarter og dels i jorda. Av leirmineraler kan nevnes den store gruppen som vanlig betegnes som hydroglimmer (hos somme forfattere ensbetydende med illitt) og montmorillonitt. De første er oppstått av glimmermineraler.

Foruten det gitterbundne kalium inneholder jorda mer eller mindre K som er løsere bundet til uorganiske og organiske kolloider, såkalt ombyttbart K. Endelig forekommer naturligvis litt kalium i jordvæsken.

Både kjemiske undersøkelser, karforsøk og markforsøk viser at glimmermineralene lett kan gi fra seg betydelige kaliummengder uten at krystallgitteret brytes ned. Mest utpreget er denne egenskap hos visse biotittvarieteter. Feltspat gir derimot fra seg lite K selv når den er svært finmalt. Da feltspat også forvitrer seint i vårt klima, spiller den sikkert mindre rolle som kaliumkilde for plantene enn glimmermineralene. Dette må fram for alt være tilfelle i Norge, hvor fjellgrunnen er relativt rik på glimmer.

Leirmaterialet inneholder K dels fast bundet i krystallgitteret og dels i såkalt ombyttbar tilstand. Med det siste forstår vi kaliumjoner som holdes fast til kolloidpartiklene på slik måte at de lett og raskt kan byttes ut og erstattes med andre joner med positiv elektrisk ladning.

Vi kan skille mellom ikke ombyttbart K, ombyttbart K og K i jordvæsken.

KCl

K_2SO_4

Ved preferent Kalium opptak skulle ein kunna få HCl og H_2SO_4. Men forsøk har ikkje gjeve Valldeck verkan til surare jord. Andre stader har surgjøring skjedd.

Cl^- kan vaskast ut og ta med Ca MCl_2 og 7 pr. 7 jorda surare. - teoretisk

I virkeligheten er det ingen skarpe grenser mellom gruppene, men her som så ofte ellers er det nyttig å sette mer eller mindre vilkårlige grenser. Stoffet kan flyttes fra gruppe til gruppe ved reversible prosesser etter dette skjema:

K i jordvæsken $\rightleftarrows$ ombyttbart K $\rightleftarrows$ ikke ombyttbart K.

Når K^+ fjernes fra jordvæsken ved plantenes forbruk eller ved utvasking, kan kaliuminnholdet fornyes ved utbytting fra den ombyttbare fraksjon. Denne får i sin tur et større eller mindre tilsig ved at K som ikke er ombyttbart i vanlig mening, går over til å bli det. Ved gjødsling med kaliumgjødsel blir K-konsentrasjonen i jordvæsken større. Dette fører til innbytting av K^+ i absorpsjonskomplekset. Gjødselkaliumet går først og fremst inn i den ombyttbare fraksjon, men under visse forhold kan det delvis bindes på slik måte at det kommer inn under betegnelsen ikke ombyttbart. Dette som eksempler på reversible prosesser som på forskjellig vis kan settes i verk mellom to av fraksjonene eller mellom alle tre.

Både størrelsesforholdet mellom de tre fraksjoner og omfanget av de skisserte prosesser varierer sterkt med forskjellige jordegenskaper. Leirjord inneholder stort sett relativt mye ombyttbart K, selv om det er betydelig skilnad etter mineralinnholdet og forvitringsgraden. Også overføringen av K fra ikke ombyttbar til ombyttbar tilstand kan spille forholdsvis stor rolle i leirjord. En slik overføring kan foregå under plantenes vekst slik at kaliumet umiddelbart kan nyttes av plantene, men overføringen kan også skje til andre tider og således føre til at mengden av ombyttbart kalium stiger. Utpreget sandjord har vesentlig mindre eller lite ombyttbart K, og frigjøringen av ikke ombyttbart K er også av mindre omfang. Derfor er plantenes kaliumforsyning uten gjødsling som regel vesentlig bedre i leirjord enn i sandjord.

Hva leirjordas tungt tilgjengelige kalium kan bety for plantenes kaliumforsyning ved at dette etter hvert overføres i en tilstandsform som gjør det nyttbart for plantene, framgår av noen amerikanske undersøkelser. Innholdet av utbyttbart kalium ble her bestemt både ved forsøkets begynnelse og slutt, likeså den kaliummengde som ble ført bort med avlingene. Undersøkelsene refererer seg til flerårige karforsøk. De oppførte tall er pund pr. acre.

Leirjordstype, nr.	Utbyttbart K i jorda ved forsøkets begynnelse	Utbyttbart K i jorda ved forsøkets slutt	Bortført K i avling	Ikke ombyttbart K overført til nyttbart K for plantene
1	185	93	450	338
2	59	50	88	79
3	75	42	72	39

Den vekslende mengde ikke ombyttbart kalium som er opptatt fra de tre leirjordstyper, indikerer at det også kan være nyttig å kjenne innholdet av andre fraksjoner enn det utbyttbare kalium i jorda. (Betegnelser som "løselig K" eller "lett løselig K" blir også brukt som karakteristikk av den kaliumfraksjon i jorda som er lett tilgjengelig for plantene.)

I noen flerårige norske forsøk med forskjellige jordtyper ble også innholdet av såkalt syreløselig kalium bestemt før forsøket startet og etter avslutning (Publ. av Semb, Sorteberg og Øien i Acta Agric. Scand. 1959, 229 - 252). Her er det blitt ekstrahert mye mer enn det såkalte "utbyttbare" kalium. Kaliuminnholdet i avlingene ble også bestemt. I ledd uten kaliumgjødsling er kaliuminnholdet i avling og nedgang av innholdet i jorda blitt bestemt for 11 forskjellige jordtyper. Mengdene for kalium både i jord og planter er oppgitt som g K_2O pr. 100 g jord:

Jordtype nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nedgang i innhold	85	14	103	10	97	119	50	7	50	3	-8
Opptatt i avling	81	12	76	43	88	90	47	7	53	7	5

De aller fleste jordtyper viser god sammenheng i endring i syreløselig kalium og opptatt kalium i avling. Mengden av "syreløselig" kalium er ellers ofte bare en liten del jordas totale innhold av kalium. Det meste av kaliumet i jorda, t.eks. kalium i feltspat, har således liten betydning for plantene sett på kort sikt. Dette kalium, som ofte blir kalt lite eller ikke tilgjengelig kalium, vil komme lengst til høyre i (eventuelt utenfor) det likevektsystem som er skissert på foregående side.

Fraksjonen som tidligere er kalt "utbyttbart" kalium, er naturligvis av stor betydning for plantene. Det er likevel ikke alltid riktig å sette denne fraksjon lik øyeblikkelig nyttbart K. En kan ikke gå ut fra at plantene er i stand til å nytte det ombyttbare K til siste rest, og heller ikke at de bare kan nytte dette + det som forekommer i jordvæsken. Det er ingen tvil om at også noe av den ikke ombyttbare fraksjon kan bli raskt tilgjengelig for plantene. Under visse forhold ser den til og med ut til å kunne spille en viktig rolle, mens den under andre forhold synes å være uten øyeblikkelig betydning.

Leirjorda har også mye større evne til å holde fast kalium som blir tilført i gjødsel. Til dels kan en større del av det tilførte K bindes i ikke ombyttbar tilstand (fikseres). Denne absorpsjon er knyttet til visse leirmineraler,

bl.a. forskjellige forvitringsprodukter av glimmer, som illitt og vermiculitt.

Vi har lite å holde oss til av innenlandske undersøkelser både når det gjelder de ulike jordtypers evne til å binde kalium i ikke ombyttbar form og i hvor stor monn dette kalium igjen kan komme plantene til nytte. Av utenlandske arbeider viser jeg som eksempel til de tidligere omtalte svenske undersøkelsene om fiksering av ammonium. I noen amerikanske karforsøk fant Richards og Mc Lean (Release of fixed potassium from soils by plant uptake and chemical extraction techniques . Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25: 98-101, 1961) at det fikserte kalium hadde en virkningsgrad på 60 - 85 % av kalium som ble gitt i gjødsel, mens andre undersøkelser (ref. av Barber og Humbert i Advances in Knowledge of Potassium Relationships in the Soil and Plant. Fertilizer technology and usage, 231 - 268, 1963) viste at plantene ikke kunne oppta noe av slikt fiksert kalium. I noen undersøkelser av Mc Lean og Simon (ref. i ovennevnte publ. i Fertilizer techn. and usage) der fikseringen foregikk under ulike fuktighetsforhold, ble ikke noe av kaliumet tilgjengelig igjen der fikseringen hadde foregått under fuktige forhold, mens betydelige mengder ble frigitt når jorda hadde vært avvekslende våt og tørr under fikseringen.

Inntil videre ser det ut til at vi må nøye oss med å gå ut fra at fiksering, framfor alt i jord med et større innhold av leirpartikler, kan bli betydelig, og at mengden som kommer igjen de første år, kan variere mye. Sett på bakgrunn av det tidligere skisserte likevektsystem mellom de ulike kaliumfraksjoner, skulle en ellers kunne gå ut fra at mengdeforholdet mellom utbyttbart og ikke utbyttbart kalium må bety mye med hensyn til hva som kan komme igjen av fiksert kalium. (Om binding av gjødselkalium under norske forhold, jfr. resultatene av lysimeterforsøkene seinere i dette avsnitt.)

Da jordvæsken alltid inneholder mer eller mindre K^+, vil det naturligvis foregå en større eller mindre utvasking i humid klima. Utvaskingen avhenger i høg grad av jordbunnsforhold, klima og gjødsling. Som et eksempel gjengir jeg også her noen tall fra Braadlies undersøkelser på Voll og Mæresmyra:

	K-mengde i vannet:	
	middel pr. l., mg	pr. dekar og år, kg
Voll (midd. for 2 år).....	4,8	2,85
Mæresmyra.....	6,5	3,10

I lysimeterforsøk på Ås har den årlige utvasking fra en noe sandblandet leirjord i middel vært 2,5 - 3 g/m^2 K de seinere år. De første år da jorda ennå var unormalt løst lagret, var utvaskingen større.

Det sier seg selv at utvaskingsfaren tiltar med nedbøren (egentlig med synkevassmengden), og at den er stor i utpreget sand- og grusjord og mindre i leirjord. I myrjord ser kalium ut til å være nokså sterkt utsatt for utvasking. I et lysimeterforsøk på Ås (Ødelien og Uhlen: Lysimeterforsøk på Ås. Meld. fra N.L.H. 1952) ble det brukt en svært sterk engangsgjødsling med kaliumgjødsel 33 % (83 kg/dekar K) til en noe sandblandet leirjord. Merutvaskingen og merbortføringen av K i avlingene m.m. de følgende 3 år ble undersøkt. Avlingene (av havre høstet som grønnfór) var små, da det ikke ble gjødslet med nitrogen, men noe større på kalket enn på ukalket jord. Det ble funnet følgende fordeling av tilført K:

	Ukalket jord	Kalket jord
Funnet i avløpsvatnet	2 %	2,3 %
" " avlingene	1,8 "	6,7 "
" som ombyttbart etter 3 år:		
i matjorda	46,5 "	40,4 "
i sjiktet 20-40 cm	7,8 "	7,6 "
Rest	41,9 "	43,0 "

Færen for utvasking av gjødsel-K må åpenbart være svært liten i denne jorda. Det har foregått en tydelig, men ikke stor nedvasking av K til sjiktet 20-40 cm under overflaten. Selv om litt sannsynligvis er vasket enda djupere ned og absorbert der, må "resten" vesentlig være bundet i ikke ombyttbar tilstand. (fiksert). Ved røntgenundersøkelse viste det seg at jorda inneholder vermiculitt.

I et lysimeterforsøk med den samme jord i 1938-43 har vi et godt eksempel på hva leirrik jord i god kultur kan bety som kaliumkilde. I løpet av de 5 år var K-innholdet i potetknoller og ris og K i settepotetene i alt ca. 54 g/m^2 og totalinnholdet i avløpsvatnet ca. 22,5 g/m^2, alt uten gjødsling. Nettotapet svarer altså til ca. 230 kg kaliumgjødsel 33 % pr. dekar, og enda var jorda siste året i stand til å gi en avling på nesten 500 kg tørrstoff pr. dekar i knoller og ris tilsammen.

I endel flerårige (4 - 9 år) kaliumgjødslingsforsøk på leirjord over den sydøstlige del av østlandet har ca. halvparten av feltene i middel for forsøksperioden gitt praktisk talt like stor avling uten som med kaliumgjødsling. Kaliumgjødselmengdene har gjennomgående svart til 5 og 10 kg K pr. dekar årlig. De fleste felter har ligget i et 6-årig omløp, med bygg, 3 år eng, havre (el. bygg) og poteter (el. rotvekster). Bare 3 av de 16 felter som har vært med, har gitt signifikant meravling for kaliumgjødsel.

Mens leirjorda kan gi store K-mengder til plantene i lang tid, må en på myrjord vanlig dekke plantenes K-behov helt ved gjødsling. Utvasket sand- og grusjord er heller ikke i stand til å gi noe stort bidrag til kulturvekstenes K-forsyning.

Vanlige avlinger av våre viktigste jordbruksvekster tar i middel bort 7-12 kg K pr. dekar og år, enkelte vekster mye mer.

4. Kalsium.

Det totale kalsiuminnhold i jorda varierer innenfor svært vide grenser og er ellers av mindre praktisk interesse når det gjelder mineraljord. En stor del forekommer i inaktiv form som bestanddel av mange forskjellige mineraler. Det er kalsiumforbindelser med basisk karakter som særlig interesserer, og det er egentlig dem vi tenker på når vi taler om kalkinnholdet i jorda.

Visse kalsiumforbindelser har vanlig avgjørende betydning for jordreaksjonen. Alkalisk reaksjon i humid klima skyldes nesten alltid kalsiumkarbonat. Så lenge jorda inneholder noe vesentlig av jamt fordelt $CaCO_3$, er reaksjonen i hovedsaken bestemt av et system av hydrokarbonat og karbondioksyd, og pH varierer innenfor nokså snevre grenser nær nøytralpunktet på den alkaliske siden. Forholdet er i hovedsaken det samme som i en oppløsning av $CaCO_3$ i karbondioksydholdig vatn. I en slik oppløsning varierer pH med CO_2-trykket i lufta over væsken som tallene nedenfor viser:

CO_2 i lufta over opp-løsningen, vol. %	Oppløsningens pH
0,03	8,4
0,3	7,8
1	7,5
100	6,1

I jorda er forholdene mer komplisert, men i hovedsaken like ens. Ved det karbondioksydtrykk som hersker i jorda, vil pH vanlig ligge mellom 7 og 8 når den inneholder $CaCO_3$. Sterkere alkalitet skyldes alkalisalter, som kan opptre i store mengder i arid jord.

I jord uten $CaCO_3$ beror reaksjonen vanlig på sammensetningen av den sverm av positivt ladde joner som omgir de negativt ladde (uorganiske og organiske) jordkolloider. Sammen med overveiende metalljoner har disse kolloider saltkarakter. Hvis metalljonene i kolloidkomplekset suksessivt blir erstattet med protoner, får

leirkolloidene i tiltakende grad syrekarakter og avspalter mer og mer H^+ ved dissosiering. Tar en bort hele den ombyttbare metalljonmengden i mineraljord, går pH vanlig ned til ca. 4. Lågere pH i mineraljord skyldes oftest svovelsyre. Kvitmosetorv har ofte pH < 4.

I humid jord dominerer vanlig Ca^{++} blant de ombyttbare metalljoner. (Jord som nylig har ligget under havvatn,er et unntak.) Ved flere undersøkelser har Ca^{++} vist seg å utgjøre 70-90 % av den ombyttbare metalljonemengden. Dermed er det klart at det må være en sammenheng mellom utbyttbart Ca og pH. I en og samme jord med ellers uforandrede egenskaper er det nøye sammenheng. Når den ombyttbare Ca-mengde øker, stiger pH, og omvendt. Jamfører en derimot utbyttbart Ca og pH i jordprøver med ulikt innhold av leirkolloider og humusstoffer, må sammenhengen nødvendigvis være mindre tydelig. Jo mer jorda inneholder av slike stoffer, desto større katjonmengde må det være med i spillet. Det er egentlig mengdeforholdet mellom metalljonene og hydrogenjoner i leir- og humuskolloidkomplekset det kommer an på.

Noen tall etter Åslander (Sverige) kan være av interesse i denne sammenheng:

	pH	Innhold av "lett tilgjengelig" Ca
Mojord med noe humus	5,5	401 mg pr. kg
Grasmyrtorv	5,5	2515 " " "
Leirjord med midd. humusinnhold	5,3	195 " " "
Grasmyrtorv	5,3	5360 " " "

Kalking er tilføring av basiske kalsiumforbindelser (vanlig karbonat, hydroksyd eller oksyd) til jorda. Det som primært skjer når en kalker, er kort sagt at Ca^{++} erstatter H^+ i absorpsjonskomplekset, og at H^+ går sammen med OH^- til H_2O. Skjematisk kan prosessen uttrykkes slik:

$$\boxed{\begin{array}{l}\text{Leirkolloid}\\ \text{Humuskolloid}\end{array}}\begin{array}{l}H\\ H\\ H\end{array} + CaCO_3 \qquad \boxed{\begin{array}{l}\text{Leirkolloid}\\ \text{Humuskolloid}\end{array}}\begin{array}{l}Ca\\ H\end{array} + CO_2 + H_2O$$

eller

$$\boxed{\begin{array}{l}\text{Leirkolloid}\\ \text{Humuskolloid}\end{array}}\begin{array}{l}H\\ H\\ H\end{array} + Ca(OH)_2 \qquad \boxed{\begin{array}{l}\text{Leirkolloid}\\ \text{Humuskolloid}\end{array}}\begin{array}{l}Ca\\ H\end{array} + 2\ H_2O$$

Jorda blir rikere på ombyttbart Ca^{++}, samtidig som det blir mindre H^+

[illegible] metta löpning på 12-13 [illegible]

både i tilknytning til kolloidmaterialet og i jordvæsken. Jo mer leirkolloider og humuskolloider jorda inneholder, desto mer H^+ må erstattes med Ca^{++}, og desto mer kalk må det til for å få en viss stigning i pH i et bestemt jordkvantum. Jorda har m.a.o. ulik bufferevne. Da ombyttingskapasiteten for katjoner er mye større for humuskolloider enn for leirkolloider, virker humusinnholdet sterkere på bufferevnen enn leirinnholdet.

Ovenstående skjematiske framstilling av nøytraliseringen ved kalking er hva en finner i relativt sterkt sur jord. I svakere sur jord vil det gå med mere kalk, og noe Ca^{++} vil bli utvasket sammen med $H\,CO_3^-$:

$$\boxed{\begin{array}{l}\text{Leirkolloid}\\ \text{Humuskolloid}\end{array}}\begin{array}{l}H\\ H\\ Ca\end{array} + 2\,Ca\,CO_3 \quad \boxed{\begin{array}{l}\text{Leirkolloid}\\ \text{Humuskolloid}\end{array}}\begin{array}{l}Ca\\ Ca\end{array} + Ca^{++} + 2\,H\,CO_3^-$$

Ved bruk av overskudd av kalsiumkarbonat i forhold til behovet kan en del av karbonatet holde seg som karbonat. Hvis kalkingsmidlet i stedet er kalsiumhydroksyd, vil det som ikke går med ved nøytraliseringen av kolloidene, relativt snart omsette seg med CO_2 til kalsiumkarbonat. I kulturjord med produksjon av endel CO_2 må en derfor ante at et overskudd av $Ca\,(OH)_2$ kortvarig kan øke pH sterkt, men at reaksjonen forholdsvis snart vil innstille seg på den pH som svarer til jord med overskudd av $Ca\,CO_3$.

Noen tall etter Hissink (Nederland) viser kalkens skjebne i jord med ulik pH. Han satte like store kalkmengder til jordprøver med ulik reaksjon og bestemte økingen i innholdet av ombyttbart Ca, og eventuelt karbonatinnholdet. Resultatet var:

Jord nr.	7	4	5	6	3	1	2
Ukalket, pH	4,6	4,8	5,2	6,1	6,3	7,6	8,0
Kalket, pH	5,5	6,8	5,9	6,6	7,2	7,8	8,0
Av tilsatt Ca ble funnet:							
Som ombyttbart	88 %	100 %	95 %	50 %	28 %	12 %	2 %
I $CaCO_3$	12 "	0 "	5 "	50 "	72 "	88 "	98 "

En må ha i minne at også bufferevnen spiller en viktig rolle her. Enkelte tall i Hissinks forsøk tyder ellers på at ikke all kalk har rukket å bli omsatt med jorda.

Jorda gir som kjent fra seg kalk i avlingene og ved utvasking. I humid klima er den siste tapspost vanlig flere ganger større enn den første. Avlingene av våre vanlige jordbruksvekster tar i middel neppe bort mer enn 3-4 kg Ca pr. dekar om året.

Utvaskingstapet beror særlig på klima, jordart, kalkinnholdet i jorda og gjødslinga.

Braadlie fant disse middeltall ved undersøkelser av avløpsvatnet fra dyrket jord på to steder i Trøndelag:

	Ca pr. l, mg	Ca pr. dekar og år, kg
Voll, midd. for 2 år	45,2	26,7
Mæresmyra	26,1	12,5

En jamføring av noen middeltall fra Braadlies undersøkelser viser at vatnet inneholder mye mer Ca enn K. Vi føyer også til tallene for P.

	Ca	K	P
Voll, mg/l	45,2	4,8	0,01
Mæresmyra, mg/l	26,1	6,5	0,004

I lysimeterforsøk har Ca-mengden i avløpsvatnet svært ofte variert mellom 8 á 10 og 30-35 g/m^2 (= kg/dekar) pr. år, men det finnes også eksempler på både større og mindre mengder. I lysimeterinnretningen på Ås har avløpsvatnet fra en noe sandblandet leirjord vanlig inneholdt 6-9 g/m^2 Ca pr. år.

En bør ellers være oppmerksom på at Ca-mengden i avløpsvatnet ikke er nøyaktig det samme som Ca-tapet fra matjorda, altså det som interesserer aller mest fra jordkultursynspunkt. Det er vanlig matjorda som mister mest Ca, dels på grunn av CO_2-produksjonen, og dels fordi plantene bruker noe Ca. Noe Ca kan vaskes ut av matjorda og bli absorbert igjen i djupere jordsjikter.

Noen tall fra markforsøk på de danske forsøksgårder Tylstrup og Lundgaard viser at tapet av Ca fra matjorda kan tilta sterkt ved sterk kalking. Det ble kalket med sterkt stigende kalkmengder i 1921. Ca-innholdet i matjorda ble bestemt i 1925 og 1934. Tallene nedenfor viser nedgangen i Ca-innholdet i tiårsperioden:

Tilført $CaCO_3$ i 1921, kg/dekar	Ca-tap beregnet som $CaCO_3$, kg/dekar	
	Tylstrup	Lundgaard
0	27	22
200	154	145
400	294	285
800	473	500
1600	818	992
3200	1752	1949

Ved ikke-utbytbare kationer:

$(NH_4)_2SO_4$

$$2H^+ + SO_4^{++} + CaCO \rightarrow \underline{CaSO_4} + H_2CO_3$$

60-70% av metallkationene i utbytbar form i mange jord kan være Ca^{++}.

Store mengder vøtgjødsel av sterke syrer kan føre til jordsenking ved utbytting mellom kationer og H^+ på kolloider.

Tanken for K^+ utvaskbare stoffer i steriliserte jorder er ikke riktig. Jord K^+ har vanskeligere å bytte ut H^+ enn jord

Det er utpreget sandjord begge steder, og forskjellen i kalkmengdene er overordentlig stor. Ca-tapet tiltar slett ikke alltid så sterkt etter kalking. I lysimeterforsøk på Ås ble det kalket med 1 kg $CaCO_3$ pr. m^2 til en sandholdig leirjord med pH litt over 6. I løpet av 3 år fikk vi dette bilde av fordelingen av det tilførte Ca:

I avløpsvatnet.....	0 %
" avlingene.....	0,1 "
Som utbyttbart Ca i matjorda etter 3 år..	62,4 "
" " Ca i sjiktet 20-30 cm " ..	10,8 "
Rest.....	26,7 "

Her er altså Ca-mengden i avløpsvatnet ikke blitt større etter kalkinger men det har foregått en tydelig transport av Ca nedover i jorda. "Resten" er nok i dette tilfelle vesentlig tilstede som $CaCO_3$.

Visse handelsgjødselslag kan øke utvaskingen av Ca, altså tære på kalkinnholdet og forskyve jordreaksjonen i sur retning. Ammoniumsulfat virker slik, særlig som følge av nitrifiseringen av ammoniumnitrogenet. Vi kan sette opp følgende ligning:

$$(NH_4)_2SO_4 + 4O_2 + 2CaCO_3 = Ca(NO_3)_2 + CaSO_4 + 2CO_2 + 4H_2O$$

Bortsett fra svært tørt klima blir kalsiumsulfatet vasket ut. I jord uten $CaCO_3$ går det ut over det ombyttbare Ca, og jorda blir surere.

Hvis en som ovenfor forutsetter at hele nitrogenmengden blir nitrifisert trengs det etter ligningen ca. 150 kg $CaCO_3$ pr. 100 kg $(NH_4)_2SO_4$ for å oppveie forskjellen mellom dette gjødselslag og kalsiumnitrat med hensyn til virkningen på kalktilstanden og jordreaksjonen. Da $Ca(NO_3)_2$ er et fysiologisk svakt alkalisk næringssalt, trengs det egentlig litt mindre $CaCO_3$ til å eliminere virkningen av $(NH_4)_2SO_4$ alene.

Kaliumgjødsel tærer også på Ca-forrådet i jorda. Cl^- og SO_4^{--} blir nemlig for største delen vasket ut og tar da med seg metalljoner, særlig Ca^{++} og Mg^{++}. Våren 1943 gjødslet vi med 83 g/m^2 K i kaliumgjødsel 33 % til den sandblandede leirjorda i lysimeterkarene her på Ås. Dette resulterte i større utvasking av metalljoner. Til høsten 1946 ble <u>merutvaskingen</u> i alt i g/m^2:

	Ca	Mg	K	Na	Cl
Uten kalk	30,9	9,6	1,7	8,6	92,3
Med "	30,6	8,3	1,9	6,0	92,7

Ca - vekstnaden ved kalking er i (mineraljord)

P - lettere tilgjengelig

N - " - " -

Mg - " - " - (ikkje einsteydig)

Mo - " - " - $2H^+ MoO_4^{2-}$

Fe - Fe-mangel mindre alvorleg på myr ved kalking

Fe - kreftene bundne på mineraljord.

Mn^{++} vil ved kalking gå over til Mn^{4+} mindre tilgj.

Mn^{4+} tungt tilgjengelig for plantar

pH < 6 sjeldan Mn-skort

Ellers ikkje kalking farleg viss det er store mengder Mn^{2+}

B mindre tilgj. ved kalking

Z - " - " - " - " - " - " - kalking kan hindre Zn-opptaking

Cu - " - " - " - " - " - " - men Cu-skort også der jordi er mykje utvaska: Cu-skort-mange tilgjemåda p. [illegible] Myrjorda, koppjorda og sandjord [illegible]

Kalkkvane inneheld også kalk fri fosfatning!

$$CaCN_2 + 2H_2O \rightarrow H_2CN_2 + Ca(OH)_2$$

$$H_2CN_2 + H_2O \rightarrow CO(NH_2)_2$$

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O \rightarrow (NH_4)_2CO_3$$

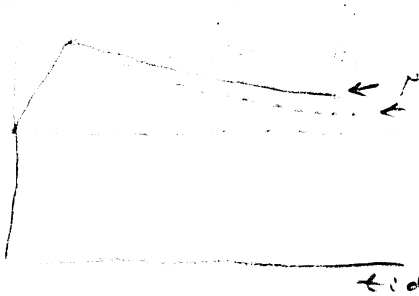
Alle desse reaksjonane går rad og ikkje [illegible]

Nitrifikasjon

$$(NH_4)_2CO_3 + 4O_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 5H_2O + CO_2$$

Vil ikkje bli nitrifisert vil bere den fri kalken som var i sjødeka fra begjinga ha basisk verknad.

pH



$CaCN_2$ innetjing

← plantar i jorda

← viss dei ikkje var plantar, verknad bere av fri kalk (15-20%)

55-60% - verknad av så mykje kalk viss ein rekna bruttoverknad

Den største utvasking foregikk om høsten det året det ble gjødslet med kaliumgjødsel om våren.

Selv om kaliumgjødsel tærer noe på Ca-innholdet, virker det mindre på jordreaksjonen, vel fordi Ca og Mg delvis blir erstattet av K.

Mens altså noen kunstgjødselslag tærer på det aktuelle Ca-innhold og har mer eller mindre tendens til å gjøre jorda surere, er det andre som virker omvendt. Kalkkvelstoff og thomasfosfat inneholder noe kalk. Kalksalpeter har som før nevnt en fysiologisk svakt alkalisk reaksjon.

- - - - -

Vi går nå over fra kalsium- og kalkhusholdningen i jorda til spørsmålet om kalktilstandens, jordreaksjonens og kalkingens virkning på plantene, spesielt kulturvekstene.

Årsakssammenhengen her er komplisert. Både kjemiske, plantefysiologiske, mikrobiologiske og fysiske faktorer er med i spillet.

For 35-40 år siden var det ikke så sjelden å støte på den oppfatningen at jordreaksjonen i og for seg har en vesentlig direkte betydning for plantenes vekst. Det ble også gjort mange forsøk på å angi bestemte pH-optima for forskjellige plantearter. Selvsagt er plantene ute av stand til å utvikle seg normalt, eller de går ganske enkelt til grunne ved særlig låg eller særlig høg pH. Også innen det reaksjonsområde hvor plantene klarer seg, kan en noe lågere eller høgere pH innvirke på forskjellige livsfunksjoner, bl.a. på hvor lett de tar opp visse næringsjoner. Men tross dette er det blitt vanlig oppfatning at den direkte virkning av noe høgere eller lågere pH i hvert fall ikke har noen stor betydning i det pH-intervall som er av størst interesse for kulturjord. Vi regner også her som ellers med et samspill mellom vekstfaktorene. Bl.a. vet vi at konsentrasjonen av visse andre joner betyr atskillig for hvordan plantene reagerer for ekstremt låg pH i næringssubstratet.

Blant mange andre kan vi som eksempel velge noen karforsøk av Åslander (Sverige) til å illustrere dette. Han dyrket bygg i en næringsoppløsning med pH 3,5, dels med vanlig saltkonsentrasjon og dels mer eller mindre fortynnet. Ved vanlig konsentrasjon vokste byggplantene godt, men veksten ble raskt dårligere ved suksessiv fortynning. I parallelle forsøk med næringsoppløsningen innstilt på tilnærmet nøytral reaksjon hadde den samme fortynning liten betydning for veksten. Også i markforsøk viser det seg at god gjødsling setter kulturvekstene i stand til å klare seg bedre i sterkt sur jord.

Ca-joner ser ut til å være særlig effektive som motvekt mot stor H-jonkonsentrasjon. Det er ikke utelukket at dette i enkelte tilfelle kan spille en rolle når en kalker sterkt sur jord, og det er vel også mulig at det av og til kan være knapp tilgang på næringsstoffet Ca. Men alt i alt er det gode grunner for den oppfatning at hverken selve reaksjonsforandringen eller en direkte virkning av Ca vanligvis spiller noen stor rolle når vi kalker, i hvert fall når vi ser bort fra ekstremt sur jord. Kalken har mange sekundære virkninger som bevislig betyr mye mer.

Hvis vi suksessivt endrer jordreaksjonen fra sterkt sur til svakt alkalisk med stigende mengder kalk, skjer det på mange måter en gradvis omstilling av næringshusholdningen i jorda.

Under omtalen av fosforhusholdningen i jorda ble det nærmere forklart at måtelig sterk kalking av sur jord kan mobilisere både organiske og uorganiske fosforforbindelser, og at fosfor som blir tilført i gjødsel etter kalkingen, kan bli noe mindre utsatt for ugunstig binding. Sterk kalking, som resulterer i alkalisk jordreaksjon, kan på den annen side føre til at det dannes basiske kalsiumfosfater, som også er mindre lett tilgjengelige for plantene. Forskjellige ting tyder på at pH omkring 6-7 i mineraljord stort sett betinger den gunstigste fosforhusholdning. Vesentlig lågere pH er vanlig ugunstigere enn noe høgere. Den positive virkning av kalking inkluderer ofte en betydelig fosforvirkning. På leirjord i dårlig fosfortilstand på Østlandet går meravlinga for kalking ikke sjelden ned til det halve eller til og med til bare tredjeparten når en gjødsler godt med fosfat.

De tallrike undersøkelser over kalkingens virkning på kaliumhusholdningen har gitt ulike og til dels innbyrdes motstridende resultater. Vi må gå ut fra at kalkingen kan virke på både binding og frigjøring av kalium, på utvasking og binding i tungt tilgjengelig form osv. Kalium ser bl.a. ut til å være mest utsatt for utvasking når reaksjonen er sterkt sur, og mest utsatt for absorpsjon i ikke ombyttbar form ved høg pH. På den annen side kan kalkingen under visse forhold frigjøre kalium. Den praktiske betydning av alt dette er nok likevel vesentlig mindre enn den rolle kalkingen spiller for fosforhusholdningen.

Tyskeren Ehrenberg formet for over 40 år siden en læresetning som er blitt kalkt kalk-kaliloven. Den går ut på at hvis plantenes kaliumforsyning er knapp, vil kalkingen forverre forholdet og gjøre kaliumbehovet større. Både eldre og nyere arbeider tyder på at det ligger en realitet bak denne læresetningen, men bare på utpreget kaliumfattig jord. Forklaringen ligger sannsynligvis for en stor del i en plantefysiologisk antagonisme mellom Ca og K.

Kalktilstandens betydning for nitrogenhusholdningen består bl.a. i at nedbrytingen av organisk stoff og nitrifikasjonen går raskere i jord med høgere pH enn i utpreget sur jord. Belgvekstene får i mange tilfelle bedre vekstvilkår og binder mer nitrogen fra lufta. Den viktigste av de nitrogensamlende bakterier som lever fritt i jorda, Azotobacter chroococcum, kan ikke leve i utpreget sur jord. Den har sannsynligvis liten praktisk betydning her i landet.

På jord med låg pH og lite innhold av magnesium kan kalking forbigående virke meget gunstig på planteveksten. Årsaksforholdet her ser ut til å være noe uklart. I hvert fall under forhold der tilgangen av magnesium er god, fører kalking slett ikke alltid til at opptaket av magnesium øker (se. t. eks. Sorteberg: Magnesiumsituasjonen i Norge. Om Jord og Planter. København 1961).

Mange mikronæringsstoffer forholder seg svært forskjellig ved ulik jordreaksjon.

I sterkt sur mineraljord er konsentrasjonen av Mn^{++} av og til så stor at den kan gjøre direkte skade på kulturvekstene. Ved stigende pH avtar manganjonkonsentrasjonen. Det toverdige mangan går etter hvert ved kjemiske og mikrobiologiske prosesser over til forbindelser hvor stoffet opptrer med høgere valens, særlig som fireverdig. Slike stoffer er lite tjenlige som mangankilde ved høg pH. Ved å senke pH igjen kan en få prosessene til å gå i motsatt retning. Borforbindelsene i jorda er lettest oppløselige ved lågere pH. Kalking gjør dem tyngre oppløselige og mindre tilgjengelige for plantene. Om årsakene til dette er det mange forskjellige oppfatninger uten at noen av dem er alminnelig akseptert. Plantenes borbehov blir også større etter kalking. Det skyldes et fysiologisk samspill mellom B på den ene side og Ca, kanskje også andre stoffer, på den annen side. Sink og kopper blir stort sett fastere bundet ved høg pH enn ved låg. Også disse metaller blir altså vanlig mindre tilgjengelig for plantene ved kalking.

Molybden blir derimot lettere tilgjengelig. Det forholder seg altså motsatt de fleste andre mikronæringsstoffene og mer likt fosfor. Det er mulig at ombyttbare molybdatjoner (MoO_4^{--}) blir satt i frihet ved å bli fortrengt av OH^-.

Jernmangel skal ifølge utenlandske kilder særlig opptre på kalkrik eller sterkt kalket jord. Her i landet er det framfor alt på myrjord vi har jernmangel. I hvert fall de første år etter oppdyrking av myra har jernmangelen nesten alltid vært sterkest ved svak kalking.

Kalking av sur jord kan altså endre plantenes forsyningssituasjon i vesentlig grad. Den kan gjøre sitt til å løse visse forsyningsproblemer, men den kan også gjøre andre svært aktuelle.

Ellers kan jordreaksjonen også virke inn på andre kjemiske jordegenskaper som har betydning for plantene. Bl.a. kan konsentrasjonen av Al^{+++} og Mn^{++} i jordvæsken i sterkt sur jord være så stor at det virker vekstskadelig.

For jordas fysiske egenskaper betyr kalktilstanden mest i leirjord. Jord i god kalktilstand får lettere stabil grynstruktur. Derved blir leirrik jord mindre klinet når den er våt, ikke så hard når den tørker og lettere å arbeide. En festet seg en tid nokså ensidig ved en kolloidkjemisk forklaring på dette. Den gikk ut på at Ca^{++} nøytraliserer kolloidenes negative ladning, gjør dem mer tilbøyelig til å slutte seg sammen til aggregater og dermed også mer effektive til å binde sammen de litt større partikler. Nå vet vi at både levende mikroorganismer og visse organiske stoffer som dannes under nedbrytingsprosessen, er viktige stabiliseringsfaktorer for grynstrukturen. Etter det vi nå vet om disse ting, må kalkens virkninger på jordstrukturen ha både biologiske og kolloidkjemiske årsaker.

Endelig kan det nevnes at kalking kan virke positivt på noen og negativt på andre sjukdomsorganismer i jorda.

Kalkvirkningen i agronomisk betydning er en sumvirkning. Enkeltvirkningene kan være flere eller færre, positive eller negative, sterkere eller svakere alt etter som forholdene skifter fra sted til sted og fra tid til tid. At kalking samtidig har både gunstige og ugunstige virkninger på kulturvekstene, er sikkert ingen sjeldenhet. Fosfortilstanden kan t.eks. bli bedre, samtidig som forsyningen med bor eller mangan kommer i faresonen. Totalvirkningen på avlingene kan også være positiv eller negativ.

Det hele blir enda mer komplisert ved at enkeltvirkningene ikke er ens for alle vekster. Noen vekster reagerer som kjent sterkt, andre svakt for knapp forsyning med enkelte av mikronæringsstoffene. På tilsvarende måte er de enkelte vekster bevislig mer og andre mindre ømfintlig for stor konsentrasjon av Al^{+++}, Mn^{++} og H^{+}. Det som ofte betegnes som ulikt kalkbehov for de forskjellige kulturvekster, har i virkeligheten mange forskjellige årsaker. Dermed blir det også forståelig at det er så vanskelig å rangere kulturvekstene etter kravet til jordreaksjonen og kalktilstanden slik at rekkefølgen har generell gyldighet.

I Danmark har de på grunnlag av markforsøk ordnet de viktigste jordbruksvekster i denne rekkefølge med avtakende krav til jordreaksjon og kalktilstand: Lucerne > sukkerbete > fórbete > kveite > bygg > kålrot > turnips > kløver > havre > rug > poteter. Bortsett fra at de første og siste vekster i rekken har en relativ sikker plasering, og at havre vanlig klarer seg på surere jord enn bygg, er rekkefølgen ikke almengyldig, selv om den nok kan være til noen rettleiing. I tillegg

Forsøksfelt hos Erling Horten, Ringebu. Avling, kg høy pr. dekar.

	Tilførsel av				
	a	b	c	d	e
År	Ubehandlet	Dolomitt	Kalk	Magnesium-sulfat	Kalk + Magn.sulf.
1960	167	694	511	748	664
1961	59	661	413	544	644
1962	0	562	305	159	547
1963	0	707	297	78	586
1964	0	720	355	96	547
Middel	45	669	376	325	598

Feltet har ligget på Gopollen seter (mot Østerdalen), ca. 1000 m.o.h. og på nyland. Feltet ble tilsådd sommeren 1959 med timotei. Forsøksbehandlingen har vært (mengdene pr. dekar):

a. Ubehandlet

b. 200 kg dolomittmjøl med 12-13 pst. Mg

c. 200 " kalksteinsmjøl

d. Magnesiumsulfat tilsv. ½ av Mg-mengden i b (12-13 kg Mg)

e. Kalk som i c + magnesium som i d

til det som er sagt ovenfor, kan det også være ganske stor sortsforskjell. Dette er kanskje best kjent fra undersøkelser med mikronæringsstoffer.

Tallene nedenfor angir avlingene i f.e. pr. dekar for poteter og kålrot i et mangeårig markforsøk med kalking på N.L.H.'s gårdsbruk (i middel for de tre år 1943, 1949 og 1950). Jorda er ei leirjord med mye grovleir og finsand. Den har pH litt over 6, altså en reaksjon som ikke tyder på større behov for kalking ved vanlig jordbruksmessig drift.

Kalksteinsmjøl, kg/dekar.....	0	500	1000	2000
Poteter, f.e./dekar.....	491	- 13	- 44	- 62
Kålrot, "	424	+123	+ 185	+ 189

Kalkingen har ellers gitt små utslag i kornavlingene (bygg, kveite og havre), mens høyavlingene (timotei og kløver) viser en svak tendens til nedgang, særlig for de større kalkmengder.

Om andre kulturvekster får det være nok å nevne at de viktigste grasarter i eng og på kulturbeite ikke er særlig utpreget hverken i den ene eller den annen retning med hensyn til kravet til jordreaksjonen, men likevel med nokså tydelig innbyrdes forskjell. Engkvein har t.eks. utpreget evne til å klare seg på sur og kalkfattig jord, mens engrapp, timotei og engsvingel stiller større krav. Av grønnsakvekstene hører bl.a. purre til de kravfulle. Om frukttrær blir det ofte sagt at kjernefrukttrær helst vil ha svakt sur og steinfrukttrær svakt alkalisk reaksjon, men det synes tvilsomt om dette bør stilles opp som alminnelig krav.

5. Andre stoffer.

I dette avsnitt skal vi ta en kort oversikt over de andre mineralske plantenæringsstoffer og enkelte andre stoffer som har en viss interesse fra vekstdyrkingssynspunkt. De næringsstoffene som blir omtalt her, har ikke så alminnelig betydning som de foregående, men ikke sjelden kan ett enkelt eller flere sammen spille en avgjørende rolle.

Av flere grunner vil ventelig knapp forsyning med andre plantenæringsstoffer enn N, P og K komme til å spille større rolle i framtiden enn de har gjort hittil. De viktigste årsaker til dette er:

1. Folketilveksten og hensynet til størst mulig selvforsyningsgrad med jordbruksprodukter tvinger til oppdyrking av næringsfattig jord, som mer enn rikere jord disponerer for mange forskjellige stoffmangler.

2. Vi må nødvendigvis arbeide for å øke avlingene. Men større avlinger betyr behov for større mengder av alle næringsstoffer.

30-50 kg $MgSO_4$/ha hevande vill en stad på minskad gen Mg-innehållet i plantan.

Ca verkan på sädes på han fått bl. mindre Mg-mangel än säme på utan kalk.
Sädesutsäden på kalkåker(?)
(Högare pH i plantan och lägre upptagning av Mg ???)

Kalkning har också en liknande verkan som på P. Men verkan gör korn over vehe än.

Husdjursgödsel har hög pH ...

„Koitrujelejord" Gudbrandsdalen - Mg-skörd

3. Utviklingen i handelsgjødselindustrien har vært og er preget av et målbevisst arbeid på å framstille høgprosentige nitrogen-, fosfor- og kaliumforbindelser. Selv om det til noen gjødselslag er tilsatt små mengder av andre næringsstoffer, har utviklingen ført til mindre mengder i gjødsla av flere næringsstoffer.

4. Mangel på visse mineralstoffer inntreffer lettest ved planteproduksjon uten forbindelse med husdyrhold. Hvis fórproduksjonen og husdyrbruket har stor plass, og det blir tatt vare på dyregjødsla, kommer en stor del av mineralstoffinnholdet i plantene tilbake til jorda. I seinere tid er jordbruksdrift uten husdyrhold blitt mer vanlig enn før.

M a g n e s i u m.

Magnesiummangel er kjent i mange land. Både treaktige og urteaktige kulturvekster er utsatt for mangel. Her i landet ble magnesiummangel først kjent på frukttrær. På eple er denne mangel særlig utbredt på Vestlandet, men den forekommer heller ikke sjelden på Sørlandet og Østlandet. Den opptrer både i planteskoler og i eldre og nyere plantinger. I seinere tid er magnesiummangel også funnet på mange forskjellige jordbruks- og grønnsakvekster. Ut gjennom 1950-årene ble det klart at magnesiummangel opptrådte relativt hyppig på vekster som poteter og havre og heller ikke sjelden på flere andre vekster, t.eks. kålrot, timotei og rødkløver. Det er neppe tvil om at overgang til bruk av mer høgprosentiske handelsgjødselslag på N, P og K i hvert fall har vært medvirkende til denne utvikling. I de siste år har dette forhold igjen endret seg ved at noen handelsgjødselslag er tilsatt litt magnesium.

Sandjord og jord med stort innhold av sand (og grus) kan være fattig på magnesium fra naturens side. Magnesiumforsyningen på slik jord kan bli særlig dårlig hvis også nedbøren er stor og jorda blir sterkt utvasket. Utpreget leirjord har vanlig betydelig større innhold av magnesium som plantene kan nytte, og på slik jord ser det ut til å være liten fare for magnesiummangel, i hvert fall på urteaktige vekster.

Magnesiummangel behøver ikke alltid skyldes lågt innhold av magnesium i jorda. Ikke sjelden skyldes den sterk gjødsling med kalim, dvs. mangelen er kaliuminduset. Ved svært sterk gjødsling med K tar plantene vanlig opp relativt store mengder av dette stoff, men til gjengjeld mindre Mg (antagonisme). Hvis denne forskyvning går ut over visse grenser, ytrer den seg som magnesiummangel. Balansen må søkes gjenopprettet ved å gjødsle med Mg, ved svakere gjødsling med K eller på begge måter samtidig. En tilsvarende antagonistisk virkning på magnesiumopptakingen kan en også få ved tilførsel av NH_4^+, hvis ammoniumet ikke blir nitrifisert.

33% K-gjødsel inneholdt 1,5-2 % Mg

Kalkammonsalp. inneholdt litt Mg p.g.a. kalksteinmjøl-tilsetninga.

Ledd Ryggejø 40% mindre avling hos med fullgj. enn enkle gjødslag i blanding og fullgj. + Mg, S

„Sigerstripeing" på korn - Mg-skort

nypløyd hand med grønne flekker.

Rengeboen - tre prøver

	Vekst	Ubeh.	20 kg dolomitt	20 kg kalksteinmj.

Forsøk om nypløyd grønnsaksjord og korn vekstail 41 tilførsler gir i alle fall et over skudd av Ca, Mg, K

3/4-1% Mg i kalksteinsmjøl ellers ukjent.

Mg i nedbør: Oppgitt 2 kg/da på Lista
Under 1 kg/da inne i landet

Ved siden av den fysiologiske antagonisme mellom magnesium og kalium kan sterk kaliumgjødsling på lengre sikt også virke i samme lei ved å øke utvaskingen av Mg. Storparten av de klorjoner og sulfatjoner som kommer i jorda med kaliumsaltene, blir i humid klima, som før nevnt, vasket ut sammen med ekvivalente mengder av metalljoner, først og fremst Ca^{++} og Mg^{++}.

Lysimeterforsøket på Ås viste etter sterk kaliumgjødsling i den ukalkede serie følgende regnskap for Mg for et tidsrom av ca. 2½ år:

	Uten K	Med K
Tilført Mg i gjødsel, g/m^2	0	3,5
Bortført " " avling, "	1,0	1,2
" " " avløpsvatn, g/m^2	4,2	13,8
Balanse.....	-5,2	-11,5

Magnesiummangel skyldes altså dels naturlige jordegenskaper, og dels er den en følge av gjødslingen. Mangelen må nødvendigvis først og fremst inntreffe ved sterk kaliumgjødsling på magnesiumfattig jord. Men den viser seg også ofte ved sterk gjødsling på rikere jord, og den er i flere land relativt godt kjent også ved moderat kaliumgjødsling på magnesiumfattig jord. Her i landet har de sterkeste former for magnesiummangel opptrådt på sandjord med låg pH. Under slike forhold har det kunnet bli nesten helt misvekst uten magnesiumtilførsel.

Nedenfor er gjengitt avlingsresultater m.m. fra et karforsøk med jord fra setertraktene i Øyer i Gudbrandsdalen. Jorda har ikke tidligere vært dyrket. Det er ei sterkt podsollert, fin sandjord med pH ca. 4,5. Veksten var havre.

Forsøksbehandling	Lufttørr avling, g pr. kar, av		Mg-innh. i loa	
	lo	korn	%	mg pr.kar
a. N, P og K i kjemikalier	3,3	0	0,025	8,3
b. Husdyrgjødsel	58,7	26,3	0,071	41,7
c. Som a + Cu, Mn, Fe, B og Mo	3,8	0	0,024	9,2
d. - " - + Mg	57,2	26,6	0,115	65,8
e. - " - + kalk	62,8	27,2	0,059	37,1

Mengden av husdyrgjødsel i ledd b svarte til mellom 6 og 7 tonn, magnesiumengden i ledd d til 100 kg magnesiumsulfat og kalkmengden i ledd e til 600 kg $CaCO_3$, alle mengder pr. dekar.

Den gode virkning av husdyrgjødsla må skyldes at husdyrgjødsel inneholder litt Mg. Kalken har ført til betydelig økning ikke bare i opptatt Mg i alt, men også

Leguminosae og Cruciferae reag. sterkest på S

Superfosfat 8 % P 12 % S

Kraftsuperfosfat 13 % P 8 % S

Kaliforsk har fremme magnesiumtilførselspunktet

i prosentisk innhold, selv om kalken har vært tilnærmet Mg-fri. Markforsøk utført samme sted som jorda ble uttatt (og forresten også andre steder i setertraktene i Gudbrandsdalen), har gitt liknende resultat som dette karforsøket.

S v o v e l.

Svovelmangel er kjent fra mange forskjellige steder omkring i verden, kanskje særlig fra U.S.A., Australia og New Zealand. I de siste år er svovelmangel også blitt påvist i de skandinaviske land. Svovelmangel opptrer på mange forskjellige vekster. Særlig blir flere av belgvekstene og korsblomstrede planter regnet for å være utsatt for svovelmangel. Dette er vekster som også inneholder mye svovel. I våre karforsøk har ellers bygg vært en god indikatorvekst på svovelmangel.

Svovelinnholdet i jorda varierer sterkt, særlig etter humusinnholdet. Undersøkelser tyder på at det oftest er noe større enn fosforinnholdet. Storparten er organisk bundet. Når det organiske materiale i jorda brytes ned, vil svovelet etter hvert bli mineralisert og tilgjengelig for plantene. Det organiske stoff må derfor kunne bety mye for plantenes svovelforsyning. Svovel i form av sulfat vaskes lett ut, men kan delvis bli overført i organisk form av høgere planter og mikroorganismer, eller for en mindre del absorberes som sulfatjon.

I humid klima taper jorda årlig ganske store svovelmengder ved utvasking av sulfatjon. I lysimeterforsøk på Ås 1938-42 inneholdt avløpsvatnet i middel 3,25-6,25 g S pr. m^2. Mengden var størst ved gjødsling med superfosfat og kaliumsulfat, mindre uten gjødsling og ved gjødsling med husdyrgjødsel. Andre undersøkelser tyder på at storparten av den sulfatmengde som tilføres i handelsgjødsel, blir vasket ut i løpet av ca. et år i vårt humide klima. Svovelet i husdyrgjødsel utvaskes seinere.

Nedbøren inneholder vekslende mengder svovel. Ved mange undersøkelser i andre land har en funnet fra noen tiendedels kg helt opp til ca. 10 kg pr. dekar og år. De største mengder finner en gjerne nær industrisentra hvor det blir brent mye kull. Undersøkelser her i landet der nedbøren ble målt og analysert fra 12 forskjellige steder, viser at for 11 av stedene kom det med nedbøren pr. dekar og år fra knapt 0,3 til vel 0,9 kg S. For den 12. stasjonen (Lista) var S-mengden nesten 2 kg. (J. Låg: Tilføring av plantenæringsstoffer med nedbøren i Norge. Forskn. fors. i landbr. 1963, 155-195).

Svovel kan også opptas av plantene direkte fra lufta. For så vidt er ikke dette noe spesielt for svovel. Det som har særlig interesse i denne forbindelse, er at enkelte mener at denne måte for næringsopptakelse kan bety mye for svovel.

Svoveltilførselen i gjødsel (handelsgjødsel og dyregjødsel) var noen tid oppe i 25-30.000 tonn S pr. år, men har de siste år sannsynligvis gått ned til under 20.000 tonn, slik at vi nå i middel skulle tilføre noe slik som 2-2,5 kg pr. dekar dyrket jord. Dette er ca. den dobbelte mengde av hva en avling i middel fører bort, men etter det som før er sagt, må mye av svovelet i handelsgjødsla bli vasket ut hvis tilførselen er ujamn. Og heller ikke av svovel kan plantene oppta til siste rest alt som er tilgjengelig. Reduksjonen i svoveltilførsel de seinere år skyldes endringer i forbruket av forskjellige handelsgjødselslag, framfor alt den sterke nedgang i bruk av superfosfat. Selv med denne reduksjon er den samlede svoveltilførsel til vår kulturjord sannsynligvis stor nok til å trygge plantenes svovelforsyning. Etter at fullgjødsel A og C nå er tilsatt litt svovel, er også faren for svovelmangel som følge av ujamn fordeling blitt mindre. Ennå vet vi imidlertid for lite om t.eks. den svovelmengde som tilføres ved disse to fullgjødselslag, er nok til å sikre plantenes svovelforsyning sett på litt lengre sikt. Ved gjødsling med superfosfat vil storparten av svovelet vaskes ut relativt rakst. Det ser likevel ut til at en må kunne regne med noen ettervirkning utover gjødslingsåret, særlig hvis det tilføres en litt større mengde.

Svovelmangel er påvist her i landet både i kar- og markforsøk. I karforsøk er det blitt ikke ubetydelige meravlinger for svoveltilførsel til forskjellige vekster. I markforsøk har svovel gitt avlingsøkning til bygg, engvekster og noen korsblomstrede vekster når jorda i noen år forut ikke er tilført svovel av videre betydning.

Nedenfor gjengis avlinger uten og med tilførsel av S i noen karforsøk ved Institutt for jordkultur. Forsøksjorda er uttatt fra 5 forskjellige steder, dels fra Landbrukshøgskolens gardsbruk, dels fra andre eiendommer i Ås. Alle jorduttak gjelder mineraljord med betydelig leirinnhold. Jord nr. 1 og 2 ble året forut ikke tilført husdyrgjødsel og bare gjødslet med svovelfri handelsgjødsel. For jord nr. 3, 4 og 5 gjelder samme gjødslingspraksis de ca. 10 siste år. Med svovel i dette forsøket betyr 6 kg S (i gips) i 1959 og 3 kg S i 1960.

Tilsetjinga i fullgjødsel er rekna å kunna halda ved lag

borinnhaldet i jorda — i alle fall ved korndyrking

0,05 % B i hagegjødsel [illegible]

[illegible] [illegible] [illegible] [illegible]

Borgiftverknad ikkje heilt sjeldan [illegible] hogg, som kan

vera [illegible] på jord gjødsla for [illegible]

[illegible] [illegible] [illegible] [illegible] på [illegible]

[illegible]

	Jord nr.	1		2		3		4		5	
År	S-tilførsel	Uten	Med	Uten	Med	Uten	Med	Uten	Med	Uten	Med
	A. Rødkløver.										
	1. slått	43,8	48,6	30,2	33,4	31,8	36,0	32,6	48,0	34,5	44,5
1959	2. - " -	32,7	44,0	29,7	28,5	25,0	49,2	21,7	59,1	21,6	53,8
	B. Bygg.	53,3	58,6	62,6	65,9	37,9	38,3	46,9	68,5	41,8	65,3
	A. Bygg.	33,0	89,8	46,5	80,4	21,0	80,0	29,5	95,4	31,9	86,9
	B. Rødkløver.										
1960											
	1. slått	55,5	55,8	33,6	34,3	46,6	43,0	55,5	59,0	54,0	50,3
	2. slått	28,4	33,6	23,2	30,0	25,7	37,6	21,1	46,8	26,0	42,9

Mye tyder på at svovelmangel er lettere å få fram og fører til større avlingsreduksjon når plantene dyrkes i kar og holdes under tak enn ved plantedyrking på friland.

B o r.

Totalinnholdet av bor varierer fra noen få hundre g til atskillige kg i matjorda på ett dekar jord. Som regel har bare en liten del av hele mengden aktuell interesse for plantenes borforsyning på kort sikt.

Bormangel er velkjent på mange rotvekster, på grønnsakvekster, frukttrær osv. Poteter reagerer ikke sjelden for gjødsling med bor, mest på næringsfattig myrjord, men også på næringsrik mineraljord. Fra utlandet er det mange eksempler på positive utslag for borgjødsling til belgvekster, særlig lucerne, men også kløver. Kornartene er sjelden utsatt for bormangel, grasartene i eng og på beite visstnok aldri. I alt er det påvist bormangel på 16-17 forskjellige frilandsvekster her i landet. Ellers er den kjent og mer eller mindre utbredt både i europeiske og oversjøiske land.

Mangel på bor er ikke nøye knyttet til bestemte jordegenskaper, enda den gjør seg tydelig mer gjeldende under visse jordbunnsforhold og mindre under andre. Jord med sand- og gruskarakter, myrjord og all sterkt utvasket jord disponerer mest for bormangel. Jord som er mindre utvasket, eller som har større leirinnhold, er vanlig ikke så utpreget borfattig. Likevel er bormangel på visse vekster ikke sjelden også på rikere jord, t.eks. på næringsrik morenejord og havleire inne i landet. Det er ellers grunn til å anta at behovet for gjødsling med bor vil tilta. Ved moderne

Gilsperinspiker

Gaffelhaka [illegible]

Tjurnesetpenga [illegible]

Det objekt som [illegible] mangel [illegible]
anlänga [illegible] stora [illegible]
Stubberskott [illegible] hans hästar [illegible]

drifts- og gjødslingsmåter og slik som klimaet er i største delen av landet, er det sannsynligvis jorda ofte mister mer bor med avlingene og ved utvasking enn den får tilført i gjødsel + de små mengder som kommer med nedbøren. Utvidet dyrking av mer krevende vekster og større avlinger øker naturligvis borbehovet. Det er lite sannsynlig at jorda i lengden kan kompensere for et underskott og dekke det stigende behov av bor fra tungt oppløselige forbindelser. Ved ensidig korndyrking med vesentlig tilførsel av borholdig fullgjødsel er det likevel grunn til å tro at borbalansen mange steder er positiv.

Kalking, og særlig sterk kalking, forsterker eller framkaller ofte bormangel. Faren for skadevirkning av større bormengder er derimot størst ved sur jordreaksjon. Årsakene til dette har vi vært inne på før.

Det kan også nevnes at bormangelen er mest merkbar i tørre år og perioder.

K o p p e r.

Mangelfull forsyning med kopper går sterkt ut over kornavlingene av bygg, havre og kveite. For avlingene og varigheten av rødkløver og timotei spiller også kopperforsyningen en viktig rolle. Som eksempel gjengir jeg noen avlingstall fra forsøk på myr på Ny Jords forsøks- og demonstrasjonsgard på Smøla i 1946 (mengdene i kg pr. dekar):

	Uten kopper	Med kopper
Timotei	619	810
Rødkløver	119	645

Koppermangel er ellers kjent på en lang rekke urteaktige kulturvekster, i andre land også på frukttrær. Poteter og rug er lite utsatt.

Koppermangel opptrer særlig på jord med sand- og gruskarakter, framfor alt når den er sterkt utvasket og har råhumus i udyrket tilstand. Ellers treffer en ofte på koppermangel på myrjord, særlig på myrer med kvitmoserik torv. Slike jordbunnsforhold er her i landet mest utbredt i det ytre kyststrøk fra Sørlandet og nordover langs hele vestkysten. Vi kan oppfatte norskekysten som en utløper av et stort koppermangelområde langs Nordsjøkysten i Nederland, Tyskland og Danmark, der klima, jordbunnsforhold og naturlig vegetasjon har visse likheter med dette kyststrøket hos oss. Også i innlandsdistriktene er kulturvekstene av og til utsatt for koppermangel under liknende jordbunnsforhold som langs kysten, men mye sjeldnere, og så vidt vi vet, aldri på leirjord eller næringsrik morenejord. Også husdyr er utsatt for koppermangel på steder der plantene får for lite kopper.

Etter undersøkelser i Danmark, Tyskland, Nederland o.a. steder er det blitt vanlig oppfatning at sterk binding av kopper til visse, ikke nærmere kjente organiske

stoffer i jorda er en hovedårsak til koppermangel. Svenske forskere hevder derimot at kopper ikke blir sterkere bundet til organisk enn til uorganisk materiale. De mener videre å kunne påvise at koppermangel står i nokså nøye sammenheng med innholdet av "totalt utbyttbart" kopper i jorda. Her i landet er sannsynligvis dels kopperfattig opprinnelsesmateriale (særlig for myrjord), dels utvasking og dels kraftig binding av kopper særlig til visse organiske stoffer, hovedårsakene til at jorda på sine steder disponerer for koppermangel for mange kulturvekster.

Etter erfaringer fra andre land skal koppermangel være mest alminnelig på jord som er dyrket opp forholdsvis nylig. Det er likevel ingen tvil om at den ofte også opptrer på gammel kulturjord. Jord som disponerer for koppermangel, er oftest sterkt sur før den blir tatt under kultur. Kalking gjør vanlig stoffet mindre tilgjengelig for plantene, men sammenhengen med jordreaksjonen og kalktilstanden er ikke så entydig og sterk som for mangan og bor.

M a n g a n.

Manganmangel er særlig velkjent på havre, bygg og kveite, men gjør ellers ofte skade på poteter, beter, grasarter, forskjellige grønnsakvekster og mange andre urteaktige plantearter, frukttrær og bærbusker.

Manganmangel kommer nesten alltid av at manganforbindelsene i jorda er lite tjenlige for plantene, sannsynligvis meget sjelden av at innholdet er for lite. Plantenes manganforsyning beror vesentlig på to faktorer: Jordreaksjonen og oksydasjons-reduksjonsbetingelsene i jorda.

Manganmangel er nokså nøye knyttet til meget svakt sur, nøytral eller svakere alkalisk jordreaksjon. På leirjord opptrer den nesten bare ved pH > 7. På sandjord og myrjord kan manganforsyningen komme i faresonen allerede ved pH ca. 6. I særlig manganfattig jord kan kanskje plantene få for lite av dette stoff også ved noe sterkere sur reaksjon, men etter alt å dømme sjelden. Hvordan endringer i jordreaksjonen virker på manganforbindelsene, er omtalt før. Reaksjonen er i den grad avgjørende for manganhusholdningen at en og samme jord kan utsette plantene for skadevirkning av for mye mangan når reaksjonen er sterkt sur, og disponere for kraftig manganmangel etter sterk kalking.

Ved god luftveksling (tilgang på oksygen) i tilnærmet nøytral eller svakere alkalisk jord går oksydasjonen og inaktiveringen av mangan raskere og lengere. Derfor er plantene mest utsatt for mangel når jorda ligger løs eller tørker sterkt.

Stripeklorane [illegible]

Ca-tilførsel [illegible] typiske [illegible] skoven
God tilførsel fremmer tog [illegible] skoven

Gjødsling med koppersulfat kan undertiden gjøre sitt til å vanskeliggjøre manganforsyningen på jord med høg pH.

Manganmangel gjør mye mindre skade hos oss enn i mange andre land, fordi storparten av Norges jord er sur. Hos oss forekommer den særlig i Nord-Norge der det noen steder er et tynt myrjordlag med skjellsand under. På Hedmark, hvor mye av jorda har relativt høg pH, er det i seinere tid påvist flere tilfelle av manganmangel på bygg og poteter. Ellers finner en mer spredte tilfelle av manganmangel på kalkrik jord og der det er kalket sterkt. På flekker hvor det har ligget kalkhauger, er det ikke sjelden å se manganmangel på plantene.

J e r n.

Jernmangel er kjent både på trær, busker og urteaktige vekster. Egentlig er det vel aldri eller i hvert fall ytterst sjelden for lite jern i jorda, men jernet kan opptre i utilgjengelig form, eller det kan bli inaktivert i plantene. I litteraturen står det vanlig at jernmangel er nokså nøye knyttet til kalkrik eller særlig sterkt kalket og fortrinsvis humusfattig jord. Her i landet er jernmangel merkelig nok best kjent på myrjord langs kysten. Mangelen gjør seg ellers mest gjeldende når jorda ligger løs, bl.a. når den er brukt til åker flere år på rad, og når den tørker sterkt. Allerede de karforsøk som ledet til at vi oppdaget jernmangel på myrjord, viste at gjødsling med koppersulfat forverrer jernmangelen (Ødelien: Jernmangel på myrjord og koppersulfatets virkning på plantenes jern- og manganforsyning. Tidsskr. f.d. norkse landbruk 1945). Om denne virkning er knyttet til jorda, om den er fysiologisk eller begge deler, vet vi ikke. Årsaksforholdet bak jernmangelen på myrjord er i det hele tatt lite kjent.

I løpet av de år vi har kjent til jernmangel her i landet, er det funnet spredte tilfelle av sikker eller sannsynlig jernmangel på havre og timotei, engsvingel o.a. grasarter på kystmyrer fra Aust-Agder til Nordland. På sine steder kan den gjøre atskillig skade, men alt i alt spiller den neppe noen stor økonomisk rolle i Norge. I det siste er det påvist jernmangel på frukttrær i Hardanger.

M o l y b d e n.

I 1939 ble det bevist at plantene trenger ørsmå mengder av molybden, og 2 år seinere ble det første tilfelle av molybdenmangel hos frilandsvekster oppdaget på en kløverart (Trifolium subterraneum) i Australia. Siden er det funnet sikre symptomer på molybdenmangel eller oppnådd store avlingsutslag for gjødsling med molybden til bl.a. blomkål, lucerne og havre på friland og til tomat i veksthus.

Sterk kalking har løynd Mo-mangel
Mikroorg. har klover treng Mo

På forsøksfelter i Australia har en funnet molybdenmangel også for en rekke andre vekster. Her i landet er det påvist molybdenmangel på blomkål, gulrot, salat og visstnok også på havre på friland. På myrjord (Smøla) har gjødsling med molybden øket kløvermengden i enga betydelig og dermed også gitt større høyavling. I karforsøk har vi fått katastrofal molybdenmangel hos salat, forbete og gulrot i kvitmosetorv. Videre har persille, rødkløver o.fl. vist sterk molybdenmangel. I sterkt sur torv har mangelen også vært tydelig for bygg og timotei. For poteter og havre har vi derimot ikke kunnet påvise molybdenmangel i våre forsøk.

Plantenes behov for molybden er svært lite.

Molybdenmangel opptrer vesentlig ved utpreget sur jordreaksjon. Blomkål kan likevel være utsatt også ved noe høgere pH. Kalking gjør som før nevnt molybdenforbindelsene i jorda mer tilgjengelige for plantene og kan ofte eliminere molybdenmangelen fullstendig, i hvert fall for en tid. Etter karforsøkene må en ellers vente at knapp molybdenforsyning vil være mest merkbar i tørre år. Av karforsøk vet vi også at molybdenmangel gjør seg sterkere gjeldende ved gjødsling med nitrat-N enn ved bruk av ammonium-N.

På nøytral eller alkalisk jord som er rik på molybden, kan molybdeninnholdet i graset bli så stort at storfe og sau blir syke. Det ytrer seg særlig ved voldsom diaré . Slikt har en bl.a. eksempel på fra Somerset i England og visse steder i U.S.A.

S i n k.

Sinkmangel, mest på frukttrær, er kjent i mange europeiske land og spiller særlig stor rolle i visse deler av Sambandsstatene. Etter erfaringer andre steder skulle en særlig vente å kunne finne sinkmangel på kalkrik eller sterkt kalket jord som har sand- eller gruskarakter og har vært svært sterkt gjødslet med fosfat. Symptomer på sinkmangel er påvist hos frukttrær her i landet, men mangelen har, så vidt vi vet, ingen praktisk betydning.

K l o r.

I karforsøk (særlig i vasskulturforsøk) er klormangel påvist hos forskjellige vekster, bl.a. hos salat, tomat, kål, gulrot, sukkerbeter og bygg. For Trifolium subterraneum har en eksempel på at det er blitt klormangel når karforsøksjorda var naturlig jord (fra California og Australia).

Klorjoner vaskes lett ut av jorda. I største delen av vårt land kan vi regne med at storparten av det klor vi fører til jorda i gjødsel, som regel vil bli vasket ut i løpet av ett år. Noen fare for klormangel kan vi likevel ikke regne med, bl.a. som følge av klorinnholdet i den gjødsel vi tilfører. Derimot kan store klormengder i gjødsla virke uheldig på klorømfintlige vekster, fordi det er mye klor innenfor røttenes rekkevidde i veksttiden. Ved høstgjødsling med klorholdig gjødsel vil vanlig en stor del av klormengden være vasket ut, eller i hvert fall ned til djupere jordlag før våren.

K o b o l t

er nødvendig for somme husdyrarter, men så vidt vi vet, ikke for plantene. Koboltmangel hos storfe og sau opptrer her i landet særlig på sandjord og myrjord. Kalking gjør koboltforbindelsene i jorda mindre tilgjengelige for plantene og kan altså lett forverre koboltmangelen. På den annen side kan kalking også ha den motsatte virkning hvis den fører til at mengden av kløver og andre belgvekster blir større. Koboltinnholdet i belgvekstene er nemlig betydelig større enn i grasartene.

J o d.

Vi har ikke bevis for at jod er nødvendig for plantene. Derimot er det velkjent at jodmangel kan være årsak til struma hos mennesker og husdyr. Det er særlig i visse innlandstrakter jord, vatn og planter er utpreget jodfattige. Det er ting som tyder på at plantene tar opp noe jord gjennom bladene fra lufta. Jodinnholdet i lufta avtar stort sett med økende avstand fra havet.

N a t r i u m.

Natrium vaskes forholdsvis lett ut av jorda. (Derfor er havvatnet rikt på Na.) Bare i arid jord og på nylig tørrlagt havbunn finner en store mengder ombyttbart Na^+. Men også etter sterk gjødsling med Na-rik gjødsel kan jorda for en tid inneholde så mye av dette stoff at det gir leirrik jord uheldige fysiske egenskaper. Større mengder av Na^+ bidrar nemlig til at jorda får framtredende enkeltkornstruktur. Dette ytrer seg særlig ved at den blir svært klisset i våt tilstand og hard når den tørker. Vatning med vatn som inneholder mye Na^+ kan føre til store ulemper på denne måten.

Om plantenes mikronæringsstoffer, andre sporelementer og visse makronæringsstoffer foreligger bl.a. disse større eller mindre oversiktsarbeider:

Lundblad: Bristsjukdomar hos kulturväxter och exempel på följdsjukdomar hos husdjur. Stockholm 1959.

Karl Scharrer: Biochemie der Spurenelemente. Paul Parey in Berlin und Hamburg 1955.

O. Svanberg: Mikroelement och några sekundära grundämmen i jord- och husdjurskötsel. Stockholm 1949.

T. Wallace: The Diagnosis of Mineral Deficiensies in Plants. London 1961.

M. Ødelien og A. Sorteberg: Mikronæringsstoffer, magnesium og svovel i jordbruk og hagebruk. Oslo 1961.

The fourth Edition of Bibliography of the Literature on the Minor Elements and their Relation to Plant and Animal Nutrition. New York 1948.

VI. Noen merknader om humushusholdningen.

Betegnelsen humus blir her brukt i den videste betydning, som fellesnavn for alt organisk stoff i jorda. Egentlig er det bare dødt organisk stoff vi mener, men ved humusbestemmelsen lar det seg ikke gjøre å skille skarpt mellom dødt og levende organisk materiale.

Humusstoffene og deres betydning for mange viktige jordegenskaper blir behandlet i jordbunnslæren. Her nøyer vi oss med å minne om at storparten av de planterester og annet organisk materiale som på forskjellig vis kommer i jorda (dannet på stedet eller tilført utenfra), blir destruert på forholdsvis kort tid. Bare en liten, men noe varierende del er eller blir til mer resistente stoffer, som kan holde seg i lengre tid. Det lett omsettelige organiske stoff har først og fremst betydning som næring og energikilde for mikroorganismene og det lågere dyreliv i jorda, den sterkt omsatte fraksjon for de kjemiske og fysiske egenskaper som først og fremst regnes som karakteristiske for humusstoffene.

Humusinnholdet i jorda innstiller seg etter mengden og arten av det organiske stoff som kommer til, og etter nedbrytingshastigheten. Rikelig tilgang på organisk materiale og forholdsvis langsom destruksjon betinger et større humusinnhold, liten tilgang og rask nedbryting fører til mindre humusinnhold.

Her i landet har kulturjorda for det meste et relativt stort innhold av humus. Det skyldes dels det kjølige og for en stor del nokså fuktige klima, og dels

Lundqvist: Prästgårdsmuren i en kommentar och exempel på tillämpningen av huslåne-
[illegible] 1957.

Paul Schweizer: Möbelbau der Vorzeit. [illegible]. Paul Parey in Berlin und Hamburg 1955.

O. Sundström: Mikroskopet och vårt [illegible] grundämne i jord- och näringsmedel.
Stockholm 1943.

T. Skillings: The Biography of Edward Dalton Lillie in 11 vols. London [illegible].

R. Ahlström: Jordbruksteknik. Mikroorganismernas roll, [illegible] av svovel i jordbruk och
hushållning. Göteborg 1951.

The Fourth Edition of Encyclopedia of the Universe on the Minor Elements and their
Solution in Plant and Animal Physiology. New York [illegible]

[illegible]

Betygsätsen hanns bilt för brukt [illegible] betygsättning, som tillsammans
för allt organisk stoff i jorden. Omsättningen av hans dött organisk stoff är ej mycket,
men med humusbestämmelse [illegible] det [illegible] i [illegible] skapat mellan dött och
levande organisk substrat.

Humusbildning av dess betydelse för mycket vikting jordegenskaper blir
beroende i [illegible], det [illegible] i mätt om de [illegible] av de
planterade [illegible] av [illegible] organisk material som på [illegible] vis kommer i jorden (dimmer
[illegible] det [illegible] [illegible]), allt [illegible] på [illegible] kort tid. Med en liten,
[illegible] vattenmängd del av [illegible] bilt till [illegible] [illegible], som som [illegible] sig
i [illegible] till. [illegible] [illegible] organisk stoff [illegible] [illegible] av [illegible] betydning som
[illegible] av [illegible] för [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] i jorden, den [illegible]
[illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] av [illegible] som
[illegible] [illegible] [illegible].

Humusbildning i [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] av [illegible] [illegible]
[illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]

bruksmåten. Ved bruksmåten er det særlig engbruket og husdyrgjødselmengden som har betydning. Engbruket spiller sikkert større rolle for humushusholdningen i norsk jord enn dyregjødsla. Engvekstene har en stor rotmasse, og nedbrytingen av organisk stoff går seinere når jorda ligger til eng enn når den blir brukt til dyrking av åkervekster. Dyrking av belgvekster og gras ett enkelt eller flere år på rad er et av de mest effektive midler vi kjenner til å holde ved like eller øke humusinnholdet. Det har vi tallrike eksempler på fra langvarige markforsøk og andre undersøkelser.

Slutter vi med de regelmessige engperioder og går over til husdyrløst jordbruk med ensidig eller overveiende korndyrking, inntrer en ny humussituasjon. Det kommer mindre organisk materiale til jorda, nedbrytingen går raskere, og humusinnholdet må nødvendigvis minke mer eller mindre. Dyrker en poteter innimellom, eller blir jorda brakket av og til, vil dette hattendens til å påskynde nedgangen i humusinnholdet.

Ensidig eller overveiende dyrking av andre vekster som etterlater relativt lite planterester og krever mye jordarbeiding, har naturligvis prinsipielt samme virkning på humusinnholdet. Bruker en t.eks. jorda til grønnsakdyrking mange år på rad, blir humusspørsmålet aktuelt. I planteskoler går det særlig sterkt ut over humusinnholdet.

Vi skal ellers være klar over at regelmessig tilføring av organisk materiale ikke bare har betydning for det totale humusinnhold på lengre sikt. Som alt nevnt spiller det en viktig rolle for mikroorganismene og det lågere dyreliv i jorda. Dertil kommer at det ved nedbrytingsprosessene lages visse organiske stoffer som har spesiell betydning for jordstrukturen. Visse stoffer som dannes under destruksjonsprosessene og i sin tur blir spaltet av mikrobene, har åpenbart en særlig evne til å binde småpartiklene sammen til aggregater. Uronsyreforbindelser eller visse andre polysakkarider som dannes av mikroorganismene, synes særlig å ha slike egenskaper. Sammen med de levende mikroorganismer som virker på liknende måte, ser de ut til å være viktige forutsetninger for det vi kaller stabil grynstruktur, en strukturtilstand som spesielt er viktig for jord med leirkarakter. Særlig for slik jord kan det bety atskillig at det regelmessig kommer nytt organisk materiale til jorda i ikke for små mengder og med ikke for lange mellomrom. Utpreget leirjord er merkbart mer bekvem de første år etter en engperiode enn når den er brukt til vanlige åkervekster mange år på rad.

Hva vanlige mengder av husdyrgjødsel og halm betyr for humushusholdningen, kommer vi tilbake til seinere. Ellers kan en som kjent øke humusmengden i jorda for en tid ved gjødsling med kompost, tilføring av myrjord og grønngjødsling. Den siste er svært lite brukt her i landet.

Gjødsling med handelsgjødsel kan også øke humusmengden i vanlig kulturjord, fordi det gir større avlinger og dermed også mer røtter og andre planterester i jorda. En annen sak er at gjødsling med husdyrgjødsel som gir like store avlinger, vil virke litt sterkere på humusinnholdet som følge av at også gjødsla inneholder organisk stoff. Om virkningen av handelsgjødsel på humushusholdningen er ellers å merke at den kan påskynde nedbrytingen av mindre omsatt, mineralfattig torv og råhumus. Den tilsvarende virkning av kalking er velkjent. At grøfting av sterkt vassjuk myr og mineraljord kan virke i samme lei, er også gammelt kjent.

Humusproblemene er blitt gjenstand for stor oppmerksomhet, særlig de siste 20-30 år. Her i landet er slike spørsmål stort sett ikke så brennende aktuelle som mange andre steder, fordi humusinnholdet i kulturjord som før sagt gjennomgående er relativt stort. Men det er likevel all grunn til å være oppmerksom på humushusholdningen, framfor alt i gartnerier, ved husdyrløs jordbruksdrift og på jord hvor humusinnholdet har tendens til å være lite, eller hvor et noe større innhold av humus er særlig viktig.

Til slutt skal jeg bare minne om at humusinnholdet og nitrogeninnholdet i jorda stort sett tiltar og avtar samtidig. Som et grovt middel kan vi sette nitrogeninnholdet i det organiske stoff i humid klima til ca. 5 %. Vi tenker da på dyrket jord og ser bort fra jord hvor nedbrytingen av det organiske materiale av en eller annen grunn er vesentlig hemmet.

Det organiske stoff inneholder også vanlig betydelige mengder av fosfor, svovel o.fl.a. mineralstoffer.

VII. Fruktbarhet, kulturtilstand, næringstilstand, hevd og næringsstoffbalanse m.m.

I landbrukslitteraturen brukes mange uttrykk uten nøyere definert innhold. Dette resulterer lett i uklarhet og misforståelser. Jeg skal her forsøke å definere eller forklare noen begreper som vi har bruk for i gjødsellæren, eller som har tilknytning til dette fagområde. Jeg skylder å gjøre oppmerksom på at det neppe vil være enighet om det innhold jeg legger i ordene.

Med jordas fruktbarhet menes vel vanlig dens produksjonsevne. Som regel tar vel karakteristikken sikte på dens naturlige egenskaper. Iallfall må en være klar over at fruktbarheten ikke kan føres tilbake til en eller flere helt bestemte egenskaper eller kombinasjoner av egenskaper. Hva som kalles fruktbar jord, er til en viss

Gjødsling med kunstgjødsel kan også det nærmeste gjøre i vanlig naturjord, hvori det gir meste nytten av dersom man ønsker det, eller andre plantedeler i jorda. En annen ting er at jordsmonnet kan bedre jordbruk som det ikke ville ellers, til visse tilfeller og humusfattigdom som ikke er så godt dyrbare organisk stoff. De vårstagen av humusfattigdom i jordbruksjorder er ofteres å merke at den kan på-skynde nedbrytningen av mindre omsatt, mineralisitet, torv og rådnuns. Den tilførsende virkning av kalking er vanligvis, at mineralisering av stort vanskjøk mye er mineralisert kan virke i samme tid, av egen jordmelt kjøre.

Humusproblemene er blitt aktuelle for stor oppmerksomhet, særlig de siste 20-30 år. Det i tanker er ellike oppmerksomt stort sett ikke så bevisende aktuelle som mange andre steder. Ferdi humusinnholdet i kulturjord som for dårt kjennemerkende er relativt stort. Men det er likevel all grunn til å ens oppmerksom på humusbeholdningen, hvorfor vi i Ås kommer, ved bestemte jordsmonnsdeler og på jord hvor humusinnholdet har tendens til å ikke lite. Det er det er en storre tendens av humus at det vil vikig.

Til slutt skal jeg bare minne om at humusinnholdet og nitrogeninnholdet i jorda stort sett tilfaer og avser samtidig. Men vi bøyer nitrogen kan vi selv tilføyde i det organisk stoff i humid klima til ca. 3 %. Vi trenger de på dyrket jord ca det hvor ren jord hvor nedbrytning av det organiske materiale. Men eller annen gjøre er vanskelig mange.

Det organiske stoff innholdet med vanlig enkelhet mendre av tosler, dvorst e.lik. utmarksbeiter.

VII. Fruktbarhet, produktivitet, produktivitet.
Hvad er produktivitet m.m.

I landbruksforskningen brukes ofte begreper som mykere dårlig jordbruk. Dette kommer fra i tilfeller og utfordringer. Det vil for forskes i dårlige dårlige kvalitet som bestemt som vi har bruk for i produksjonen, eller som har tilknytning til andre forhold. Det dårlige i eller oppmerksom på at det noge vil ved dårlige en det landbruk jeg lesser i dårlig.

Men jordens fruktbarhet er vel vanlig dårlig produktivitet. Det regel for vel kvalitetsfaktorer eller på dårlig naturlig egenskaper. Tilfelle er er vare klar over at fruktbarhet ikke kan fåres tilbake til en eller flere bestemte egenskaper eller kombinasjoner av egenskaper, som en kalle i tradisjonelt jord, er til en vise

grad relativt. Det beror nemlig på en rekke jordegenskaper i samspill med klimatiske faktorer og kommer også an på hvilke vekster den skal brukes til. En jords fruktbarhetsgrad kan variere med klimaet og med bruksmåten.

I denne sammenheng kan det også være grunn til å gjøre det klart at jorda bare er fruktbar hvis alle viktigere jordegenskaper av betydning for plantenes vekst er gunstige. En eneste ugunstig faktor av vesentlig betydning kan være nok til at jorda må settes i en mye lågere fruktbarhetsklasse enn dens egenskaper ellers skulle tilsi.

Med kulturtilstand forstår en alle kulturbestemte egenskaper ved jorda som er av betydning for vekstdyrkingen. Det er i en sum alt om grøfting, oppdyrkingsmåte og tidligere jordarbeiding, kalktilstand, ugrasmengde og hevd m.m.

Med næringstilstand mener en jordas evne til å forsyne plantene med næring. Uttrykket kan brukes med tanke på et bestemt næringsstoff eller om forsyningen med jordnæring i sin alminnelighet. I kulturjord beror næringstilstanden oftest både på jordas naturlige egenskaper og på tidligere gjødsling og bruk.

Hvis en mener bare det som er en følge av gjødsling (og bruk) i en kortere eller lengre årrekke tilbake, bør en bruke uttrykket hevd. Gjødsling (og bruksmåte) kan sette jorda i bedre eller i dårligere hevd.

En kan skille mellom direkte gjødselvirkning og ettervirkning. Med ettervirkning forstår en virkningen året etter gjødslinga og seinere. Ettervirkningen kan skyldes at gjødsla i seg selv virker seint. En del av næringsstoffene kan først bli tilgjengelig etter en tids forløp og kommer ikke til nytte det første året (eks. N i dyregjødsel). Men ettervirkningen kan også være en følge av at det er brukt større mengder av i og for seg tilgjengelig næring enn den første avling kan nytte, og at den overskytende del i hvert fall delvis er absorbert i nyttbar form (eks. overskottsgjødsling med fosfat). Eller næringsstoffene kan bli bundet i tungt tilgjengelige former, men slik at en større eller mindre del kan komme igjen seinere, (f.eks. fiksert kalium). Endelig kan den skyldes avlingsrester eller mikroorganismer som omsettes og virker som gjødsel. Ved god gjødsling i ett eller flere år kan en altså opparbeide et større eller mindre forråd av nyttbar næring i form av gjødselrester, absorberte næringsstoffer og avlingsrester m.m. Jorda blir i bedre hevd.

Omvendt kan en ta bort mer næring enn en tilfører. Når dette drives så vidt at avlingene blir mindre, kaller vi dette rovdrift. Jorda kommer i dårligere hevd. Strengt tatt er enhver driftsmåte rovdrift hvis den fører til at jorda mister mer næring i avlingene, ved utvasking og på annen måte enn den får tilført ved

gjødsling og på annet vis. Men det er i visse tilfelle forsvarlig økonomisk drift å tære på jordas forråd av visse stoffer, og om slike bruksmåter er det ikke rimelig å bruke den odiøse betegnelse rovdrift. Det er t.eks. intet å innvende mot at en målbevisst søker å nyttiggjøre en del av den svære nitrogenmengde i god myrjord. Heller ikke kan det være noe galt i å dra nytte av et stort forråd av tilgjengelig fosfor som er opparbeidet ved tidligere overskottsgjødsling. Å fortsette med full erstatningsgjødsling eller med overskottsgjødsling til slik jord vil jo være å vedlikeholde eller øke en død kapital, som iallfall ikke kan ha noen betydning ut over å tjene som reserve med særlig tanke på ekstraordinære forhold. I mange tilfelle blir det sikkert tatt fra jorda større kaliummengder enn det blir tilført, men heller ikke dette behøver alltid være noen feil. Det blir altså noe av en vurderingssak hva en skal kalle rovdrift.

Med dette er vi kommet inn på spørsmålet om <u>næringsstoffbalansen</u> i jorda, et forhold som ble tillagt stor vekt i eldre tid. De såkalte statiske beregninger gikk ut på å vise hvor mye næringsstoffer det ble ført til jorda i gjødsel, og hvor mye som ble tatt bort med avling. Et slikt regnskap viser bare en del av stoffhusholdningen i jorda. Så viktige faktorer som tilføring på annen måte (t.eks. N-binding ved belgvekster m.m.), bortføring på annet vis (særlig ved utvasking), tilgjengelig forråd i jorda og absorpsjonsmåten holdes utenfor. Derfor kan forholdet mellom tilføring av næring i gjødsla og bortføring i avling ikke alene vise hva som er hensiktsmessig gjødsling.

På den annen side er naturligvis balansen mellom tilføring i gjødsel og bortføring i avling et forhold som fortjener oppmerksomhet, særlig med tanke på lengre tidsrom. Som et eksempel på tilføring i gjødsel og bortføring i avling av N, P og K gjengis en oversikt for et forsøk med 8-årig omløp på Askov i Danmark. De 8 år omfattet ett år med brakk, ett med förbeter, fire med korn og to år eng. Jorda er lettere leirjord. Hel husdyrgjødselmengde utgjorde 1100 kg urinfattig fast gjødsel og 400 kg land i middel pr. dekar og år. Handelsgjødsel med like mye N, P og K kalles hel gjødselmengde.

Askov, Danmark. Bortført og tilført N, P og K, kg i middel pr. dekar og år.

	Husdyrgjødsel:			Handelsgjødsel:	
	½	1	1½	½	1
N i avling	7,0	8,7	9,9	8,2	11,0
" " gjødsel	3,9	7,8	11,7	3,9	7,8
N-balanse (+ el. -)	- 3,1	- 0,9	+ 1,8	- 4,3	- 3,2
P i avling	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8
" " gjødsel	0,9	1,8	2,8	0,9	1,8
P-balanse (+ el. -)	- 0,5	+ 0,1	+ 0,9	- 0,6	0
K i avling	7,8	10,9	13,0	8,2	12,2
" " gjødsel	3,7	7,3	11,0	3,7	7,3
K-balanse (+ el. -)	- 4,1	- 3,6	- 2,0	- 4,5	- 4,9

Særlig for nitrogen, men også for kalium viser ikke en slik oversikt den virkelige stoffbalanse i jorda. Nitrogenbindingen ved belgplanter, ved frittlevende nitrogensamlende mikroorganismer og tilføringen med nedbøren er ikke kommet med i regnestykket, og heller ikke utvaskingen av nitrogen og kalium. En må også regne med at en del av nitrogenet i dyregjødsla er tapt som ammoniakk uten å være kommet i jorda. Alt i alt kan en kanskje gå ut fra at balansen for nitrogen er gunstigere og for kalium litt ugunstigere enn tallene viser.

Likevel viser tallene enkelte ting som det er grunn til å merke seg. For det første ser en at merbortføringen er størst ved svak gjødsling og avtar med stigende gjødselmengder. Ved de sterkeste gjødslinger blir det i stedet overskottstilføring. For det annet viser tallene at det er forholdsvis lett å oppnå likevekt mellom tilføring og bortføring eller til og med positiv balanse for fosfor, mens det skal mye til for kalium. Ved svakere eller middels gjødsling stammer en betydelig del av verdistoffene i avlinga fra jorda eller lufta.

Likeså gjengis balansen for de samme næringsstoffer fra 4 langvarige forsøksfelter ved Norges Landbrukshøgskole (Uhlen: Noen langvarige gjødslingsforsøk på Østlandet. Forskn. fors. i landbr. 1956, 33 - 79). Jorda var ei middels moldholdig, sandholdig leirjord. Forsøksperioden omfatter to 6-årige omløpsperioder, der vekstene i omløpet var: poteter, vårkveite, tre år eng og havre. Den tilførte husdyrgjødselmengde har svart til ett tonn urinfattig gjødsel pr. dekar og år (6 tonn gitt til potetene). Handelsgjødselmengde 1 svarer til 16 kg kalksalpeter, 16 kg superfosfat

(7,9 % P) og 10 kg kaliumgjødsel (33 % K) pr. dekar og år, mens handelsgjødselmengde 1½ og 2 er henholdsvis 50 og 100 % større.

Fra første omløpsperiode har det kjemiske analyseprogram for avlingene vært noe ufullstendig. For noen vekster eller vektdeler er derfor brukt erfaringstall eller analysetall fra samme forsøksledd andre år. I disse forsøk er N-innholdet i kløverfraksjonen i høyet ikke tatt med i tallet for bortført N i avling, i det en har gått ut fra at kløveren i liten monn har tatt sitt nitrogen fra jord og gjødsel. (N-mengden i kløver kom opp i knapt én kg pr. dekar og år for de ugjødslede ledd, mens mengden avtok med økt salpetertilførsel.)

Ås. Bortført og tilført N, P og K, kg i middel pr. dekar og år for 4 felter.

			Handelsgjødsel (i tillegg til husdyrgjødsel)		
	Uten gjødsel	6 tonn husdyrgj. pr. omløp (6 år)	Mengde 1	Mengde 1½	Mengde 2
N i avling	5,9	6,9	7,9	8,3	8,8
" " gjødsel	0	4,0	6,5	7,7	9,0
N-balanse (+ el. -)	- 5,9	- 2,9	- 1,4	- 0,6	+ 0,2
P i avling	1,09	1,25	1,39	1,45	1,48
" " gjødsel	0	1,16	2,42	3,05	3,68
P-balanse (+ el. -)	- 1,09	- 0,09	+ 1,03	+ 1,60	+ 2,20
K i avling	5,1	7,5	8,9	10,6	10,8
" " gjødsel	0	5,3	8,6	10,3	11,9
K - balanse (+ el. -)	- 5,1	- 2,2	- 0,3	- 0,3	+ 1,1

Også disse forsøk viser mindre økning i avlingene for P enn for N og K, både relativt og totalt, og at det med de gjødselmengder som er brukt, har vært lettest å nå positiv balanse for P.

Naturligvis er det ikke bare balansen for N, P og K som kan få betydning. Det kan også tæres så mye på forrådet av visse andre stoffer at kulturvekstene blir utsatt for annen næringsstoffmangel.

God gjødsling eetter jorda i bedre hevd (og næringstilstand). Derved blir den i stand til å gi større avlinger uten eller med svakere gjødsling. Slutter en å gjødsle jord i god hevd, kan en i en kortere eller lengre årrekke tære på det næringsforråd som er opparbeidet. Avlingene holdes til en viss grad oppe ved ettervirkning av tidligere gjødsling. Men forrådet minker gradvis, jorda blir i dårligere hevd og næringstilstand, avlingene går ned. Ved fortsatt utpining kan en også tære på jordas naturlige næringsforråd. Foruten knapphet på forskjellige næringsstoffer