

61-  
J.B.4. Finslidvatn

INSTITUTT FOR JORDKULTUR

Planteernæring og gjødsling

Del I

av

Gotfred Uhlen og Ragnar Bærug

**Ikke til hjemlån**

ISBN 82-557-0195-8  
Landbruksbokhandelen  
Ås-NLH 1984



INSTITUTT FOR JORDKULTUR

Planteernæring og gjødsling

Del I

av

Gotfred Uhlen og Ragnar Bærug

ISBN 82-557-0195-8  
Landbruksbokhandelen  
Ås-NLH 1984

## Forord

Denne reviderte utgave av forelesninger i Planteernæring og gjødsling Del I, bygger i opplegget på den tidligere utgave av A. Sorteberg 1965 som igjen var en revidert utgave av M. Ødelien. Forelesninger i gjødsellære del I av 1954. Vi har imidlertid funnet det nødvendig å foreta store forandringer i stoffvalg, og de fleste kapitler utenom historikk er helt omskrevet. Et avsnitt om magnesium og svovel er foreløpig beholdt, uten forandringer, fra Sorteberg.

På grunn av tidsnød og vanskeligheter med tekstbehandlingen gis dette ut som en foreløpig utgave for JK-kursene i 1984.

R. Bærug

G. Uhlen

## INNHOOLD

I	Historikk	1
	Søken etter plantenes prinsipp	2
	Landbrukets utvikling	7
II	Plantenes næringsstoffer	11
	Makronæringsstoffer og mikronæringsstoffer	12
III	Plantenes næringsopptak fra jord	16
	Transportmekanismer i jord	16
	Massestrømning	16
	Diffusjon	17
	Rotinfiltrering	18
	Kontaktopptak	20
	Regneeksempel	22
	Noen virkninger av plantenes næringsopptak	25
	Synergisme og antaonisme	27
	Fysiologisk sure eller alkaliske gjødselslag	30
IV	Opptak gjennom plantenes overjordiske deler	31
V	Næringsbehov og gjødselbehov	34
	Innhold i forskjellige vekster	38
VI	Avlinga som funksjon av vekstfaktorene	40
VII	De enkelte næringsstoffer i plantene og næringsstoffhusholdningen i jorda	47
VIII	Nitrogen	48
	I planter	48
	Nitrat i planter	51
	Nitrogen i jord	52
	Global N-balanse	53
	Biologisk N-fiksering	55
	Nitrogenhusholdningen i jorda	57
	Nitrogen i nedbør og tørravsetning	60
	Frigjøring og immobilisering i jord	61
	Uorganisk fiksering av ammonium	68
	Gassformige tap av N	68
	Tap av N ved utvasking	73
	Nitrogenregnskap	82
IX	Fosfor	86
	I planter	86
	Fosfor i jord	88
	Faktorer av betydning for tilgjengelighet av P	96
	Virkning av P-gjødsling på pH	99
	Utvasking og bortvasking av fosfor	99
	Fosforbalansen	103
X	Kalium	106
	I planter	106
	Kalium i jord	108
	K-fraksjoner	109



	Kaliumfiksering	111
	Kaliumreserver i jorda	113
	Jord som buffersystem for kalium	114
	Kalium i jordvæsken	116
	Tap av kalium i avrenningsundersøkelser	121
	Kaliumbalansen	124
		128
XI	✓ Kalsium og kalk	128
	Ca i planter	130
	Kalsium i jord og kalktilstand	131
	Jordreaksjon og kalktilstand	133
	Forsuringsprosesser	134
	Kalking	138
	Tap av kalsium fra jord	141
	Ca-balansen	144
	Surjordskomplekset	146
	Overkalkingsskader	
		149
XII	Behov for andre stoffer enn N,P og K	149
	✓ Magnesium	153
	Svovel	
		156
XII	Mikronæringsstoffer	156
	Egenskaper, funksjoner og mengder i planter	157
	Mengder og binding i jorda	159
	De enkelte mikronæringsstoffene	159
	Bor	162
	Kopper	166
	Mangan	170
	Molybden	173
	Sink	174
	Jern	176
	Klor (kobolt og jod)	
		177
XIV	Jordas produktivitet og moldinnhold	177
	Forholdene i dyrket jord	177
	Definisjoner	178
	Vurdering av jordarealets produktivitet	180
	Humusinnhold	
	Virkning av driftsform og gjødsling på moldinnhold	181

plantenes næring, og dessuten nitrogen som Liebig mente at plantene fikk fra lufta som ammoniakk i regnvannet. I følge Liebig tok plantene opp nitrogenet som ammoniakk, ikke som nitrat, og gjødsling med nitrogen skulle være unødvendig. Liebig fikk gjennomslag for sine ideer, takket være stor agitatorisk dyktighet og evne til å legge frem sine ideer. Mye av hans lære skriver seg likevel fra hans forgjengere. En annen tysker, Carl Sprengel, hevdet i 1831 at en rekke mineralstoffer var nødvendige for plantene. Han var også tidlig ute med forsøk på å skille mellom livsviktige og ikke livsviktige mineralstoffer i plantene, og i motsetning til Liebig, var Sprengel klar over nitrats betydning. Ved forsøk fant han varierende virkning av gjødsling fra sted til sted, og han var også inne på at et enkelt stoff kunne være avgjørende for avlingen. Dette siste svarer til det som Liebig senere uttrykte i sin minimumslov. Selv om Liebig og andre på mange måter satte tingene på plass, ble en ikke helt ferdig med å studere plantenes prinsipp, eller ernæring. Det hevdet seg røster også mot Liebig. Blant disse nevnes franskmannen Boussingault 1802-1887. Han utførte forsøk, og kom til at belgvekstene måtte ha en annen N-kilde enn andre planter. Først på slutten av 1800-tallet ble den symbiotiske N-fikseringen hos belgplantene klarlagt. Omtrent på samme tid greidde en å isolere nitrifikasjonsbakteriene slik at det kunne slås fast at den viktige nitrifikasjonen var en mikrobiologisk prosess. Med Liebig kom kjemien inn som den absolutt viktigste grunn-



vitenskap for gjødsellæren. Fortsatt er kjemien avgjørende for å forstå prosessene i jorda, men også mikrobiologi og plantefysiologi har vært nødvendige grunnpillarer for utvikling av kunnskaper om plantenes ernæring. Videre kan det sies at de store framskritt når det gjelder viten er kommet som en følge av eksperimenter, enten disse har foregått på laboratorier eller ute i naturen. Så lenge en nøydde seg med å filosofere over livets hemmeligheter, var det vanskelig å komme frem til sannhets erkjennelse.

#### Landbrukets utvikling.

En ting er hva forskerne og filosofene har lansert om plantenes ernæring opp igjennom tidene, en helt annen ting er hvordan menneskene har innrettet seg i det praktiske liv. Selv med noe kjennskap til årsaksforholdet, var menneskenes muligheter til å forbedre plantenes næringsforsyning svært begrenset helt opp til vårt århundrede. Hovedformålet tidligere med å dyrke jorda hos oss, og vel også i Nordeuropa forøvrig, var å avle korn til mat. Engbruk og fordyrking på innmark kom først etter midten av forrige århundrede hos oss. En hadde likevel husdyr, men foret til disse ble i stor grad skaffet fra utmark, og fra halm og hjelpefor. Husdyra hadde stor betydning for å skaffe gjødsel. Såvel i middelaldren som opp mot vår egen tid var landbruket preget av mangel på planteernæring. Det primitive bråtebruk, (svi-jordbruk, svedjebruk) var tidligere mye brukt i de nordiske land. Ved å svi av skog og kratt fikk en gjødslet jorda med

aske. Samtidig fikk en økt omsetning av det organiske materialet og en viss nitrogeneffekt. Brakking var et annet middel til å spare noe på næringstoffene og til å gi noe økt frigjøring av nitrogenreservene. Brakkarealene ble brukt til beite i stedet, slik at små mengder gjødsel ble tilført også fra beitedyra. Frostatingsloven bestemte at en fjerdedel av åkerarealet på leilendingsbruk skulle ligge brakk, og satte også nedre grense for husdyrhold i forhold til åker. Gulatingsloven hadde ikke noe slikt påbud, og grunnen er sikkert at den gjaldt for distrikter med stort husdyrhold i forhold til åkerarealet. Vanskeligst var det kanskje i flatbygdene på Østlandet. Det nevnes at jorda etter 3-4 års korndyrking måtte hvile kanskje i mange år, og at det på Østlandet kunne gå mer enn 10 år hver gang jorda fikk husdyrgjødsel. Dersom en var tvunget til å dyrke korn etter korn i lang tid uten gjødsel kunne jorda bli så utarmet at avlingene ikke ble større enn utsædsmengden. Helt ned til 3 fold måtte en likevel avfinne seg med når ikke andre muligheter fantes. Ennå i dag finnes rester av de gamle havreskiftene med utarmet jord. På et slikt skifte i Eidsberg i Østfold, siltig lettleire, viste en jordprøve tatt i 1960 en basemetningsgrad på 15%.

I store deler av Europa var det i middelalderen vanlig at en tredjedel, treskiftebruk, eller til å med halvparten av åkerarealet måtte ligge til brakk. Dersom jorda fikk vokse til med gras, som ble beitet, ble den uten tvil i bedre hevd



for noen år. Dette er grunnlaget for uttrykket "Enga er åkerens mor".

Innføringen av et virkelig vekselbruk, vekstskifte regnes til de store landevinninger i det europeiske jordbruket fra ca 1800 og utover. I det ofte refererte Nordfolkløpet, med radvekst-korn-kløvereng-hvete, var selvsagt N-fikseringen hos kløver svært viktig, men denne driftsformen ga samtidig bedre ugrasbekjempelse og mer husdyrgjødsel. Hos oss fikk slike driftsformer liten utbredelse, selv om kløver var kjent. Likevel ble det her i landet store forandringer i jordbruket fra midten av forrige århundre. Husdyrproduksjonen økte, og innmarka ble brukt også til fórdyrking. Innføring av billig korn gjorde at det ikke lenger var nødvendig å satse så ensidig på korndyrking. Det ble også satset på opplæring og opplysning. Sett på bakgrunn av den avgjørende betydning husdyrgjødsel hadde for planteproduksjonen, er det nærmest overraskende at gjødselstellet var så dårlig. Stort sett ble husdyrgjødsel liggende utenfor fjøset, og mye av de verdifulle næringsstoffene rant vekk. Foregangsmennene gikk nå inn for det de kalte "gjødselformering,"d.v.s.blande gjødsel med torv eller jord m.m. Gjødselkjellere var ikke vanlig den gang, og det var nok lenge en viss skepsis til slike løsninger. Det hang igjen, og henger fortsatt igjen, visse oppfatninger om at gjødsel er noe som må gjære, omsettes for å tjene som plantenæring.

Stoffet til dette kapitlet om historikk er vesentlig hentet

fra M.Ødelien: Gløtt av litteraturen om planteernæring og gjødsling fram til ca 1840, Institutt for jordkultur serie B 4/1979. For de seinere tidsepoker vises ellers til P.Borgedal: Norges landbruk i nyere tid. Bd. 1 Planteproduksjonen, Oslo 1966.



## II PLANTENES NÆRINGSSTOFFER.

Med plantenes næringsstoffer mener vi de grunnstoffer som er livsnødvendige for plantenes vekst og utvikling, også kalt essensielle næringsstoffer. Tidligere, ihvertfall fram til begynnelsen av dette århundre, var det vanlig lære at 10 grunnstoffer var nødvendig for plantene, nemlig karbon, (C), oksygen, (O), hydrogen, (H), nitrogen, (N), fosfor, (P), svovel, (S), kalium, (K), kalsium, (Ca), magnesium, (Mg), og jern, (Fe). Siden er 6 andre blitt inkludert. Disse er bor, (B), mangan, (Mn), kopper, (Cu), sink, (Zn), molybden, (Mo), og klor, (Cl) Flere stoffer har under visse forhold hatt gunstig virkning på plantevekst. Blant disse nevnes ofte natrium, (Na), silisium, (Si), og kobolt, (Co). Det er neppe full enighet om hvilke stoffer som skal betegnes som nødvendige. Følgende kriterier er gitt av Arnon og Stout (Pl. Physiol. 14.1939):

1. Mangel på vedkommende stoff gjør det umulig for planten å fullføre den vegetative eller generative livssyklus.
2. Mangelen kan bare rettes opp ved å tilføre det bestemte grunnstoff, m.a.o. er spesifikk.
3. Vedkommende stoff tar direkte del i plantenes ernæring, d.v.s. inngår som byggelement, eller har katalytiske eller andre oppgaver.

Det forhold at enkelte stoffer eller forbindelsen motvirker uheldige forhold i jorda, eller i plantene og dermed gir økt

vekst, kvalifiserer ikke til "essensialitet" etter disse punktene.

### Makronæringsstoffer og mikronæringsstoffer

Av praktiske grunner skiller en mellom makronæringsstoffer = stoffer som plantene trenger i noe større mengder, og mikronæringsstoffer som behøves bare i små mengder. De siste kalles også sporstoffer, sporelementer eller mikroelementer. De siste betegnelsene er ikke presise, da de bare hentyder til at stoffene forekommer i små mengder. Dersom en mener stoffer som er nødvendige i små mengder, bør en bruke betegnelsen mikronæringsstoff. For det siste stoffet som ble funnet livsviktig, nemlig Cl, er ellers forholdet at det forekommer i plantene i større mengder enn flere av makronæringsstoffene. Det er likevel blitt henført til mikronæringsstoffene fordi en har funnet at det er livsnødvendig bare i svært små mengder. I en del botanisk litteratur blir Fe i blant tatt med blant makronæringsstoffene. Fe ble tidlig oppdaget som nødvendig for plantene og hører med blant de 10 opprinnelige næringsstoffer. De seks nye som er kommet til er alle mikronæringsstoffer. Dersom en vil inkludere også Na og Si som essensielle, må disse komme i gruppen makronæringsstoffer.

Skillet mellom makro- og mikronæringsstoffer går ellers ikke direkte på deres funksjoner i plantene, men et slikt skille innebærer likevel praktiske fordeler. Noen stoffer, også

nødvendige stoffer, har interesse fordi de kan være giftige for plantene i større, eller også svært små mengder. Eksempler er aluminium, (Al), nikkel, (Ni), selen, (Se), Kadmium, (Cd), fluor, (F) med flere. Det kan videre være av interesse å merke seg at noen stoffer er nødvendige i dyreriket, f.eks. krom, (Cr), selen, (Se), jod, (J), kobolt (Co), men neppe for plantene, mens f.eks. bor på den annen side er livsnødvendig i planteriket men ikke for dyr. Vanadium (Va) er nå regnet som essensielt næringsstoff for noen mikroorganismer. Det er ikke gitt at vi har den fulle oversikt over hvilke stoffer som er livsnødvendige. Når det har tatt så lang tid før de fleste mikronæringsstoffer ble oppdaget, er det særlig fordi behovet ble dekket ufrivillig og ukontrollert i forsøkene, ved forurensning i vannet, i kjemikalier eller fra forsøksutstyr forøvrig. Det dreier seg i blant om så små mengder at de brukte analysemetoder ikke har vært fine nok for påvisning og bestemmelse.

I tabellen er de aksepterte plantenæringsstoffer listet opp. Samtidig er antydnet i hvilken form plantene tar stoffene opp gjennom røttene, og størrelsesorden av innholdet i plantenes tørrstoff:

Gruppe	Grunnstoff	Opptas fortrinnsvis som	Innhold i planter
	C	CO <sub>2</sub> og H <sub>2</sub> O	
	H	H <sub>2</sub> O	
<b>Makro-</b>			
nærings- stoffer	N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ,	Prosent
	P	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , (HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,)	Del av prosent
	K	K <sup>+</sup>	Prosent
	Ca	Ca <sup>++</sup>	Del av prosent til Prosent
	Mg	Mg <sup>++</sup>	Del av prosent
	S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Del av prosent
	Fe	Fe <sup>+++</sup> , Fe <sup>++</sup>	ppm til del av prosent
<b>Mikro-</b>			
nærings- stoffer	Cu	Cu <sup>++</sup>	ppm
	Mn	Mn <sup>++</sup>	ppm til del av prosent
	Zn	Zn <sup>++</sup>	ppm
	B	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ppm
	Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HMoO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	ppm eller del av ppm
	Cl	Cl <sup>-</sup>	Del av prosent til prosent

Det prosentiske innhold kan selvsagt variere sterkt, avhengig av vekst, plantedel og tilgangen fra jorda. Når det gjelder opptaksform er ikke listen fullstendig. En antar at f.eks. nitrogen kan tas opp også som enkle organiske forbindelser (aminosyrer og amider) og urea. NH<sub>3</sub>-molekyler skal kunne tas inn av røtter og blad. Belgvekstene nytter, indirekte, N fra lufta. Også fosfor i enkle organiske forbindelser skal kunne tas opp. Mikronæringsstoffer som Cu og



Fe danner oppløselige kjelater som tas opp dersom kompleksene ikke blir for store. En regner med at slike kjelater spiller en avgjørende rolle for opptak av jern i planten. Toverdige kationer kan tenkes opptatt som  $M^{++}$  og  $M OH^+$ , der M står for metallkation. Dissosieringen er pH-avhengig. Når bor særlig tas opp som borsyre er det p.g.a. at denne er lite dissociert ved pH-verdier under 9. Tilsvarende vil molybden særlig forekomme som  $MoO_4$  når pH blir 5 og høyere.

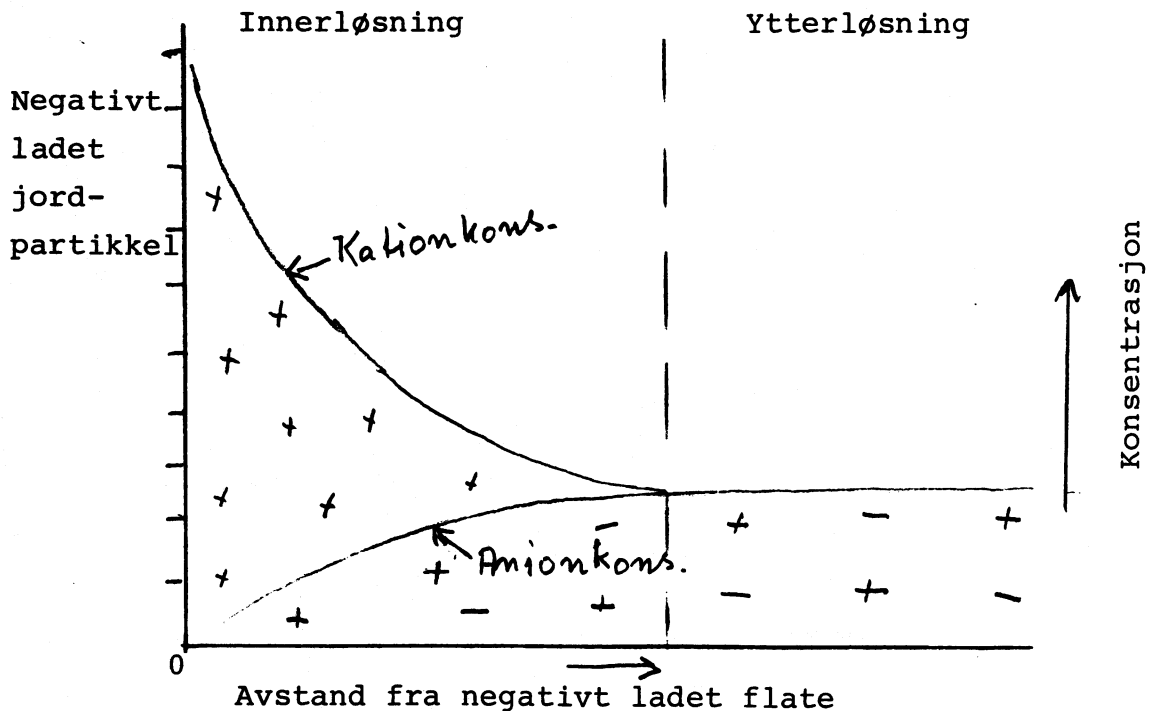
betyr den oppadgående vanntransport lite, og det er rotutviklingen nedover som er mest avgjørende for hvor tørkesterk en jord er.

En kan også snakke om en rotinfiltrering i mikroskala, f.eks. ved utvikling av rothår og eventuelt sopprot, (mykorrhizza). I følge beregninger (Russel 1973) vil, i fravær av transpirasjon (massestrømming), fosforinnholdet bli påvirket bare i 1 mm avstand fra røttene i løpet av 10 dager. Dette på grunn av den langsomme diffusjon av P. For K vil tilsvarende den nærmeste cm bli påvirket. Ved normal rothårsutvikling vil mulighetene for at diffusjonen kan skaffe tilveie fosfor øke til det mangedobbelte. Rothårenes funksjon i næringsopptak har vært diskutert, med flere resultater viser at rothårene må spille en rolle i opptak av fosfor fra jord. (Itoh & Barber. Pl. and Soil 1983).

Mykorrhizza består i at det på røttene kan finnes samlinger av sopphyfer. Disse kan være utenpå (ektomykorrhizza) eller de kan vokse inn i plantene (endomykorrhizza). Mykorrhizza er tillagt betydning for opptak av næringsstoffer, f.eks. hos skogstrær. En har vært opptatt av om en slik symbiose (soppen får organisk næring fra plantene) kan bety noe for næringsopptak hos planter med svakt utviklede røtter. I første rekke er det opptak av fosfor hos planter som løk, purre m.fl. som har vært i søkelyset. I følge Tinker. (Trans. 12 Int. Cong. Soil Sci 1982) er det sannsynligvis ikke mye en kan gjøre for å øke effekten av mykorrhizza, under praktiske forhold.

#### 4. Kontaktopptak

Spørsmålet om planterøttene tar opp næringstoffer bare fra væskefasen i jorda, eller om det kan skje også ved direkte kontakt mellom jordpartikler og rotoverflate har vært gjenstand for langvarig diskusjon. Teorien om et kontaktopptak har vært satt fram for opptak av kationer, idet en har tatt utgangspunkt i at både jordpartikler og rotoverflaten har et overskudd av negative ladninger og derfor er omgitt av en sverm av kationer. Dette er utvilsomt riktig for jordpartiklenes vedkommende.



Når en nærmer seg den negativt ladde overflate øker mengden av kationer i innerløsningen, mens anioner blir støtt bort fra slike flater. Overskuddet av kationer over anioner i innerløsningen = mengden av ombyttbare kationer, holdes tilbake av elektrostatiske krefter. Utenfor dette virkningsfel-

tet, vil mengden av kationer og anioner i jordløsningen være lik. Etterhvert som stoffene fjernes ved planteopptak, vil også de ombyttbare ioner diffundere ut i ytterløsningen. I tillegg til dette har tilhengere av kontaktopptak hevdet at røttene kan skaffe seg kationer direkte fra innerløsningen i bytte for  $H^+$  som skilles ut fra røttene. En regner likevel nå med at omfanget av slikt kontaktombytte ikke kan bli særlig stort. For det første er den samlede overflate av jordkolloidene langt større enn den samlede overflate av røttene med rothår. I løpet av en sesong kan f.eks. en kaliumkrevende vekst ta opp en mengde K som i størrelsesorden nærmer seg den totale mengde av ombyttbart K i matjordlaget. Røttene kan bare greie å komme i kontakt med en mindre del av dette, og diffusjon av K ut i jordvæska er derfor nødvendig. Videre er det ikke sikkert at plantene har noe stort overskudd av  $H^+$  til utskillelse. Dersom det alt vesentlige av nitrogenet tas opp som nitrat, er det tvertimot ofte slik at plantene trenger å ta opp mere anioner ( $NO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , m.m.) enn kationer, noe de kan gjøre ved å skille ut tilsvarende mengder anioner, da som  $HCO_3^-$  (Mer om dette seinere).

Det knytter seg videre adskillig usikkerhet til betydningen av røttenes såkalte kationombytningskapasitet for det egentlige næringsopptaket. Dette siste er ikke bare en passiv prosess, men influert av prosesser i den levende plante.

Når det gjelder "tilbringertjenesten" for næringsstoffer til planterøttene synes det som om massestrømning og diffusjon



er viktigst. For næringsstoffer som er fullstendig oppløst, som nitrat, sulfat, klorid og for stoffer med stor konsentrasjon i jordvæska i forhold til behovet som Ca, Mg, kan massestrømning gi tilstrekkelige mengder, mens diffusjonsmekanismer er påkrevd for K, og ofte for N. For fosfor må en kanskje i tillegg til diffusjon også inkludere biologiske effekter. Forholdene i rotsonen, rhizosfæren, er kompliserte. Innholdet av levende organismer er stort, og planterøttene skiller ut store mengder av organiske stoffer som brytes ned. (Rovira. Adv. Agron. 1969). Dette påvirker løseligheten av fosfor og andre stoffer. Det er angitt at så mye som 5-10 % av plantenes totale C fra fotosyntesen lekker ut igjen gjennom røttene. I tillegg kommer CO<sub>2</sub>-tap ved ånding..

Endelig skal nevnes at konsentrasjonen av oppløste stoffer i jordvæska varierer innen korte avstander. I nærheten av korn av fosfatgjødsel vil planterøttene finne høyere konsentrasjon også av oppløst fosfat, enn i jorda forøvrig.

#### Regneeksempel

Plantenes forsyningssituasjon når det gjelder plantenæringsstoffer fra jorda har vært gjenstand for mange slags undersøkelser, diffusjonsmålinger, rotstudier etc.

Ut fra plantenes vannforbruk ved transpirasjon, beregnet i kg vann pr kg produsert tørrstoff, og opptatt mengde av næringsstoffer i en viss avling, kan en regne ut hvilken konsentrasjon jordvannet i middel må ha om næringsstoffene i

sin helhet skal kunne skaffes tilveie ved massestrømming. Slike enkle beregninger demonstrerer særlig den store forskjell det er mellom næringsstoffene i denne sammenheng.

I et avrenningsforsøk på Ås har en målt og analysert sigevann fra matjordlaget 0-25cm. I årene 1972 og 1973 var det nedbøroverskudd i mai, eller først i juni, slik at en fikk avrenning fra jord relativt kort tid etter gjødsling, og før vesentlig opptak i plantene. Avrenningen var 20-30 mm, samtidig som denne jorda inneholdt 60-80mm såkalt nyttbart vann i sjiktet 0 til 25 cm. Dette sigevannet kan sies å representere det vannet som plantene har brukt i første del av veksttida. En planteavling på 1000 kg tørrstoff vil bruke minst et par hundre mm vann i veksttida. I eksemplet nedenfor har en likevel tatt utgangspunkt i stoffmengden i 100 mm sigevann pr dekar og sammenlignet dette med opptatt i avlingen: Hos de fleste vekster foregår det meste av stoffopptaket tidlig i vekstperioden (f eks korn, gras) mens vannforbruket må foregå over en lengre periode.

Innhold i kg/dekar i avling og i 100 mm grøftevann fra matjordlaget. Moldholdig sandholdig leire. As. Middels gjødsling (10 kg N/dekar + P og K)

	N	P	K	S	Cl	Ca	Mg	Na
I avlingene: kg/dekar:								
350 kg korn og 350 kg halm	7,3	1,2	7,4	0,8	3,0	1,4	0,7	0,1
2300 kg potet og 200 kg ristørrstoff	9,9	1,5	19,8	1,3	2,0	3,5	1,3	0,2
750 kg høy 1.slått (20-25% kløver)	12,3	2,3	22,9	1,3	8,8	4,1	1,1	0,6
<u>I 100 mm grøftevann i mai-juni: kg/dekar</u>								
Kornparseller 1972,1973:	4,7	0,003	1,2	1,1	5,1	9,0	1,2	0,9
Potetparseller 1972,1973:	8,6	0,003	1,8	2,2	1,5*	12,6	1,8	1,8

\* Klorfri K-gjødsel er brukt til potet.

Som en ser, kan en dele tabellen i to. Stoffene på høyre side vil under disse forhold kunne være skaffet tilveie i tilstrekkelig store mengder til røttene bare ved en antatt massestrømning p.g.a. transpirasjonen, mens det blir noe for lite N og klart underskudd på K og P. Forbruket av K er ca 10 ganger større, og P-opptaket flere hundre ganger større enn de mengder som finnes i 100 mm jordekstrakt. Dette demonstrerer at for P og K behøves andre mekanismer i til-

legg til massestrømning. Barber (Soil Sci, 1968) fant at K-transporten til røttene foregikk for 87-97% vedkommende ved hjelp av diffusjon, massestrømning sto for 2-9% og rotinfiltreringen for bare 2-4%. Dette varierer også mye med jordart. I sandjord med liten ombyttingskapasitet vil en noe større del av det kalium som tilføres med gjødsel være i væskefasen. Ved sterk gjødsling med nitrat, eller etter nitrifikasjon av amonium, vil innholdet av  $\text{NO}_3^-$  i væskefasen bortimot holde tritt med opptaket når transpirasjonen er høy. Dessuten vil  $\text{NO}_3^-$ , som nevnt, diffundere raskt inn mot røttene om plantene er i stand til å ta unna. Når en likevel kan finne at radgjødsling/dypgjødsling er fordelaktig også for N, henger dette særlig sammen med uttørkningseffekter i de øvre jordlag.

Av tallene foran ser vi, videre, at det særlig for Ca, men også for Mg, Na, Cl og  $\text{SO}_4\text{-S}$  sannsynligvis må ha foregått en diffusjon i motsatt retning, bort fra rotoverflaten, i dette tilfelle.

#### Noen virkninger av plantenes stoffopptak.

Plantene har evne til å vokse og å utvikle seg normalt ved nokså varierende tilgang på de enkelte stoffer. En sier at de har en viss grad av selektiv absorpsjonsevne. Dette kan skyldes manglende evne til å ta opp enkelte stoffer. F.eks. er det vanskelig å øke innholdet av Ca og Mg i plantene særlig mye, selv om de utsettes for svært store konsentrasjoner i jordløsningen rundt røttene. På den annen side



synes ikke plantene å ha evne til helt å stenge ute stoffer som er i oppløst form. Det prosentiske innhold av de forskjellige stoffer i plantene, både nødvendige og ikke nødvendige, kan variere en god del uten at plantene utsettes for vekstforstyrrelser. I en og samme jordløsning vil desuten forskjellige planteslag ta opp noe ulike mengder av de enkelte stoffer, og de vil ende opp med et prosentisk innhold som, tross variasjonene, er nokså typiske for vedkommende art. Denne tilpasningsevnen gjelder selvsagt bare til en viss grad. Blir det for lite av et stoff, vil plantene få mangelsykdom og nedsatt vekst. Blir tilgangen for stor, kan en få giftvirkninger. Avgjørende for slike forstyrrelser i livsfunksjonene, er imidlertid ikke bare den absolutte konsentrasjon av stoffene i voksemediet, men også i noen grad mengdeforhold mellom ulike stoffer.

I sterkt sur jord vil skadevirkningen av en bestemt konsentrasjon av hydrogenioner (pH) og oppløst aluminium, mangan m fl være avhengig av konsentrasjonen av oppløst kalsium, magnesium m fl. Dersom Ca konsentrasjonen er høy, kan plantene lettere tåle høy konsentrasjon av H<sup>+</sup> og f eks Al-ioner. I det hele synes relativ høy Ca-konsentrasjon næringsløsningen å være gunstig. Ca skal virke på biologiske membraner, og dermed på stofftransport inn og ut av cellene. Dette er kjent som Viets effekt (Viet, Plant Physiol. 1944). Ved tilførsel av Ca har en fått økt nettoopptak av f eks K og fosfat, ved at tapet av slike stoffer fra de levende celler er redusert. I følge Mengel (1968 s. 116) er det imi-

dlertid bare ved ekstrem Ca-mangel kan regne med slik effekt av Ca-tilførsel.

Synergisme og antagonisme.

Dersom god tilgang på ett eller flere stoffer letter opptaket og utnyttelsen av andre næringsstoffer i plantene, kaller vi det synergisme. Antagonisme er når tilgang og funksjoner av et stoff hemmes ved stor tilgang av andre stoffer. Vi bruker disse betegnelsene først og fremst for det som foregår ved næringsopptak i plantene, dvs om fysiologiske interferensevirkninger, men vi skal være klar over at slike virkninger også kan ha jordbunnskjemiske årsaker. Kalking medfører ofte økt frigjøring av fosfor og nitrogen i jorda, og dermed økt opptak av disse, men fører på den annen side til redusert tilgang, i kjemisk forstand, av en rekke mikronæringsstoffer.

Et typisk eksempel på synergisme har en i opptak av nitrat og K. Dette er to stoffer som tas opp aktivt og i store mengder, nitrat som anion og kalium som kation, og det skal særlig være ved transport inne i plantene at  $K^+$  og  $NO_3^-$  påvirker hverandre.

En forutsetning for at opptaket av  $K^+$  og  $NO_3^-$  økes samtidig er at tilgangen fra jorda strekker til. Ved kaliummangel kan det prosentiske innhold av K avta med stigende nitratgjødsling, dersom produsert plantemasse øker.

Når det gjelder antagonisme er forholdet mellom kalium og magnesium mest kjent. Stor tilgang og opptak av K-ioner,

hemmer opptaket av Mg. Dette er ikke minst kjent ved overdosering med K-gjødsel til frukttrær. Derimot ser det ikke ut til at K-opptaket hemmes noe særlig ved stor tilførsel av Mg. Mg stiller med andre ord ikke likt i konkurranse med K m.fl. når det gjelder opptak og transport i plantene. Et noe tilsvarende antagonistisk forhold har en mellom K og Ca og i svakere grad mellom Ca og Mg. Det samme kan gjelde for metalliske mikronæringsstoffer og tungmetaller. Årsakene kan være kompliserte, og er ofte ikke helt klarlagte.

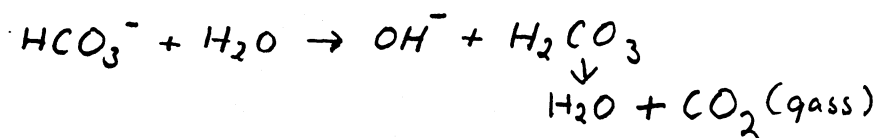
Rent generelt vil det ofte være slik at ioner med samme slags elektriske ladning, pluss eller minus, i en viss grad konkurrerer om opptak (f eks  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  og fosfat.)

Kationene konkurrerer tilsvarende innbyrdes, og det har også vært lansert teorier om at summen av kationer opptatt i en og samme planteart skulle være tilnærmet konstant. Dette holder ikke stikk. I hvertfall ser det ut til at K-opptaket ved rikelig tilgang, kan økes langt mer enn det f eks Mg, Ca og Na reduseres.

Kation-anionforholdet ved opptak er selvsagt bestemt av at det må være likevekt mellom positive og negative ladninger både utenfor planterøttene og inne i plantene. (elektronøytralitetsprinsippet). Plantene kan likevel ta opp mere av kationer enn anioner, mot å skille ut en ekvivalent mengde kationer til mediet, og tilsvarende ved overskuddsopptak av anioner skille ut anioner.

Ved overskuddsopptak av kationer over anioner skiller plantene ut  $\text{H}^+$ . Dette gir pH senkning utenfor røttene, gjerne

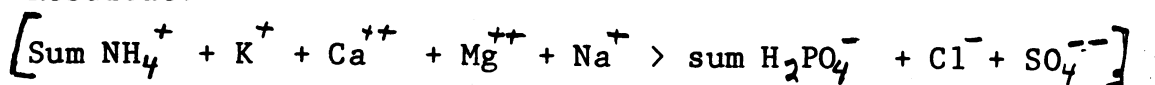
benevnt som fysiologisk surhet. Ved overskudd av opptatt anion kan plantene skille ut bikarbonat,  $\text{HCO}_3^-$ . Dette fører til fysiologisk alkalisk effekt i det vi har:



Forholdet mellom opptak av kationer og anioner, og dermed effekten av opptak på pH i voksemediet, avhenger først og fremst av i hvilken form nitrogen tas opp, enten som ammonium eller nitrat. Videre betyr planteslaget en del, tofrøbladede har gjerne et større opptak av kationer som Ca, Mg enn enfrøbladede.

Alternativ I. Nitrogenet tas opp som  $\text{NH}_4^+$

Resultat:



$\text{H}^+$  produsert fra organiske syrer i plantene skilles ut i mengder ekvivalent til  $\text{NH}_4^+$ -opptak eller mindre (for grasarter).

Plantene tar også opp noen andre kationer og anioner, men mengdemessig sett betyr disse mindre.

Alternativ II. Nitrogenet tas opp som  $\text{NO}_3^-$

Resultat:



For enkelte tofrøbladede kan summene i siste tilfelle bli tilnærmet like store, mens det særlig for enfrøbladede vil bli et overskudd av anioner i næringsopptaket dersom alt N



tas opp som nitrat. Nitratet reduseres i plantene ved oppbygging i protein. For hvert  $\text{NO}_3^-$  som reduseres via ammoniakk produseres en  $\text{OH}^-$  gruppe. I plantene kan disse nøytraliseres av organiske syrer, eller skilles ut som  $\text{HCO}_3^-$ .

Alternativ III. Nitrogen tas opp både som  $\text{NO}_3^-$  og som  $\text{NH}_4^+$ . Ved 50% av hver vil nok resultatet bli overskudd av kationer i forhold til anioner. En kan gjerne si det slik at ammoniumernæring av plantene virker til en sterkere fysiologisk surhet enn den fysiologisk alkaliske effekt av nitraternæring. Dette er kanskje en viktig årsak til at plantene som oftest gjør det bedre med nitraternæring.

Under vanlige gode omsetningsforhold i jorda, høvelig pH m.m. vil tilført ammonium omsettes raskt til nitrat. Plantene blir derfor henvist til å ta opp det alt vesentlige av nitrogenet som nitrat. Selve næringsopptaket, særlig hos korn og grasarter burde derfor virke positivt på reaksjonsforholdene i rotsonen. Andre forhold, som produksjon av  $\text{CO}_2$  ved ånding, og kanskje utskillelse av organiske syrer, kan også ha betydning. Den samlede effekt av plantevekst på jordreaksjon og kalktilstand er det derfor vanskelig å forutsi.

#### Fysiologiske sure eller alkaliske gjødselslag.

Som nevnt vil et gjødselsalt der anionkomponenten tas opp raskere, og i større omfang, enn kationkomponenten virke fysiologisk alkalisk. Kalksalpeter,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  er det beste

eksempel på dette. Magnesiumnitrat og natriumnitrat vil virke på samme måte, mens virkningen av kaliumnitrat blir mindre, eller uteblir. Som eks. på fysiologiske sure gjødselslag nevnes ofte ammoniumsalter. I tillegg til at ammonium tas opp raskt, vil i midlertid ammoniumsalt også virke kraftig forsurende ved at ammonium omdannes til nitrat i jorda. Denne forsurende effekt er i alle tilfelle langt større enn den egentlige fysiologiske sure effekt. Kaliumsalter kan, i likhet med ammoniumsalter, virke noe fysiologisk surt. Imidlertid tas her også de aktuelle anionkomponenter,  $\text{Cl}^-$  eller  $\text{SO}_4^{--}$ , også nokså lett opp. Dette gjelder ikke minst klorid. En skulle vente at kaliumsulfat skulle virke noe mer fysiologisk surt enn kaliumklorid. Virkningen er i alle tilfelle små, og i langvarige forsøk er det ikke funnet noen stor effekt av kaliumgjødselslagene på jordas pH. Det samme synes og være tilfelle for superfosfat, og høyst sannsynlig også for PK-gjødselslagene.

Reaksjonsforholdene i voksemediet virker på den annen side inn på opptaket. Ved lav pH, mye  $\text{H}^+$ , tas generelt anioner noe lettere opp enn kationer, mens kationer tas lettere opp ved høyere pH. (se seinere eksempel på opptak av  $\text{NO}_3^-$  og  $\text{NH}_4^+$  ved forskjellig pH.) Dette kan sies å være et uttrykk for antagonisme mellom ioner med samme slags ladning. Mye  $\text{H}^+$  i voksemedia hemmer opptaket av andre kationer og/eller vanskeliggjør utskillelse av  $\text{H}^+$  fra røttene i bytte med kationer som  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , m.fl.

#### IV OPPTAK GJENNOM PLANTENES OVERJORDISKE DELER.

Plantene kan ta opp næringsstoffer også gjennom andre organer enn røttene. Sprøyting med jernsulfat i løsning på bladverket ble omtalt så tidlig som i midten av forrige århundre. I naturen er slikt opptak vel kjent hos sjøplanter, der hele planten kan stå i ernæringens tjeneste. Mekanismen ved opptak gjennom blad har, så langt den er klarlagt, mye til felles med opptak gjennom røttene. Bladene er imidlertid utstyrt med en overflatehinne, kutikula, og ofte med voksbelegg. Dette motvirker transport av vann og gasser, utenom spalteåpningene i bladene. Likevel synes det som om oppløste stoffer også kan passere overflatehinner, og ikke bare gjennom spalteåpninger. Høy luftfuktighet skal gjøre overflatehinna lettere gjennomtregelig. (Wittwer m fl i Fertilizer Technology and Usage 1963).

Når en unntar urea, som tas lett opp i molekylær form, tas stoffene opp i ioneform, også gjennom bladverket. Det er funnet at kationer tas lettest opp fra løsninger med noe høy pH, mens noe surere løsning skal være gunstigst for opptak av anioner som f eks fosfat ved sprøyting.

Sprøyting på bladverket, også kalt bladgjødsling, har mest for seg når det gjelder å rette opp akutte mangler, og da i første rekke på ett eller flere mikronæringsstoffer, og f. eks magnesium. Tilførsel av litt ekstra nitrogen ved

sprøyting med urealøsning er aktuelt såvel i kornåker som til frukttre m fl. Sprøyting med urea kan kombineres med visse andre sprøytinger mot ugras, sopp og insektsangrep.

## V NÆRINGSBEHOV OG GJØDSELBEHOV.

Plantenes næringsbehov er det interne behov hos plantene for å gi en avling av en viss størrelse. Uttrykket kan også brukes kvalitativt i det plantene må inneholde en viss mengde av næringsstoffene for å fungere normalt, selv om mangelen ikke alltid gir seg drastiske utslag i avlingsmengde. I tillegg ønsker vi et innhold av stoffer og stoffkomponenter som gjør plantene best mulig tjenlige til for og mat.

Vekstenes gjødselbehov er det som må tilføres av de forskjellige stoffer for å oppnå den ønskede avling og avlingsskvalitet.

Liebig lanserte i forrige århundre erstatningsprinsippet, som gikk ut på at det måtte tilføres like mye til jorda som det plantene førte bort. Dette prinsippet er imidlertid ikke brukbart for bestemmelse av gjødselbehovet. Jorda er ikke bare lagerplass for plantenæring, og oppholds- og arbeidssted for planter, men i høy grad også næringsstoffkilde for plantene. Vi behøver ikke å tilføre alt det plantene trenger. Tross dette, er det sammenheng slik at stort næringsbehov, f.eks. ved store avlinger, medfører økt behov for gjødsling. Gjødselbehov i forhold til næringsbehov varierer ellers både med jordbunnsforhold, klima og planteslag. Belgvekstene er i en særstilling ved den symbiotiske N-binding, og hos slike vekster er det selvsagt stor forskjell mellom næringsbehov og gjødselbehov for nitrogen.

Plantene har ulik evne til å skaffe seg plantenæringen fra jorda og til å utnytte tilførte næringsstoffer. Dette kan forklares ved:

1. Rotsystemet er kraftigere eller svakere utviklet hos forskjellige planteslag, og det kan tenkes at planterøttene også er mer eller mindre aktive til å ta opp næringsstoffene.
2. Plantenæringen kan tas opp gjennom kortere eller lengre tid. Dersom næringsopptaket skal foregå innen et kort tidsrom, i første del av vekstperioden, vil utnyttelsen av jordas ressurser bli mindre, og tilførselen i gjødsel må under ellers like forhold være rikeligere.

En regner med at havre tar opp næringsstoffene over litt lengre tid, og har kanskje også kraftigere rotsystem enn bygg. Bygget er mer kravfullt. På grunn av stivere strå, kan imidlertid havren i dag gjødsles minst like sterkt som bygg. Ved grasdyrking får en god utnyttelse av næringsstoffene både vår og høst, og tapene ved utvasking blir små. Poteter og særlig rotvekster har stort næringsbehov, men også lang veksttid.

Etter Stanford (FAO Soils Bull. 37 1978) er gjødselbehovet,  $N_f$  (Nutrient -fertilizer):

$$N_f = \frac{N_c \div (N_a + N_m)}{E_f}$$

$N_c$  = næringsbehov,  $N_a$  = tilgjengelig næring i jord og  $N_m$  =

næring frigjort i vekstperioden f eks mineralisert N.  $E_f$  = utnyttelsesgrad, som nok kan være forskjellig for  $N_c$ ,  $N_a$  og  $N_m$ .

Utnyttelsesgraden er mindre enn 1, ofte f. eks ca 0,5. Resten,  $N_f \times (1 \div E_f)$  representerer tap til omgivelsene, eller varig fastlegging i jorda. Noe av resten kan være tilgjengelig og gi ettervirkning. En må derfor skille mellom  $E_f$  for gjødslingsåret og  $E_f$  på lang sikt.

Det prosentiske innhold av de forskjellige næringsstoffer i vekstene varierer mye, med utviklingstrinn, vekstvilkår, og gjødsling. En skal være klar over at tallene ikke uten videre kan tas som mål på næringsbehovet. Innholdet kan være mindre enn optimalt, mangelsituasjon, og det kan være større ved at forholdene kan ligge til rette for et luksusopptak. (Særlig av K) Når vi sammenligner innhold av næringsstoffer, som N og K, i avlingene i våre dager med tilsvarende tall for noen tiår tilbake, finner vi ofte en tydelig økning. Dette kan være uttrykk for rikeligere tilgang. Ved planteforedling lages dessuten stadig mer kravfulle sorter. Ved grasdyrking virker det sterkt inn at høstetidspunktet er forandret i retning av tidligere høsting. Som alt nevnt er det synergisme mellom N og K, og det ser ut til at særlig K-innholdet er blitt langt større i gras- og halmavlinger ved den sterke N-gjødsling som praktiseres i dag. Fosforinnholdet synes på de fleste jordarter og være relativt mindre påvirket av gjødsling og fosfortilstand, ihvertfall

etter at et visst nivå er nådd i tilgang på dette stoffet.

Stor avling av organer som korn, knoller og røtter kan resultere i lavt innhold av N(protein) og mineralstoffer i disse. Dette forklares gjerne som uttynningsseffekt. Næringsstoffene tatt opp gjennom røttene må først finnes i de vegetative deler, og ved overgang til lagringsorgan kan de bli mer eller mindre tynnet ut med stivelse og andre karbohydrater, som i stor utstrekning produseres seinere. Ved en effektiv kjernedannelse i korn, vil det samtidig bli svært lite innhold av N og P tilbake i halmen, mens K ikke overføres i tilsvarende grad.

I tabellen er gjengitt kjemiske analyseresultater innhold for noen flere vekster dyrket på samme forsøksfelt på Ås. Materialet er begrenset til en lokalitet, men omfatter nokså mange stoffer.



### Innhold i forskjellige vekster fra ett forsøkssted (NLH)

	Prosent i tørrstoff							
	N	P	K	S	Cl	Na	Ca	Mg
Korn (havre, bygg)	1,75	0,29	0,40	0,15	0,13	0,02	0,08	0,12
Halm "	0,47	0,05	1,81	0,09	0,77	0,06	0,35	0,09
Gras 1. høst	1,57	0,21	2,50	0,15	1,34	0,03	0,36	0,12
(tim)2. høst	2,20	0,24	2,32	0,19	0,97	0,05	0,59	0,21
Kløver	2,50	0,25	2,11	0,14	0,56	0,08	1,39	0,36
Potetknoller	1,54	0,17	2,27	0,11	0,22	0,02	0,05	0,10
Forraps 1. høst	3,66	0,32	3,96	0,53	1,44	0,12	1,59	0,39
2. høst	3,57	0,44	4,16	0,68	1,39	0,11	1,57	0,44
Formargkål	1,25	0,29	3,01	0,49	0,95	0,13	0,97	0,21

Korn og halm er fra 2 år med havre og 2 år med bygg. Gras (og kløver) er høstet på silostadiet. Timotei med litt eng-svingel. Tallene er middel for 4 år av gras, 3 år av potet, 2 år av formargkål, mens forraps bare har vært dyrket ett år. Alle vekster er gjødslet normalt med kunstgjødsel.

a. Storparten av N og P i kornplanter er overført til kjer-

neavlingen, mens K, Ca, Na og Cl blir igjen i halmen. Mg og S er mer likt fordelt på korn og halm.

b. Kløver har et langt større innhold av Ca og Mg enn grasarter. Potetknoller er fattige på mineralstoffer, unntatt K.

c. De korsblomstrede forvekster utmerker seg særlig ved et stort innhold av svovel. På grunn av tidlig høsting og liten avling er innholdet av de fleste stoffer i foråps i dette forsøket sannsynligvis noe høyere enn vanlig.

d. Innhold av Na er svært lite i alle vekster.

Tabellen viser at de forskjellige vekster tar opp stoffene i ulikt innbyrdes mengdeforhold, selv når de vokser på samme sted og med tilnærmet lik gjødsling.

Det er også artspesifikke forskjeller innen kornartene og innen grasartene. K-innholdet i havrehalm ligger gjerne en halv prosent høyere enn for bygghalm (1,5-2% av tørrstoffet i havrehalm mot 1-1,5% i bygghalm). Etter modning kan imidlertid kalium vaskes ut av halmen, før skurtresking. Tap av blad kan ha betydning. I forsøk er funnet at det totale innhold av f eks K i kornplantene ved skyting er langt større enn innholdet i korn + halm ved tresking. I norske forsøk har hundegras hatt større innhold av K enn timotei, mens engsvingel synes å ha større innhold av Ca og Mg.

## VI AVLINGA SOM FUNKSJON AV VEKSTFAKTORENE

Økt næringstilgang innen visse grenser virker til kraftigere vekst og større avling, noe som selvsagt er hensikten med å forbedre næringsforsyningen. På samme måte er det med andre vekstfaktorer, som vann, varme, lys m fl.

Den første som forsøkte å gi et generelt uttrykk for hvordan avlingsstørrelsen bestemmes av vekstfaktorene var Justus von Liebig. Han gjorde det ved sin minimumslov som sier at "det næringsstoff som er tilstede i minimum i forhold til behovet, bestemmer hvor stor avlinga blir." Liebig talte om minimumsfaktoren i entall - altså en enkelt faktor som satte grensen for hvor store avlinga kunne bli. Konsekvensen måtte være at en bare kunne oppnå større avling ved å stille denne faktoren gunstigere. Dette er fremstilt ved den kjente tønna med vann og staver av ulik høyde, der den korteste avgjør vannmengden i tønna. Ved å forbedre minimumsfaktoren vil avlingene etter dette øke proporsjonalt inntil en ny faktor begrenser utbyttet. Det skal være tvil om Liebig egentlig har ment det så bokstavelig.

Selv om minimumsloven må sies å være en noe forenklet framstilling av virkeligheten, har den hatt stor pedagogisk og praktisk betydning. Selv om forskjellige vekstfaktorer kan virke på samme tid, også når en er mer i minimum enn de øvrige, er utsagn som f eks "det nytter ikke å gjødsle dersom plantene ikke får vann, eller f eks ikke får oksygen til røttene, nokså nær sannheten. For mange næringsstoffer kan

derimot overgangen mellom mangel og ikke mangel bli nokså gradvis. Fosfor er et godt eksempel på det siste.

Blant mange forsøk på å finne uttrykk for vekstfaktorenes virkning på avling er Mitcherlich's lover særlig kjent. Mitscherlich gikk 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 avlingene høyere opp ved å endre de ytre vekstvilkår, men bare gjennom endring av plantenes indre egenskaper ved foredlingsarbeid. Er derimot en eller flere vekstfaktorer ikke tilstede i optimum, må avlingen bli mindre. Stilles denne eller disse faktorer gunstigere, øker avlingen. På grunnlag av forsøk mente Mitscherlich at han 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 økning av en vekstfaktor, er proporsjonal med differansen mellom maksimalavlinga og avlinga før 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 teoretisk 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 fosfor en annen, og for kalium en tredje. Alle verdier skulle være konstante - uten variasjon etter planteart, jord, meteorologiske forhold osv. Med dette kommer Mitscherlich til følgende generelle matematiske uttrykk for en enkelt vekstfaktors virkning på avlinga:

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

$\Delta y$  er meravling for en uendelig liten økning  $\Delta x$  av en vekstfaktor,  $A$  = maksimalavling,  $y$  = avling før forandringen av  $x$  og  $c$  = virkningsfaktoren for vedkommende vekstfaktor.

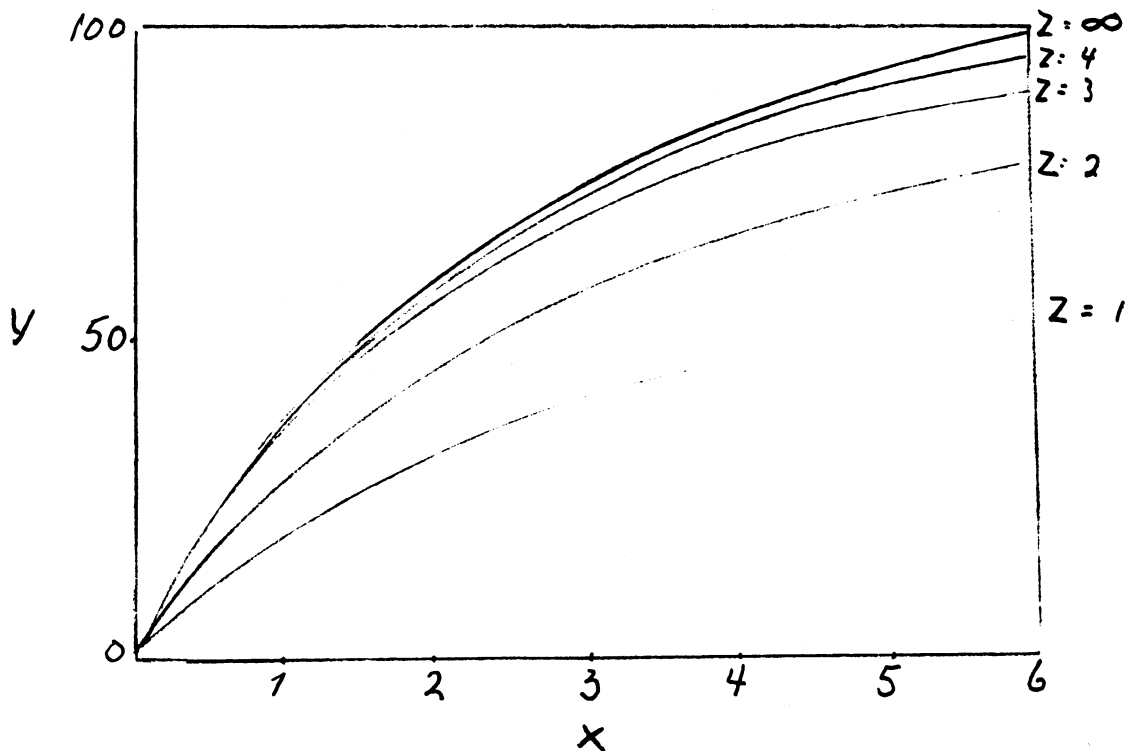
Av det matematiske uttrykk ovenfor vil en se at avlingsøkningen for økning av vekstfaktoren  $x$  er proporsjonal med differansen  $A - y$ , som stadig må minske etter som tilførselen av vekstfaktoren øker. Avlingsøkningen for stigende mengder av vekstfaktoren  $x$  må altså avta pr enhet av vekstfaktoren, dvs avlingskurven blir krum (konveks). Proporsjonaliteten mellom differansen  $A - y$  og meravling kan fremstilles enkelt ved å sette den "mengde" av en vekstfaktor som gir avling  $1/2 A$ , 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  $A/2$  altså =50, får vi:

Næringsenhet	$A-y$	Meravling	Totalavling
1ste .....	$100 - 0 = 100$	50	50
2den .....	$100 - 50 = 50$	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 forenklete framstilling kommer en aldri opp til 100.

En slik sammenheng som denne ligningen gir, demonstrerer det som ofte blir kalt loven om det avtakende utbytte, egentlig utbytteøkning, ved økende doser av et næringsstoff eller andre vekstfaktorer. Trekker en inn flere faktorer kan samspillet mellom disse fremstilles som i figuren nedenfor.  $x$  og  $z$  kan være tilførsel av to forskjellige næringsstoffer og  $y$  = merutbytte for disse. Utgangspunktet er her det samme som i eksemplet foran, i det avlinga ved enheten 1  $z$  settes til 50% av det maksimalt oppnåelige utnytte av denne vekstfaktor.



Samspillet kommer her til uttrykk ved at når tilgangen på  $z$  forbedres, vil også det absolutte utbytte av å forbedre  $x$  økes. Som vi skal se på mange eksempler seinere, er det ikke alltid en får et slikt positivt samspill mellom innsatsfaktorene. Som en hovedregel kan en likevel si at en får mer igjen for innsatsen av en faktor når de øvrige forhold er optimale, så lenge en ikke stanger mot et produksjonstak bestemt av ikke påvirkbare faktorer. Stråstivhet hos kornplanter, må kunne sies å representere en slik begrensning, selv om det her skjer stadige forbedringer. I den ytterste konsekvens kan  $\text{CO}_2$ -innholdet i lufta og solenergien sies å være slike begrensninger, men mer vanlig er det nok at mengden av tilgjengelig vann setter grense.

Mitscherlich's utsagn representerer et fremskritt i forhold til minimumsloven, men kan likevel ikke oppfattes som uttrykk for en naturlov. Blant annet holder ikke tesen om virkningsfaktorens konstans stikk. Avlingskurver har vist seg å kunne ha andre former enn det som denne ligningen tillater. Ved overdreven innsats av en faktor kan en få avlingsnedgang. Et tillegg til Mitscherlich ligning som tillater en nedstigende gren er også lansert, for å gi en mer fullstendig og riktigere avlingskurve. Det er heller ikke tvil om at den oppstigende gren kan ha andre former. Rett linje, altså full proporsjonalitet mellom  $x$  og  $y$  kan eksistere for aktuelle deler av avlingskurven. Av og til får en også sigmoide avlingskurver, dvs. større meravling pr enhet for noe større næringsmengder enn for mindre. Dette kan tolkes slik at massetilveksten blir noe mindre samtidig som økningen i prosentisk innhold av vedkommende stoff i plantene blir noe større pr dose ved sterk mangel enn ved mindre sterk mangel. I felt under mer naturlige forhold er det likevel noe mer sjelden en får med en slik nedre del av avlingskurven. Jorda forsyner plantene med noe næring, slik at vi ikke starter fra et nullpunkt.

Sammenhengen mellom innsats og avlingsmengde og meravling kan selvsagt framstilles ved en rekke andre formler, hyperbelfunksjon, annengradsfunksjon m fl. I motsetning til tidligere, betyr ikke ekstra regnearbeid noen særlig



begrensning i våre dager. En kan velge den funksjonen som gir den best mulige overensstemmelse og forklaring av det forsøksmaterialet en har. Mulige funksjoner og modeller som en kommer fram til, og som en vil tillegge betydning, bør imidlertid testes mot et nytt og uavhengig tallmateriale.

## VII. DE ENKELTE NÆRINGSSTOFFER I PLANTER, OG NÆRINGSSTOFFHUSHOLDNINGEN I JORDA.

Jorda er for det første leverandør for større eller mindre mengder av plantenæringsstoffer. På få unntak nær er den også nødvendig mellomledd når vi vil gripe inn i plantenes næringsforsyning ved gjødsling. Vi kan ikke gi næringen direkte til kulturvekster på samme måte som til husdyra. I veksthus går det likevel an å drive økonomisk plantedyrking i næringsoppløsninger, uten egentlig jord. Men som regel må vi tilføre mineralstoffer og nitrogen via jord. Her kan stoffene får 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 vann og på annet vis m.m.

Hovedkomponentene i plantene, de fotosyntetiske, er dannet fra  $\text{CO}_2$  tatt fra luft, og vann tatt opp igjennom røttene. Det er mulig at plantene kan ta opp noen enkle organiske karbonforbindelser fra jord og f.eks. også  $\text{HCO}_3^-$ , og på det annen side litt  $\text{H}_2\text{O}$  i dampform fra luft. Ved fotolyse i plantene reduseres  $\text{H}_2\text{O}$  til H som via NADPH overføres til en rekke forbindelser, mens  $\text{O}_2$  skilles ut ved fotolysen. Fra  $\text{CO}_2$  skaffes såvel karbon som oksygen til karbohydrater.

## VIII NITROGEN.

### I planter.

Nitrogen er en vesentlig bestandel av planteprotein og utgjør hele 16% av dette. Prosent protein er lik N-innholdet x 6,25. N inngår også i nukleinsyrer, klorofyll m.m., og er med i praktisk talt alle prosesser i plantene som bestandel av alle enzymer og coenzymer.

Som nevnt tas nitrogen opp både som nitrat og som ammoniumioner. Også ammoniakk,  $\text{NH}_3$ , skal kunne tas opp, særlig ved høy pH (Mengel 1968).  $\text{NO}_3^-$  synes likevel å være hovedkilden for plantenes opptak i kulturjord fordi  $\text{NH}_4^+$  i slik jord omsettes meget raskt til  $\text{NO}_3^-$ , slik at tilgangen på  $\text{NH}_4^+$  blir begrenset.

Det ser også ut til at  $\text{NO}_3^-$  tas opp langt raskere og mer aktivt enn  $\text{NH}_4^+$ . I følge Mengel (1968) er det et åpent spørsmål om opptaket av  $\text{NH}_4^+$  er aktivt eller bare passivt. Det er funnet at  $\text{NO}_3^-$  opptaket er mer temperaturavhengig enn  $\text{NH}_4^+$  opptaket.

De forskjellige vekster har noe ulik evne, eller preferanser, når det gjelder opptak av  $\text{NH}_4^+$  eller  $\text{NO}_3^-$ , og næringsløsningens sammensetning forøvrig spiller også inn. Ammonium nyttes således bedre ved høyere pH i næringssubstratet enn ved lav, og i sur væske er bl.a. nærvær av Ca-ioner av betydning for effektiviteten. Den mest alminnelige oppfatning synes å være at for de fleste

kulturvekster er nitrat en bedre nitrogenkilde enn ammonium for direkte opptak.

En undersøkelse av Michal, Schumacher og Marschner (Z.Pfl. ernähr. Dung. Bk 110. 1965) i vannkulturforsøk med forbete som en antatt nitratelskende vekst, bygg som en antatt noenlunde nøytral vekst og poteter som en antatt ammoniumelskende vekst, viste denne fordeling av nitrogen opptatt som nitrat og ammonium (tallene i prosent):

N-kilde	forbete		poteter uten setteknoll		poteter med setteknoll		bygg	
pH	4,6	6,8	4,0	6,8	4,0	6,8	4,0	6,8
15*NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	26	39	Beska-	39	38	50	38	51
15 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	74	61	diget	61	62	50	62	49

\* Forsøket er utført med isotopmerket nitrogen (<sup>15</sup>N), og en unngikk at NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ble nitrifisert i løpet av forsøksperioden på ca 10 dager.

En har her kunnet regne seg til formen på det opptatte nitrogen ved i ett ledd å "merke" nitrat-N og i det annet ammonium-N der nitrogen ble tilført som ammoniumnitrat. Forsøket viser at ikke bare betes, men også poteter og bygg har foretrukket nitratformen ved lav pH og betes og poteter uten setteknoll også ved den høyere pH. For poteter med setteknoll og bygg har opptaket av nitrogen da vært like stort for de to former. Den ulike fordelingen mellom de to nitrogenformer ved høyeste pH for poteter uten og med set-

teknoll, mener forfatterne kan indikere at nitrat er en relativt bedre nitrogenkilde enn ammonium når karbonforsyningen av en eller annen grunn blir hemmet.

En viktig årsak til forskjellig effekt av  $\text{NH}_4^+$  og  $\text{NO}_3^-$  på vekst og produsert plantemasse er, som nevnt, at  $\text{NH}_4^+$ -opptak fører til økt surhet i rotsonen, mens  $\text{NO}_3^-$  kan ha den motsatte effekt. Det er sannsynlig at dette også virker til pH-avhengigheten i opptaket, som demonstrert i vannkulturforsøket. Ammonium-N synes dessuten å kunne ha direkte skadevirkning for plantevekst, noe som en antar henger sammen med dannelselse av  $\text{NH}_3$  som er giftig selv i små konsentrasjoner. Mekanismen er ellers ikke klarlagt, bortsett fra at  $\text{NH}_3$ -molekylet lett passerer membraner.

I plantene må  $\text{NO}_3^-$  reduseres for å gå inn i oppbyggingen av aminosyrer og protein. Nitratreduksjonen foregår enzymatisk i to trinn, til  $\text{NO}_2^-$  i cytoplasma, og  $\text{NO}_2^-$  til  $\text{NH}_3$  i kloroplast.  $\text{NO}_3^-$ -reduksjonen er påvirket av bl.a. lysforhold, men skal kunne foregå ikke bare i blad, men også i røttene, i hvertfall hos noen planteslag. Opptak og reduksjon av  $\text{NO}_3^-$  fører til produksjon av  $\text{OH}^-$ , noe som plantene kompenserer ved dannelselse av organisk syre. I følge Ben Zioni-Lips modell (Lips 1971) vil syreresten (malate) transporteres tilbake til røttene der  $\text{HCO}_3^-$  skilles ut i bytte med  $\text{NO}_3^-$ .  $\text{K}^+$  tjener som følgeion og resirkuleres, og har derved en synergisk virkning på opptak og transport av  $\text{NO}_3^-$  i plantene.

Siden  $\text{NO}_3^-$  i alle tilfelle må reduseres via  $\text{NH}_3$  for å inngå i planteprotein m.m., kunne en kanskje anta at  $\text{NH}_4^+$  var en mer ideell N-kilde enn  $\text{NO}_3^-$ . Opptatt  $\text{NH}_4^+$  blir omsatt videre i røttene, noe som også krever energi. Ved  $\text{NH}_4^-$ -ernæring synes det å gå noe utover mengden av tilgjengelig eller løselige karbohydrater i røttene. (se eksemplet med poteter uten setteknoll). I flg. Reisenauer (Nitrogen in the Environment Vol. 2 1978) kan dette resultere i svakere rotvekst, ved ammonium-ernæring.

#### Nitrat i planter.

Særlig ved stor tilgang, slik at nitratreduksjonen ikke holder tritt med opptaket, kan det bli nitratoverskudd i plantene. Dette forekommer særlig a) ved dårlige lysforhold og redusert fotosyntese i forhold til opptak. b) Ved mangel på andre stoffer i plantene kan en få nitratopphoping ikke bare på grunn av manglende likevekt mellom fotosyntese og N-opptak. F.eks. er molybden en nødvendig bestanddel av det nitratreduserende enzym, og ved mangel på Mo hindres reduksjonen. Av samme grunn greier plantene ved Mo-mangel seg noe bedre om de får  $\text{NH}_4^+$  i stedet for  $\text{NO}_3^-$ . Mangel på svovel, mangan, jern, kalium m.fl. kan også resultere i nitratopphoping. Forøvrig varierer nitratinnholdet svært mye med planteslag og plantedel. Spinat, salat, rødbeter er eksempler på planter med høyt innhold. Nitritt ( $\text{NO}_2^-$ ) kan også finnes i plantene, selv om det er giftig, selv i små konsen-

trasjoner.

Plantene kan ta opp visse enkle organiske N-forbindelser som aminosyrer og amider, dersom slike skulle finnes i voksemediet. Nobelprisvinner i kjemi, A.I. Virtanen, kjent også for AIV-væske, fant at plantene kunne ta opp bl.a. asparagin og glutaminsyrer. Rødkløver vokste til og med adskillig bedre med asparaginsyre enn med  $\text{KNO}_3$  i karforsøk, som vist nedenfor:

	Tørrstoffavling	Opptatt N
	g/kar	mg/kar
Kaliumnitrat.....	2,329	50,6
Asparaginsyre.....	4,428	90,9
Asparagin.....	2,108	43,8

Også erter greide seg bra med asparaginsyre, mens bygg og hvete ikke kunne nyttiggjøre seg en slik N-kilde i Virtanens forsøk. Disse forsøkene var utført i sterilt medium. Under naturlige forhold vil slike lett tilgjengelige organiske forbindelser raskt nedbrytes av mikrofloraen i rotsonen. Virtanens utgangspunkt var ellers at han hadde funnet at asparaginsyre var N-kilde ved den symbiotiske N-fiksering hos belgvekster. Resultatet ovenfor kan kanskje antyde at rødkløver får en kvalitativt bedre N-kilde ved denne symbiosen enn ved nitratgjødsling.

#### Nitrogen i jord.

Mengden av bundet nitrogen (= N i organiske forbindelser,

ammonium, nitrat, oksyder m.m.) i jordsmonn, vann og luft utgjør bare 1% av mengden av fritt N, som N<sub>2</sub>, i atmosfæren. Beregninger går ut på at det totalt i den faste jordskorpa, litosfæren, likevel skal være en N-mengde som igjen er ca 5 ganger større enn N-mengden i atmosfæren. (Delwiche 1970) For plantenes N-fiksering og den globale N-omsetningen er det bundet - N som har betydning. Atmosfærens frie N har interesse som en ressurs for fremstilling av N i kunstgjødsel, og fordi det foregår en N-fiksering d.v.s. overgang fra fritt til bundet N ved hjelp av N-samlende organismer, frittlevende så vel som de som lever i symbiose med enkelte planteslag. Over hvert dekar jordoverflate er det hele 7800 tonn N som N<sub>2</sub>, mens totalinnholdet i ploglaget på et dekar ofte er av størrelsesorden 5-600 kg N i organisk stoff, eller 0,2-0,3 % av tørrvekt i mineraljord.

I myrjord er N-innholdet fra 1-3% av tørrvekt. For en hvit-mosemyr, med volumvekt bare en tiendedel av mineraljord, blir ikke N-resurssene i ploglaget større enn for en vanlig mineraljord, mens f.eks. en halv meter tykt lag av god grasmyr-torv nok kan inneholde flere tonn nitrogen pr dekar.

#### Global N-balanse.

I tabellen er gjengitt noen tall for bundet N produsert på jordkloden årlig. Som en skjønner knytter det seg adskillig usikkerhet til slike tall, kanskje særlig til omfanget av biologisk N-fiksering. I enda større grad gjelder dette



overgang fra bundet til fritt N, ved denitrifikasjon. Siden denitrifikasjon ikke antas å holde tritt med tilførselene, vil mengdene av bundet N på jordkloden gradvis øke.

Global N-balanse i biosfæren

Tilførsel av bundet N i mill.tonn årlig:

Kilde:	Delwiche 1970	N.A.S. 1) 1978
Industrielt fremstilt		
Kunstgjødsel	40	49
Andre		21
Forbrenningsprosesser	20	21
+ vedbrenning		10-200!
Atmosfærisk utladning	7,5	30
Biologisk fiksering:		
Leguminoser	14	35
Frittlev. m.m. Land	30	105
"           Hav	10	20-120
Total	120	300-600

N i kunstgjødsel utgjorde i 1981: 63 mill.tonn.

Chatt (1976 angir total biologisk N-fiksering til 172 mill.tonn (land+hav)). Bortførsel-dvs. denitrifikasjon er i følge Delwiche vel 80 mill.tonn N årlig, derav 43 på landområdene og 40 i havet. Andre kilder opererer med 2 til 4 ganger større tallverdier.

1) Nat.acad.sci.: An enviromental assesment Wash.DC, USA 1978.

### Biologisk N-fiksering

En skiller gjerne mellom symbiotisk nitrogenfiksering og binding av N ved frittlevende organismer. Av de første er symbiosen mellom Rhizobiumbakteriene og planter av belgvekstfamilien den viktigste. Disse bakteriene lever i knoller inne i røttene. Noen frittlevende N-fikserende bakterier (Azotobakter og Beijerinckia) er i stand til å leve på røttene av plantene, og å bruke karbohydrater skilt ut fra plantene. Også ved en slik "symbiose" kan disse binde store mengder N. Tropiske grasarter, sukkerrør m.fl. er særlig aktuelle i denne sammenheng. Noen blågrønne alger kan også nyttiggjøre seg luftens frie N direkte. Også disse kan leve sammen med andre planter. I rismarkene kan den blågrønne alge Anabena leve på en vannbregne, Azolla. I dette Azolla-Anabena-systemet skal det kunne bindes forholdsvis store N-mengder som risplantene kan dra nytte av.

Nitrogenfiksering er funnet hos en rekke bakterier, fotosyntetiserende bakterier og også hos sopparter (Mengel 1968). I Sovjetunionen ble lansert smitting av såfrø med Azotobakter, nærmest i stedet for N-gjødsling. En fant i forsøk visse positive effekter, men likevel liten forbedring i N-forsyningen, og metoden er visstnok forlatt. Smitting med Rhizobium kan ha effekt, dersom vedkommende belgvekst ikke er dyrket tidligere på arealet. Binding og utnyttelse av luftens nitrogen krever mye energi. Ved symbiotisk N-binding skaffes denne i form av fotosyntetiske produkter

fra vertsplanten, mens frittlevende organismer eventuelt må skaffe seg energi ved nedbrytning av organisk stoff i jord. Under aerobe forhold, som er nødvendig for Azotobakter m.fl., vil konkurransen med den øvrige mikroflora begrense muligheten for en større N-fiksering. Det regnes med at mulighetene er større under noe anaerobe forhold. Selv om den biologiske N-fiksering i global sammenheng er meget vesentlig, er likevel mengdene som kan fremskaffes på slik måte noe beskjedne, regnet i kg N pr år. pr dekar kulturjord, på våre breddegrader. De tall som gjerne refereres i lærebøker, er ofte maksimalverdier funnet i forsøk under gunstige betingelser, kanskje også omregnet fra laboratorie- eller karforsøk.

I et reint kløverbestand, eller i eng med overveiende kløver, kan det fikseres adskillig nitrogen. Regner en all nitrogen i den overjordiske avling av kløver som tatt fra lufta, kan det bli  $800 \text{ kg tørrstoff} \times 2,5 \% \text{ N} = 20 \text{ kg N pr dekar}$  for reinbestand. Utgjør kløveren 25% av bestandet, blir det tilsvarende 5 kg. I midlertid er dyrking av kløver, erter og bønner lite utbredt hos oss. I fórdyrkingsdistriktene, i kystklima og nordover, er det lite innslag av kløver i engene. I et 30-årig forsøk i innlandsklima, As, med et såkalt normalomløp (3 år åpen åker og 3 år eng med kløveråsing), utgjorde N-mengden i kløveravlingene ca 1 kg pr dekar når den ble fordelt på alle år i omløpet. Det vil kunne være biologisk fiksert N også i røtter og stubb av kløver, kanskje også utskilt til vokseme-

diet fra kløverrøttene, men på den annen side vil kløverplantene også delvis bruke av det N som tilføres i kunstgjødsel, eller som frigjøres fra jordas organiske reserver. I følge LaRue, A og T.G. Patterson (Adv. Agron. 34 1981) bør en ikke regne med at mer enn halvparten av N-innholdet i belgplantene er tatt fra lufta.

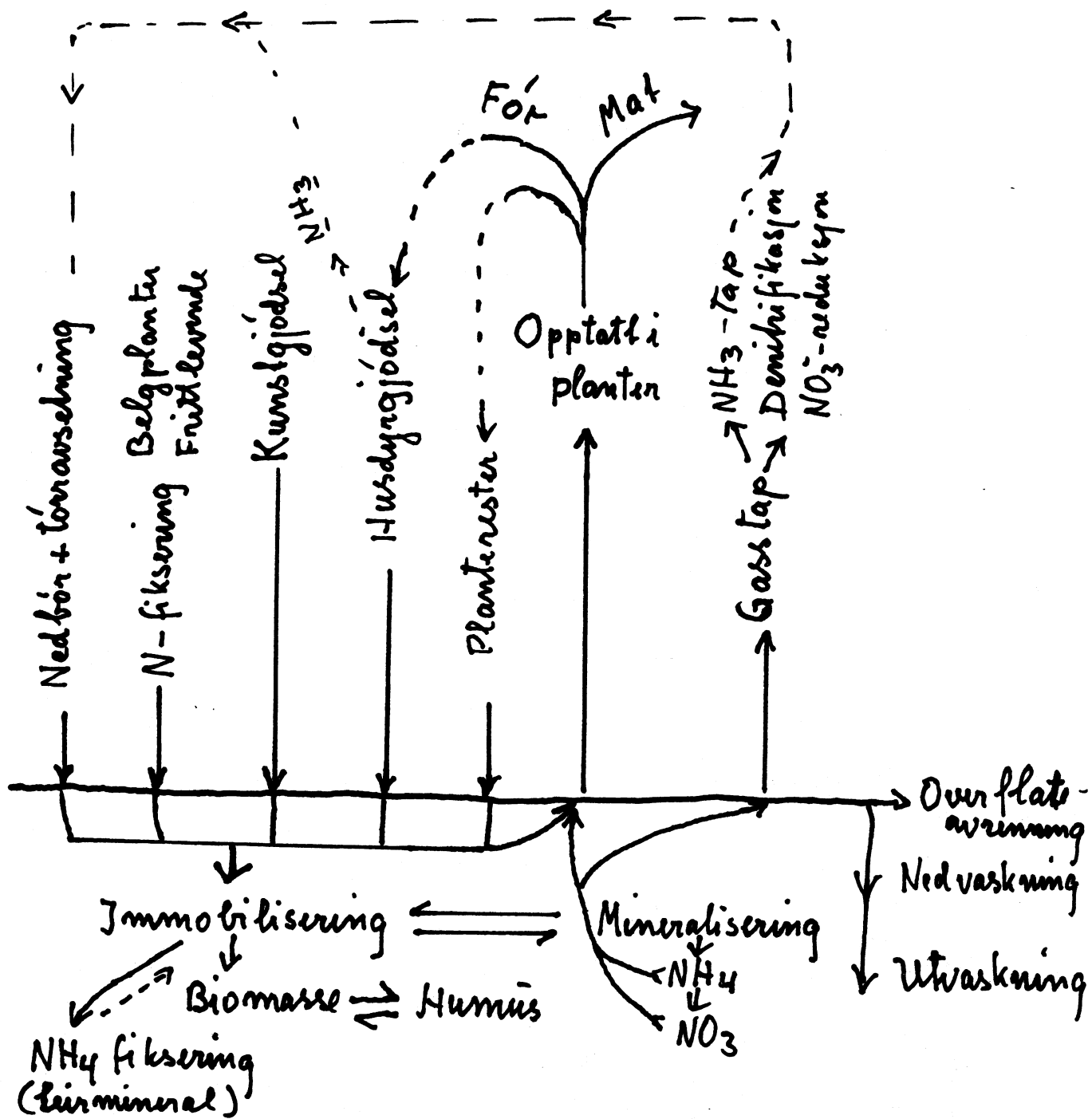
Biologisk binding av N ved frittlevende organismer er, så vidt en kjenner til i dag, av svært liten betydning i vanlig kulturjord. For at nitrogenet skal komme til nytte for plantene, må det frigjøres etter at disse organismene dør. En må videre regne med at der N tilføres i kunstgjødsel eller husdyrgjødsel vil en eventuelt fiksering få lite omfang, da disse organismene vil kunne nytte også slik N-kilde, eller bli utkonkurrert av organismer som er uavhengige av biologisk fiksert N.

#### Nitrogenhusholdningen i jorda.

Dersom vi tar for oss N-husholdningen i et mer begrenset økosystem som jord, blir det en rekke pluss og minusposter i forhold til det globale regnskap foran. I figuren har en ved piler fremstilt tilførsler og tap av N fra jord, i første rekke med tanke på dyrket jord som gjødsles, og der avlingene høstes til for og mat. Tilført N i kunstgjødsel utgjorde i Norge i 1980 i middel ca 11 kg N, beregnet pr dekar jordbruksareal i drift. Mengden av N i oppsamlet husdyrgjødsel er ca det halve av dette, men denne gjødslen er

svært ujevnt fordelt på arealer og distrikter. N i husdyrgjødsel, utnyttet dårligere også av andre grunner.

## Nitrogenhusholdningen, skjematisk framstilt.



### Nitrogen i nedbør og tørravsetning.

Nedbøren inneholder såvel nitrat som ammoniumforbindelser, men mengdene er små regnet i kg tilført pr dekar. I en undersøkelse fra 1955-62 (Låg Forsk.fors.landbr.1963) har tilførslene variert fra ca 0,1-0,6 kg N pr dekar og år for 11 norske nedbørstasjoner. I norske undersøkelser har det vært omtrent like mye av  $\text{NO}_3\text{-N}$  som  $\text{NH}_4\text{-N}$  i regnvannet, mens det ellers synes vanlig at innholdet av  $\text{NH}_4\text{-N}$  er størst. Nitrat i luft og nedbør skriver seg fra forbrenning, (N-oksyder), enten ved jordoverflaten, eller også ved elektriske utladninger i atmosfæren. Ved denitrifikasjon dannes mer eller mindre dinitrogenoksyd ( $\text{N}_2\text{O}$ ), som på grunn av stor stabilitet kan nå helt opp i de øvre lag og representerer en mulig fare for ozonlaget.  $\text{NH}_4\text{-N}$  i nedbøren oppgis også å ha sin årsak i forbrenning (mangelfull?). Forøvrig vil  $\text{NH}_3$  som kjent tapes både ved forråtnelse og direkte fra jord, husdyrgjødsel m.m. Gassutveksling mellom jord- og vannoverflate og lufta over, kan foregå begge veier. Størrelsen av såkalt tørravsatte N-forbindelser er vanskeligere å måle enn innholdet i selve nedbøren. Danske oppgaver angir stor tørravsetning av  $\text{NH}_3\text{-N}$ , 0,8 kg N pr dekar og år av et totalt nedfall i luft og nedbør på 1,5 kg. (Ref.bl.a. av Aslyng 1973).

Tilførslene av N-forbindelser i nedbøren har økt betydelig fra 1950-tallet og frem til i dag. Økt forbrenning fra industri og biler har gitt nedbør med stort innhold av svovel- og N-forbindelser over Sør-Skandinavia. I innlandet og

nordover er innholdet langt mindre.

Tilførslene av N fra luft kan kanskje bety noe for planteveksten i skog og naturmark, men blir små regnet i kg pr dekar dyrket jord i forhold til N i kunstgjødsel f.eks. Likevel kan det være av interesse å merke seg at om nedfallet settes til 0,3 kg N/dekar i middel for hele landet (326000 km) blir dette totalt like mye som N-mengden i all kunstgjødsel vi bruker.

Tilførslene av N i atmosfærisk nedfall er forsøkt beregnet for hele jordkloden. Tallverdiene fra forskjellige forfattere varierer imidlertid med en faktor på flere hundre.

#### Frigjøring og immobilisering i jord.

I jorda foregår, mer eller mindre avhengig av de andre tilførsler og tap, såvel frigjøring som fastleggingsprosesser. En kan gjerne snakke om en intern nitrogensyklus for jorda.

Frigjøring av N i form av ammoniumforbindelser som omsettes videre til nitrat, kaller vi N-mineralisering.

Det aller meste av total-N innholdet i jordsmonnet er i organisk bundet form, og ikke direkte tilgjengelig for de grønne plantene. Mikroorganismer og andre organismer f.eks. også meitemark, sørger for at organisk materiale gradvis brytes ned, og ved videre omsetning, ikke minst av døde mikroorganismer, blir det frigjort nitrogen som også plantene kan få nytte av.

Ammonifikasjon er frigjøring av  $\text{NH}_3$  fra organiske

N-forbindelser.  $\text{NH}_3$ -dannelsen representerer her det overskudd av nitrogen som det gjerne blir ved den mikrobiologiske nedbrytning av det organiske materialet i jord. Denne prosessen er ikke knyttet til noen bestemte organismer, men utføres av sopp, bakterier og aktinomyceter.

Nitrifikasjon <sup>av</sup> ammonium foregår som kjent i to trinn og settes i verk av helt bestemte organismer. Nitrosomonas m.fl. for omdannelse av  $\text{NH}_4^+$  til  $\text{NO}_2^-$  og Nitrobakterier for den videre oksydasjon til  $\text{NO}_3^-$ . Disse bakteriene skaffer seg energi fra oksydasjonen og bruker  $\text{CO}_2$  som C-kilde (kjem~~o~~autotrofe). Reaksjonen kan fremstilles slik:



For oss er det vesentlig å merke seg at nitrifisering har en forsurende sideeffekt. For hvert  $\text{NH}_4$  ion som blir omdannet til  $\text{NO}_3^-$  dannes 2  $\text{H}^+$  ioner. Nitritt ( $\text{NO}_2^-$  ioner) som mellomprodukt er giftig, men omsettes raskt videre til nitrat. Ved høy pH, overkalking, kan et stort  $\text{NH}_3$ -innhold blokkere overgangen til  $\text{NO}_2^-$  til  $\text{NO}_3^-$  og det kan da temporært ble endel nitritt.

Hvor mye nitrogen som årlig frigjøres fra jordas organiske reserver avhenger av: i) mengde og sammensetning av det organiske materialet ii) Omsetningshastigheten.

Bestemmelse av total-N i organiske forbindelser i jord kan



benyttes som mål (~~på innholdet~~) på innholdet av organisk stoff. I vel omsatt organisk stoff, humus, er gjerne N-innholdet ca 5%, C-innholdet minst 50% av tørrstoffet, og C/N forholdet nær 10 (10-12). De mer stabile humusstoffene nedbrytes svært langsomt, mens mer nydannet eller tilført organisk materiale kan gi større bidrag. Hvor mye N som blir frigjort avhenger av kvaliteten, som igjen går både på tilgjengeligheten av karbonforbindelsene for jordorganismene, og det relative N-innholdet i det organiske materialet. Omsetningshastighetens betydning for den N-mengde som frigjøres pr vekstsesong er uten videre klar. Den er temperaturavhengig og selvsagt også avhengig av gode vekstbetingelser forøvrig for jordorganismene, d.v.s. høvelig tilgang på vann og næringsstoffer. Kalking kan f.eks. øke omsetningshastigheten og frigjøringen av N, ikke minst kjent fra myrjord. Dersom det er lite N i forhold til tilgjengelig karbohydrater, kan på den annen side rask omsetning føre til sterkere mangel ved en økt nettfastlegging av N. (Se eksempel for halm seinere).

Mineraliseringen av N er størst vår og forsommer, og en må derfor kunne regne med at plantene utnytter det frigjorte N fra jord relativt godt. Etter en tørkesommer med hemmet biologisk aktivitet kan en sannsynligvis få en topp i N frigjøringen når jorda igjen fuktes opp. Slike forhold har vært tillagt vekt i tropeområder med regn- og tørketider. Jordarbeiding øker omsetningen p.g.a. bedre lufttilgang. I grasmark blir omsetningen langsommere, mens en kan få en

kraftig økning i omsetningen, og bedre N-forsyning til åpenåkervekster, i første, eller de første år, etter ompløying av grasmark. Dette er en medvirkende årsak til den positive forgrødeeffekt en finner etter eng.

Av det foregående framgår at organisk materiale som tilføres jord må ha et visst N-innhold for at omsetningen skal medføre N-frigjøring. Følgende terskeverdier kan være til en viss støtte for vurderingen:

N-innhold i % av omsatt materiale:	C/N	Virkning på N-tilstand:
<1,2 % N i tørrstoff	>30	Immobilisering
1,2 - 1,8 "	20-30	Indifferent
> 1,8 "	<20	Mineralisering

Eksempelet forutsetter 36% C i tørrstoff. I halm kan en regne med ca 40% C, mens det i humus kan være minst 50% i organisk tørrstoff. Det kan nevnes at Broadbent (S.S.S.A.P 18, 1954) fant at det ble N-fastlegging ved C/N videre enn 33, og N-frigjøring ved C/N så trangt som 17. I det mellomliggende området forekom hverken fastlegging (assimilasjon) av N eller vesentlig avspalting av ammoniakk.

I tillegg til C/N forhold, tilgjengelighet av karbon, m.m. vil også forhold ved de nedbrytende organismer bety noe for sluttresultatet.

Følgende eksempel etter Alexander (Soil Microbiology 1977

s.242) vil demonstrere dette: Soppvev inneholder mer C i forhold til N enn biomasse av bakterier og aktinomycester. C/N-forholdet settes eksempelvis til 10 for sopp og 5 for de øvrige. Ut fra dette skulle en kanskje vente større N-frigjøring, N-overskudd, om nedbrytningen skje ved sopp enn ved bakterier. Dette holder ikke stikk, fordi soppene overfører en langt større andel av karbonet i det materialet som nedbrytes til egen biomasse. Alexander oppgir at sopp assimilerer 30-40%, mens tilsvarende tall for bakterier og aktinomycester er 5-10 og 15-30%. Resten skilles altså ut som CO<sub>2</sub>. Ved å kombinere N-behov og mengde C assimilert kommer en til at sopp og aktinomycester vil ha større N-behov, og skulle gi mindre N frigjøring enn om nedbrytningen foregår ved bakterier.

Eksempel: 100 kg halmtørrstoff inneholder 40 kg C og 0,5 kg (%) N. Omsettes i jord av sopper som overfører 30% av C til egen biomasse i løpet av første fase i nedbrytningen. I den varme årstid kan dette skje i løpet av noen uker, men det vil bli igjen en rest f.eks. på 20% av C i mer resistente forbindelser (lignin) i halmen. Dette gir ialt 50% tap som CO<sub>2</sub>. 30% C (=12 kg C) i soppbiomasse krever 1,2 kg N (C/N 10:1). Halmen inneholder maksimalt 0,5 kg, og det blir et underskudd på 0,7 kg N pr 100 kg halmtørrstoff.

Dette nitrogen må soppen skaffe seg på annet vis, og det vil skje en fastlegging av de lett tilgjengelige N-forbindelser som måtte finnes i jorda.

Nitrogenet og karbon assimilert i biomasse vil i den neste fase nyttes i den fortsatte biologiske nedbrytningen. Uansett hvilke organismer som står for nedbrytning, burde det i denne fase bli en viss N-frigjøring. Dette har i midlertid i liten grad kommet til uttrykk i langvarige forsøk med halmnedpløying. Nitrogenfastlegging i første fase etter halmnedpløying har også vært langt mindre enn teoretisk antatt etter eksemplet ovenfor. Blant annet betyr tidsfaktoren svært mye. Dersom en i første fase regner med en mindre fullstendig nedbrytning av halmens C, f.eks. 15% overført til soppvev, vil behovet for ekstra N bli nokså beskjedent, forutsatt da at organismene kan nytte nitrogenet i halmen fullt ut. Ved å ta tida til hjelp, kan med andre ord den tilgjengelige N-mengde nyttes flere ganger.

Øvelsesoppgave.

Regn ut behov for ekstra N eller kg N frigjort ved nedbrytning/kompostering av materiale med forskjellig N-innhold. (f.eks. grasrøtter 1,5% og kløverplanter 3% og ren cellulose) ved de forutsetningene som er gjort ovenfor for sopp, bakterier eller aktinomyceter.

Mineralisering av N, ammoniumfrigjøring fulgt av nitrifisering, er en viktig post i plantenes N-forsyning. I et langvarig forsøk på Hedmark har plantene, uten gjødsling i 50 år, fortsatt å ta opp ca 6 kg N fra jord årlig i middel for siste 7-års periode. (Jetne Forskn. og fors. 1974). I dette tallet inngår N i kløverplanter, og eventuelt N fra

andre kilder. Storparten er nok likevel fra N-frigjøring i matjord, og fra et relativt stort innhold av N i organiske forbindelser, også i de dypere lag i denne morene-jorda. Det er i blant angitt at en kan regne en årlig frigjøring på 1-2% av totalinnholdet av N i jorda. Under norske forhold med kjølig klima, lang vinter, og mye eng, vil mengdene regnet i prosent bli noe mindre. I et feltlysometerforsøk med årlig brakking i 10 år ved Institutt for jordkultur, ble det likevel, også de siste år, vasket ut nesten 10 kg N som nitrat pr dekar. Dette tilsier en N-mineralisering på minst 1,5% årlig under disse forholdene. (Total N i jord 0,3%). Det nitrogen som frigjøres fra jord og utnyttes av plantene går selvsagt på bekostning av N-kapitalen. Dersom N-innholdet i jorda skal holdes vedlike, og jorda være humuslikevekt, må fastlegging, immobilisering, av N i biomasse og avlingsrester, være like stor som netto bortført, mineralisert N.

I de seinere år har det vært stor interesse for å finne frem til analysemetoder som kan gi et brukbart uttrykk for jordas evne til å avgi nitrogen ved mineralisering. En metode utarbeidet av Øien ved Statens jordundersøkelse, ser lovende ut. I tillegg arbeides det i mange land med metoder og prøvetakingssystemer for å fastslå restmengdene av  $\text{NO}_3^-$ - og  $\text{NH}_4^-$ -N i jorda. f.eks. like før gjødsling om våren. Dette skal gi grunnlag for såkalte årlige N-prognoser for behovet for N-gjødsling f.eks. ved korndyrkning.

### Uorganisk fiksering av ammonium i jord.

$\text{NH}_4$ -ioner holdes fast i såkalt ombyttbar form til jordkolloider med negativ elektrisk ladning, i likhet med metallkationene K, Ca og Mg.  $\text{NH}_4^+$  og  $\text{K}^+$  står dessuten i en særstilling ved at de i visse leirmineraller kan gå inn mellom sjiktene i disse, og derved fastlegges adskillig sterkere enn det som bare skyldes de elektronegative ladninger på overflatene. Denne særstilling har sammenheng med at K- og  $\text{NH}_4$ -ionene har en passende størrelse i forholdene til avstanden mellom enhetene i krystallgitteret. Slik fiksering foregår særlig i leirmineraller som vermiculitt og illitt og tillegges i blant stor betydning. Om faren for slik binding av  $\text{NH}_4$  og K i våre leirjorder vet vi relativt lite, rent bortsett fra at ved sammenligning av gjødsling som kalksalpeter (bare nitrat) og f.eks. kalkammonsalpeter (50%  $\text{NO}_3$ - og 50%  $\text{NH}_4$ -N, synes N-effekt og N-opptak å ha blitt nokså lik i markforsøk. I prøver fra 200 steder i Sverige fant Nømmik (Växtnær.Nytt 5 1954) at fra 9-49% av tilført ammonium ble fiksert. Fiksering er her definert som om den mengde  $\text{NH}_4$  som ikke lot seg vaske ut med en 1 normal KCl-løsning. Om tilgjengelighet av fiksert ammonium, og om forhold som har betydning for slik fiksering, gjelder stort sett det samme som for kalium, (se side 111).

### Gassformige tap av N.

Nitrogen kan for det første tapes i gassform som  $\text{NH}_3$ . Som ligningen  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$  viser, er dannelse av ammo-

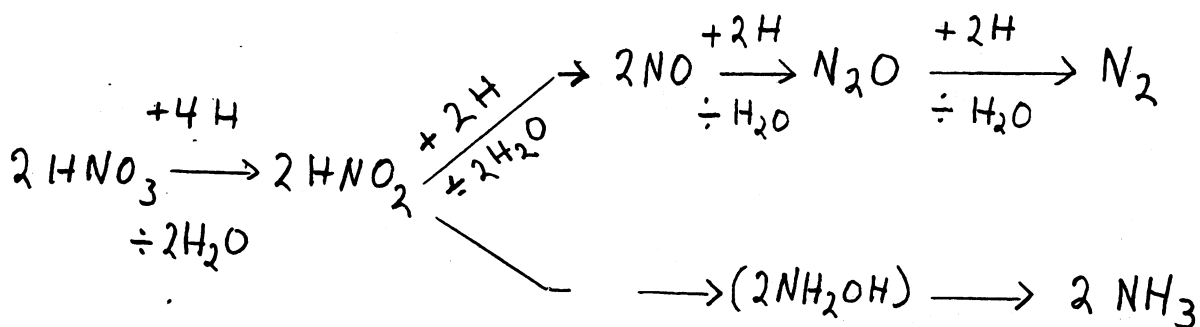
niakk pH-avhengig. Det er imidlertid først ved pH over nøytralpunktet at mulighetene for  $\text{NH}_3$ -tap øker. Ved de pH-verdier vi har i dyrket jord, er risikoen i så måte liten. Vanlig kalking synes heller ikke å medføre direkte  $\text{NH}_3$ -tap fra jord. Annerledes stiller det seg med husdyrgjødsel spredd på overflaten, noe som vi skal komme tilbake til seinere.

Denitrifikasjon er en reduksjon av nitrat ved mikroorganismer til dinitrogenoksyd og fritt N. I tillegg kan en ha en kjemisk reduksjon av nitrat, men denne prosessen tillegges langt mindre vekt enn de mikrobiologiske, i jord.

Nitrogen er et grunnstoff som opptrer med ulike valenser, oksydasjonstrinn, i kjemiske forbindelser:

$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	NO	$\text{N}_2\text{O}$	$\text{N}_2$	$\text{NH}_2\text{OH}$	$\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$
+5	+3	+2	+1	0	-1	-3

Som en ser, representerer nitrat og ammonium ytterpunktene av oksydasjonstrinn. Om nitrat kan reduseres helt til ammonium i jord og vann, er visstnok tvilsomt. Det er mer sannsynlig at det dannes  $\text{N}_2\text{O}$  og særlig  $\text{N}_2$  gass. Denitrifikasjon er altså ikke helt motstykke til nitrifikasjon der jo  $\text{NH}_4^+$  omdannes helt frem til  $\text{NO}_3^-$ . Ved biologiske prosesser i planter og mikroorganismer foregår det motsatte. Som nevnt reduseres her  $\text{NO}_3^-$  helt til  $\text{NH}_3$  og det dannes aminosyrer og protein. Etter Alexander (1977) gjengis følgende skjema:



Den øvre gren representerer her denitrifikasjon. Reduksjonen i plantene (N-assimilasjon) antas å gå over hydroksylamin ( $NH_2OH$ )

Det samme er tilfelle for den motsatte prosessen, d.v.s nitrifikasjonen.

Ved denitrifikasjonen skal sluttresultatet i noen grad bli dinitrogenoksyd ( $N_2O$ ), men hovedmengden av denitrifisert nitrogen ender opp som fritt molekylært,  $N_2$  i jord i god kalktilstand. Denitrifikasjon utføres av en rekke bakterier i jorda. Disse er aerobe, men ved mangel på oksygen bruker de nitrat som såkalt elektronakseptor (eller H-akseptor) i stedet for  $O_2$ .

Betingelsene for denitrifikasjon er:

◊ Manglende tilgang på  $O_2$ , f.eks. ved vannoverskudd, oversvømmelse, i den varme veksttid. Det har vært antatt at det er liten fare for denitrifikasjon, dersom vanninnholdet er mindre enn 60% av kapillær metning. Likevel kan det bli oksygen-mangel i lommer i jorda, og kanskje også i rotsonen p.g.a. stor biologisk aktivitet.



- ii) Optimumstemperaturen for denitrifikasjon er relativt høy. Dersom temperaturen kommer ned mot null eller et par plussgrader, har det vært liten omsetning av nitrat. Ut fra dette må vi kunne slutte at det hos oss vesentlig er fare for denitrifikasjon i den varme årstid.
- iii) En vesentlig forutsetning for denitrifikasjon er tilgang på nedbrytbart organisk materiale (energi), og dermed grunnlag for mikrobiologisk aktivitet. I de dypere lag og i sjikt med mer eller mindre konstant luftmangel er betingelsene for denitrifikasjon dårligere enn i det øvre matjordlaget.
- iv) De denitrifiserende bakterier er følsomme for låg pH, men er påvist ned til pH 5. En kan få kraftig økning i de gassformige tap ved overkalking.
- v) Tilgang på  $\text{NO}_3^-$ -ioner er selvsagt en betingelse for denitrifikasjon, og en må anta at denitrifikasjonen øker med økende innhold av nitrat i jorda.

Reduksjon av nitrat ved kjemiske reaksjoner i jord skal særlig kunne foregå under sterkt sure forhold. Slike reduksjoner antas være av langt mindre betydning i kulturjord enn den mikrobiologiske denitrifikasjonen.

Ved anaerobe forhold, slik som det kan være i de dypere lag, skal nitrat kunne reduseres, dersom det samtidig er tilgang på redusert jern. Ferro-forbindelser oksyderes da til ferri ( $\text{Fe}^{++} \rightarrow \text{Fe}^{+++}$ ) samtidig som  $\text{NO}_3^-$  reduseres etter samme skjema som vist for denitrifikasjon. I Danmark har en vært særlig

opptatt av dette. Slike prosesser kan fjerne  $\text{NO}_3^-$  fra grunnvannet. Drikkevann med mer enn 10 mg  $\text{NO}_3^-$ -N pr l regnes som uskikket eller skadelig. Reduksjons/oksydasjonsforholdene måles ved såkalte redokspotensial, uttrykk i volt eller millivolt. Etterhvert som forholdene går fra areobe til anaerobe, reduseres først  $\text{NO}_3^-$ , deretter eventuelle oksyderte manganforbindelser og ferrijern. Først ved negative verdier av redokspotensial får en reduksjon av sulfater til sulfid, og f.eks. dannelse av metan fra organisk stoff. En slik rekkefølge i redoksprosessene skulle tilsi at dersom det er redusert jern tilstede, skulle det ikke samtidig være nitrat, da dette reduseres før bl.a. ferrijern. (Brink Pedersen og Alind Tidsk. f Pl.avl 80 1976.)

I de seinere år er det også kommet resultater som viser at N i flyktige forbindelser også kan avgis til luft fra bladverket, f.eks. som en bestandel av transpirasjonsvann. Der som dette skjer i nevneverdig omfang, blir det ytterligere vanskelig å følge nitrogenets skjebne i jord- og plantesystemet.

Omfanget av denitrifikasjon og andre gassformige tap av N fra jord har vært undersøkt blant annet ved hjelp av tilført isotopmerket N., og ved studier over N-balansen. I forsøk der en måler såvel N-opptak, N-utvasking og forandring i jordas total N, er ofte resten betraktet som et mål på de gassformige tap. Begge disse metoder har gitt resultater som synes å vise at slike tap er av et betydelig omfang. I følge Allison (*Adv. in Agronomy* 1966) har de gassformige tap

i forsøk variert fra 5-50% av tilført N. I en øst-europisk forsøkserie (Matzel m.fl. VIII Int. Fert.Congr.1976) kom en til, ved hjelp av  $^{15}\text{N}$ , at 24% av tilført N ble tapt i gassform. Denne mengden inkluderer sannsynligvis også andre gassformige tap enn denitrifikasjon. f.eks. også ammoniakk. I en oversikt over N-balansen i svensk åkerjord (Jansson og Siman. The  $\text{N}$ , 1978) er de gassformige tap anslått til 2,6 kg N pr dekar og år, og utvasking av N til i middel 1,6 kg N. Fra norske forsøk foreligger ingen direkte målinger av denitrifikasjon, men det gis også her eksempler på at N-regnskapet ikke „går opp” når en fra tilført N, subtraherer merinnholdet i avling, jord og avløpsvann.

Reduksjon av nitrat til gassformige forbindelser representerer uten tvil et tap for planteproduksjonen. I forurensnings-sammenheng kan en kanskje betrakte dette som en sanering som hindrer opphoping av nitrat i jord og vann. Forutsetningen må være at sluttproduktet er fritt  $\text{N}_2$  og ikke mellomprodukter som  $\text{N}_2\text{O}$  og andre N-oksyder. Dannelse av  $\text{N}_2\text{O}$ , og transport av dette til de høyere luftlag, har vært ansett som en fare for ozon- laget.

#### Tap av nitrogen ved utvaskning.

Nitrationer bindes ikke i jorda og følger derfor med sigevann nedover. Også  $\text{NH}_4$ -ioner er forholdvis lett bevegelige,

omtrent som K-ioner. Disse holdes likevel i stor grad tilbake som ombyttbare kationer. På jord med liten ombyttingskapasitet, f.eks. sandjord, og like etter tilførsel av ammoniumgjødsel, er det betingelser også for nedvaskning av slike N-forbindelser. I lysimeter- og grøftevannsundersøkelser er det likevel sjelden det er påvist store mengder ammonium. Slik utvaskning kan tenkes på sterkt sur jord, både fordi ammonium her ikke så raskt blir overført til nitrat, og fordi at kationer som  $\text{NH}_4$  og K holdes mindre fast, som ombyttbare, under sure forhold.

Utvaskning og nedvaskning av nitrat har vært gjenstand for omfattende undersøkelser, i lysimeterforsøk, målinger av grøftevann og avløp fra større eller mindre nedslagsfelt. Også ved å ta jordprøver sjiktvis nedover til f.eks. 1 m, kan en få holdepunkter for å bedømme nitrattransporten.

Den første betingelse for nedvaskning av nitrat og andre næringsstoffer er vannoverskudd, med andre ord, en nedadgående vannbevegelse. I sin enkleste form kan en si at avrent mm vann,  $Q = P - E$  der P er mm nedbør og E er mm fordampet vann fra jord og plantevekst. På grunn av full oppløslighet vil nitrat følge vannet, men hvor stort vannoverskudd som skal til for å gi nedvaskning, f.eks. ned til grøftene, er avhengig av jordtype og jordas strukturoppbygging.

I en finkornet jord med enkeltkornstruktur, enkelt poresys-

tem, kan vannet med oppløste næringsstoffer bevege seg nedover som en front eller bølge, såkalt stempeleffekt. Den enkle formelen  $d = \frac{100P}{V_m}$  er brukt for å angi hvor dypt i cm f.eks. nitratfronten (maks. konsentrasjon) er nådd ved sigevannsmengde P, i cm, i jord med vannholdende evne,  $V_m$  = volumprosent vann ved feltkapasitet. Forutsatt en symmetrisk bølge nedover, skulle halvparten av nitrattet være vasket ut når sigevannsmengden er like stor som jordas vannholdende evne. Dette kan dreie seg om hele 3-400 mm grøftevann for finkornet jord, og kanskje ca det halve for en grovkornet jord. Nitrat og andre fullstendig oppløste stoffer, dvs. stoffer uten binding i jord, følger stort sett vannet, men bølgen jevnes ut på grunn av dispersjon. I en aggregert jord, f.eks. leirjord med grynstruktur, vil en i tillegg til finporene inne i aggregatene, ha større porer som også kan tjene den nedadgående vanntransport. Noe lignende har en i leirjord med sprekker og ganger. Oppadgående vannbevegelse vil måtte skje kapillært i de små porene. Vannbevegelsene nedover vil i slik jord kunne variere med regnintensiteten. Ved lav intensitet (men overskudd av vann) vil vannet særlig bevege seg i de mindre porer som holder bedre på vannet. Ved stor regnintensitet, slik at jorda mettes, vil mye kunne renne ned via større porer og sprekker. Dette kan medføre a) at oppløste stoffer som f.eks. nitrat, som er trukket inn i finporesystemet, kan være noe beskyttet mot nedvaskning, (Thomas & J. Phillips og Environ.Qual 8 1979) forutsatt at nitrat ikke rekker å

diffundere ut i de større porer, eller b) at nitratrikt vann fra de øvre lag, matjordlag og lag tilført gjødsel, ved stor regnintensitet kan bevege seg langt raskere nedover i store porer og sprekker enn hva som er tilfelle i en relativt fin-kornet jord med homogent poresystem.

Under vanlige feltforhold blir forholdene ytterligere komplisert. Avstanden vannet må gå for å nå frem til grøftene kan være lang og variabel. Tette lag, f.ek. plogsåle under matjordlaget, kan medføre at vannet hindres i å trenge ned på bred front, men finner veier gjennom sprekker og større hulrom i jorda rett over grøftene. I sandjord med stort moldinnhold kan det fastholdes en del ekstra vann i matjordlaget når den kapillære forbindelsen med grunnvannet er brutt, noe som er vanlig om sommeren. Ved overskuddstilførsel utover dette må en regne med rask nedtransport i de grøvre porer og videre i sandlagene under matjordlaget.

Utvasking til forskjellig årstid. I innlandstrøk i Sør- og Midt-Norge vil sigevannsmengder og stofftransport være størst i høstmånedene, når jorda er blitt oppfuktet igjen etter sommersesongen. Etter tørkesomre har det vært nødvendig med 100-200 mm nedbør før det er blitt avrenning fra lysimeterceller med plantevekst. Dette gjelder leirjord med relativ stor vannkapasitet.

Dersom det er lite eller ingen tele, som f.eks. i kyststrøk,

kan avrenningen være stor gjennom hele vinterhalvåret. Vann fra snøsmelting kan komme som grøftevann eller overflatevann, avhengig om det er tele i jorda når snøen smelter.

I sommerhalvåret vil mye av nedbøren fordampe. Risikoen for nedvasking er tilstede om våren etter gjødsling, men før plantene har brukt nevneverdig vann og næringsstoffer. Av denne grunn kan ammoniumgjødsel være noe sikrere enn nitratgjødsel ved tidlig vårgjødsling.

Etter det som er sagt foran, skjønner vi at det skal nok så store regnmengder til for å vaske noen stor del av nitraten ned til grøftene. Våren 1983 falt det mye nedbør i mai over Østlandsområdet, etter at mye av kornet var gjødslet og sådd. Innhold av  $\text{NO}_3^-$  og  $\text{NH}_4^+$  ble undersøkt i jordprøver tatt sjiktvis ned til 80 cm på 10-12 steder etter regnperioden. På sandjordfeltet, i strøk der nedbørmengden fra gjødsling til prøvetaking var så mye som 120-130 mm, fant en betydelig mengde av nitrat på ca en halv meters dybde, men likevel lite under 60 cm. På leirjordfeltet var det fortsatt mye nitrat i sjiktet 0-25 cm. Om nitrat vasket ned til, f.eks. en halv meter, er tapt, avhenger av planteveksten. Kornartene synes å ha betydelig evne til å gå ned og ta opp nitrat fra de dypere lag. Ved fortsatt overskuddsnedbør, vil imidlertid nedtransporten fortsette, og nitrat som befinner seg i de dypere lag har små muligheter for å "overvintre" i

nedbørrikt klima.

Utvasket mengde nitrogen.

Mengden av utvasket nitrogen varierer svært mye fra år til år og fra sted til sted. Forsøk på å bestemme såkalt normaltall, i kg N pr. dekar eller prosent utvasket av tilført N i kunstgjødsel, er derfor lite realistisk. Som et eksempel på variasjoner og mengder av utvasket N i kg pr. dekar, gjengis følgende tall fra feltlysimeterforsøk på Ås:.

	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Brakk-ugjødset	11,8	8,1	12,4	9,7	6,1	8,2	7,5	7,3
Korn-ugjødset	4,8	4,0	4,2	2,0	1,4	1,9	1,6	1,1
Korn 10 kg N	3,7	5,2	9,4	2,9	1,2	1,9	1,5	1,0
Korn 20 kg N (15)	4,6	6,9	13,2	5,9	3,0	5,0	4,3	2,0
Eng 15 kg N	4,4	0,8	2,9	1,9	0,4	0,7	0,6	pløyd
Eng 30 kg N (25)	-	2,9	9,0	4,6	0,8	2,0	2,5	opp

Jorda på feltet er relativ moldrik (3%C) noe sandholdig lattleire (20-25% leire).

Den store utvasking i 1976 har sammenheng med tørke og sterkt reduserte avlinger, noe som resulterte i en stor mengde nitrat i jorda da høstregnet satte inn. Forholdene når det gjelder været, må sies å ha vært mest normale de siste 4-5 år. Brakk uten plantevekst og uten gjødsling fortsetter å gi store N-mengder i avløpsvann. Mineralisering av nitrogen synes å ha vært bortimot 10 kg pr dekar og



år i denne jorda. Korndyrking, med 10 kg N i fullgjødning D, har ikke gitt større utvaskingstap enn ugjødslet korn. Gjødning har gitt ca 50% avlingsøkning og mindre grøftevann på grunn av et større forbruk av vann. 20 kg N i fullgjødning D årlig har derimot vært en klar overdosering.

Grasdyrking med normalgjødning har gitt liten utvasking (ca 10% av brakk), men også her har overdosering virket uheldig. Forsøket omfatter også parseller med radvekster. Potet har i flere år gitt høyere nitratkonsentrasjoner i grøftevann, og større jorderosjon i overflatevann, enn f.eks. korn.

I dette forsøket har fosforinnholdet (og også kaliuminnholdet) i grøftevann vært lite, og helt upåvirket av gjødning. Tallene i tabellen demonstrerer først og fremst den avgjørende effekt som plantevekst og næringsopptak har for utvaskningen. Grasmark står i en særstilling ved at veksten kommer tidlig igang om våren, og at vekst og næringsopptak fortsetter lenge utover høsten. Formargkål og fórraps har også gitt god utnyttelse av nitrat i jorda om ettersommeren i dette forsøket. Når potet har gitt stor utvasking henger det nok sammen med tidlig nedvisning og også liten avling i disse forsøkene. En skulle vente at poteter var effektive til å ta opp næringsstoffer lengre utover sommeren, men på den annen side synes potet å ha mindre dyptgående rotsystem enn vårkorn.

Institutt for hydroteknikk har utført undersøkelser over

mengde av og innhold i avrenningsvann fra nedslagsfelt i jordbruksområder. Nedslagsfeltene har inneholdt såvel dyrka som udyrka areal, og har i noen tilfelle også vært påvirket av utslipp fra bustadhus, siloer og gjødsellagre. Noen eksempler fra slike undersøkelser gjengis etter Lundekvam (Stensiltrykk 1/83).

1. Fra et felt i Siljan, Telemark med dyrka mark fant en følgende mengde i avrenning pr år i kg/dekar:

	NO <sub>3</sub> -+ NH <sub>4</sub> -N	Total-P	K
1970-74	1,55	0,07	1,2
1975-78	2,25	0,04	1,3

Gjødslingen var her relativt moderat, men husdyrgjødsling til potet i 1973 medførte relativt stor avrenning av P med overflatevann. I de siste 4 år var det korn på feltet, og i de første 4 år også noe eng.

2. I Rakkestad har det i 1972-79 vært igang flere felt på dyrkede arealer, overveiende korn, men også med husdyrhold. Stofftransport for årene 1977-79 oppgis til: (kg/daa/år)

Middel for 3 felttyper:	Total-N	Total-P	K
	4,1	0,14	2,6

Etter opplysninger synes gjødslingen med N å ha vært noe i største laget på disse arealene disse årene, i middel 13,3 kg N pr dekar i kunstgjødsel + 4,2 kg i husdyrgjødsel. I samsvar med hva som ble funnet i feltlysometerforsøk på As, vil overdosering med gjødselnitrogen i forhold til plantenes

behov medføre betydelig økt utvasking. Det relativt store innhold av tot-P i avløpsvann kan kanskje føres tilbake til erosjon av jord på noen av feltene.

3. Fra Institutt for hydroteknikk's undersøkelser i felter fra Jæren kan trekkes frem et par tilfelle med svært store avrenningstap. På to felt, dyrket jord og beite, er gjødselpotensialet beregnet til 25-30 kg N i kunstgjødel + 22-23 kg N i husdyrgjødsel pr dekar årlig, og tilsvarende for fosfor nesten 10 kg P. I perioden 1972-79 med vannføringer, avløp, på hele 900-1300 mm, er ført bort fra 5 til 16 kg N årlig. Tilsvarende tall for tot-P, K var henholdsvis 0,17-1,3 kg og 8,8 kg, regnet pr dekar og år. I disse feltene går inn en del punktutslipp ved lekkasje fra gjødsellagre, silo, mjølkerom og husholdningskloakk. Dette har sannsynligvis i første rekke påvirket fosfortransporten. Konklusjonene må likevel bli at det på disse feltene, på grunn av at det er tatt for lite hensyn til de store stoffmengdene i husdyrgjødsel, har vært en voldsom overdosering med næringsstoffer. Dette har medført "gjødsling på feil sted", og må vel også representere dårlig bedriftsøkonomi, i tillegg til forurensning. For ordens skyld skal nevnes at i andre avrenningsfelt på Jæren har avrenninga vært langt mindre. De 2 refererte felter får derfor betraktes som ekstreme.

4. Tilsvarende avrenningsfelt fra Trøndelag (NLVF sluttrap-

port nr 235 1974) har gitt varierende resultater. Over halvparten av nedslagsarealet var dyrket. For 6 felt har, for 1973-74, mengdene av  $\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{-N}$  i avløpsvannet, variert fra 0,8 til 3,6 kg, total-P fra 0,1 til 0,45 kg og K fra 2 til 7 kg pr dekar og år. I disse feltene inngår endel bolighus og husdyrrom, noe som kan gi utslag ikke minst på lekkasje av fosfor.

Målinger i større grøftefelt, som omfatter bare dyrket jord har vært mye brukt i våre naboland. På 16 danske leirjorder er, 1971-81 målt mm grøftevann og innhold av næringsstoffer i dette. Regnet pr dekar og år er utvaskingstapet blitt 2,2 kg N, men bare 4 gram P som ortofosfat og 100 gram K, for denne 10-årsperioden. (Frimodt Pedersen E. Meld. nr 1704. St. Pl.f. 1983). Grøftevannsmengden var i midlertid bare 120 mm i middel, og en må regne med at dette representerer bare en del av sigevannet.

Tilsvarende utvaskingstap av N på et par kg pr dekar år, er ofte nevnt som normalverdier fra Sverige. I områder med intensiv planteproduksjon i Sør-Sverige f.eks. grønnsakproduksjon på sandjord, er påvist svært store utvaskingstap av  $\text{NO}_3\text{-N}$ . (Wiklander Acta.Agric.Scand 1977)

#### Nitrogenregnskap.

Det er ikke lett å sette opp noe fullstendig regnskap for nitrogen i jord-plantesystemet. Nitrogentilstanden i jorda er heller ikke statisk. En kan tære på jordreserver dvs.

negativ humusbalanse, eller det kan foregå en langsom oppbygging av slike reserver. I forsøk på å finne ut skjebnen til nitrogen tilført jord i kunstgjødsel, eller husdyrgjødsel, ender en ofte opp med en udefinerbar rest, dvs. tap som en ikke kan gjøre rede for. Dette er tilfelle selv om en har kontroll med utvaskingstapet. En slik defisitt i regnskapet blir gjerne tilskrevet gassformige tap i første rekke denitrifikasjon. Noen eksempler:

I noen av de første lysimeterforsøk som er utført, nemlig ved Cornell i staten New York fant en udefinerbar rest på 24 til 31% av tilført N i kunstgjødsel etter 10-15 år.

	Timotei 9 år		Forskj. gjødselkrevende vekster, 15 år	
	Svak N-gj	Sterk N-gj.	Amm. sulf.	Natrium nitrat
Udefinerbart N-tap, kg/dekar/år	Balanse	5,6	5,0	4,5
" " , % av tilført		24,0	31,0	28,0

For å kunne si at dette skyldes gassformigetap må en i tillegg til utvasking også måle endringen i totalinnholdet av N i jorda. Dette siste byr på store problemer da relativt små forskjeller i total-N i prosent representerer stor absolutt mengde N i kg pr dekar. En økning i total-N fra 0,25 til 0,255% av jordtørrstoff, tilsvarer 10-12 kg N pr dekar. (200-250 tonn jordtørrstoff i 0-20cm) En slik differanse, på 2%, vil likevel som oftest ligge innenfor feilgrensene for

total-N-bestemmelsen. Det er bare i langvarige forsøk, og i forsøk med svært store tilførsler av organisk nitrogen en kan regne med målbare forskjeller.

Fra et av de gamle, permanente hveteforsøk ved Rothamsted der parseller uten og med gjødsling kan sammenlignes, stiller regnskapet for nitrogen seg slik etter 49 år for det øverste jordsjiktet på 22,5 cm (Etter Russel 1977 s.347).

Alle tall i kg pr dekar: (etter Russel 1973 s. 347)

	Ugjødslet	Husdyr- gjødsel	Kunst- gjødsel
N i matjordsjiktet i 1865	307	486	359
N i matjordsjiktet i 1914	292	670	362
Endring etter 49 år	-15	+ 184	+ 3
Endring pr. år	- 0,31	+ 3,75	+ 0,06
N i gjødsel, såfrø og nedbør pr år	0,8	23,3	10,4
N bortført i avling pr år	1,9	5,6	5,1
Tilført ÷ bortført pr år	-1,1	+17,7	+ 5,3
Gjennfunnet mer (+) eller mindre (-) enn "regnskap"	0,8	-14	-5,2

For de gjødslede ledd har økningen i nitrogeninnholdet etter 49 år altså vært mye mindre enn de kjente gevinst- og tapsposter tilsier. I undersøkelsen mangler en oppgave over bortførsel av N i grøftevannet. Slik utvasking er på stedet, regner en med at denne tapsposten må være langt min-

dre enn tallene ovenfor for de gjødslede ledd. Selv om et slikt regnskap kan være beheftet med betydelige feil, ligger det nær å anta at de gjødslede ledd må ha tapt ikke ubetydelige N-mengder ved denitrifikasjon. Når tapene er større for husdyrgjødsel enn kunstgjødsel, kan det henge sammen med tilført mengde N, i dette tilfelle. Dessuten vil en fra husdyrgjødsel kunne ha tap av ammoniakk til luft. I danske undersøkelser er ellers nylig påvist at denitrifikasjonstapet kan bli større fra husdyrgjødsel enn fra kunstgjødsel.

## IX FOSFOR.

### I planter

Fosforinnholdet synes for de fleste vekster å være rundt 0,3-0,4 prosent av tørrstoff, i fullt utvoksne, hele planter. Som nevnt vil det være større innhold i frø enn i halm.

Plantene tar opp fosfor som fosfationer. Ut fra fosforsyrens dissosiasjon i vann er det gitt at  $H_2PO_4^-$  må bli den dominerende ion i relativt surt miljø. Først når pH kommer nær nøytralt punktet, vil  $HPO_4^{--}$ -ion forekomme i like stor grad som  $H_2PO_4^-$ .  $PO_4^{---}$ -ionet vil ikke være tilstede før en kommer opp i ekstremt høye pH-verdier.

Prosentisk fordeling av ortofosfationer i forhold til pH:

pH	4	4,5	6,3	7,1	8	10,3	12,3	
$H_3PO_4$	3							$H_3PO_4$
$H_2PO_4^-$	97	99	90	50	12			$H_2PO_4^-$
$HPO_4^{--}$		1	10	50	88	100	50	$HPO_4^{--}$
$PO_4^{---}$							50	$PO_4^{---}$

Det er tvilsomt om organiske P-forbindelser (nukleinsyre m.fl.) kan tas opp direkte i plantene i nevneverdig omfang. Det samme gjelder for såkalte kondenserte uorganiske fosforforbindelser, som polyfosfater, metafosfat m.fl. Disse blir i midlertid lett hydrolysert til vanlige ortofosfationer i jordvæsken. Som omtalt før (s.24) tar plantene opp relativt store mengder P i forhold til innholdet av fosfa-



tioner i jordvæsken. Innholdet i rotceller og plantesaft kan være opp til tusen ganger større enn i voksemediet. Det foregår med andre ord et svært aktivt opptak av P. I plantene er også fosforet lett bevegelig.

Opptaket av fosfor er påvirket av pH. Ifølge teorien skal fosfationer tas lettest opp ved lav pH, og opptaket kan bli hemmet ved pH-verdier over nøytralpunktet. Innholdet vil likevel ofte være mindre i planter som vokser i sur jord enn etter kalking. Dette skyldes blant annet at kalking øker tilgjengeligheten av fosforforbindelsene i jorda, men kan også forklares ved dårlig rotutvikling i sur jord, f.eks. p.g.a. aluminiumforgiftning.

Fosfor finnes i mange forbindelser i plantene. I organiske form som estere av sukker og alkoholer. Disse estere spiller en stor rolle i energitransformasjonene i plantene (ATP-ADP) og er f.eks. viktige i syntese av genbærere og av protein. Fosforforbindelsen fytin finnes særlig lagret i frø og frigjøres ved spiring. Ifølge Mengel og Kirkby er likevel mesteparten av P i røtter, stengler og blad i uorganisk form, og fungerer som en reserve i disse plantedelene. Ved fosformangel får en, i tillegg til nedsett vekst, ofte misfarging. Rødfiolette blad, stengler og bladskjeder skyldes opphopning av sukker som gir antocyan-dannelse. Ofte blir blad sterkt grønne ved fosformangel, forutsatt at N-forsyningen er god.

### Fosfor i jord.

På bakgrunn av den betydning fosfor har i plante- og dyreriket er innhold, og tilgjengelighet, av dette stoffet i jord svært sparsomt. Fosfor er derfor, sammen med N, det stoffet det først blir mangel på når jorda tas i bruk ved plantedyrkning.

Fosforinnholdet i jord er av størrelsesorden 0,02-0,15% av jordtørrstoff. I matjorda er stoffet dels i uorganiske og dels organiske forbindelser. Den organiske fraksjon utgjorde:

- 1) Etter Damsgaard-Sørensen (Tidskr./Planteavl. 1946. Danmark) i 445 prøver av dyrket jord . . . . . 20-80%<sup>2)</sup> Etter Armi Kaila (Valt.Maat.Julk. 129. 1978 i Finnland) i middel for 30 prøver av sand- og mojord . . .42% av total-P  
i middel for 40 prøver av leirjord . . .40%  
i middel for 30 prøver av myrjord . . .61%

- 3) I 92 jordprøver fra gjødslingsfelter på mineraljord i den sør-østlige del av Norge fant Semb og Uhlen (Acta Agric.Scand.1955) at fordelingen av uorganisk og organisk fosfor varierte med jordas pH, slik at den prosentiske mengde av organisk fosfor avtok med stigende pH:

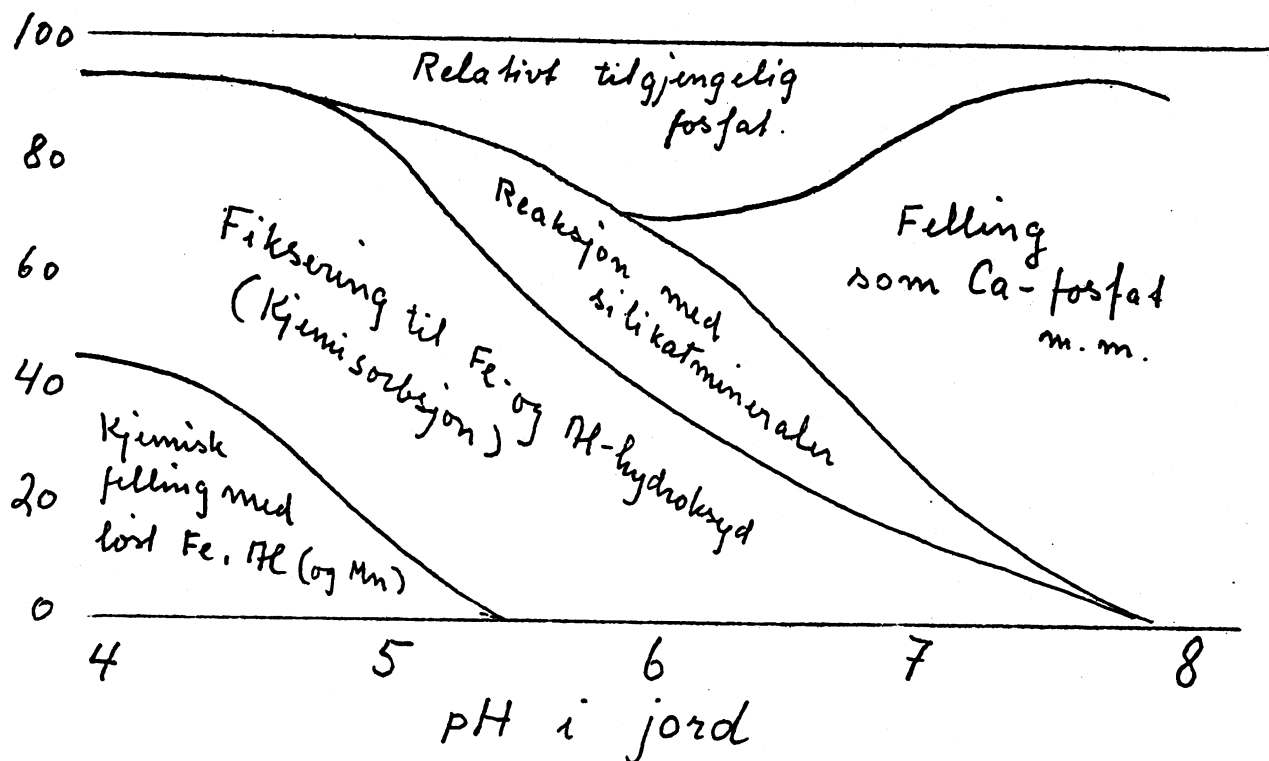
	pH < 5,5	pH 5,5-6,0	pH > 6,0
Organisk P	59%	49%	39%
Uorganisk P	41%	51%	61%

Når andelen av organisk avtar ved stigende pH tilskrives det raskere biologisk omsetning og, dermed mineralisering av P i organiske forbindeler. Fosfor i organiske forbindelser er som fytin (inositol-P) og små mengder nukleinsyre og lesitin. For største delen, ca 2/3, av dette fosforet i jord er likevel sammensetningen ikke klarlagt i følge Black (Soil-Plant Relationship 1968 s. 584).

Det uorganiske fosforet i jorda forekommer i mange former. Felles for de fleste av disse er at de er svært tungtoppløselige. Apatittmineralene er utgangspunktet for fosforet i jord, i den grad det ikke er tilført ved gjødsling. I gammel kulturjord vil imidlertid en betydelig del av fosforet skrive seg fra gjødsel. Fosforinnholdet vil derfor kunne avspeile jordas dyrkningshistorie.

Tilgjengelighet og løslighet av uorganisk fosfor i jord avhenger blant annet av pH. Følgende figur, fritt gjengitt fra Brady (The Nature and Properties of Soils 8 utg. 1974) skal vise fosforets tilstandsformer i jord i forhold til pH:

% av total-P



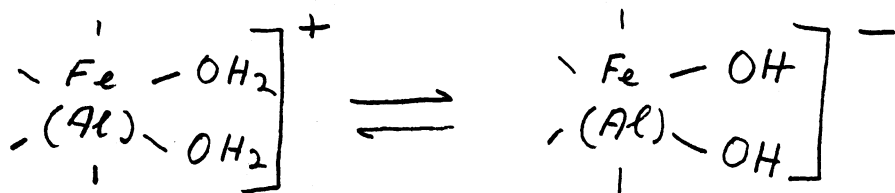
Fosforets tilstandsform er særlig bestemt av to mekanismer:

1. Løselighetsproduktet av Al-, Fe- og Ca-fosfater.
2. Sorpsjon til overflater av hydratiserte Al- og Fe oksyder og leirmineraler.

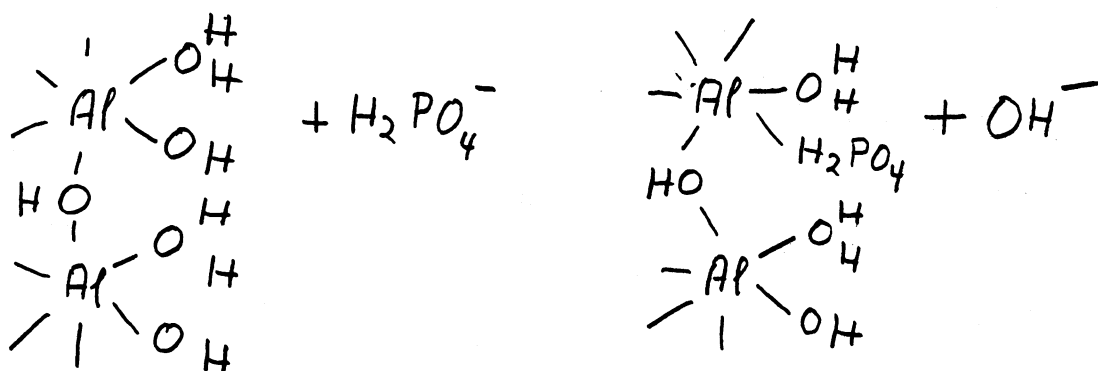
Flere Al- og Fe-forbindelser med fosfater kan felles ut da de er svært tungtløslige. I første rekke er påvist forbindelsene varisitt ( $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) og strengitt ( $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Disse er aktuelle under sure forhold. Ved pH verdier over 5,5 (se figuren) må en regne med at det er lite oppløst Al- og Fe-ioner, i det disse er felt ut som hydroksyder. Ca-fosfatene felles derimot ved høy pH, og er løselige under sure forhold. Det antydes mange slags Ca-fosfater med avtakende løslighet når pH kommer over nøytralpunktet. Svært tungt løselig er apatitt, særlig fluorapatitt, deretter følger trikalsiumfosfat, octakalsiumfosfat  $\text{Ca}_8\text{H}_x(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  og dikalsiumfosfat. Fosfationene kan felles med Ca-ioner også under nøytralpunktet når løslighetsproduktet overskrides.

T. Gårder ved Vestlandets forstlige forsøksstasjon leverte for femti år siden verdifulle bidrag når det gjelder fosforbinding i jord. I laboratorieforsøk fant han at fosforet ble bundet sterkt av Al og Fe under sure forhold og av Ca og også Mg ved høyere pH.

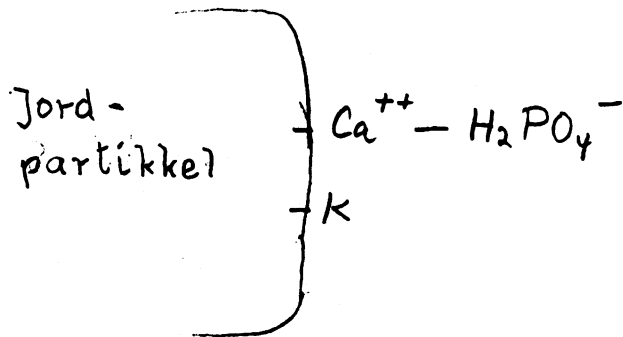
Sorbsjon av fosfationer til umettede jern- og aluminiumhydroksyder regnes å være av meget stor betydning for fosfationenes løslighet. Disse kolloidene vil kunne ha positive såvel som negative ladninger, avhengig av pH (amfotære)



Bindingen av fosfationer ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  og  $\text{HPO}_4^{--}$ ) til overflater av amorfe hydroksyder av Al og Fe er derfor pH avhengig, men som figuren antyder foregår denne også ved pH-verdier helt opp til nøytralpunktet. En slik absorpsjon (kjemisorpsjon) kan fremstilles slik:



Innbytte av  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  mot  $\text{OH}^-$  gir pH økning, ombyttingsalkalitet. I figuren fra Brady opereres også med binding av fosfor til silikatminerale. Det er noe uklart om dette egentlig er noen egen mekanisme. Fosforforbindingen øker med økende innhold av leir og leirminerale, men dette kan skyldes overflatereaksjoner med eksponerte  $\text{OH}^-$ , på samme måte som for amorfe hydroksyder. Overskudd av f.eks. Ca-ioner nær de negative ladde kolloidoverflater, kan gi muligheter for sorpsjon av fosfationer.



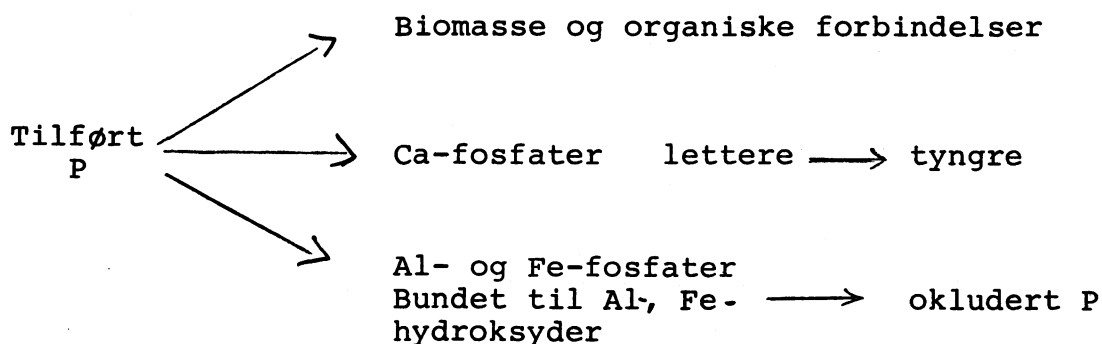
Ved at 2-verdige Ca-ioner legger beslag på bare 1 negativ ladning på partikkelen, blir det en positiv ladning disponibel f.eks. for et dihydrogenfosfation. Dette vil sannsynligvis representere forholdsvis lett nyttbart fosfor.

3. En spesiell mekanisme for fosforbinding er det når fosfationer, bundet til Fe og Al eller hydroksyder, blir innesluttet av seinere utfelte Fe og Al-hydroksyder. Dette kalles gjerne okludert fosfat, og representerer kanskje, sammen med apatitt, den minst tilgjengelige tilstand for fosfor i jord. En regner med at mengden av okludert fosfor øker med økende alder av jordsmonnet.

4. En betydelig del av fosforet vil være bundet opp i organiske forbindelser i jord. Frigjøring og binding av dette fosforet er avhengig av omsetningsforholdene. Som nevnt, vil forbedring av kalktilstanden kunne medføre økt frigjøring av slikt fosfor. Videre er fosforinnholdet i det materialet som omsettes av betydning. Frigjøring av fosfor fra organiske forbindelser begynner først når fosforinnholdet i det materialet som omsettes overstiger en terskelver-

di som i følge A.Kaila (1948) er ca 0,2% P i tørrstoffet. I halm er P i tørrstoffet ofte 0,1 % eller mindre, og omsetningen av halm skulle teoretisk føre til assimilasjon av uorganisk P fra omgivelsene. I likhet med hva som er nevnt under immobilisering av N ved halmnedbrytning, vil omsetningshastighet, og hvilke mikroorganismer som deltar, få betydning for behovet også for P. Under de forhold en har i vanlig kulturjord, synes det ikke som fosformangel har spilt inn ved omsetningen og virkningen av nedpløyd halm. Forholdet mellom C, N og P i vel omsatt organisk stoff i jord (mold), vil være av størrelsesorden 100:10:1.

Skjematisk kan forforets skjebne i jord fremstilles slik:

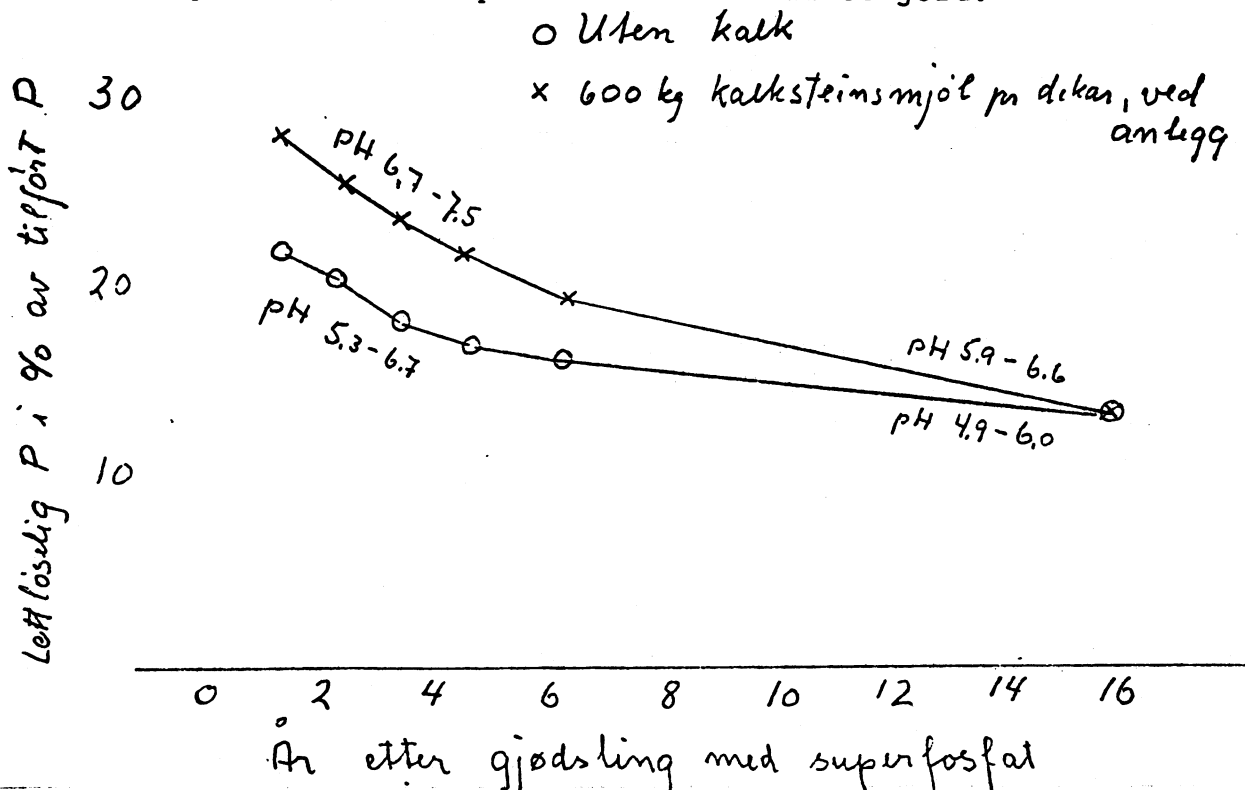


I tillegg til den raske binding som foregår straks fosforet er blandet inn i jorda, skjer det gradvis overgang til sta-



dig tyngere tilgjengelige former med tiden. Nylig utfelt Al- og Fe-fosfat kan være brukbare fosforkilder for plantene, men blir mindre løselige som følge av forandringer i strukturopbyggingen av mineralene. Et videre utviklingstrinn er at fosfater kan bli omsluttet, okkludert, som nevnt foran.

Figuren viser innhold av lettløselig fosfor, bestemt ved den såkalte laktatmetoden over en 16 års periode etter P-gjødsling. Jord fra ialt 18 steder på Sør-Østlandet ble plassert i små trerammer utendørs ved Inst. for jordkultur, og ble hele tiden holdt fri for plantevekst. Fosfor ble tilført i superfosfat, ialt 20 kg P pr dekar, fordelt over en 4-års periode, såvel på kalket som ukalket jord.



Kurvene viser merinnholdet av lettløselig eller laktatløselig P som følge av gjødsling. Denne delen er noe

større når jorda ble kalket på forhånd, men den avtar fra 25-30% 1-2 år etter gjødsling til 12-13 % etter 16 år. (Ved analyse etter AL-metoden fant en 20-25% lettløselig etter 16 år.) Samtidig utjevnes også forskjellen mellom kalket og ikke kalket jord. Variasjonene i pH mellom steder var stor, og en merker seg også at pH gikk betydelig ned i løpet av 16 år. Selv om laktatløselig ikke er identisk med den delen plantene er i stand til å nytte, viser figuren, for det første 1) at en stor del av det tilførte fosfor, her 3/4, bindes relativt sterkt umiddelbart etter tilførsel, og 2) at det i tillegg skjer en gradvis sterkere binding med årene.

Av faktorer av betydning for tilgjengeligheten av fosfor i jord er allerede nevnt a) jordart og b) pH. Jord med stort innhold av leir vil generelt ha stor kapasitet for fosforbinding, men fosfor kan ofte fastlegges like sterkt på sandjorder. Myrjord med lite mineralinnhold vil stå i en særstilling ved at den inneholder lite av de kjemiske komponentene som binder fosfationer. Karforsøk med rein hvitmosetorv fra Ås, og grasrik hvitmosetorv fra Smøla, har vist at plantene her kan ta opp langt mer av det tilførte fosfor, enn hva som er tilfelle på mineraljord (Sorteberg, Forsk.Fors. Landbr. 1963). Disse myrjordene inneholder svært lite Fe og Al, og i karforsøk må jern tilføres for å motvirke jernmangel på plantene. Ved kalking får en økt Ca-tilgang og muligheter for fastlegging av P som Ca-fosfat.

Forsøksresultater referert nedenfor viser likevel at en eventuell binding til Ca må ha vært relativ svak.

Karforsøk med havre. Hvitmose fra Ås-myra:

	Tilført P	P i havrelo	Opptatt %
300 kg CaO	6	4,6	77
(pH ca 5)	14	11,9	85
	38	31,0	82
1200 kg Ca	6	3,1	51
(pH ca 8)	14	8,0	57
	38	18,1	48

I forsøk på mineraljord vil meropptatt P i prosent av tilført sjelden utgjøre mer enn 10-15%, og selv i flerårige forsøk ofte ikke over 20%. I torvjorda i karforsøket var utnyttelsen av P ved sterk kalking 50% og ved svak kalking hele 80%.

Som antydnet i den grafiske fremstilling s 90 (etter Brady), regnes det med at fosforet i jord er lettest tilgjengelig ved pH-verdier omkring 6 til 6,5. Mange forsøk har også gitt resultater som støtter dette. Likevel synes det å være slik at mengden av fosfationer oppløst i jordvæsken som oftest er minimal nettopp i pH-området 5-6,5, mens en kan finne noe større innhold, såvel ved pH over nøytralepunktet som under sterkt sure forhold. (F.eks. Semb Meld.NLH 1943, Murrmann and Peech S.S.S.A.P.1967) Noe av forklaringen på denne "uoverenstemmelsen" må være å finne i planterøttene

evne til å ta opp fosfationer ved forskjellige pH-verdier. I sterkt sur mineraljord vil fosforopptaket hindres på grunn av tilstedeværelse av  $Al^{+++}$ -ioner, da disse virker som rotgift, og hindrer den videre transport av fosfor til de overjordiske plantedeler. Mange planteslag synes på den annen side å ha problemer med opptak av fosfationer ved høy pH.

c.) Innblanding av organisk materiale kan under visse forhold øke tilgjengeligheten av jordfosfor og av tilført fosfor. Omsetning av slikt materiale gir økt  $CO_2$  produksjon, noe som kan frigjøre fosfor, særlig Ca-fosfater ved høy pH.  $CO_2$  gir pH-senkning ved høy pH, men har liten virkning under sure forhold. Organiske syrer som dannes i jord, humussyrer, vil kunne kompleksbinde, og derved nøytralisere, kjemisk aktive jern- og aluminiumkomponenter.

d) Tilførsel av løselige silikater har i flere undersøkelser, bl.a. ved Rothamsted virket positivt på fosforforsyningen, sannsynligvis fordi dette har redusert muligheten for binding av P til Fe og Al.

e) Ved oksygenmangel og anaerobe forhold vil fosfater, innesluttet av ferrihydroksyder eller utfelt som ferrifosfat, kunne gå i løsning ved at ferrijern ( $Fe^{+++}$ ) blir redusert til ferro  $Fe^{++}$ . Ferroforbindelsene er mer løselig. Dette har nok mindre å si for vanlig planteproduksjon, bortsett fra risdyrking, men tillegges i blant betydning i foruren-

sningssammenheng (sig fra fyllinger etc.)

f) Endelig kan nevnes at radgjødsling med fosfor vil kunne bedre utnyttelsen av tilført fosfor på jord med stor fosfatbindingsevne.

#### Virkning av P-gjødsling på pH

Fosfor i kunstgjødsling er Ca-dihydrogenfosfat i superfosfat, mono- og diammoniumfosfat + noe dikalsiumfosfat i fullgjødsling. Når den vannløselige  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)\cdot\text{H}_2\text{O}$  i superfosfat i jorda felles som  $\text{CaHPO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , eller kanskje  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , blir det frigjort  $\text{H}^+$ . Rundt et gjødslingskorn av superfosfat i fuktig jord er målt pH-verdier helt ned til 1-2. Denne sterke surhet kan løse ut jern- og aluminium som i neste omgang binder P relativt sterkt. Noe liknende må kunne skje med  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , om det er  $\text{Ca}^{++}$  ioner tilstede.  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  (også vannløselig) reagerer derimot alkalisk oppløst i vann. Fosfattilførsel kan imidlertid, som nevnt foran, også føre til utbytting av OH-grupper f.eks. fra amorfe jern- og aluminiumhydroksyder. På lang sikt synes likevel ikke fosforgjødslingslagene å ha noen stor virkning på pH og behovet for kalking.

#### Utvasking og bortvasking av fosfor.

Fosforlekkasje fra jord til vannresipienter er gjenstand for svært stor oppmerksomhet. Fosforinnholdet er ofte minimumsfaktor for algevekst i ferskvann.

På grunn av rask og sterk binding av fosfationer i jord, vil fosforinnholdet i jordvæsken være svært lite. På mineraljord er det derfor små mengder fosfor som kommer til avløp i gjennom grøftevann og sigevann. Ved sterke regnskyl og ved snøsmelting og nedbør på frossen mark kan vannet i stor grad renne av på overflaten. Slikt overflatevann inneholder gjerne mer fosfor enn sigevann/grøftevann. Dette fosforet kan skrive seg fra planterester, og gjødselrester på jordoverflaten, og kan også være direkte bestandeler av jordpartikler som følger med overflatevannet (jorderosjon). Fosfor i jordpartikler kan også i noen grad nyttes av alger. (avhengig av årstid, og sedimentasjonsforhold)

Det er utført en mengde analyser av vann fra grøfter, lysisimetre, bekker, også her i landet. Fosforinnholdet synes å variere en god del, selv om det generelt er lite. Noe av variasjonene kan skyldes analyseteknikken, og måten prøvene er behandlet på. En skiller gjerne mellom innhold av total-P og av  $PO_4$ -P (løst fosfat). Dersom prøvene inneholder jordpartikler, noe som kan være tilfelle også i grøftevann, vil f.eks. syretilsetning i vannprøvene føre til at mer eller mindre av partikkelfosforet kommer med, også som  $PO_4$ -P. I Institutt for jordkulturs feltlysimeter, og grøftefelt på Østlandet og ved Fureneset i Sogn og Fjordane og Mære i Trøndelag, har en ofte funnet  $PO_4$ -P-innhold på 0,01-0,03 mg/l. Mengden pr år og dekar vil da dreie seg om 5-10 gram. I middel for 5 år for grøftevann fra mjelejord

på Hvam, Romerike, var innholdet ca 0,3 mg/l  $PO_4$ -P, eller total-P. Dette heller ikke særlig høyt, sammenlignet med hva en har funnet for enkelte myrjordstyper.

Fra to myrjordsfelt på Smøla er tatt prøver av grøftevann over en 3 års periode. (Sorteberg 1974). Fosforinnholdet i dette vannet var hele 6 mg løst P pr l. Regner en med 400 mm avrenning til grøftene, blir fosfortapet ca 2,5 kg P/daa årlig. Gjødslingen på feltene har vært 3-5 kg årlig, slik at det fosfor som er blitt tilovers etter plantene, synes her å vaskes ut. I sigevann fra udyrket og ikke gjødslet myr ved siden av var fosforinnholdet bare 0,01-0,03 mg/l.

Også for et myrjordsfelt på Voss jordbruksskole var innholdet av fosfor grøftevann relativt stort. I middel for en 6-årig periode ca 0,6 mg  $PO_4$ -P pr l. På den annen side har grøftevann fra myr på Fureneset og Mære bare innholdet rundt 0,03 mg  $PO_4$ -P pr liter i middel for en årrekke. Som nevnt foran under utvaskning av nitrogen, har undersøkelser av Inst. for hydroteknikk på noe større nedslagsfelt vist til dels relativt store tall for fosfortransport, fra jordbruksområder, f.eks. på Jæren. En må regne at en i slike felt også får med fosfortransport som overflatevann, og kanskje til dels også ved jorderosjon.

Innhold og mengde av fosfor transport ved overflatevann er undersøkt separat i feltlysimeterforsøki hellende terreng på As og ved Fureneset:

	Overflatevann)	Konsentrasjon)	Pr dekar
NLH 1975-81 :	i mm pr år	mg PO <sub>4</sub> -P/l	årlig, gram P
Akerparseller	164	0,02-0,13	ca 10
Engparseller	151	0,2 -1,7	ca 60
Fureneset 1973-78 (vesentlig eng) :			
Morenejord	148	0,2 -0,9	ca 60
Myrjord	37	0,6 -3,8	ca 60

Fra parseller med vinterspredd husdyrgjødsel var borttransporten av P med overflatevann langt større. Dette blir nærmere omtalt i hefte II. s 59-64 (1981 utgaven).

På As har overflateavrenningene særlig funnet sted ved snøsmelting på frossen mark i mars-april. På tross av den langt større årlige nedbør ved Fureneset, 1700 mm mot 700 på As, er overflateavrenninga i middel for disse årene minst like store på As. Fra myrjordfeltet på Fureneset var overflateavrenninga liten. Overflateavrenning fra ufrossen mark vil foregå om nedbørsintensiteten er større enn jordas infiltrasjonskapasitet. Infiltrasjonskapasiteten er stor på grasdekket mark, og i innlandsstrøk er det særlig på åpenåker, der jorda slemmes igjen under regnvær, at en får overflateavrenning på tien jord. Under slike forhold kan det også bli stor jorderosjon, særlig i hellende terreng.



Som et eksempel på fosfortap ved jorderosjon kan nevnes at et kraftig regnskyll i juli 1974, ialt 60 mm, førte bort en jordmengde tilsvarende noe over et halvt tonn pr dekar fra en parsell uten plantevekst i feltlysimeterforsøket ved NLH. Denne jorda inneholdt over et halvt kg total-P, mens løst fosfor (PO<sub>4</sub>-P) bare svarte til 6 gram pr dekar. Hellingen på parsellen var 9%.

Fosforinnholdet i nedbøren kan for Sør-Østlandet anslås til 20 g P pr dekar, tilsvarende 0,03 mg P pr liter nedbørsvann. (A/SMiljøplan 1983).

### Fosforbalanse

Fosforbalansen, regnet i kg pr dekar, er for dyrket og gjødslet jord som oftest klart positivt. Jevnt over tilfører vi jorda omtrent dobbelt så mye fosfor som det avlingen tar bort. På jord i dårlig fosfortilstand, og med stor unyttet kapasitet for fosforbinding, kan det i følge flerårige forsøk på Østlandet, være nødvendig å tilføre langt mer, kanskje dobbelt så mye fosfor som det plantene tar opp, for å holde den aktuelle fosfortilstanden vedlike. Fosforinnholdet i jordprøver, bestemt etter den såkalte AL-metoden synes å gi et godt uttrykk for den aktuelle fosfortilstanden, kanskje særlig for jordbunnsforholdene på Sør-Østlandet.

Etterhvert som fosfortilstanden bedres ved stadig overskuddstilførsel, skal det noe mindre fosfor til for å gi den ønskede effekt, såvel for planteavling som for fosfor-

tilstanden. Det er med andre ord lettere å holde den aktuelle fosfortilstanden vedlike når fosfortilstanden er god enn når den er dårlig. For kalium har en helst den motsatte situasjonen. Ved at stort kaliuminnhold øker tapene, ved luksusopptak, og kanskje også ved utvaskning på noen jordarter.

Eksempler på fosforbalanser: Regnskapet over bortført og tilført fosfor i dyrket jord vil inneholde bare noen få poster, og er for såvidt langt enklere enn nitrogenregnskapet. Tilførsel skjer i kunstgjødsel og husdyrgjødsel, og bortførselen som fosfor i avling. Mengdemessig kan en se bort fra tilførselen fra luft, og også utvaskingstap, unntatt som nevnt for spesielle myrjordarter. Av det tilførte, ikke opptatte fosfor vil en varierende del finnes igjen som lettløselig fosfor i jord, og resten vil være bundet i tungt tilgjengelig form.

a. Langvarige gjødslingsforsøk, NLH, 1939-69.

	Opptatt P i avling	Merinnhold i jord (P-AL) etter 30 år
Andel av P tilført i superfosfat i 30 år	20-25%	15%

En har altså funnet igjen bare 35-40% av det tilførte fosfor i avling + lettløselig P i jorda. Resten må, i det alt vesentligste, være som "ikke lettløselig" fosfor.

b. Fireårige forsøk i korn Sør-Østlandet.

Kg P/daa/år i superfosfat	0	1,6	3,2	4,8
	P-AL			
24 forsøksfelt. P-AL ved start 5,21				
Om våren etter 4 år	4,63	5,58	6,37	7,21

1. Uten gjødsling har P-AL avtatt 0,6 mg pr 100 g = 1,2-1,5 kg P/dekar på 4 år. Avlingene har i samme tidsrom antakelig ført bort ca 5 kg P
2. For hver gjødseldose a 1,6 kg = 4,8 kg på 4 år, har innholdet av lettløselig P økt med 0,9 mg/100 g = ca 2 kg P/dekar. Meropptatt P i avling etter stigende mengde P utgjør neppe mer enn 10% av tilført. En stor del, ca halvparten, er nok overført i "ikke lettløselig" tilstand.
3. På grunn av at det også stadig frigjøres P fra jorda, har det her likevel ikke vært nødvendig å tilføre mer P enn det avlingene fjerner for å holde P-AL tallene på samme nivå.

Disse undersøkelsene, i likhet med mange andre, viser den treghet eller buffer som jorda har mot forandring i fosfortilstand. Jord er ingen ideell lagringsplass for verdens knappe fosforressurser. Også av økonomiske hensyn bør fosforgjødslingen til en hver tid tilpasses behovet det vil si tilføres i mengder som gir et rimelig vederlag i form av økt avling.

## X KALIUM

### Kalium i planter

Kalium har en spesiell rolle i planteriket, og utmerker seg blant de livsnødvendige metallkationer både ved et stort innhold i plantene og med hensyn til biokjemiske funksjoner. Som nevnt tas kalium opp i langt større mengder enn det som vanlig svarer til innholdet i den vannmengde som plantene tar opp fra jorda. Selve opptaket er aktivt, d.v.s. kalium kan tas opp og transporteres inne i plantene mot konsentrasjonsgradienter. Innholdet av K er særlig stort i yngre blad, og det prosentiske innhold av K avtar i likhet med N, med plantenes alder og utviklingstrinn. Kalium transporteres lett fra røtter til skudd, og innen de overjordiske deler av plantene. Kalium opptrer i ioneform og tildels oppløst i celledsaften og har stor virkning på osmotisk potensial, og dermed på plantenes vannhusholdning. Det er funnet at god kaliumforsyning gir mindre transpirasjon fra plantene, og mindre vannforbruk pr kg produsert tørrstoff. Kalium spiller også en rolle i åpning og lukning av spalteåpningene i bladene.

Enverdige kationer er nødvendige for aktivisering av minst et halvt hundre forskjellige enzymer i plantene. I de fleste tilfelle er K nødvendig til dette. Na synes å kunne erstatte K til en viss grad, kanskje særlig når det gjelder osmotiske effekter i cellene, f.eks. hos planter av betefam-

ilien. Blant annet gjennom virkning på enzymsystemer er K nødvendig for en rekke livsviktige prosesser i plantene, som proteinsyntese, dannelsen av stivelse, med meget mer. Virkningen av K på fotosyntesen består blant annet i en positiv effekt på transport av fotosyntetiske produkter i plantene. God K-forsyning kan gjøre plantene mer motstandsdyktige mot lave temperaturer, nattefrost, noe som kan ha sammenheng med de osmotiske virkninger av økt K-innhold i celleda. Ved god tilgang på kalium skal plantene også kunne ha høyt innhold av løselige organiske syrer og sukkerarter.

Underskudd på K fører til at potet blir mer utsatt for mørkfarging, både før og etter koking. Slike knoller blir helt uskikket til mat. Ved sterk K-mangel kan støttevevet i plantene bli svakt utviklet, f.eks. slik at kornplantene blir mer utsatt for legde. I midlertid må en her skille mellom særvirkninger av K ved sterk mangel, og muligheten for å oppnå noe ved ytterligere tilførsel av K. De fleste særvirkninger synes å opphøre når tilførselen av K er tilstrekkelig for stoffproduksjonen. F.eks. kan skadevirkning av for stor N tilgang for stråstyrken i korn ikke motvirkes ved at økt gjødsling med kalium eller fosfor, dersom tilgangen på disse stoffer på forhånd er tilstrekkelig for å gi full avling.

Ved overdosering av K vil en få et luksusopptak av dette stoffet, dvs. innholdet fortsetter å øke ut over plantenes behov. Dette er uheldig av flere grunner. K synes å ha stor

evne til å redusere opptaket av andre kationer, (antagonisme). Særlig går det som nevnt tidligere ut over opptaket av Mg. Et stort innhold av K i forhold til Mg og Ca i f.eks. beiteplanter kan medføre graskrampe hos dyrene. Mer om dette under Mg.

Overdosering av kaliumgjødsel har i et større antall forsøk i flere vekster, medført direkte avlingsnedgang, uten at årsakene kan føres tilbake til mangel på magnesium eller kalsium. Det er derfor svært viktig at K-tilførselen tilpasses det aktuelle behov.

Ved kaliummangel, særlig ved sterk mangel, vil plantene i tillegg til redusert avling, vise tydelige symptomer. Det mest karakteristiske for K-mangel er visning og brunfargning, såkalt nekrose, på blad, som oftest langs bladkantene. Hos korn og gras får en avblekning av bladspissene, og disse blir seinere brune.

#### Kalium i jord.

Totalinnholdet av kalium er stort i mineraljord, særlig i leirjord, der det kan være 2-3% eller også større. I myrjord er totalinnholdet relativt lite, bare noen hundredels prosent i tørrstoffet, mens en stor del av total-K er tilgjengelig for planteveksten i rein torv. Det aller meste av K i mineraljord er bundet i krystallgitteret i primære-og sekundære mineraler. De viktigste primære mineraler i den-

ne forbindelsen er ortoklas, biotitt og muskovitt. De sekundære leirmineraler er i norsk jord særlig illitt, men også kloritt og vermiculitt, mens montmorillonitt og særlig kaolin forekommer i mindre utstrekning. Feltspat og glimmer kan inneholde opp til 10% K, illitt 4-6%, mens de øvrige nevnte leirmineraler inneholder relativt lite av kalium. Tilgjengeligheten av K i mineralmaterialet er likevel viktigere enn totalinnholdet. Som eksempel kan nevnes at biotitt gir fra seg mye K ved at krystallgitteret lett brytes ned, mens K-frigjøring fra feltspat er liten selv etter finmaling. Følgende resultat etter Ståhlberg (Acta Agric.Scand. 1960) demonstrerer slike forskjeller:

Prosent av tot-K løst ut av fraksjonen <0,002mm etter koking med 1 normal HCl i 10 min.

Biotitt	99%
Muskovitt	35%
Mikrokline, feltspat	14%
Illitt (fra USA)	24%

Leirfraksjoner fra 8 svenske leirjorder 19-31%

Da dette representerer en svært sterk syrebehandling, må det ikke oppfattes slik at 99% av K i biotitt umiddelbart kan nyttes av planteveksten. Sannsynligvis gir det likevel et brukbart uttrykk for forholdet mellom mineralene.

K-fraksjoner i jord.

En kan skille mellom følgende tilstandsformer for kalium i jord:

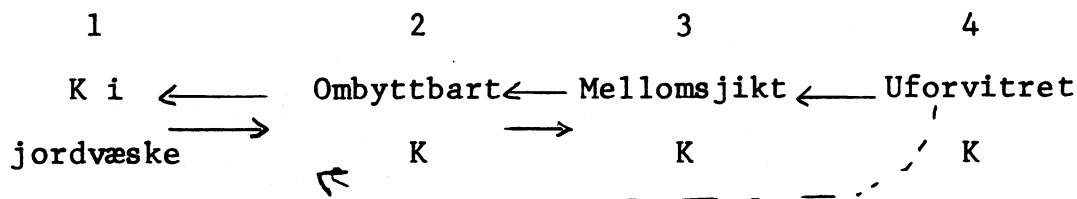
1. Kalium i jordvæsken

2. Ombyttbart K, dvs adsorbent ved elektrostatiske krefter til negativt ladde overflater av leir- og humuskolloider.

3. Kalium fastholdt mellom sjiktene, indre overflater, av visse leirminerale (illitt, vermiculitt m.fl.)

4. Kalium i primære, uforvitrede mineraler. Det er ikke helt skarpe grenser mellom disse fraksjonene. Kalium under 3 og 4 kalles ofte ikke "ombyttbart" kalium.

Likevel skjer det overganger også mellom disse gruppene, og de to først nevnte grupper:



K i jordvæske står i likevekt i første rekke med ombyttbart K. Overgangen skjer umiddelbart og begge disse fraksjonene regnes som tilgjengelige for plantenes næringsopptak. Overgangen mellom 2 og 3 er også likevektsbetenget. Ved fjerning av ombyttbart K skjer det en overgang av K fra mellomsjikt, ofte kalt sjiktgitterbundet-kalium. Denne prosessen tar noe tid og ved fjerning av store mengder ombyttbart K kan det kanskje ta uker eller måneder før en ny likevekt er oppnådd.

Overgangen fra fraksjon 4 er ikke på samme måte likevektsbe-



tinget og reversibel. K som frigjøres ved forvitring kan selvsagt også komme direkte ut i den løste fase uten å gå om fase 3 og 2.

### Mengdeforhold.

Av det totale K-innhold i jorda er bare en liten brøkdel i oppløst form. Eksempel: I en leirjord fant en et innhold på 5 mg K pr liter jordvæske ved kapillær vannmetning. Vanninnholdet var da 35%, dvs. 70 l pr m<sup>2</sup> i sjiktet 0-20 cm. Pr dekar svarer dette til 350 gram K i ploglaget. Omyttbart K dreier seg ofte om 10-20 mg pr 100 gram tørr jord, noe som tilsvarer fra 20-25 til 40-50 kg K pr dekar i ploglaget. Et totalinnhold på 2% K svarer til hele 4-5 tonn K pr dekar i sjiktet 0-20 cm.

### Kaliumfiksering.

Uttrykket kan gis noe forskjellig mening. I kjemisk forstand kan det bety den delen av tilført K til jord som ikke lar seg bytte ut ved en bestemmelse av ombyttbare kationer. Det vil si det kalium som har gått over fra fraksjon 2 til 3 og blitt såkalt „ikke ombyttbart“. Biologisk sett kan imidlertid mer eller mindre av dette kalium frigjøres og nyttes igjen av plantene.

Selve fikseringen har forøvrig sammenheng med K-ionets størrelse. Det har liten diameter, og kan komme inn mellom sjiktene i de sekundære 2:1 leirmineraler. Samme egenskap

har som nevnt  $\text{NH}_4$ -ionet. Dersom jorda er sterkt uttappet på kalium, vil den ha større kapasitet til å binde K (og  $\text{NH}_4$ ) på en slik måte. Tilgjengeligheten av disse ionene vil imidlertid avhenge av hvor langt inne mellom lagene de befinner seg. Når K-ioner inntar posisjoner inne i gitteret, vil sjiktene trekkes sammen. De K-ioner som befinner seg noe lengre inne (i-posisjon), vil være langt mindre tilgjengelig enn de som sitter ute ved kantene (e-posisjon). De siste er likevel ikke så lette å bytte ut som de K-ioner som er fastholdt til overflaten (p-posisjon). (Mengel og Kirkby 1979 s.371)

Fiksering eller overføring av kalium i ikke ombyttbar tilstand, er uheldig bare under forutsetning at dette kalium blir gjort utilgjengelig for planteveksten. I den utstrekning fiksering kan sies å være en oppbevaringsmåte for nyttbart kalium i jord, er derimot fikseringen en overveiende positiv prosess, idet dette vil kunne redusere såvel utvaskning som luksusbruk ved kaliumgjødsling.

I en oversikt fra USA av Barber og Humbert (Fertilizer technology and usage 1963) refereres flere undersøkelser som viser redusert effekt av fiksert kalium for planteveksten. Fra norske forsøk har en ingen direkte bevis for at tilført kalium er blitt bundet så sterkt at det har blitt helt utilgjengelig for plantevekst. På jord med stor evne til å overføre kalium i ikke ombyttbart tilstand, kan likevel behovet for kaliumgjødsel være stort. Særlig for planter

som skal ta opp store mengder kalium på kort tid, kan sannsynligvis frigjøringshastigheten for K fra de "ikke ombyttbare" fraksjoner bli for langsom.

#### Kaliumreserver i jorda.

Mengdene av kalium som plantene kan utnytte på lang sikt, forsøkes i Norge bestemt ved ekstraksjon med kokende salpetersyre. ( $K-HNO_3$ ). Denne K-mengden, fratrukket K-AL som et tilnærmet mål for ombyttbart, representerer, som en skjønner, K fra fraksjonene 3 og 4 (foran). Som nevnt vil en slik syrebehandling kunne løse ut store mengder K også fra K-mineraler. Relativt stort innhold av syreløselig K vil en finne:

1. I de fleste leirjorder, selv om innholdet selvsagt varierer mye mellom leirjordstyper, avhengig av opphavsmateriale og leirmineralsammensetning.
2. I jord oppstått av glimmerrike bergarter kan det være svært stort innhold av syreløselig kalium, selv om leirinnholdet er lite. Slik jord synes være utbredt i visse distrikter i Hordaland og Sogn og Fjordane og enkelte fjellbygder på Østlandet, f.eks. i Nord-Gudbrandsdal. Innholdet av syreløselig kalium synes å gi et bra mål for kaliumtilstanden og behovet for K-gjødsling på lang sikt. I såkalte K-utpiningsforsøk, med 11 jordtyper over flere år i karforsøk, har en bestemt innholdet av syreløselig K ( $K-HNO_3$ ) i jorda ved start og avslutning, samtidig med bortført K i

avlingene. (Semb, Sorteberg og Øien, Acta.Agric.Scand. 1959).

For forsøksledd helt uten K-gjødsling fant en følgende tall for nedgang (=forbruk av) syreløselig K og opptatt K i avling:

Begge tallrekker er i mg K<sub>2</sub>O for 100 g tørr jord:

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

Som en ser er det bra samsvar mellom K opptatt i planter(havre og bygg), og nedgang i syreløselig K i jorda i løpet av forsøksperioden. De store forskjeller i K-leveranser har også sammenheng med at noen jorder ble helt utpint for K allerede etter et par år, mens det for de med de største K-reserver var brukbar vekst uten K-gjødsling i 5 år. Leirinnholdet er størst i jord nr 1 og 3. Jord nr 6 er morenesand med lite leire, men med stort innhold av glimmer.

#### Jorda som buffersystem for kalium.

Jord, i særlig grad leirjord, oppfører seg som et buffersystem, også med hensyn til K-tilstand. Kalium fjernet fra jordvæsken erstattes raskt av ombyttbart K, og forbruk av ombyttbare K-ioner vil over tid, og i større eller mindre grad, kunne erstattes av frigjøring fra de tyngere tilgjengelige K-fraksjoner.

Jordens bufferkapasitet med hensyn til kalium er i blant uttrykt ved ligningen:

$$b = \frac{\text{ombyttbart K (=kvantitetsfaktor)}}{\text{K i løøsning (=intensitetsfaktor)}}$$

Som en måtte vente, har forsøk f.eks. av Mengel og Busch (Soil Sci. 1982), vist at på jord med stor bufferkapasitet (b), kan plantene greie seg med noe mindre K i jordløsningen rundt røttene, enn hva som er tilfelle når det er lite ombyttbart K i forhold til oppløst K.

På tilsvarende måte kan K-forsyningen sikres ved relativt moderat innhold av ombyttbart K (f.eks. K-AL-verdier) dersom innholdet av syreløselig K er stort. I forsøk med K-gjødsling til eng på Østlandet er dette kommet til uttrykk ved at korrelasjonen mellom jordanalyse og meravling ble tydelig sterkere når en inkluderte såvel syreløselig som lettløselig K (tilnærmet lik ombyttbart) i beregningene. (Semb og Uhlen Acta.Agric.Scand. 1955). I tilsvarende forsøk til eng på Vestlandet har ellers innholdet av syreløselig K i jorda vært et sikrere mål for den aktuelle K-tilstand enn lettløselig K (K-AL)

Et eksempel på hvordan K-AL påvirkes av gjødsling og bortførsel av K over noen år er gitt nedenfor. Tallene er middel K-AL for 13 forsøksfelt med årlig K-gjødsling i vårkorn på Østlandet:

Årlig K tilførsel kg/dekar	0	5	10	15
K-AL ved anlegg (vår)	11,6	12,0	11,4	12,4
K-AL høst e.4.avlingsår	8,6	10,4	13,7	17,5
K-AL neste vår	9,7	11,9	14,3	18,1

a. Mengden av ombyttbart eller lettløselig K har en tendens til å holdes vedlike. Nedgangen i løpet av 4 år uten K er 1,9 mg K/100 g, tilsvarende 4-5 kg K/daa, mens det er ført bort med avlingen kanskje 25-30 kg, i korn + halm i løpet av 4 år. Dette K må derfor i det alt vesentlige være skaffet til veie fra tyngere tilgjengelige K-fraksjoner.

b. Frigjøringen av ikke lettløselig K tar noe tid og innholdet i jorda øker derfor fra høst til neste vår, sannsynligvis mest på utpint jord. Sandjord og leirjord kan her komme til å oppføre seg noe forskjellig, både når det gjelder frigjøring av K fra reservene og utvaskning av K over vinteren. (Håland. Forsk. fors. Landbr. 2, 1981.)

#### Kalium i jordvæsken.

Mengden av K oppløst i jordvæsken vil til en hver tid være bestemt av:

a. Mengden av oppløst salt. Stort sett er det mengden av

løselig anioner i jorda som avgjør hvor mye kationer som kan være i den løste fase. Anioner i denne forbindelsen er nitrat, klorid, sulfat og bikarbonat. Andre ioner forekommer i mindre konsentrasjoner. Dersom disse fullstendig oppløste anioner er fjernet ved næringsopptak og utvaskning, vil innholdet av kationer være tilsvarende lite. Sum kationer den egentlige jordvæske = sum løste anioner.

b. Mengdeforholdet mellom K og de andre kationer i jordløsningen kan påvirkes ved gjødsling, men det innstiller seg en likevekt mellom kationer i løsning og de ombyttbare kationer, f.eks. slik etter den såkalte Gapons ligning:

$$\frac{K^+}{Ca^{++}} \text{ ombyttbar} = k \frac{(K^+)}{\sqrt{(Ca^{++})}} \text{ i løsning}$$

Som også omtalt s / 8 vil dette bety at dersom K-mengden, eller aktiviteten i løsningen reduseres til det halve ved fortykning, vil aktiviteten av Ca, og f.eks. Mg, reduseres til en fjerdedel. Dette må skje ved en innbytting av de flerverdige mot enverdige kationer på ombyttingskomplekset ved fortykning. Ved konsentrasjonsøkning skjer det motsatte. Ut fra dette er av Beckett (J. Soil Sci. 1964) forsøke å bruke det såkalte aktivitetsforholdet for kationer i løsning:

$$AR = \frac{a K}{\sqrt{a Ca + a Mg}}$$

som et mål på K-intensitet og tilgjengelighet for plantene.

Dette forholdet i løsning er likevel bare et annet mål på tilgjengeligheten av adsorberte K-ioner i forhold til Ca og Mg. Forholdet har uten tvil betydning for nedvaskning og utvaskning av kationer, og vel også for plantenes forsyning med Mg og Ca. Når det gjelder plantenes opptak av K, derimot, så synes det som dette påvirkes i relativt liten grad av mengdene av andre kationer, som Ca og Mg, i jorda.

Når jordløsningen siger nedover i jorda, vil den som oftest komme i kontakt med jord med en annen kjemisk sammensetning enn i ploglaget. I et feltlysimeterforsøk på Ås har en kunnet sammenligne det kjemiske innhold i grøftevann som har passert bare matjordlaget 0-25 cm med grøftevann etter passering også av sjiktene ned til 90 cm, dvs. vanlig grøftedybde.

Tallene er middel innhold i grøftevann for ett år. Gjødsling og plantevekst har vært lik i de to tilfelle.

Jordart: Moldrik lettleire:

#### Innhold i sigevann i mg/l

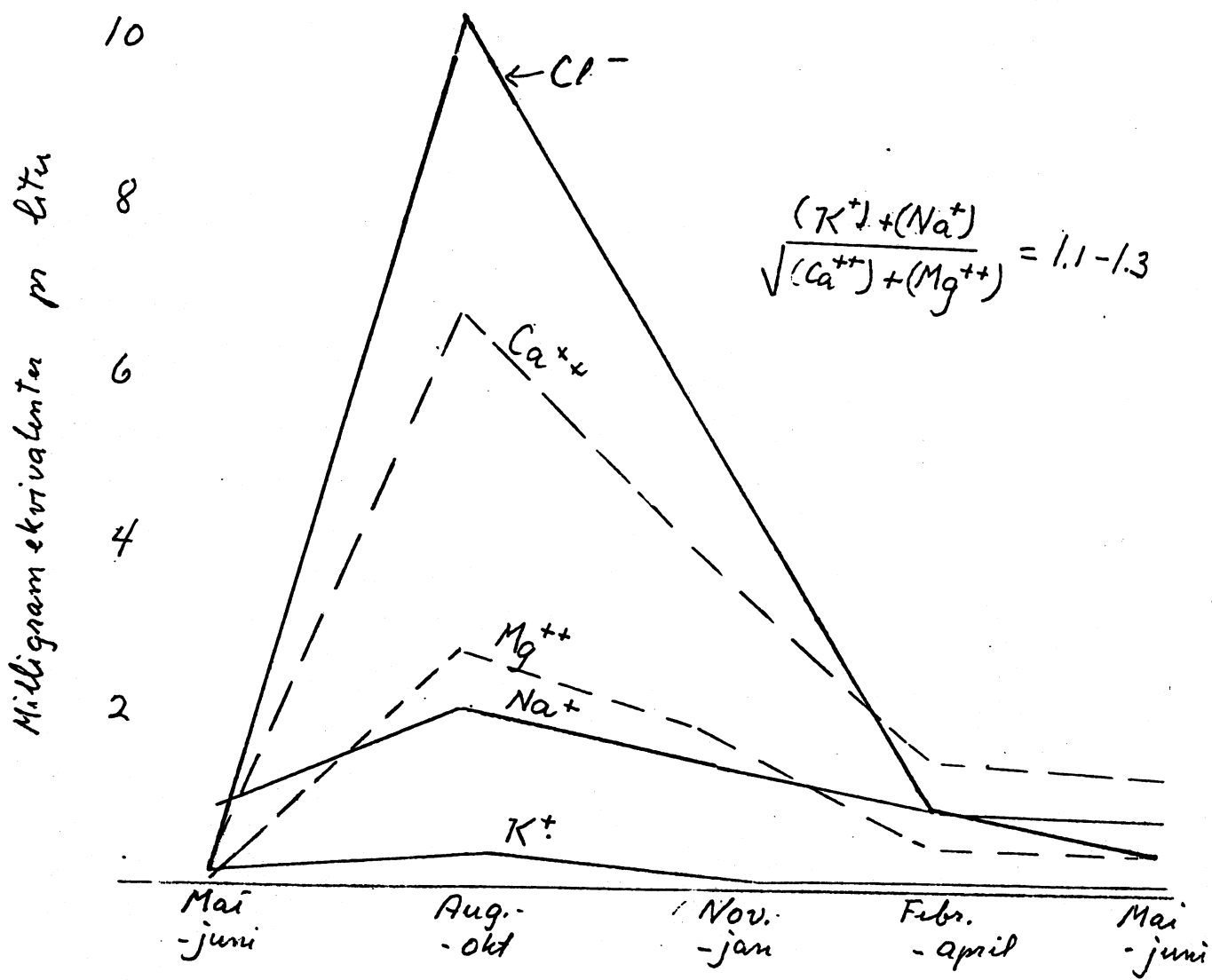
	K	Na	Ca	Mg	NO <sub>3</sub> -N	Cl	SO <sub>4</sub> -S	PO <sub>4</sub> -P
0-25 cm	4,1	4,7	4,7	8,6	22	11	17	0,06
0-90 cm	1,6	8,4	37	11,8	20	13	17	0,03

Som en ser, er K-innholdet i sigevannet redusert på veien nedover, mens Na og Mg-innholdet har økt. Dette er i samsvar med at mengden av ombyttbart K var relativt størst i



matjordlaget, mens f.eks. ombyttbart Mg var 2-3 ganger større i de dypere, leirrikere lag. Mengden av oppløste anioner, med unntak av  $PO_4$ -P, er de samme ved de to grøftedybder.

De adsorberte kationer lar seg ikke bytte ut like lett. Na står i en særstilling ved å være svært lett å bytte ut, og innholdet i løsning er derfor stort i forhold til ombyttbart Na. På jord med stort innhold av illitt kan derimot K være sterkt adsorbent. I det nevnte feltlysimeterforsøket var det mindre K i grøftevann i forhold til K-ombyttbart (ved kjemisk analyse) i undergrunnsjorda, enn hva som var tilfelle for Ca, og særlig Mg. Den sterke adsorpsjon av K i mange leirjorder gjør at utvaskningen av K blir minimal på slik jord, selv etter sterk gjødsling med K.



Figuren viser utvaskning av  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  og  $Cl^-$  i et lysimeterforsøk med moldrik lettleire fra As (Ødelien og Uhlen Meld.NLH 1952). Det ble her tilført en uvanlig stor mengde K-gjødsel 33% (250 kg/daa) om våren 1944. Siden  $Cl^-$  (45% i gjødsla) ikke fastholdes i jorda, har en i løpet av ett år fått vasket ut det meste av det tilførte  $Cl^-$ . Sammen med  $Cl^-$  er det vasket ut en ekvivalent mengde av kationer. Som vi ser, har dette i liten grad vært K som ble tilført sammen med  $Cl^-$ , men i særlig grad Ca og Mg. Årsaken til dette er for det første at særlig Ca dominerer i mengde blant de ombyttbare kationer i jorda. Videre spiller det også inn at den store konsentrasjonsøkning i jordvæsken på grunn av KCl-tilførselen, må medføre en stor absolutt økning av 2-verdige kationer i løsning dersom likevekten  $\frac{(M^+)}{\sqrt{(M^{++})}}$  skal opprettholdes. En beregning av  $\frac{K + Na}{\sqrt{Ca + Mg}}$  i millimol pr liter multiplisert med aktivitetkoeffisienter ga til resultat at denne kvotienten ble den samme i f.eks. prøveperioden august-oktober 1944, med de store konsentrasjoner i drensvannet, som for mai-juni neste år da all klorid synes å være vasket ut. (Uhlen Meld.NLH 29 1978).

#### Tap av kalium i avrenningsundersøkelser.

I de danske drensvannundersøkelser på 15 leirjordsarealer, referert til under N utvaskning, ble det i middel for 1971-81 bortført bare 0,1 kg K pr dekar og år i grøftevannet. Arealene var nyttet til vanlig jordbruksdrift og var gjødslet normalt. I svært omfattende undersøkelser

av grøftevann i Sverige fant Wiklander (Acta.Agric.Scand. 1977) i middel ca 5 mg K pr l(912 prøver). Med 200 mm grøftevann svarer dette til 1 kg K pr dekar og år. Variasjonene var selvsagt store, men store tap av K ved utvaskning er bare funnet etter sterk gjødsling på sandjorder. I sur jord kan K-innholdet i dreneringsvann være stort på grunn av økt forvitring.

I de refererte feltlysimeterforsøk på Ås har mengden av K i grøftevann fra 90 cm dybde vært av størrelsesorden 0,5 kg K eller mindre pr dekar og år, uavhengig av K-gjødsling. I overflatevann kan det tapes svært store mengder K dersom det er spredd husdyrgjødsel på overflaten i vinterhalvåret. Noe kalium vaskes også bort fra planterester, f.eks. på eng, med smeltevann og annen overflateavrenning.

Som eksempel på noe større innhold av K i grøftevann kan refereres til en undersøkelse av Tveitnes (NLVF sluttrapport 252, 1977 og 349, 1980.) I disse forsøk ble tilført tildels store mengder husdyrgjødsel over flere år. I grøftevann fra parseller med korn på sandjord i Rygge var K-konsentrasjonen 11-15 mg K/l for en 6 årsperiode, med en viss økning etter husdyrgjødsling. For mjelejord i Hvam, Akershus var innholder i siste 3 årsperioden 8, 26, og 53 mg K pr l grøftevann, for etter tur kunstgjødsel, 5 og 10 tonn husdyrgjødsel pr dekar, gitt i to av de tre årene. Vekstene var korn og poteter. Slike husdyrgjødselmengder representerer selvsagt en betydelig overdosering, ikke minst med

kalium. Mengden av grøftevann ble ikke målt. Det kan likevel nevnes at 300 mm grøftevann med 50 mg K/l svarer til en total bortførsel på 15 kg K pr dekar og år.

Slike undersøkelser er utført også på myrjord på Voss. Her var K-innholdet ca 10-14 mg K pr l grøftevann i første 2-årsperioden og ca 4-6 i neste 3-årsperiode. Største mengde husdyrgjødsel ga det største innhold. Med det relativt store vannoverskudd en må regne med her (1000-1500 mm nedbør pr år) blir også dette mange kg K tapt pr dekar og år. Som nevnt side 80, er i Institutt for hydroteknikk avrenningsundersøkelser funnet tildels svært store K-mengder i avløpsvann fra jordbruksområder, kanskje særlig på Jæren. I nedbørrikt klima, dvs. stor avrenning i mm pr år vil utvaskningen av kalium bli mer effektiv enn i innlandsklima, der jorda dessuten kan være frossen en stor del av året. Konsentrasjonen av K i grøftevannet vil imidlertid som nevnt måtte avta etter hvert som det oppløste kalium, sammen med nitrat, klorid m.fl. er fjernet. I feltlysimeterforsøk på Fureneset i Sunnfjord (Tveitnes 1980) var konsentrasjonen av K i grøftevann i middel for en 3-årsperiode bare 0,8-2,1 mg K/l for mineraljord og 0,4-1,7 for et myrjordsfelt. Nedbøren var ca 1700 mm årlig disse årene.

Som oppsummering kan sies at mengden av kalium som tapes ved utvaskning vil variere sterkt, avhengig av:

1. Jordart. Leirjord kontra sandjord og myrjord.

2. Tilført K-mengde, overdosering.
3. Klima. Avrent mengde vann, i hvertfall opp til et visst punkt.

#### Kaliumbalansen i jorda.

Den totale bortførsel av K med normale avlinger kan være fra 7-8 kg i korn + halm, 10-15 kg i potetknoller og kanskje opp i 20-30 kg eller mere pr dekar og år i store gras- eller rotvekstavlinger. Selv om vi ikke regner med noen stor utvaskning, blir K-balansen i motsetning til P-balansen, lett negativ. På grunn av den stadige forvitring og frigjøring av K, kan en imidlertid ha en viss negativ K-balanse, uten at den aktuelle K-tilstanden, f.eks. uttrykt ved mengden av ombyttbart K blir dårligere. Dette gjelder selvsagt først og fremst leirjord, og dessuten jord som er rik på glimmermineraler. I et mangeårig forsøk på lettleire på Ås fant en at mengden av ombyttbart K ble holdt vedlike, selv om det ble bortført i avling 3-5 kg K mer pr dekar enn tilført i all gjødsel. (Uhlen, Forsk. Fors. Landbr. 1963). Med stort innhold av lite forvitret leire kan det nok være langt større årlig frigjøring av kalium.

Myrjord og de fleste reine sandjorder inneholder små reserver av kalium. Likvel må en være forsiktig med å overdosere ved gjødsling. Dette både fordi at mye av overskuddskaliumet kan gå tapt ved utvaskning, og fordi overdosering medfører luksusopptak av kalium, iblant også med redusert avling som en konsekvens av dette.

I noen forsøk til eng på Vestlandet fant Lyngstad og Einevoll (Forsk. Fors. Landbr. 1967) at det var lite å vinne i avling ved å øke K-gjødslingen fra 13 til 20 kg K pr dekar årlig (8-10 forsøk på mineraljord). Jordanalysene viste likevel at innholdet av lettløselig K var gått ned fra 18,6 mg  $K_2O$  pr 100 gram, ved anlegg av forsøkene, til 12,7 mg ved avslutning etter 3-4 år, for de rutene som hadde fått 20 kg K pr dekar årlig. Både disse og andre forsøk viser at en må avfinne seg med at K-innholdet går noe ned i engperioden der det tas store avlinger. Forsøksresultatene både fra innlandsstrøk og kyststrøk viser at behovet for og lønnsomheten av K-gjødsling øker utover i engårene. En kan derfor spare på K-gjødsling i 1. og delvis 2. engår og øke mengdene betydelig i eldre eng. Der enga er relativt kortvarig, vil K-tilstanden i jorda kunne rettes opp ved bruk av store husdyrgjødselmengder i ett eller et par år med åpenåker.

Deling av K-mengdene på vårgjødsling og gjødsling etter slått, er å anbefale for å unngå luksusforbruk og uheldig mineralsammensetning i plantene.

På leirjord er K-gjødslingen mindre problemfylt, ved siden av at K-behovet også er mindre enn på sand og myrjord. Overdosering eller forrådgjødsling er likevel ikke å anbefale.

Som et eksempel på K-balanse etter tilførsel av en svært stor K-mengde på leirjord, gjengis fra det før nevnte lysimeterforsøk på Ås (Ødelien og Uhlen 1952).

Av tilført K (83 kg K/dekar):

	Ikke kalket	kalket jord
Merutvasket ca 3 år	1,7 kg	1,9 kg
Meropptatt 3 avlinger	1,5 kg	5,6 kg
Merinnhold i jord:		
Ombyttbart 0-20 cm	38,6 kg	33,5 kg
Ombyttbart 20-40 cm	6,5 kg	6,3 kg
Rest ikke gjenfunnet	34,7 kg	35,7 kg

Da det ikke ble gjødslet med N og P, var avlingene (havre-grønnfor) svært små, særlig uten kalking. Resten som utgjør vel 40% av den store tilførslen, må, bortsett fra en mulig økning i ombyttbart K i sjiktene under 40 cm, ha blitt overført til ikke ombyttbart K i jorda. Ved undersøkelser ble det funnet at denne jorda inneholdt leirmineralet vermiculitt, som har stor evne til å fikserer K. Seinere ble forsøkt å ekstrahere de oppbevarte jordprøver med 1 n kokende  $\text{HNO}_3$ . Merinnholdet av K i matjordlaget bestemt som  $\text{K-HNO}_3$ , var i midlertid ikke større enn merinnholdet bestemt som ombyttbart K. Sjiktet 20-40 cm inneholdt noe mer syreløselig K, 13 kg/dekar, enn de vel 6 kg av det tilførte som kom ved bestemmelse av ombyttbart K. Dette kunne kanskje tyde på at fikseringen av K ikke minst har foregått



i sjiktet under matjordlaget. I midlertid er differansene når det gjelder syreløselig K svært usikkert bestemt i dette tilfelle.

Forutsatt at K tilføres i rimelige mengder, bør en kunne regne med god utnyttelse i form av opptatt K i avlingene. Stort sett utnyttes K mer effektivt i så måte enn N, og særlig P. I noen langvarige gjødslingsforsøk på samme type jord som brukt i lysimeterforsøkene, ble det tilført husdyrgjødsel hvert 6. år og moderate mengder K i kaliumgjødsel 33% årlig. I avlingene ble i løpet av de 12 første år, funnet igjen 45% av tilført K. Forsøket ble fortsatt med gjødsling i 18 år, deretter målte en etter virkning i ca 10 år. I sum for 40 år ble funnet at hele 75% av alt tilført K var bortført med avlingene. Utnyttelsesgraden var her ikke tydelig forskjellig for K i husdyrgjødsel sammenlignet med K i kunstgjødsel.

## XI KALSIMUM OG KALK

En må skille mellom kalsium og kalk. Grunnstoffet kalsium, Ca, er et nødvendig plantenæringsstoff, og har derfor bestemte funksjoner i plantene. Kalk er jordforbedringsmiddel som tilføres for å gjøre jorda mindre sur. Til dette formålet brukes basiske Ca-forbindelser og i noen grad også basiske Ca-Mg-forbindelser. Nøytrale Ca-salt kan ha virkninger på jordstrukturen, men gir ikke nøytralisering og er derfor ikke kalkmidler.

### Ca i planter.

Kalsiuminnholdet varierer sterkt med plantedel og planteslag. Innholdet er størst i blad, og det er ofte lite i frø og lagringsorgan. Se tabell s. 38, f.eks. korn og potetknoller. Tofrøbladete inneholder langt mer Ca enn enfrøbladete. I en blandingseng kan innholdet i kløver være 2-4 ganger større enn i timotei.

Som diskutert foran, vil det ofte være et overskudd av Ca i jordløsningen rundt røttene. Direkte mangel på Ca i jorda kan forekomme, men ellers kan svikt i Ca-ernæringen hos plantene være indirekte. Ca-ionet synes å være svært lite mobilt i plantene. Ca som er opptatt og lagret i eldre blad synes ikke å bli transportert til de nye skudd. Kalsium kan være utfelt også som uopløslig oksalat.

Ved akutt Ca-mangel går det ut over vekstpunkter og nye

skudd som kan visne eller blir misdannet. Forstyrrelser i Ca-ernæringen har sammenheng med at Ca neppe transporteres i plantenes sildeler. (Mengel,1978) Forflytning nedover fra skudd til røtter, foregår derfor i liten grad. Kalsiumtransport til de ulike deler av en plante synes stort sett å være avhengig av vannbevegelsen. (massestrømning). Ved stor luftfuktighet, og nedsatt transpirasjon, f.eks. i veksthus, blir det nedsatt Ca-opptak og Ca-forsyning. Fruktar har lavere Ca-innhold enn blad, noe som settes i sammenheng med ulik transpirasjon. (Marschner,Neth.J.Agric Sci. 1974) Det lave Ca-innholdet i poteter har sannsynligvis en tilsvarende årsak. Imidlertid kompliseres forholdene ytterligere ved at vann med oppløst Ca kan trekkes ut av f.eks. frukter og over i vegetative deler når vannforbruket er stort.

Fysiologiske sykdommer, som skal skyldes Ca-mangel, er griffelrâte hos tomat, prikksyke hos epler, bladrandsviing (tip burn) i salat m.m. Sprøyting med Ca-salt kan hjelpe i noen tilfelle.

Kalsium-ionet synes å spille en rolle for permeabilitet av membraner i plantene, og for celledeling og cellevekst med mer. Ved mangel på Ca vil membraner ha mindre evne til å holde på oppløste stoffer, en får med andre ord større lekkasjer. Tilstedeværelsen av Ca i det ytre miljø rundt røttene synes å stimulere opptak av kalium og andre stoffer. Dette er benevnt Viets effekt (e.Viet. Pl.Physiol. 1944). En forklaring på dette er at virkningen av Ca på membraner

reduserer tapene, slik at nettotransporten inn i plantene blir større.

Selv om Ca-behovet i plantenes ernæring er lite, synes det å være slik at rikelig tilgang på Ca-ioner i jordløsningen er gunstig. Blant annet motvirker dette den skadelige effekt av Al-ioner m.fl. på rotvevet. Stor Ca-konsentrasjon kan også virke stabiliserende på kolloider, i jord og planter. Den sterkt reduserte tilførsel av Ca i jord og hagebruk, på grunn av at bruk av fullgjødsel nå er helt dominerende, kan ha visse effekter, selv på jord i god kalktilstand.

#### Kalsium i jord og kalktilstand.

Det totale kalsiuminnhold i mineraljord er av liten direkte betydning, såvel for Ca-forsyning til plantene som for kalktilstand. Storparten, er i likhet med K, i uforvitret mineralmateriale, feltspat, amfibolitt m. m. Noe anderledes stiller det seg dersom jorda inneholder mye kalsiumkarbonat, noe som likevel ikke er så vanlig for norsk jord fra naturens side. I rein myrjord er Ca-innholdet av større interesse for kalktilstanden, da kalsium her i større grad er reaksjonsdyktig. Som allerede nevnt, er det de kalsiumforbindelser som har basisk karakter som er av interesse når det gjelder kalktilstanden. Innholdet av løselig nøytralsalt av Ca kan derimot ha stor betydning for plantenes opptak.

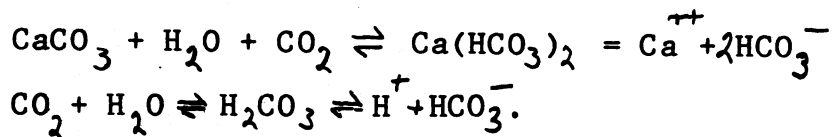
Kalsium i jord kan i likhet med K, grupperes i opløst Ca i

jordvæsken, ombyttbart og ikke ombyttbart Ca.

Kalsium er den dominerende kation blant de ombyttbare basiske metallkationer i jorda og utgjør ofte 70-90% av disse. Siden kalktilstanden kan sies være bestemt av mengdeforholdet mellom basiske og sure kationer på ombyttingskomplekset, vil det være en sammenheng også mellom mengden av ombyttbart Ca og kalktilstanden.

Jordreaksjon og kalktilstand.

1. Jordreaksjon som svarer til pH 7 eller over nøytralpunktet, vil en i humid klima, utvaskingsklima, bare ha dersom jorda inneholder et større eller mindre overskudd av kalsiumkarbonat. I et slikt system vil pH, og oppløseligheten av CaCO<sub>3</sub> i hovedsak være bestemt av CO<sub>2</sub>-trykket:



I CO<sub>2</sub>-fritt vann er CaCO<sub>3</sub> svært lite løselig, men løseligheten øker med økende innhold av CO<sub>2</sub>. I vann tilsatt CaCO<sub>3</sub> vil en ha følgende forhold mellom CO<sub>2</sub>-trykk, pH og oppløst Ca. (e. Russel/1973 s.125)

CO <sub>2</sub> i luft Vol. %	pH i CaCO <sub>3</sub> - suspensjon	Løst Ca m.e /l
0,03	8,4	0,53
0,3	7,8	1,14
1,0	7,3	1,7
3,0	7,0	2,5
10	6,65	3,8

I jordløsninger blir tallene ikke helt de samme, men prinsippet er som ovenfor. Dette betyr at i en jord som inneholder overskudd av CaCO<sub>3</sub>, men som er fri for oppløste salter (f.eks. av alkalimetaller N), vil pH ikke bli høyere enn ca 8. Da jordlufta alltid inneholder mer CO<sub>2</sub> enn det som svarer til innholdet i atmosfæren, (0,04 volumprosent) vil pH i slik jord være en god del lavere enn 8, kanskje også under 7. Like etter en kalking med store mengder CaO eller Ca(OH)<sub>2</sub> vil pH for en kort tid kunne bli langt høyere enn 8. Under aride forhold kan jorda inneholde store mengder av salt. En kan da få et Na-karbonat-hydrokarbonat system med pH kanskje helt opp i 10. Slik jord er helt uskikket for plantevekst.

2. I jord uten innhold av CaCO<sub>3</sub> vil jordreaksjonen være bestemt av sammensetningen av svermen av kationer som omgir de negativt ladde jordkolloider. Dette kolloidkomplekset, med kationer, oppfører seg på mange måter som et salt av en svak syre. Dersom metallkationene suksessivt blir erstattet av protoner, og f.eks. Al-ioner, får leir- og humuskol-

loider i tiltakende grad syrekarakter og avspalter  $H^+$  ved dissosiering. Får en fjernet alle basiske metallkationer i en mineraljord, skal ende opp med en pH-verdi på ca 4 i slik jord. Det hender at jord har enda lavere pH enn dette, i det den kan inneholde fri syre, som oftest svovelsyre. Hvitmosetorv har ellers ofte pH mindre enn 4 uten at den inneholder svovelsyre. Ellers kan såvel organiske som uorganiske avleiringer inneholder svovelforbindelser, som oksyderes slik at det dannes svovelsyre når lufta slipper til.

#### Forsuringsprosesser.

Kalktilstanden i jorda vil i utvaskningsklima være utsatt for en kontinuerlig belastning. Tapet av kalsium og andre metallkationer bli stort, under forutsetning av at det tilføres eller produseres løselige anioner, f.eks. nitrat fra ammonium, og hydrogenkarbonat fra  $CO_2$ . Med nedbør og luft tilføres noe svovelsyre og andre syrer. For jordbruksarealene er det likevel andre prosesser som betyr langt mer enn sur nedbør. Et innhold i nedbøren, som svarer til 1 kg S pr dekar og år, vil teoretisk tilsvare et ekstra kalkbehov på 1,75 kg, regnet som CaO. Syrebelastningen ved produksjon av nitrat fra ammoniumholdige kunstgjødselslag, kan derimot komme opp i 10 ganger så mye som dette pr dekar og år. Produksjonen av  $CO_2$  ved biologisk aktivitet i jorda er svært stor.  $CO_2$ -innholdet i jordlufta blir mange ganger større enn over bakken.  $CO_2$  reagerer med vann og gir, som vist

foran,  $H^+ + HCO_3^-$ . I jord med høy pH vil store mengder  $HCO_3^-$  vaskes nedover sammen med f.eks.  $Ca^{++}$ . Karbonsyre,  $H_2CO_3$  er flyktig, og er også en svak syre. (pH=6,45). Ved pH-verdier under 5 vil det ikke kunne bli nevneverdig  $HCO_3^-$ , og økt  $CO_2$ -produksjon under så sure forhold vil ikke gi ytterligere for-surning.

I jorda produseres organiske syrer som kan vaskes nedover sammen med baser. Av de såkalte humussyrer nevnes i denne sammenheng de vannløslige fulvosyrer. Som nevnt vil oksydasjon av svovelforbindelser kunne gi svovelsyrer, og i kulturjord betyr oksydasjonen av ammonium til nitrat en vesentlig belastning på kalktilstanden. Det produseres 2  $H^+$  for hvert  $NH_4$  som omdannes til  $NO_3$  (se side 62).

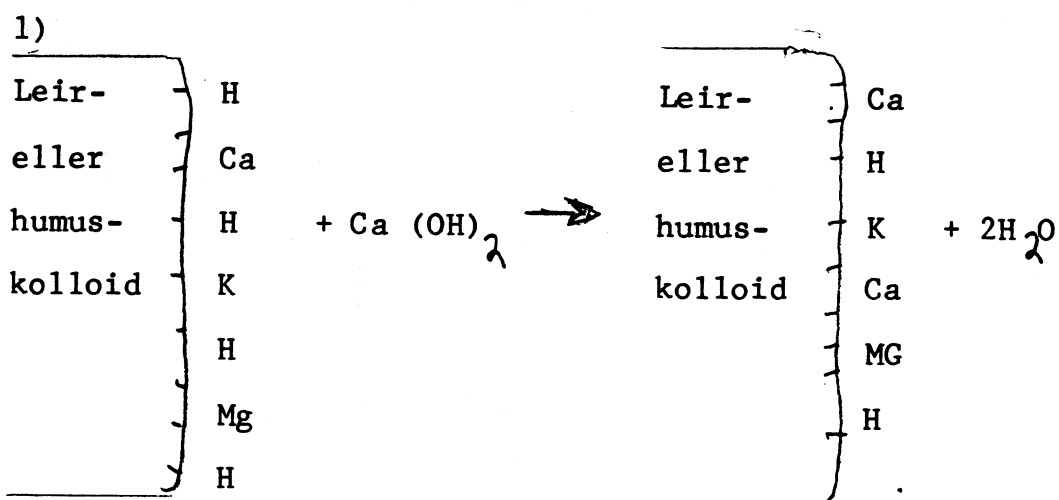
Reduksjonsprosesser i sur jord, av nitrat, sulfat, ferri og mangan, vil medføre pH-stigning, men forholdene må være mer eller mindre anaerobe for at slike prosesser skal finne sted.

### Kalking.

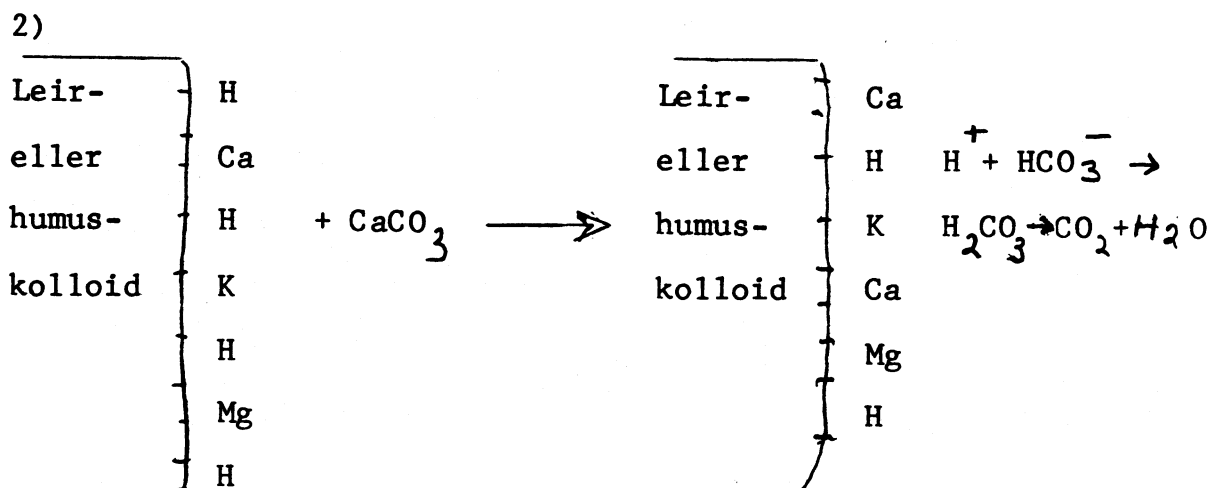
Dette er tilføring av basiske kalsiumforbindelser (vanlig karbonat, oksyd/hydroksyd) og i noen grad er også basiske CaMg-forbindelser aktuelle (dolomittkalk). Det som primært skjer ved kalking er nøytralisering.  $OH^-$  og  $CO_3^-$  fra tilført karbonat, vil legge beslag på  $H^+$ .  $H^+$  og  $Al^{+++}$ -ioner på ombyttingskomplekset blir erstattet av  $Ca^{++}$ .



Skjematisk kan dette fremstilles slik:



Tilført CaO vil først reagere med vann til Ca(OH)<sub>2</sub> (lesking)



Ved tilførsel av ekvivalente mengder CaO, Ca(OH)<sub>2</sub> og CaCO<sub>3</sub> blir resultatet det samme. En får fjernet 2 protoner for hvert Ca-ion tilført, og får en tilsvarende økning i basemetning av kolloidkomplekset. Ved overskuddstilførsel av kalk, altså utover det det er plass til av Ca på kolloidene, vil en få:

a) Økt mengde Ca<sup>++</sup> i løsning sammen med HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-ioner, noe som

gir økt Ca-tap ved utvaskning.

b) Tilføres  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , vil en temporært kunne ha noe større  $\text{OH}^-$ -ion konsentrasjon, høyere pH.

c) Uoppløst  $\text{CaCO}_3$  og overgang til utfelt  $\text{CaCO}_3$  i jorda. Det siste er tilfelle også om tilførselen har vært som  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ved at denne reagerer med  $\text{CO}_2$ .  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . Også ved overdosering av kalk blir derfor, etter en tid, resultatet det samme ved bruk av  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaO}$  og  $\text{CaCO}_3$ .

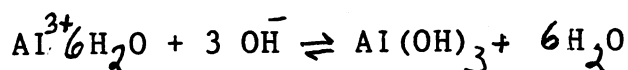
3. Prøver vi å tilføre nøytrale Ca-salt til en sur jord, kan vi få en viss ombytting av  $\text{Ca}^{++}$  på kolloidene mot  $\text{H}^+$ , men vi får ingen nøytralisering av protonene.



I den grad  $\text{Ca}^{++}$  er gått inn i stedet for  $\text{H}^+$ , har vi fått økt  $\text{H}^+$  konsentrasjon og dermed pH-senkning i jordløsningen. En kunne kanskje tenke seg at disse protonene kunne fjernes ved utvaskning, slik at en endte opp med høyere basemetning. Imidlertid er  $\text{H}^+$ -konsentrasjonen, selv ved en svært lav pH, meget liten. pH 4 svarer til 0,1 milliekvivalent (=0,1 mg H pr. l). Bortsett fra helt ekstreme pH-verdier, nytter det derfor ikke å få vasket ut  $\text{H}^+$ -ionene fra jorda. Konklusjonen blir at nøytrale Ca-salt som  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$  og  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  ikke er kalkmidler. Som behandlet tidligere, har likevel  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  en fysiologisk basisk virkning.

For enkelhets skyld opererer en her med  $\text{H}^+$ , protoner, som den sure komponent blant de ombyttbare kationer. I sur min-

eraljord vil en i midlertid i stor utstrekning ha Al-ioner istedet for H<sup>+</sup>. Når pH er under 4,5-5 vil dette særlig være 3-verdige Al<sup>+++</sup>. Ved kalking, pH-hevning overføres Al<sup>+++</sup> gradvis til aluminiumhydroksyd:



noe som legger beslag på en basemengde ekvivalent til 3 H<sup>+</sup>. Det har derfor ingen konsekvenser for kalkbehovet, hvorvidt den sure komponent er ombyttbart H<sup>+</sup> eller ombyttbart, Al<sup>3+</sup>. Dette forutsatt at begge grupper må nøytraliseres for å oppnå den ønskede tilstand. Al-ioner er sterkt giftig for plantene, og lav pH er derfor mer skadelig i jord der aluminium kan gå i oppløsning.

Aluminium representerer forøvrig en vesentlig buffer mot pH-endringen i jord. Ved tilførsel av protoner nøytraliseres OH<sup>-</sup>-grupper som er bestanddeler av mer eller mindre komplekse Al-forbindelser. Tilsvarende representerer Al-ioner og Al-forbindelser en stor potensiell surhet ved kalking.

Mengden av Al i løsning er, under ellers like forhold, en funksjon av pH. Ved synkende pH-verdier under 4,5-5 øker Al<sup>3+</sup> i løsning svært mye. Dersom  $\frac{H^+}{A^{+++}}$  står i likevekt med en stor mengde ombyttbare H<sup>+</sup> og Al<sup>+++</sup> -ioner, vil en økning av H<sup>+</sup> aktivitet på 10 = 1 pH-enhet, føre til en økning av (Al<sup>3+</sup>)

) på  $10^3$ . Når pH nærmer seg 5 og derover, vil det være svært lite Al i løsningen, i det en også får utfelt Al (OH)<sub>x</sub>-forbindelser og polymerer av disse.

I jord med humus og f.eks. i torvjord vil andre buffersystem, som f.eks. COOH-grupper fra organiske syrer, spille en stor rolle. Som nevnt vil vi også ha et bikarbonat-buffersystem, men dette vil bare kunne virke ved noe høyere pH.

#### Tap av kalsium fra jorda.

Kalsium tapes i særlig store mengder ved utvaskning. De mengder av Ca som tas opp og føres bort med avlingen, varierer sterkt med planteslaget. I en kornavling er det lite Ca, mindre en 0,1% i tørrstoff. Grasavlinger kan inneholde 0,4-0,5% Ca i tørrstoff ved 1.slått, og noe mer ved de seinere høstinger. I en stor grasavling kan bortførselen bli 4-5 kg Ca pr dekar, selv uten kløver. En like stor bortførsel vil en kunne ha også i mange korsblomstrede vekster. Kalsium i fórvekster vil i stor grad føres tilbake til jord med husdyrgjødsel.

Utvaskningstapet av kalsium vil være avhengig av klima, jord, kalktilstand og ikke minst av gjødsling.

Siden Ca, som nevnt, er den dominerende ombyttbare kation i jorda, vil særlig Ca<sup>++</sup> følge med dersom sigevannet har et vesentlig innhold av løslige anioner. I dyrket og

gjødslet jord er det særlig  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  og  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $\text{HCO}_3^-$ ) som vil vaskes nedover ved overskudd av vann. Når tilførselen av disse anionene er større enn det plantene kan ta opp, vil en kunne få store utvaskningstap også av kationer, i første rekke Ca. I jord som ikke gjødsles, er hydrogenkarbonat,  $\text{HCO}_3^-$  som oftest den dominerende anion ved relativ høy pH.

I lysimeterforsøk og avrenningsundersøkelser er tap ved utvaskning på 10 kg Ca pr dekar og år nokså normalt, og det finnes eksempler også på langt større tap. I noen eldre undersøkelser av Braadlie (1930) og (1934) er det funnet tap på 20-30 kg Ca pr dekar i middel for 2 år fra leirjord på Voll, nær Trondheim. Fra myrjord kan Ca-tapet bli stort, da  $\text{Ca}^{++}$  gjerne dominerer blant de ombyttbare kationer, også på myrjord.

I de danske grøftevannsundersøkelser, referert til foran, fant en i gjennomsnitt et Ca-innhold på 107 mg Ca pr 1 grøftevann. Den målte grøftevannsmengden var for 15 leirjorder 120 mm pr år i 10 år, noe som gir et Ca-tap på 13 kg/daa/år. I virkeligheten har vel nedtransporten av Ca vært langt større, da bare en del av overskuddsvannet er kommet i grøftene. Som nevnt foran, under kalium, vil Ca-tapet fra matjordlaget kunne være større enn tapet i grøftevann fra ca 1 m dypde. Dette fordi Ca-innholdet ofte er spesielt stort i de øvre lag på grunn av kalking og gjødsling.

Kalsium<sup>tapet</sup> fra jorda øker ved kalking, og særlig ved overdosering av kalk. Årsakene er flere. Økt mineralisering og nitratproduksjonen fra organisk N spiller en rolle. Tilsvarende får en for svovel, der det også betyr noe at sulfat blir mindre sorbert når pH øker. Det viktigste er likevel at mengden av hydro<sup>gk</sup>karbonat i løsning øker sterkt opp mot og over nøytralpunktet. I den første tid etter kalking kan derfor utvaskningstapet av Ca, særlig som oppløst hydrokarbonat, bli stort.

I en engelsk utredning (Gasser Expl. Husb. 25 1973) er årlig tap av CaCO ved utvaskning beregnet til:

Ved pH 5	11,8 kg CaCO	=	4,7 kg Ca
" " 6	23,5 " "		9 " "
" " 7	47 " "		19 " "
" " 8	94 " "		38 " "

Det er imidlertid ikke alltid at Ca-tapet øker så mye ved kalking. I lysimeterforsøk på Ås der det ble kalket med 1000 kg CaCO<sub>3</sub>, regnet pr dekar, fant en ingen økning i utvasket Ca i løpet av de 3 første årene. Dette var en sandholdig lettleire med pH litt over 6 uten kalk. Fordelingen av tilført Ca skulle se slik ut etter 3 år:

Merinnhold i avløpsvann	0 %
" i avling	0,1%
" av ombyttbart Ca 0-20 cm	62,4%
" " " 20-40 "	10,8%

Det blir en rest på 26,7% som kan være økning i sjiktene 40-100 cm. Det tas ellers forbehold om at eventuell uopløst  $\text{CaCO}_3$  i jorda ikke er kommet med ved bestemmele av ombyttbart Ca. (Ødelien og Uhlen 1952)

### Ca-balansen.

Det finnes jord som er kalkrik fra naturens side, f.eks. oppstått av kalkholdige, kambro-silurbergarter, og der kalking ikke er nødvendig. Det normale i norsk jord er likevel at en må sørge for kalking og kalsiumforsyning til plantene. Virkningen av de forskjellige kunstgjødselslag på jordreaksjonen, og på behov for kalking, blir grundigere behandlet i del III. Her skal bare nevnes at mens virkningen av superfosfat og de forskjellige kaliumgjødselslag på kalktilstanden på lang sikt er liten, stiller det seg helt anderledes med de ammoniumholdige kunstgjødselslag. Dette henger, som alt nevnt, sammen med at for hvert  $\text{NH}_4^+$ -ion som omdannes til  $\text{NO}_3^-$ -ion får en produsert  $2\text{H}^+$ -ioner. Pr kg N (atomvekt 14) i ammoniumgjødsel går det med 4 kg CaO (molekylvekt 56). Dette er imidlertid tilfelle bare under forutsetning av at det dannende nitrat blir vasket ut og tar med seg ekvivalente mengder basiske kationer. Dersom nitrat blir opptatt av plantene blir totalbelastningen mindre, på grunn av fysiologiske alkalisk effekt av nitrat. Belastningen på kalktilstanden i jorda av ammoniumgjødsel blir også redusert dersom noe ammonium tas opp direkte, dvs uten å bli nitrifisert.

I fullgjødselslagene, som er de helt dominerende kunstgjødselslag i Norge, er vel halvparten av nitrogenet ammonium, og resten som nitrat. Ved forsøk og beregninger er en kommet til at kalkbelastningen av fullgjødsel kan dreie seg om 0,5 - 1 kg CaO pr kg tilført N (Uhlen, Jord og Myr 3, 1979). Sammen med belastningen fra andre forsuring-sprosesser, som CO<sub>2</sub>-produksjon og annen syreproduksjon, og dessuten bortført Ca i avlinger, er det idag blitt et ganske stort behov for underholdskalking. I en svensk utredning (Ericsson og Bertilsson, Rapp.144 Inst. f. markv. 1982) er dette behovet satt til 15 kg CaO pr dekar og år som et gjennomsnitt for svenske forhold. I vårt mer regnrrike klima, og med enda større forbruk av forsurende kunstgjødsel, bør vi nok regne med minst så store mengder. Uttrykket underholdskalking kan kanskje virke litt forvirrende. Det menes med dette den kalkmengde som må tilføres i middel pr år for vedlikehold, etter at tilstanden først er rettet opp til et noenlunde optimalt nivå. Som vist foran, skal det imidlertid adskillig mer til for å vedlikeholde kalktilstanden ved pH 7 enn ved 5.5. En annen svakhet ved begrepet underholdskalking er at det kan oppfattes som om det må kalkes årlig. Kalking har, og vil vel fortsatt foregå, ved at det gis større doser med mange års mellomrom.

Forbruket av kalk var i Norge ca 3 ganger så stort først i 1980 årene som i 1970, men samtidig er tilførselen av Ca gjennom kunstgjødsel blitt relativt mindre. Tidligere ble brukt mye kalksalpeter, kalkammonsalpeter og superfosfat som



alle inneholder mye Ca.

Nedenfor er gjengitt den relative mengde av Ca, Mg, og S i all kunstgjødsel i Norge i tidsrommet 1950-80. (e. Ødelien og Lyngstad, Jord og Myr 1983). I venstre del av tabellen er innholdet av disse stoffene i kunstgjødsel i 1950 satt til 100, og i høyre del er det relative tilførsler i forhold til tilført N.

	S	Mg	Ca	N	S	Mg	Ca
1950/51	100	100	100	100	55	3,6	191
1959	58	63	81	100	23	1,7	111
1970	81	436	71	100	20	6,9	59
1980	125	626	39	100	21	6,9	23

Mengdene av disse 3 stoffer med kunstgjødsel ble kraftig redusert i 1950-åra. Mg-tilførselen ble i midlertid økt, og S-tilførselen stabilisert, ved tilsetning av magnesiumsulfat til all fullgjødsel i 1960-åra. Tilførslen av Ca har fortsatt å gå noe ned, særlig i forhold til N. Det ble tilført bare 2,5 kg Ca i kunstgjødsel i middel pr dekar i 1980, mot 7 kg først i 1950 åra. Den midlere tilførsel av Ca i kalkmidler i 1980 utgjorde sannsynligvis ca 15 kg Ca pr dekar dyrket jord. Tilførselen av Ca i kunstgjødsel er likevel viktig både fordi den kommer årlig til praktisk talt hele arealet, og fordi det har vist seg at Ca i nøytralsalt kan føre til et større opptak av Ca i plantene. Dette kan være tilfelle også på jord som skulle være i relativ god kalktilstand. Kalksalpeter er sannsynlig særlig effektiv

til å øke Ca-opptaket hos plantene.

### Surjordskomplekset.

Misvekst og redusert vekst i sur jord, kan ha mange årsaker:

1. Direkte skadevirkning av H ioner. I vannkultur har det vist seg at plantene kan vokse og å utvikle seg normalt ved pH-verdier fra ca 4 til 8. Dette betyr likevel ikke at H konsentrasjonen i dette området er uten betydning. Bl.a. virker som nevnt lav pH hemmende på opptak av flere kationer.
2. Giftvirkning av Al, Mn, m.fl. Ved lav pH vil det i jorda være økt innhold av oppløst  $\text{Al}^{+++}$  og  $\text{Mn}^{++}$ , og ved riktig lave pH-verdier kanskje også  $\text{Fe}^{+++}$ . Stor konsentrasjon av  $\text{Mn}^{++}$  og toverdige  $\text{Fe}^{++}$ -ioner er ellers særlig en følge av reduserende forhold, (der betingelsene for plantevekst selvsagt er svært dårlig). Ved Al-forgiftning blir røttene korte, tykke og brune, (rotgift). Det ser ut til at opptaket av Al i plantene likevel er lite. Al felles ut i de ytre lag av rotvevet og på rotoverflater. Opptak av andre stoffer blir sterkt hemmet i slike tilfelle. Ved Mn-forgiftning får unge kornplanter små brune flekker på blad og stengler. Også når det gjelder tungmetaller som Cd og Ni m.fl. vil løslighet, og i noen grad opptak i planter, øke under sure forhold i jorda

3. En viktig årsak til at kalking kan føre til økt vekst, er økt mineralisering og nitrifisering av N i organiske forbindelser. Ikke minst i norske forsøk har en sett slike virkninger av kalking. Som et eksempel refereres en undersøkelse av nitratdannelse i jordprøver ved aerob inkubasjon etter (Semb, Forskn.fors.landbr. 1978). Tallene gjelder kg  $\text{NO}_3\text{-N}$  beregnet pr dekar, i jord tatt ut høsten 1973 fra 10 forsøksfelt i Solør-Odal, der det 3-4 år tidligere var kalket etter følgende plan:

Kg kalksteinsmjøl pr dekar	0	200	400	600	1000
Kg $\text{NO}_3\text{-N}$ pr dekar	4,5	5,6	6,1	7,1	8,6

Som vi ser, har nitratproduksjonen i jorda økt nærmest rettlinjet med kalkmengdene opp til 1000 kg pr dekar i disse forsøkene.

4. Økt frigjøring og tilgjengelighet av fosfor i jord som en følge av kalking, synes å være det mest vanlige i norske undersøkelser. Dette skyldes sannsynligvis ikke minst økt frigjøring av fosfor fra organiske forbindelser. Også stoffer som molybden og svovel vil bli mer tilgjengelig ved kalking. I forsøk har kalk forbedret plantenes evne til å ta opp magnesium når jorda har vært sterkt sur, mens svært store kalkmengder virker i negativ retning på Mg opptaket.

5. Kalkens effekt på de fysiske forhold, først og fremst i leirjord med ugunstig struktur, er til dels tillagt stor

vekt. En stor grad av Ca-metning av jordkolloidene, antas å fremme aggregering, ihvertfall relativt til en metning med  $H^+$  og enverdige kationer. En større stabilitet av aggregatene etter kalking skyldes kanskje i like stor grad økt biologisk aktivitet.

Tilførsel av svært store kalkmengder, (1-2 tonn/dekar) særlig i form av brent kalk, er forsøkt som middel til å forbedre de fysiske forhold i leirjord. (Njøs NJF sem. 1978). Ved at leskingen av kalken foregår i jorda, og ved den seinere overgang til karbonat, kan en her få en ekstra struktureffekt. En slik "overkalking" kan imidlertid ha skadelig effekt på plantevekst, og er også relativt kostbar.

6. Kalking har innvirkning på en rekke mikroorganismer, og dermed på prosesser i jorda som igjen virker inn på planteveksten. En heving av pH i sur jord vil stort sett øke den biologiske aktivitet. Det finnes også eksempler på at kalking hemmer visse organismer, f.eks. klumprotorganismen. Eksempler på sykdomsorganismer som blir fremmet av kalking er f.eks. flatskurv på potet.

Kalkvirkningen i agronomisk betydning er en sumvirkning av kjemiske, fysiske og biologiske effekter. I det enkelte tilfelle er det vanskelig å avgjøre hva virkningen består i.

#### Overkalkingsskade.

Også kalk i vanlig mengder kan virke negativt. Større fare i så måte er det ved overdosering av kalk. En kan si det slik at mens en kalking som øker pH fra 5,5 til 6,5 ikke medfører noen særlig drastiske endringer i kjemiske, fysiske og biologiske, forhold, så vil en kalking som bringer pH helt opp mot 8 være noe helt annet. Det gis mange eksempler på at kalking av sterkt sur jord, med pH under 5, direkte opp til pH 7-8 kan resultere i misvekst. Dette kan være forbigående. Mikrolivet i jorda må innstille seg på en ny situasjon, og omsetningen kan kanskje ta andre veier. I karforsøk er funnet store tap av N i gassform ved slik overkalking. Flere ettervirkninger av overdosering med kalk kan på den annen side bli svært langvarige, eller merkes først etter noen år. Dette gjelder ofte virkninger som har sammenheng med at tilgangen på flere mikronæringsstoffer blir dårligere ved høy enn ved lav pH. Dette gjelder i første rekke B, Mn og Zn, i noe mindre grad for Cu og Fe. (I torv har vi her i landet imidlertid også fått Fe-mangelklorose ved manglende kalking.)

Den høye konsentrasjonen av oppløst Ca ved overkalking, har ofte gitt tydelig reduksjon av Mg-opptaket og synlig Mg-mangel. K-opptaket synes derimot å være lite påvirket av kalking. Det har vært hevdet at dersom K-tilstanden er dårlig, kan kalking forverre forholdet. Kalking medfører sterkere adsorpsjon av K, og kanskje også økt fiksering.

Den sterkere omsetning av organisk materiale og dermed

frigjøring av næringsstoffer en får ved kalking, kan sies å representere et økt forbruk av reserver i jorda. Likevel er det nok bare på enkelte myrjorder at slike hensyn må tas. Ved dyrking forbrukes myrene, og myrsvinnet øker ved kalking. Det gamle ordtak om at kalking gir rike fedre, men fattige sønner, kan vel stort sett settes ut av kraft, med de muligheter vi i dag har for regulering av næringstilstanden i jorda.

De enkelte veksters krav og behov for kalking blir behandlet i del III.

## XII. ANDRE NÆRINGSSTOFFER ENN N, P OG K

I dette avsnitt skal vi ta en kort oversikt over de andre mineralske plantenæringsstoffer og enkelte andre stoffer som har en viss interesse fra vekst dyrkingssynspunkt. 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.

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 førproduksjonen 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, f.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 kalium, dvs. mangelen er kaliumindusert. 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 ved begge endringer samtidig. En tilsvarende antagonistisk virkning på magnesiumopptakingen kan en også få ved tilførsel av  $\text{NH}_4^+$ , hvis ammoniumet ikke blir nitrifisert. Noen tall for innholdet av magnesium i avlingen fra et 5-årig karforsøk ved Institutt for jordkultur viser dette. (Sorteberg i Forskn. fors. landbruket, 1974, 537-558.) Forsøksjorda var hvitmose-torv fra Ås-myra der nitrifikasjonen av tilført ammonium-N har vært liten i hvert fall de første årene.



	Mg i lufttørr avling
Uten Mg	0,15%
Med " (sum ca. 20 kg pr. dekar)	0,20"
12 kg K årlig pr. dekar	0,22%
24 " " " " "	0,14"
Nitrogen som $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0,20%
" " $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0,15"
350 kg $\text{CaCO}_3$ pr. dekar 1. året	0,25%
700 " " " " " "	0,25"

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 klorioner og sulfationer som kommer i jorda med kaliumsaltene, blir i humid klima vasket ut sammen med ekvivalente mengder av metallioner, først og fremst  $\text{Ca}^{++}$  og  $\text{Mg}^{++}$ .

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, $\text{g/m}^2$ .....	0	3,5
Bortført Mg i avling, " .....	1,0	1,2
" " " avløpsvatn, $\text{g/m}^2$ ...	4,2	13,8
Balanse .....	-5,2	-11,5

Wiklander fant i de 358 svenske grøftfelter at det i middel ble utvasket 2,4 kg Mg pr. dekar og år, mens utvaskingen fra de 15 danske grøftfelter i middel var 0,8 kg (var. 0,4-1,9 kg).

Magnesiuminnholdet i nedbøren avtar fra kysten og innover i landet. Låg fant i sine nedbørsundersøkelser at for 7 stasjoner var innholdet mindre enn 0,1 kg pr. dekar, for 4 stasjoner var innholdet mellom 0,1 og 0,4 kg, mens for en stasjon (Lista) var det oppe i 1,7 kg. Med tanke på hva plantene får, må en ha i minne at jord (og planter) også får noe Mg fra lufta utenom det som kommer i nedbøren.

Magnesiummangel skyldes altså dels naturlige jordegenskaper, (stedets beliggenhet, nedbørsforhold m.m. 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 et sterkt podsollert, fin sandjord med pH ca. 4,5. Veksten var havre.

Forsøksbehandling	Lufttørr avling, g pr. kar, av		Mg-innhold i loa	
	lo	korn	%	mg pr.kar
a. N, P og K i kjemikalien	3,3	0	0,025	8
b. Husdyrgjødsel	58,7	26,3	0,071	42
c. Som <u>a</u> +Cu,Mn,Fe,B og Mo	3,8	0	0,024	9
d. " "+Mg	57,2	26,6	0,115	66
e. " "+kalk	62,8	27,2	0,059	37

Mengden av husdyrgjødsel i ledd b svarte til mellom 6 og 7 tonn, magnesiummengden i ledd d til 100 kg magnesiumsulfat og kalkmengden i ledd e til 600 kg CaCO<sub>3</sub>, alle mengder pr. dekar.

Den gode virkning av husdyrgjødsel må skyldes at husdyrgjødsel inneholder litt Mg. Kalken har ført til betydelig økning ikke bare i opptatt Mg i alt, men også 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 USA, Australia og New Zealand. I seinere tid 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.

Svovelinholdet 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 sulfation.

I humid klima taper jorda årlig ganske store svovelmengder ved utvasking av sulfation. I lysimeterforsøk på Ås 1938-42 inneholdt avløpsvatnet i middel 3,25-6,25 g S pr. m<sup>2</sup>. 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 av J. Låg 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.

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.

Husdyrgjødsel inneholder noe svovel. Det relative svovelinnhold er størst i urin. For gjødselprøver uttatt i tilknytning til gjødslingsforsøk på Sør-Østlandet i tiden 1950-65 fant en et middelinhold på 0,08% S. Variasjonen var stor. Gjødselprøvene var i det vesentlige fra storfe, fast og flytende oppbevart sammen, men det var også med endel prøver fra fast gjødsel der urin var skilt fra.

Nyere analyser av balutgjødsel (23 prøver fra storfe) viste i middel 0,05% S. Det er således klart at på bruk med noe husdyrhold blir en ikke ubetydelig mengde svovel tilført jorda med husdyrgjødsel.

Svoveltilførselen med handelsgjødsel er blitt preget både av hvilke gjødselslag som er brukt, og hvor sterkt det er gjødslet. Tilførselen av svovel i handelsgjødsel har i de siste ca. 20 år vært (mengdene i tonn S avrundet til nærmeste 100 t.):

				Middel
1955/56	1960/61	1965/66	1970/71	1973/74-1974/75
18.000	12.400	10.800	17.500	20.200

Nedgangen fram gjennom 1960-årene gjenspeiler særlig reduksjonen i bruk av superfosfat, mens stigningen fra midt i 1960-årene dels skyldes at all fullgjødsel etter hvert er blitt tilsett svovel, dels at forbruket av handelsgjødsel er økt sterkt.

Den totale tilførsel av svovel både i husdyrgjødsel og handelsgjødsel nærmer seg nå sannsynligvis 30.000 tonn årlig, slik at det nå i middel tilføres 3-3,5 kg S pr. dekar dyrket jord. Dette er det to-tredobbelte av hva en avling i middel fører bort. Et relativt høgt svovelinnhold i noen av handelsgjødselslagene gjør imidlertid at mye av en slik overskuddsdosering raskt vil bli vasket ut. Med det innhold av svovel som nå finnes i alle fullgjødselslag og også noe svovel i nedbør og nedfall fra lufta, er det sannsynlig at svovelmangel ikke lenger betyr noen fare av betydning, selv om en ikke kan

se bort fra spredte tilfelle. (Utslag for svoveltilførsel har forekommet også i seinere tid en og annen gang på instituttets forsøksfelter.)

Fra da. 1960 er svovelmangel her i landet påvist både i kar- og markforsøk. I karforsøk ble det 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 tatt 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.

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

### XIII Mikronæringsstoffer

Mikronæringsstoffer er like nødvendige for plantene som makronæringsstoffene, men trengs i langt mindre mengder. Det var først i årene etter 1920 at plantenes behov for mikronæringsstoffer gradvis ble kjent. Utviklingen er vist i følgende tabell (Viets, 1972).

Tabell . Tidspunkt for klarlegging av behovet for de ulike mikro-næringsstoffer.

Element	Nødvendig for	Behov påvist av	År
Fe	Alt planteliv	Sachs	1860
Mn	" "	Mc Hargue	1922
B	Høyere planter	Sommer og Lipman	1926
Zn	Alt planteliv	Sommer og Lipman	1926
Cu	" "	Sommer	1931
Mo	" "	Lipman og McKinney Arnon og Stout	1931 1939
Cl	Høyere planter	Broyer et al	1939
Na	Blågrønne alger	Allen og Arnon	1954
	Atriplex (melde)	Brownell og Wood	1957
Co	Blågrønne alger	Holm-Hansen et al	1954
	Rhizobia	Ahmed og Evans	1960
		Reiseneuer	1960
V	Grønnalger	Arnon og Wessel	1955

Det er de 6 første elementene i tabellen som er av interesse når det gjelder gjødsling til jord- og hagebruksvekster. Av de 6 er det bare B som tilføres regelmessig over hele landet og på all slags jord. Fe, Mn, Cu, Mo og muligens Zn kan det bli underskudd av på spesielle jordarter. Mangelområdene er likevel begrenset, og på større deler av vår dyrkede jord er det sjelden behov for regelmessig gjødsling med mikronæringsstoffer, bortsett fra bor.

#### Egenskaper, funksjoner og mengder i plantene.

Mikronæringsstoffene Fe, Mn, Zn, Cu og Mo er alle tungmetaller, mens klor hører til halogengruppen. Alle tungmetallene har funksjoner

som bestanddel av enzymkomplekser i cellene. Livsviktige prosesser i plantene hemmes eller stopper dersom ett eller flere mikronæringsstoffer mangler. Hvert av stoffene kan være nødvendig for flere prosesser i planten. Som eksempler på de enkelte stoffers funksjoner kan nevnes at Fe og Cu er nødvendige for klorofylldannelsen, Mn, Cu og Cl for fotosyntesen, Zn i nitrogenstoffskiftet og Mo trengs ved reduksjon av nitrat i plantene.

Hvilken rolle B har er mer usikkert, men det antas at det er nødvendig for blant annet celleveggdannelse og proteinsyntese.

Mangel på et næringsstoff kan gi seg utslag i form av mer eller mindre karakteristiske symptomer på plantene. Klorose på hele eller deler av plantene, tomaks, ekstra busking, døde vekstpunkter, skader inne i eller utenpå knollene er blant de kjente mangelsymptomene. En nærmere beskrivelse er gitt under behandlingen av hvert enkelt stoff.

Mengdene av mikronæringsstoffer plantene trenger er bare ca 1/1000 av det de tar opp av makronæringsstoffer. I avlinger fra et dekar blir det normalt ført bort 1-50 g, noe mer av Fe, som vist i følgende oversikt.

Næringsstoff	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
g/daa i avlingen	100-300?	30-50	10-40	5-50	3-10	0,5-2

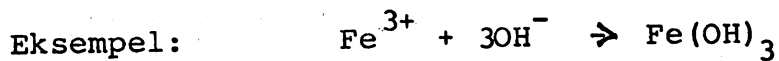
#### Mengder og binding i jorda.

Enkelte jordarter som hvitmosetorv og særlig næringsfattig sand kan inneholde så lite mikronæringsstoffer at regelmessig tilførsel av flere av dem er nødvendig. Mer vanlig er det likevel at jorda har et så stort forråd at regelmessig gjødsling med mikronæringsstoffer ikke er nødvendig. Mangel kan likevel oppstå også på jord med et betydelig innhold, dersom stoffene er bundet i en form plantene ikke kan nytte.

Forhold som påvirker mikronæringsstoffenes tilgjengelighet for plantene er: Innholdet av organisk materiale, pH og luftvekslingen i jorda. Sink, Mn, Fe og spesielt Cu kan bindes sterkt til enkelte organiske forbindelser i jorda. Koppermangel oppstår ikke sjelden

som følge av sterk binding til organiske stoffer.

De fleste mikronæringsstoffer tas lettere opp av plantene ved lav enn ved høy pH. Dette gjelder alle mikronæringsstoffer, bortsett fra Mo (og Cl). Ved lav pH vil Fe, Mn, Cu og Zn opptre i ioneform, som er lett nyttbar for plantene. Ved høyere pH vil de overføres til oksyder eller hydroksyder, som er tungtløselige.



Lett tilgjengelig    Lite tilgjengelig

Oksydasjonen av Fe og Mn kan skje under medvirkning av mikroorganismer, og er avhengig av aerobe forhold. Kalking og løsning av jorda kan derfor bidra til mangel på mikronæringsstoffer.

Det optimale pH-område for tilgangen på mikronæringsstoffer varierer en del fra stoff til stoff, men ligger for de fleste i pH-intervallet 5.0-6.0. Optimum for Mo er over 6.5 og for Fe under 5.5.

På svært sur jord kan konsentrasjonen av enkelte mikronæringsstoffer, i første rekke Mn og Fe (og Al), bli så høy at planterøttene skades. Toleransen overfor overdosering, og avstanden mellom mangel og forgiftning er langt mindre for mikronæringsstoffer enn for N, P, K, Mg, Ca og S.

Mens metallkationer kan bindes til kolloider og ved utfelling av tungtløselige oksyder og hydroksyder, har anioner av mikronæringsstoff, som molybdat, lignende bindingsmekanismer som fosfat. Flere mikronæringsstoffer kan bindes meget sterkt i jorda. Metallkjelater er organiske forbindelser som har bundet til seg metallkationer. Kationene blir dermed beskyttet mot fiksering i jorda, men de er likevel relativt lett nyttbare for plantene. Det finnes både naturlige og syntetiske kjelater. Forbindelsene EDTA (etylendiamin tetraeddiksyre) og DTPA (dietyltri-amin pentaeddiksyre) er eksempler på organiske forbindelser som kan binde ett eller flere av tungmetallene Fe, Zn, Mn og Cu.

Mangel på mikronæringsstoffer kan oppstå som følge av konkurranseforhold med andre stoffer. Sterk fosforgjødsling kan føre til mangel på Fe, Zn og Cu. Overskudd av ett mikronæringsstoff kan gi mangel



på ett eller flere andre mikronæringsstoffer. Overskudd av Cu, Mn eller Zn kan for eksempel gi mangel på Fe, og opptaket av Mn kan bli redusert av Fe, Cu og Zn.

### De enkelte mikronæringsstoffene.

#### Bor (B)

##### Bor i jorda

Mengdene av B i jorda er ikke store. Det er i litteraturen angitt tall fra 0.5 til 25 kg B pr daa i matjordlaget.

Bor forekommer i jorda i flere former. Et kjent borholdig silikat er turmalin, som er tungt løselig og til liten nytte for plantene på kort sikt. Borsyre ( $H_3BO_3$ ) og borater finnes i jordvæsken eller er adsorbent til jordpartiklene. Bor i jordvæsken, vesentlig i forbindelsen  $H_3BO_3$  og  $H_2BO_3^-$ , kan nyttes raskt av plantene.

Ved lav pH vil B være utsatt for utvasking. Bormangel er særlig knyttet til myr-, sand-, og grusjord i strøk med regelmessig utvasking (podsolert jord). Det er følgelig store områder i vårt land der jordbunns- og klimaforhold disponerer for bormangel.

Det har vist seg at mangel også kan opptre i strøk med lite nedbør, og på mer finkornet jord. Dette skyldes at en større del av borreservene er bundet i forbindelser som plantene bare over lengre tid kan få nytte av.

Kalking gjør bor i jorda tyngre tilgjengelig på grunn av at adsorpsjonen til kolloidmaterialet øker i styrke opp til pH 7-8. I tillegg kommer at Ca kan hemme plantenes boropptak som følge av fysiologisk antagonisme mellom B og Ca. En bør derfor være forsiktig med kalking til vekster som krever mye B, særlig på jord som disponerer for bormangel.

Borinnholdet er ofte høyt i marine avleiringer. Dette forklares ved at sjøvann inneholder B, i middel ca 5 mg pr kg. Moldrik leirholdig jord har ofte stor evne til å forsyne plantene med B.

## Bor i plantene.

Bor blir tatt opp trolig i form av boration eller som udissoiert borsyre. Funksjonene B har i plantene er langt fra fullt klarlagt. Det er i motsetning til andre mikronæringsstoffer, ikke aktivt som bestanddel av enzymsystemer. Det er derimot funnet at B har betydning for sukkertransporten, for syntesen av nukleinsyrer, for dannelse og differensiering av cellene og for flere andre viktige prosesser, blant annet frøsetting.

Plantenes borbehov er av størrelsesorden 5-50 g pr daa årlig. To-frøblada vekster har generelt større borbehov enn enfrøblada. Forsøk og praktisk erfaring har vist at kålrot, beten, nepe, gulrot, blomkål, selleri, raps og belgvekster har et større borbehov enn korn og gras.

Bormangelsymptomer er utførlig beskrevet og avbildet i ulike publikasjoner, blant annet Bergmann og Neubert (1976). Enkelte av de mest vanlige symptomer kan kort beskrives slik:

Vekster	Symptomer
Kålrot og nepe	Vasne, gråbrune partier i røttene. Besk smak. Mangler ytre kjennetegn.
Rødbeter, fôr- og sukkerbeter	Sår og sprekker i skallet på knollen.
Gulrot	Rota sprekker opp - utvrent sentralsylinder
Bygg	Sterk busking, hemmet strekningsvekst og akssetting.
Blomkål og hodekål	Langstrakte hulrom i stengelen.
Epler	Brune flekker og sprekker på frukten. Kantete form.

Felles for flere arter er at vekstpunktene i sentrale skudd blir ødelagt. Plantene setter da nye, svakere sideskudd, og får et mer busket utseende, med få aksbærende skudd. Røttene kan også ha symptomer på veksthemning i form av fortykkelser. Bormangel synes å føre til svake cellevegger, og dette forklarer vattersott hos rotvekster og de nekrotiske flekkene på frukt. En annen følge av bormangel skal være redusert transportevne for sukker.

#### Gjødsling med bor.

Bor er det mikronæringsstoff som det oftest er underskudd av i vårt land, og det er derfor gjennomført relativt omfattende forskningsvirksomhet for å klarlegge behovet. En oppsummering av bormengder i aktuelle gjødselslag og preparater er gjort i følgende tabell.

#### Innhold av B i en del gjødselslag og preparater.

<u>Gjødselslag/preparat</u>	<u>Formel</u>	<u>Innhold av B</u>
Husdyrgjødsel	-	3-8 g B pr tonn
Fullgjødsel, alle typer		20 g B pr 100 kg
Kalksalpeter m.B		300 g B pr 100 kg
Boraks	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	120 g B pr kg
Solubor	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	205 g B pr kg
<u>Preparater ikke i handel 1983</u>		
Borsyre	$\text{H}_3\text{BO}_3$	180 g B pr kg
Colemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	160 g B pr kg

Sammenligner vi bormengden i avlingen (5-50g) med innholdet i vanlige gjødselmengder, vil det framgå at vi i husdyrgjødsel og fullgjødsel tilfører tilnærmet de mengder avlingen tar bort. Kreves det mer enn vedlikeholdsgjødsling med B, vil borholdig kalksalpeter eller et rent borpreparat være aktuelle. Borholdig kalksalpeter er i mange tilfelle det enkleste å bruke, men kreves det bortilførsel uten samtidig gjødsling med N, må vi velge et rent borsalt. Skal det brukes sprøyting, kan det brukes en 0,5-1% oppløsning av boraks eller solubor.

Kulturplantenes toleranse overfor større mengder B varierer sterkt. Lite tolerante arter er bygg og hvete. Tilførsel av større mengder B året i forveien har i enkelte tilfelle gitt borskader hos bygg og

hvete. Vannløselig B vil imidlertid raskt gå over i mer tungtløselige former, og borskader er derfor ikke mye utbredt hos oss. Det er likevel viktig å unngå overdosering av B, og å sikre en jevn fordeling av stoffet.

Jordanalyser for B er lite brukt her i landet, men en del analyser utføres hvert år. Statens jordundersøkelser bruker (1983) følgende foreløpige grenseverdier for bormangel i jord:

Leirjord	<0,6 mg B pr kg lufttørr jord
<u>Sandjord</u>	<u>&lt;0,3      -- " --</u>
All jord (middeltall)	<0,5      -- " --

### Kopper (Cu)

Amerikanerne Sommer og Lipman beviste i 1931 at Cu er et plantenæringsstoff. Flere år tidligere var det imidlertid kjent at tilførsel av koppersulfat hindret gulspiss-sjuka hos korn. Det er seinere klarlagt at gulspiss-sjuka skyldes koppermangel. Tidligere antok en at gulspiss-sjuka hadde sin årsak i uheldige jordbunnsforhold.

#### Kopper i jorda

Kopper forekommer mest i toverdigg form ( $2^{2+}$ ) i jorda. Fordi Cu er lite løselig, er konsentrasjonen i jordvæsken svært lav.

Kopper bindes i jorda ved sorbsjon til organiske og uorganiske kolloider, det fins i gitteret til enkelte mineraler, og som utfelte, tungt løselige salter av karbonater, fosfater og sulfider. Kopper er sterkt bundet til organisk stoff i jorda, enda sterkere enn andre mikronæringsstoffer.

Fordi de fleste kopperforbindelser i jorda er tungtløselige, blir bevegeligheten liten. Ved jevn koppertilførsel gjennom noen tid kan det derfor skje en opphopning av Cu i de øverste jordlagene.

Kopper er lettest nyttbart for plantene i pH-området 5,0-6,0, og bortsett fra sterkt sur jord, vil kalking minske tilgjengeligheten. Som årsaker til den svakere løselighet ved høy pH er antydnet sterkere bin-

ding til kolloidmaterialet eller økt utfelling av tungtløselige salter.

Lavt kopperinnhold i jorda er funnet mange steder her i landet. Et større koppermangelområde utgjør de ytterste kyststrøk i Vest- og Nord-Norge. Siltjorda på Romerike og i Solør, deler av raområdene i Vestfold og Østfold og elvesandsletter kan også ha lavt kopperinnhold. Det er likevel ifølge Semb og Øien (1966) også eksempler på at silt og sand kan ha et tilfredsstillende kopperinnhold. Innholdet av Cu i bergarten jorda er oppstått av har stor betydning for kopperinnholdet i jorda. Eksempelvis er jord fra sparagmittområder fattig på Cu, mens jord fra områder med forekomst av koppermineraler kan ha høyt innhold.

Leirjord har ofte tilfredsstillende kopperinnhold, og generelt er arealene av dyrket jord som trenger koppergjødsling mindre enn arealer som må gjødsles med B.

#### Kopper i plantene.

Kopper er en nødvendig bestanddel av flere enzymssystemer, blant annet oksydaser. En stor del av kopperet i plantene finnes i kloroplastprotein. Koppermangel fører til hemmet proteinsyntese, unormal karbohydratomsetning, og dårligere befruktning. Innholdet av Cu i plantene er normalt av størrelsesorden 2-25 mg Cu pr kg. Ved overdosering kan innholdet komme opp i 40-50 mg pr kg eller mer, og føre til skade på plantene.

Transporten av Cu i plantene går langsomt, og mangel oppstår derfor gjerne først på de yngste bladene. I en mangelsituasjon vil innholdet være høyere i eldre enn i unge plantedeler. Det er først og fremst korn som er utsatt for koppermangel. En del karakteristiske mangelsymptomer er kort beskrevet nedenfor.

163

---

#### Vekster

#### Symptomer

---

Korn,  
særlig havre,  
bygg og hvete

1. Øvre del av bladene gulner langs kanten, ruller seg sammen på langs, og blir til slutt hengende som en gul-hvit "tråd".
  2. Dårlig kjerneutvikling (tomaks).
  3. Nye sideskudd fra eldre planter eller fra stubb etter skurden.
-

Ved svakere koppermangel vil bladveksten være normal, mens kjerneutviklingen kan være mangelfull.

### Gjødsling med kopper

Kopper kan tilføres i husdyrgjødsel, fullgjødsel 15-4-12, og PK 5-16 m/Cu og i ulike koppersalter. I tabell er det gjort en sammenstilling av kopperinnholdet i ulike gjødselslag.

Tabell . Innhold av Cu i en del gjødselslag og preparater

Gjødselslag	Formel	Innhold av Cu
Husdyrgjødsel		4-5 g Cu pr tonn
Fullgjødsel 15-4-12		200 g Cu pr 100 kg
PK 5-16 m/Cu		500 g Cu pr 100 kg
Slagg		400-1000 g Cu pr 100 kg
Koppersulfat	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	250 g Cu pr kg
Kopperoksyklorid	$\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$	500 g Cu pr kg
Handelspreparat: Kopperkalk Boyer eller Vitigran		

Kopper i husdyrgjødsel har i forsøk vært like effektivt som Cu i fullgjødsel og i koppersulfat. Mengdene er ikke store, men ved bruk av vanlige mengder husdyrgjødsel tilføres tilnærmet den samme mengde Cu som avlingen tar bort. Er det behov for sterkere koppergjødsling vil fullgjødsel 15-4-12 eller PK 5-16 m/Cu være et bra alternativ. De rene kopperpreparater er aktuelle først og fremst ved akutt koppermangel. Ved sprøyting vil kopperoksyklorid være å foretrekke fordi det svir plantene mindre enn koppersulfat.

Anbefalte mengder ved bladgjødsling er 0,3 kg koppersulfat eller 0,15 kg kopperoksyklorid i 20-30 l vann pr daa. Koppersulfat kan også strøs ut i mengder på 3-5 kg pr daa. Det er viktig å sikre jevn spredning. Kopper bindes sterkt i jorda, og det er derfor en fordel at koppergjødsel blir blandet inn noenlunde jevnt i matjordlaget.

Koppertilstanden i jorda kan måles ved hjelp av jordanalyser. Dersom koppertallet er mindre enn 1 (mg Cu pr kg lufttørr jord), vil det være behov for ekstra koppertilførsel.

Det er først og fremst på sur sand- eller siltrik jord og på myrjord at det er grunn til å rekvirere kopperanalyser. Dessuten på de fleste typer jord ved nydyrking.

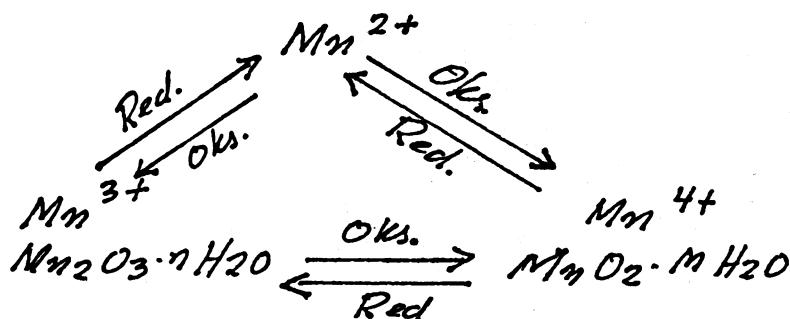
## Mangan (Mn)

### Mangan i jorda

Mangan fins i varierende, men ofte betydelige mengder i kulturjorda. Det er angitt variasjon i innholdet fra 5 til 750 kg Mn pr daa i matjordlaget (Aasen, 1978). Minst Mn er det i næringsfattig torv og visse typer av sandjord. Manganmangel kan likevel også forekomme på jord med relativt høyt manganinnhold, dersom stoffet finnes i former som plantene vanskelig kan nytte. Det er i første rekke toverdig mangan ( $Mn^{2+}$ ) plantene kan ta opp, mens en annen vanlig form, fireverdig Mn er tungt tilgjengelig. Lett reduserbart Mn i jorda skal også være av betydning for plantenes manganforsyning.

Ved pH under 5,5 finnes Mn vesentlig i form av  $Mn^{2+}$ . Konsentrasjonen kan ved særlig lav pH bli så høy at plantene skades. Ligger pH over 8, vil Mn for en stor del være bundet i tungtløselige oksyder ( $MnO_2 \cdot nH_2O$ ). I det mellomliggende pH-område vil oksidasjonstrinnet variere, avhengig av red-oks-betingelsene og av jordreaksjonen. En rekke mikroorganismer kan sette i verk oksidasjonsprosessen, som lettes av god lufttilgang og høy pH. Ved stigende pH føres derfor Mn over i stadig mer tungtløselige former. Aasen (1970) fant at faren for manganmangel økte sterkt når pH kom opp mot 6,5. Andre oppgaver går ut på at manganmangel sjelden forekommer ved pH under 6 i sandjord og under 6,5 i leirjord.

Skjematisk framstilling av manganets red-oks reaksjoner i jorda:



Toverdig Mn forekommer i stor grad i ioneform i jordvæsken eller adsorbent til kolloidene, mens tre- og fireverdig Mn mest finnes som tungtløselige oksyder.



Siden red-oks-prosessene spiller en så stor rolle for manganets tilgjengelighet, vil forhold som endrer luftvekslingen i jorda også påvirke manganforsyningen. Mangel vil særlig oppstå i tørr, godt gjennomluftet jord. Overdreven jordarbeiding og lite pakking av jorda vil derfor øke risikoen for manganmangel. Faren for manganmangel skulle etter dette være størst i tørre år, men det er heller ikke uvanlig å se manganmangel også i år med relativt mye nedbør. Overskudd av  $Fe^{2+}$  i jorda og redusert rotånding er angitt som mulige årsaker til manganmangel i våte og kalde perioder.

Fordi pH i jorda virker så sterkt inn, vil distrikter med kalkrik jord være mest utsatt for manganmangel. I silurjordområdene på Ringerike, i Mjøsbygdene og i Grenland er manganmangel funnet ganske ofte. Jord på skjellsandundergrunn langs kysten kan også være utsatt. Mer lokalt har det forekommet sterk manganmangel etter overkalking. Skadevirkninger av unødig store kalkmengder har vist seg å vare i lang tid.

#### Mangan i plantene.

Planterøttene har en viss evne til å redusere flerverdig Mn, og det antas derfor at plantene i tillegg til toverdige Mn også kan nytte lett reduserbart Mn i jorda. Mangan går inn i mange enzymreaksjoner i plantene, og er nødvendig for blant annet nitratreduksjonen og for dannelsen av klorofyll og protein i plantene.

Mangan er relativt tungt bevegelig i plantene. Mangelsymptomene viser seg først på yngre blad, og på korn, særlig på midtre del av bladene.

#### Beskrivelse av manganmangelsymptomer på en del vekster

Vekst	Symptomer
Havre	Lyse, grå-gule langstrakte flekker mellom bladnervene på midtre del av bladene. Helst yngre blad. (Lysflekksjuke.)
Rug og hvete	Lignende symptomer som havre.
Bygg	Små sjokoladebrune flekker på bladene, ofte ordnet i langsgående striper mellom bladnervene. Hele planten har ofte lysegrønne, slappe, nedhengende blad

Potet	små brune prikker ordnet i rekker ved siden av bladnervene.
Kålrot, bete	Gulfarging (klorose) mellom bladnervene. Grønne bladnerver.

---

Forgiftningssymptomer

---

Bygg	Små og middels store mørkebrune flekker på blad og bladskjeder, særlig på eldre plantedeler.
------	--

---

Mangelgrensen for Mn i plantene er funnet å være 20-25 mg Mn pr kg tørrstoff i bygg og havre (Aasen, 1966), mens grenseverdiene for manganskader ifølge Bergmann og Neubert (1976) varierer fra 300 til over 1000 mg pr kg, avhengig av plantearten.

Tilførsel av Mn og andre forholdsregler mot manganmangel.

Regulering av pH i jorda er et av de viktigste forebyggende tiltak mot manganmangel. Særlig viktig er det å unngå overkalking. Pakking av løs jord kan også virke gunstig.

Mengden av Mn i avlingen er av størrelsesorden 30-50g pr daa. Tilførselen i ulike typer av manganholdig gjødsel er summert opp i følgende tabell.

Mengder av mangan i gjødsel

Gjødsling	Formel	Mengder av Mn
Husdyrgjødsel		40-60 g pr tonn
Mangansulfat	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	320 g pr kg
Mangansulfat	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	240 g pr kg
Mangankjelat	Mn EDTA	130 g pr kg
Mangansulfat	2% $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ i 30 l vann	192 g pr daa

På steder med manganmangel vil bindingen av Mn i jorda ofte være sterk. Tilførsel av mangansulfat utstrødd i mengder på ca 5 kg pr daa vil derfor ofte ha kortvarig virkning. Sprøyting med en 2% oppløsning

av mangansulfat vil normalt være en mer effektiv og rimelig måte å tilføre Mn på. Fullgjødsel inneholder lite eller ikke noe Mn.

Det er prøvd mange analysemetoder for Mn i jorda, men resultatene har oftest vært mindre tilfredsstillende. Det skyldes først og fremst de varierende kjemiske former Mn kan forekomme i. Av metoder som har vært prøvd i Norge nevnes:

1. Aktivt Mn.

Jorda ekstraheres med en oppløsning av 1M ammoniumacetat tilsatt hydrokinon. Manganet som ekstraheres omfatter ombyttbart Mn + en del lett reduserbart Mn.

Metoden har gitt variable resultater. Aasen (1978) fant dårlig sammenheng med opptaket av Mn i plantene. Noe bedre resultater er oppnådd på manganfattig sandjord.

2. Ekstraksjon med 0,5 M magnesiumnitrat har i nyere undersøkelser gitt bedre resultater, men erfaringsgrunnlaget er ennå spinkelt. Det er foreløpig antydnet en grenseverdi på 3,5 mg Mn pr kg lufttørr jord (Øien, Steenberg og Aasen, unpubl.)

3. pH i jord har gitt bedre opplysninger om manganbehovet enn metode 1.

Det er også prøvd å bruke manganinnholdet i plantene som mål for manganbehovet. Aasen (1966) fant manganmangelsymptomer i bygg og havre når innholdet var under 15-20 mg pr kg, mens det ikke var slike symptomer ved innhold over 20 mg i planter, tatt ut mellom begynnende busking og skyting. En grenseverdi på ca 20 mg Mn er foreslått også av andre forskere.

### Forsøk med Mn i Norge.

Manganmangel opptrer ofte på jord som binder Mn sterkt. Tilførsel ved sprøyting er da den mest effektive form for mangangjødsling. Aasen (1978) har for bygg med synlig manganmangel sammenlignet sprøyting på ulike utviklingstrinn, og en - og to gangers sprøyting. Det var god virkning av alle behandlinger, men størst avling ble oppnådd ved to gangers sprøyting. Det ble brukt 2% mangansulfat, eller tilsvarende konsentrasjon av manganoksyd. Væskemengden var 25 l pr daa og det var tilsatt klebemiddel.

## Molybden (Mo)

### Molybden i jorda

Molybden tas opp av plantene som molybdat  $\text{MoO}_4^{2-}$ , og dette er den vanligste form i jorda. Bindingen av molybdat er sterkest ved lav pH, og er svak ved pH 7 eller høyere. Kalking av sur jord er derfor ofte et effektivt middel til å bedre molybdenforsyningen. Utbytting av adsorbert molybdat med  $\text{OH}^-$  er en sannsynlig forklaring på dette. Molybdat kan også byttes ut av fosfationer. Ved lav pH kan plantene ta opp Mo i forbindelsen  $\text{HMoO}_4^-$ .

En del Mo er bundet i organiske forbindelser. Dette letter molybdenforsyningen, særlig på sur jord. Plantenes utnytting av Mo i jorda kan bli redusert av et høyt innhold av Mn og Fe og av tørke.

Molybdeninnholdet i jorda varierer ganske sterkt. Jord som disponerer for molybdenmangel er sur podsolert sand, jernrik jord og kvartsrik jord. Vi har ikke noe særlig detaljert kjennskap til molybdentilstanden i jorda her i landet, men større områder der det er behov for molybdengjødsling har vi ikke. For de fleste jordbruksvekster har det til nå ikke vært behov for gjødsling med Mo. Som nevnt seinere er det hos enkelte hagebruksvekster at behovet for Mo er størst.

## Molybden i plantene.

Molybden er en nødvendig bestanddel av enzymene nitrogenase og nitratreduktase. Mangel på Mo kan derfor føre til opphopning av nitrat i plantene. Tofrøbladede vekster har generelt større molybdenbehov enn enfrøbladede. Arter som reagerer sterkt på molybdenunderskudd er salat, spinat, tomater og flere korsblomstrede vekster, blant andre blomkål, kålrot og rosenkål.

Innholdet av Mo i plantene er oftest under 1 mg pr kg tørrstoff. Det betyr at avlingen sjelden tar bort mer enn 1 g Mo pr daa. Innholdet kan bli opp til 100 ganger høyere enn det plantene trenger før det oppstår skade på plantene. Et høyt molybdeninnhold kan imidlertid være skadelig for husdyra, særlig dersom kopperinnholdet samtidig er lavt.

I følgende oversikt er det gitt en beskrivelse av mangelsymptomer hos enkelte vekster.

Planteart	Symptomer på molybdenmangel
Blomkål	Sterkt redusert bladflate. Til dels bare hovednerve + litt bladplate igjen (piskehale - whip tail).
Blomkål, kålrot, reddik, rødbeter	Oppbøyd bladrand, slik at bladet får en skjelligende form. Klorose mellom bladnervene.
Salat	Visning fra spissen eller kanten av eldre blad.

## Gjødsling med Mo

Plantene trenger bare svært små mengder av Mo. Gjødselsaltene må derfor, for å sikre jevn spredning, enten blandes inn i gjødsel eller sand, eller løses opp i vann før spredning. Her i landet har vi ingen gjødseltyper som er tilsatt Mo, og en er derfor henvist til å bruke rene molybden-salter. Enkelte alternativer for tilførsel av Mo er stilt sammen i følgende tabell.

. Molybdensalter, innhold, sammensetning og tilføringsmåter.

Gjødselsalt	Formel	%Mo	Tilførselsmåte
Natriummolybdat	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	40	1) 100-200g/daa, nedmoldet
"			2) 20-50g i 50 l vann pr daa.
"			3) Bløting av såfrø i 2% oppløsning.
"			4) 1-2g pr $\text{m}^2$ til kålvekster i benkeanlegg.
Ammoniummolybdat	$(\text{NH}_4)_6\text{MoO}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	54	1), 3), 4). Som natriummolybdat

De to molybdensalter er begge vannløselige og effektive molybdenkilder. Til sprøyting anbefales natriummolybdat, fordi det i motsetning til ammoniummolybdat, ikke skader sprøyteutstyret.

Forsøk med Mo i Norge.

I markforsøk på jernrik myr i Solør og i karforsøk med samme jordtype har Sorteberg (1977) funnet sterk avlingsreduksjon uten molybdentilførsel og store meravlinger for molybdengjødsling.

1)

Karforsøk med salat i jord fra Solør

Kg pr daa		g pr kar
Kalksteinsmjøl	Ammoniummolybdat	salat
0	0	0
0	0,25	0,32
1500	0	0,58
1500	0,25	1,70

2)

Markforsøk med havre.

Ammoniummolybdat kg pr daa	Kg korn pr daa	
	Kalksteinsmjøl, kg pr daa	
	0	500
0	283	495
0,2	406	519
2,0	500	507

I begge forsøk har både Mo og kalking bedret plantenes vekst sterkt. I markforsøket har heving av pH gitt full avling uten molybdengjødsling.

### Sink (Zn).

#### Sink i jorda.

Sinkmangel har fram til nå vært lite vanlig i norsk jordbruk. Det er likevel kjent at det kan forekomme, særlig etter sterk kalking. I flere andre land er sinkmangel langt mer vanlig enn hos oss.

Sink opptrer i jorda i ulike mineraler. Særlig i biotitt, hornblende og augitt. I jordvæsken finnes Zn i toverdige form ( $Zn^{2+}$ ). Oppløseligheten av Zn er lav, og avtar med stigende pH til et minimum mot pH 7. Sink danner lett kompleksforbindelser med organisk materiale, og en betydelig andel av sinkmengden i jorda kan være bundet i en slik form. Sink bindes relativt sterkt i jorda, særlig ved høy pH. Mangel på Zn finnes i første rekke på podsolert jord og ved høy pH.

#### Sink i plantene.

Et opptak på 20-40 g Zn pr daa er for de fleste vekster tilstrekkelig til å sikre normal avling. Som kritisk grense for misvekst antyder Bergman og Neubert (1976) 20 mg Zn pr kg tørrstoff, mens Aasen (1978) angir 25-150 mg Zn pr kg tørrstoff som optimum for vekst.

Transporten av Zn i plantene går langsomt, og innholdet avtar ofte fra røttene og til de yngste blad. Fosfor reduserer transporten av Zn i plantene. Opptaket av Zn kan bli hemmet av andre kationer, i

første rekke Mg, Cu, Fe og Mn.

Sink er en bestanddel av flere enzymsystemer, og påvirker oppbyggingen av blant annet protein og nukleinsyrer. Sink er også nødvendig for syntesen av aminosyren tryptofan, som blant annet trengs ved dannelsen av auxin i plantene.

Sinkmangel fører til klorose, ofte på yngre deler av plantene. Partier mellom bladnervene kan få lysegrønne eller gråhvite, ofte ganske store flekker. Frukttrær får små toppblad og redusert dannelselse av knopper.

Dvergvekst kan være forårsaket av sinkmangel fordi den fører til redusert strekningsvekst.

#### Sinktilførsel.

Sink kan tilføres i sinkulfat. Aasen (1978) har fått bra virkning både etter tilførsel av 1 kg Zn pr daa i sinkulfat innblandet i jorda, og etter sprøyting med 1% sinkulfat i 25 l væske pr daa. Sprøyting 2 uker etter oppspiring av kornet gav vesentlig bedre resultat enn tidligere sprøyting.

Husdyrgjødsel inneholder en del Zn (15-20 mg/kg), og i land med utbredt bruk av slik gjødsel forekommer sinkmangel sjelden.

### Jern (Fe)

#### Jern i jorda.

Sammenlignet med plantenes behov er jerninnholdet i de fleste jordarter svært stort. Totalinnholdet er ifølge Bergmann og Neubert (1976) av størrelsesorden 4000-8000 kg pr daa, mens det med avlingen bare tas bort 30-150 g pr daa årlig. Bortsett fra ekstreme jordarter og svært ugunstige bindingsforhold for Fe, vil det derfor være rikelig med Fe til å dekke plantenes behov.

Det er først og fremst på jord med høy pH (over 6-7) at jernmangel forekommer. Her i landet har det imidlertid også forekommet jernmangel



på sur, jernfattig jord. Under slike forhold har kalking virket gunstig på jernforsyningen.

Ugunstige fysiske forhold i jorda på grunn av vannmetning, pakking og ugunstig struktur øker faren for jernmangel på mineraljord. I vårt land forekommer jernmangel først og fremst på myrjord. Her kan pakking av jorda virke gunstig fordi det motvirker oksydasjon av Fe fra toverdige til treverdige form.

### Jern i plantene.

Plantene tar opp Fe som  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  og i form av jernkjelat. Konsentrasjonen av  $Fe^{2+}$  i jordvæsken er svært liten og det antas at kjelater spiller en viktig rolle ved å gjøre Fe lettere tilgjengelig for plantene. Flere andre kationer, blant andre Ca, Mg, Cu, Ni, Co, Mn og Zn hemmer opptaket av Fe. Fosfat kan også gjøre jernopptaket vanskeligere på grunn av utfelling av jernfosfater i jorda eller i plantene.

Jern er en nødvendig bestanddel av flere enzymsystemer, og har funksjoner blant annet ved elektronoverføringer. Mangel resulterer i dårlig klorofyllutvikling. Bladene hos flere jord- og hagebruksvekster får en karakteristisk gul-hvit farge, hos enkelte med skarpt markerte grønne bladnerver. Transporten av Fe fra eldre til yngre plantedeler er treg, og mangelsymptom finnes derfor mest på yngre blad. En annen følge av jernmangel er økning av mengden av amider og fri aminosyrer i plantene.

### Tilførsel av jern.

Jernmangel opptrer ofte flekkvis. Sprøyting med 0,5-1,0% ferrosulfatoppløsning kan virke bra, men har langt fra alltid god effekt. Et mer effektivt, men noe dyrere sprøytemiddel er 0,1-0,2% jernkjelat. Nedmolding av 5-10 kg ferrosulfat har enkelte ganger hatt god virkning. Mer langvarig forebyggende effekt får en ved tilførsel av 200-300 kg finmalt jernholdig slagg pr daa. Innblanding av mineraljord er et effektivt middel mot jernmangel på myrjord.

## K l o r

I karforsøk (særlig i vannkultur) 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).

Klorioner 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. I kystområdene er dertil klorinnholdet i nedbør og nedfall fra lufta stort. 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. Gjødsling med kobolt for å øke innholdet i plantene har ikke alltid vist seg å ha den ønskede virkning ved bruk av moderate mengder. Det er da sikrere og billigere å gi dyra kobolt direkte.

## 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 jod gjennom bladene fra lufta. Jodinnholdet i lufta avtar stort sett med økende avstand fra havet. Også for jod er det mest hensiktsmessig å tilfredsstille dyras jodbehov ved fønsammensetningen, dvs. ikke ved tilførsel til plantene.

## XIV JORDAS PRODUKTIVITET OG MOLDINNHOLD

### Forholdene i dyrket jord

Den avlingsmengde som produseres på et bestemt jordareal av forskjellige planteslag er bestemt av et stort antall mekanismer. En har å gjøre med et samspill mellom de prosesser som foregår i plantenes og jordas egenskaper (som også delvis er av dynamisk karakter). Videre har en den skiftende innvirkning av temperatur-, lys- og fuktighetsforhold.

Mange mekanismer er ikke eller bare delvis klarlagt, det gjelder f.eks. en så viktig ting som mekanismene for plantenes næringsopptak fra jord.

Noe forenklet kan en si at jord har disse funksjoner:

1. Jord tjener som lagerplass, som plantene henter vann og næring fra, unntatt karbondioksyd som tas fra luft.
2. Jord tjener som en regulerende mekanisme. Vann og næringsstoffer avgis i en viss grad i takt med plantenes behov, samtidig som de holdes tilbake slik at tap og skadevirkninger motvirkes.
3. Jorda må dessuten være tjenlig oppholdssted og arbeidssted for røtter og alle de andre levende organismer som tar del i prosessene.

### Definisjoner

Dyrket jords produksjonsevne kan sies å være den avlingsmengde som oppnåes over en årrekke (eller i et såkalt normalår) av en eller flere vekster ved en bestemt dyrkningsteknikk. Videre er jordas avlingssikkerhet (års-sikkerhet) og de muligheter den gir for valg av kulturer (planteslag) av betydning.

Potensiell produksjonsevne - ved den best mulige produksjonsteknikk.

Aktuell produksjonsevne ved økonomisk optimal produksjonsteknikk.

Påvirkbare og ikke påvirkbare faktorer: Avhengig av teknisk, biologisk og økonomisk utvikling (nye planteslag og dyrkningsmåter, jordforbedring, irrigering). Antatte grenser: Utnyttelse av solenergien ved fotosyntesen, CO<sub>2</sub>-innhold i luft.

Jordas kulturtilstand inbefatter alle kulturbestemte egenskaper som er av betydning for produktiviteten, f.eks. oppdyringsmåte, grøftetilstand, kalktilstand, hevd, ugrastilstand, m.m.

I jord- og hagebruk har en i stor grad endret produksjonsevnen ved oppdyrking, gjødsling og andre kulturinngrep. Et primært mål ved all plantedyrking er å eliminere de faktorer som virker ugunstig inn på produktiviteten. En jord som fra naturens side har lav produktivitet, kan ved riktig behandling likevel komme til å gi toppavlinger, men produksjonsomkostningene vil måtte bli større i slike tilfelle.

Jordas fruktbarhet er tilnærmet det samme som planteproduksjonsevne, men retter seg noe mer mot de naturgitte egenskaper. Uttrykket er ikke vanlig i norsk talespråk. Svenskene har ordet *bördighet*. Det engelske *soil fertility* synes å ta noe mer sikte på de kjemiske forhold, som f.eks. forsyning med næringsstoffer.

En jords produktivitet eller fruktbarhet er et relativt begrep i den er bestemt av et samspill mellom jord og klimafaktorer og som nevnt knyttet til bestemte vekster og til dyrkningsteknikken. Teoretisk sett kunne en vurdere jordas produksjonsevne uavhengig av beliggenhet og klima, f.eks. sammenligne jord fra tørt innlandsstrøk og regnrikt kystklima. Jordsmonsdannelsen er imidlertid et resultat også av stedets klima.

Oversiktslitteratur: Låg 1965, Olsen og Khera 1970.

#### Vurdering av jordarealers produktivitet

Framgangsmåte for objektive målinger:

1. Direkte måling av produktivitet ved avlingsbestemmelse. Omstendelig når det gjelder ettårige kulturer pga. årsvariasjon og variasjoner i produksjonsteknikk. I skogbruk viser årringbredden tilveksten.

I Sverige foretas avlingsmålinger på et stort antall prøveflater i jordbruket hvert år (avlingsskadeerstatninger).

2. Kvantifisering av jord- og klimafaktorer som tilsammen kan forklare de viktigste mekanismer bak produktiviteten. F.eks. multippel korrelasjons- regresjonsberegning mellom de målte faktorer og avlingsmengde. Forutsetningen for å kunne gi holdbare utsagn om jords produktivitet

ved et slikt opplegg er at de målbare faktorer tilsammen kan forklare en vesentlig del av avlingsvariasjonen mellom steder, jordarealer. Dette synes vanskelig å oppnå. Et eksempel på en vellykket undersøkelse fra Nederland (Ferrari 1952). I en norsk (Eggum 1972) og en svensk (Jönsson 1970) var en i stand til å forklare knapt halvparten av variasjonene i kornavling fra sted til sted ut fra et stort antall vekstfaktorer. Med en så stor restvariasjon ser det ikke ut til at en får noe realistisk uttrykk for mekanismene bak produktiviteten. Særlig er værfaktorenes virkning vanskelig å få uttrykt tilfredsstillende pga. den kontinuerlige og skiftende påvirkning.

Når det gjelder skogsproduksjon har det vært mulig å få fram flere klare sammenhenger mellom tilvekst i kubikkmeter pr. dekar og år og en rekke egenskaper ved jordsmonnet (Låg 1968). Forøvrig synes hovedinntrykket å være at forskningen ennå ikke er i stand til å presentere hele syntesen av vekstfaktorenes virkning på avlingsstørrelsen i dyrket jord. Det vi kan gjøre er å trekke fram en rekke enkeltfaktorer som har betydning og så prøve å forklare mekanismene så langt kunnskapene rekker.

Vann-faktoren har en nokså dominerende innvirkning på de avlinger som oppnåes. Den høye produktivitet i jordbruket i Nord-Vest Europa skyldes i stor utstrekning de gode fuktighetsforhold en har i dette området sammenlignet med største delen av jordas landbruksområder.

Jordart, er bestemt av mekanisk sammensetning og geologisk opphav.

Jordsmonn, den delen av løsavleiringene som er påvirket av klimaet og de levende organismer.

En inndeling som ofte er brukt i leirjord, sandjord og myrjord gir lite grunnlag for vurdering av produksjonsevnen. Generelt kan sies at leirjord er forholdsvis produktiv og årsikker jord. Det henger sammen med at slik jord er relativt tørkesterk. Leirjord har også stort lager av de fleste næringsstoffer og har stor ombyttingskapasitet og dermed stor regulerings- evne, stor bufferevne i kjemisk forstand. Sandjordene er mer variable i en rekke egenskaper enn leirjord. Innhold av finmateriale (leir) og humus er avgjørende for sandjordenes evne til å holde på vann og næringsstoffer. I nedbørrikt klima vil leirfri og leirfattig jord hevde seg bedre i konkurranse med leirjordene enn i tørt klima. (Svenske resultater se Larsson och Jönsson 1969). I myrjord er totalinnholdet av en rekke næringsstoffer lite, og den

kan disponere for mangel også på mikronæringsstoffer. En sammenstilling av forsøksresultater fra Vestlandet (Pestalozzi og Retvedt 1959) viste at uten gjødsling var høyavlingene minst på myrjordfeltene. Ved sterk gjødsling derimot kom avlingsnivået på myrjord på omtrent samme nivå som for de andre hovedgrupper av jord. Torv som voksmedium har vist seg å være fordelaktig i veksthusgartnerier. (Full kontroll av næringsforsyning og de ytre betingelser.)

De fysiske forhold i jorda er gjerne mindre påvirkbare enn de kjemiske og må ikke minst derfor tillegges stor vekt ved vurdering av jordas produksjonsevne. Fysiske egenskaper har særlig betydning for vann og lufttilgang, men også for næringsforsyning. Videre påvirker de utviklingen av plantenes røtter. Under ugunstige betingelser kan det bli harde og tette lag (f.eks. plogsåle og aurhelle) som røttene vanskelig trenger gjennom.

Humusinnhold. Benevnelsen er dels brukt om de relativt stabile organiske bestanddeler i jord, dels om totalinnholdet (også levende bestanddeler) f.eks. uttrykt ved totalbestemmelser, C- og N-innhold. For dyrket jord brukes moldinnhold i stedet for humusinnhold. Mold er egentlig en type humus, torv er en annen type.

Matjord er det øverste laget i en åkerjord og svarer ofte til plødybden i dyrket mark.

Alderbestemmelser av karboninnholdet i humus (Campbell 1967) har vist svært høy levealder (ett til et par tusen år) for visse fraksjoner. Dvs. en del av humusinnholdet er praktisk talt ikke gjenstand for videre nedbrytning.

Moldinnholdet har både i norske (Vigerust og Rønsen 1965) (Prestvik 1972) og i svenske (Larsson och Jönsson 1969) undersøkelser vist positiv korrelasjon med produksjonsevne. Årsaksforholdet er komplisert. Stor produktivitet, store avlinger øker moldinnholdet og høyt moldinnhold fører til bedre vekstvilkår. Dessuten kan vannforsyningen virke på begge egenskaper. (Prestvik 1972).

Mekanismer med positiv effekt:

- a. Hele nitrogenreserven, mesteparten av svovelet og en halvpart av jordas fosforinnhold er i den organiske fraksjonen. Disse stoffene frigjøres i takt med omsetningene i jorda og kommer derfor ofte planteveksten til gode på et gunstig tidspunkt.

b. De organiske kolloider har stor kationombyttingskapasitet og dermed evnen til å fastholde (lagre) en rekke viktige plantenæringsstoffer som kalium, magnesium, kalsium. Dette er særlig viktig for sandjord med lite innhold av finmateriale der det alt vesentlige av ombyttingskapasiteten er knyttet til de organiske kolloider.

c. Et stort moldinnhold er viktig for de fysiske egenskaper ved jorda (porøsitet og aggregatstabilitet) og dermed for vannforsyningen. Omsettbar organisk stoff kan forbedre jordstrukturen både direkte og indirekte som følge av økt biologisk aktivitet.

Moldinnholdet i jorda vil innstille seg etter menøden og arten av de organiske stoff som tilføres og nedbrytningshastigheten. Den siste er avhengig av klima og driftsmåte. Det er vanlig antatt at moldinnholdet ved uendret driftsform etter en tid vil innstille seg på et bestemt likevekstnivå. Fra USA er gitt mange eksempler på dette. Etter oppdyrking av prairiejord med grasvekst og liten omsetning, gikk humusinnholdet kraftig ned i de første årene (Thompson 1957) for så å innstille seg på et nivå bestemt av driftsformen.

#### Virkning av driftsform og gjødsling på moldinnhold

Moldinnholdet i jorda er høyt i Norge. På grunn av kjølig og fuktig klima går omsetningene langsomt og driftsformene har også vært preget av grasdyrking og mye husdyrgjødsel. I den seinere tid er det i mange distrikter blitt ensidig korndyrking uten husdyrhold, noe som representerer en mer humustærende driftsform.

I tabellen er gjengitt noen tall for innhold av organisk karbon og total nitrogen etter 25 år i et omløpsforsøk på Ås. En kan regne med at moldinnholdet er ca 2 ganger C-innholdet. Forholdet mellom C og N er her ca 11 til 1.

	Tot-C	Tot-N
Ensidig åpenåker korn + litt potet	3,31	0,290
Åker-eng 30% eng (2-årig eng i 6 årig omløp)	3,42	0,302
Åker-eng ca 60% eng (4-årig eng)	3,66	0,325

Nedgangen i moldinnhold ved ensidig korndyrkning i dette forsøket har vært svært liten. Det er grunn til å anta at totalinnholdet av organisk stoff under våre klimaforhold vil stabilisere seg på et relativt høyt nivå, selv ved ensidig åpenåkerdrift uten husdyrgjødsel. Totalinnholdet av humus er imidlertid bare en side av saken. Tilførsel av betydelige mengder organisk stoff, slik som ved engdyrking, husdyrgjødsling og halmnedpløying har også en direkte betydning for å holde opplevsvirksomheten i jorda.

Planteveksling. Innføring av vekselbruk med åker og kortvarig enø hadde stor betydning for produktiviteten i jordbruket i Vest Europa i forrige århundre. I dag har vi bedre hjelpemidler til å motvirke ulempene ved ensidig drift (gjødsel, ugras- og plantevernmidler). Mekanismene bak den større produktivitet etter planteveksling er mange og kompliserte (sykdommer, ugras, mikroflora, utnyttelse av vann og plantenæring).



# S T I K K O R D S R E G I S T E R

Aluminium	
forgiftning	s 144
ioner, ombyttbare	" 137
Ammonifikasjon	" 61
Ammonium fiksering i jord	" 68
Antagonisme	" 27
Antocyandannelse	" 87
Bladgjødsling	" 32
Bor	
gjødsling	" 161
jorda	" 159
mangelsymptomer	" 160
plantene	" 160
Brakking	" 8
Bråtebruk	" 7
C/N forhold	" 64
CO <sub>2</sub> i jordluft	" 133
C:P forhold	" 94
Denitrifikasjon	" 69
Diffusjon	" 17
hastigheten	" 17
Dyrket jords produksjonsevne	" 177
Elektronøytralitetsprinsippet	" 28
Essensielle næringsstoffer	" 11
"Forholdsloven"	" 18
Forsurningsprosesser	" 133
Fosfat	
binding	" 92
okludert	" 93

Fosfor	
balanse	s 103
gjødslas virkning på pH	" 100
jord	" 88
organiske forbindelser	" 89
plantene	" 87
syrens dissosiasjon	" 86
tap ved jorderosjon	" 103
tilført fosfors skjebne i jord	" 94
tilgjengelighet, faktorer	" 96
tilstandsformer i jord	" 90
total-P og $PO_4 - P$ i vann	" 100
utvasking	" 100
Fysiologisk alkalisk effekt	" 29
Fysiologisk surhet	" 29
Gjødselbehov	" 34
Humusinnhold	" 180
Innerløsningen	" 20
Jern	
jorda	" 174
mangel	" 175
plantene	" 175
tilførsel	" 175
Jod	" 176
Jordarealers produktivitet - vurdering	" 178
Jordas	
fruktbarhet	" 178
kulturtilstand	" 178
Jordsmonn	" 179
Kalkbelastningen av fullgjødsel	" 142
Kalkens effekt på fysiske forhold	" 145

## Kalium

balansen i jorda	s 124
bufferkapasitet	" 115
fiksering	" 111
glimmer og leirmineral	" 109
grøftevann	" 122
jordvæsken	" 116
likevektsystemer	" 117
luksusopptak	" 107
mangelsymptomer	" 108
nattefrost	" 107
ombyttbart	" 111
opptak	" 106
syreløselig	" 113
utvasking i lysimeterforsøk	" 120

## Kalsium

balansen	" 141
Ca Co <sub>3</sub> - løslighet av	" 133
forbindelser, basiske	" 134
fosfater	" 91
mangel	" 129
nøytrale Ca-salt	" 136
planter - lite mobilt	" 128
tilførsel i kunstgjødsel	" 143
tilstandsformer	" 131
utvasking	" 138

Kation-anionforholdet " 28

Kjelater " 15/158

Kjemisorbsjon " 92

Kobolt " 176

Kontaktopptak " 20

## Kopper

gjødsling med	" 164
jorda	" 162
mangelsymptomer	" 163
plantene	" 163

<b>Magnesium</b>	
innholdet i nedbøren	s 151
mangel	" 149
tilførsel i kunstgjødsel	" 143
utvasking	" 151
<b>Mangan</b>	
forgiftning	" 144
gjødsel	" 168
jorda	" 166
mangel	" 169
mangelsymptomer	" 167
plantene	" 167
Red-Oks reaksjoner	" 166
<b>Massestrømning</b>	" 16
<b>Matjord</b>	" 180
<b>Mikronæringsstoff</b>	" 12
funksjon i plantene	" 157
tilgjengelighet	" 157
<b>Minimumslov</b>	" 40
<b>Mitcherlich's lover</b>	" 41
<b>Moldinnhold</b>	" 180
<b>Molybden</b>	
jorda	" 170
mangelsymptomer	" 171
plantene	" 171
salter	" 172
<b>Mykorizza</b>	" 19
<b>Nitrat</b>	
ammoniumernæring	" 48
planter	" 51
reduksjonen	" 50
<b>Nitratdannelse ved aerob inkubasjon</b>	" 145
<b>Nitrifikasjon</b>	" 62
<b>Nitritt</b>	" 51

Nitrogen	
balanse, global	s 53
fiksering, frittlevende organismer	" 55
fiksering, mengder	" 56
fiksering, symbiotisk	" 55
forbindelser, organiske	" 52
kretsløpet	" 58
mineralisering	" 61
nedbør	" 60
prognoser	" 67
reduksjon, kjemisk	" 71
regnskap	" 82
tap i gassform	" 68
tap - utvasking	" 73
tørravsetninger	" 60
utvasking mengder	" 78
utvasking årstid	" 76
Næringsbehov	" 34
Næringsstoffer i vekstene	" 36
Næringsstoffhusholdningen	" 47
Oksydasjon av Fe og Mn	" 158
Ortofosfationer pH	" 86
Overkalkingsskade	" 146
Reduksjonsprosesser i jord	" 134
Rotinnfiltrering	" 18
Selektiv absorpsjonsevne	" 25
Sink	
jorda	" 173
mangel	" 174
plantene	" 173
tilførsel	" 174
Strengitt	" 91
Surjordskomplekset	" 144
Svedjebruk	" 7
Svovel	
balanse	" 154
mangel	" 153
tilførsel i kunstgjødsel	" 143
utvasking	" 153

Synergisme	s 27
Underholdskalking	" 142
Utnyttelsesgraden	" 36
Uttynningseffekten	" 37
Varisitt	" 91
Vekselbruk	" 9
Viets effekt	" 26
Ytterløsningen	" 21



