

4 Jordbunden

gavmild men sårbar

Det var et goldt landskab, som dukkede frem, da isen smeltede bort fra Danmark. Det bestod af øde, grå grus- og sandflader og mørke, lerede bakker med utallige sten. Overfladen var råjord.

Med det varmere klima begyndte planter og dyr at indvandre, og landet fik farve. Nu var forudsætningerne skabt for udvikling af jordbund. Landet blev efterhånden dækket af tæt skov. Gennem jægerstenalderens årtusinder resulterede nedbrydningen af nedfaldne blade og døde stammer i, at der udvikledes en dyb næringsrig jordbund.

En frugtbar jordbund kan kun bevares, hvis stofkredsløbet er intakt. Da landbruget kom til Danmark, begyndte befolkningstallet at stige. De første bønder havde næppe større viden om kredsløb. De inddrog blot nyt land, når markens ydeevne faldt, for der var nok at tage af. Skoven havde svært ved at generobre den udpinte jord på de forladte marker, eller den blev med vilje holdt nede, for at sikre græsning til kvæg og får. Den gode jordbund blev "slidt op".

Dette tilbageblik over den tidlige danske landbrugsudvikling har desværre nutidige paralleller i ulandene. Her opdyrkes der også stadig mere jord på grund af befolkningstilvæk-

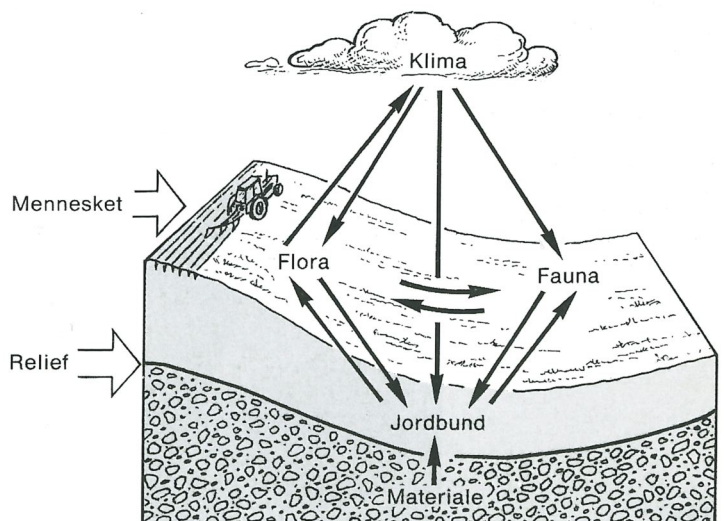
sten. Det fører til jordforringelse, erosion og ødelagte landskaber. Da der sjældent er andre muligheder for den umiddelbare overlevelse end at rydde nyt land, er fremtidsudsigterne mange steder dystre.

Den teknologiske udvikling har skabt helt andre problemer i ilandene. Øget anvendelse af kunstgødning og sprøjtemidler har sammen med specialiseringen og den mekaniserede produktionsmåde bragt jordbunden ud af balance. Samtidig med at landbrugsproduktionen sætter nye rekorder, så der nu produceres til overskudslagre, er presset på miljøet stærkt stigende. Det viser sig bl.a. ved tiltagende forurening af grundvand og havområder, og ved at stadig flere dyr og planter er truede. Når landbrugets produktivitet stiger, bliver behovet for landbrugsjord mindre. De dårligste jorder vil derfor næppe indgå i dyrkningsarealet i fremtiden.

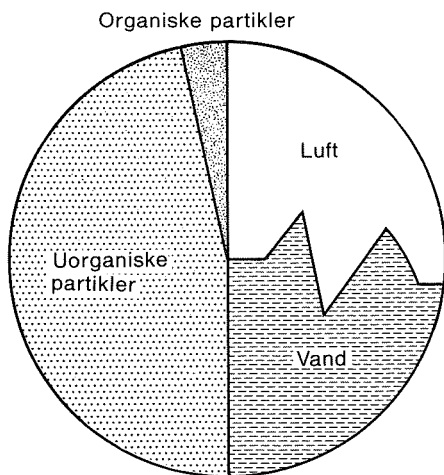
Hvad er det, som kendetegner en god jord? Hvilke indgreb kan jorden tåle? Hvorfor reagerer ulandenes jord ofte anderledes overfor landbrugsindgreb end jorden i ilandene, og hvilken betydning har dette for ulandenes fødevareforsyning? Hvilke dyrkningsjorder skal opgives? Det er bl.a. spørgsmål som disse, dette kapitel beskæftiger sig med.

4.1 Faktorer, der har betydning for jordbundsudviklingen.
(Efter R.O.Rasmussen: Betingelser for landbrugsproduktion).

Jordbunden er det øverste overfladelag, som planterne udvikler deres rødder i, og hvorfra de henter næringssalte og vand. Den udvikles i et kompliceret samspil mellem udgangsmateriale, klima, organismer, relief og tid, se fig. 4.1. Landbrugsindgreb har også stor indvirkning på jordbundsudviklingen.



4.2 Sammensætningen af en typisk dyrkningsjord. Indholdet af luft og vand varierer med svingninger i nedbør, fordampning og temperatur. (Efter Bridges: World soils).



Jordbundens sammensætning

Jordbund består af uorganiske partikler og organisk stof. Mellem de faste partikler er der hulrum, der rummer luft og vand. Jordvandet er beskrevet s. 248. Sammensætningen af en typisk dyrkningsjord er vist i fig. 4.2.

Jordbundens faste *uorganiske* del er dannet ved forvitring af råjordens partikler. *Råjorden* er de løse forvittringsmaterialer, som dannes ved nedbrydningen af den faste overflade, se s. 87ff. Ved forvitringen frigives der samtidig næringssioner.

De uorganiske bestanddeles fordeling på grove og fine partikler kaldes jordens *tekstur*. Den bestemmes efter en kornstørrelsesskala, se fig. 4.18. Teksturen afhænger af jordbundens udgangsmateriale, udviklingsgrad og placering i terrænet. Den er afgørende for jordens dyrkningskvalitet og veksler fra sted til sted, se fig. 6.13.

Lerjord er normalt næringsrig og tørrer sjældent ud. Ler er uhyre små pladeformede mineraler med

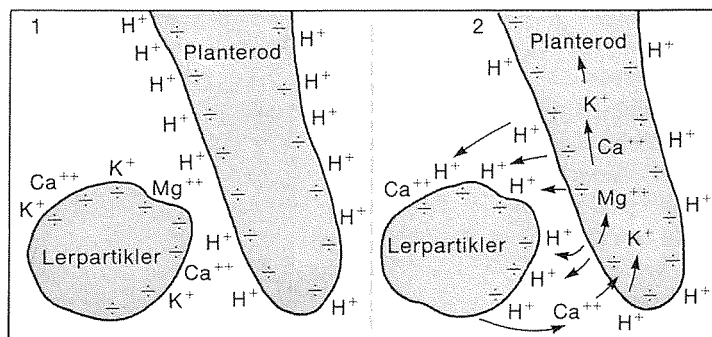
negative elektriske ladninger, der kan binde positive ioner, se fig. 4.3. Bindingerne forhindrer udvaskning. De er dog ikke stærkere, end at planterne kan optage de nødvendige næringssioner fra leret. Lerjordens ringe udvaskningsgrad er også betinget af kornstørrelsen. Når lerminerallerne er små, er porerne mellem de enkelte korn også små. Vandmolekylerne har derfor svært ved at passere gennem lerjord, som virker vandstandsende. Sand- og gruspartikler er ikke elektrisk ladede. Da de ikke kan binde ioner, bliver sandjord hurtigt udvasket for næringssalte.

Det *organiske* indhold er størst i de øverste 25 cm af jorden. Det består af levende organismer og mere eller mindre nedbrudte rester af døde planter og dyr.

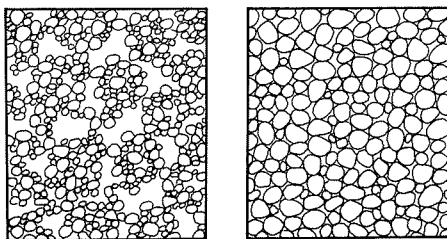
De levende organismer er planternes rødder og en mængde småorganismer, som fx orme, insekter, bakterier og svampe. Disse *nedbrydere* omsætter dødt organisk stof i jorden til uorganiske næringssalte. Ved nedbrydningen, som også kaldes *mineraliseringen*, dannes der desuden *humus*, som farver jorden mørk. Det er halvt nedbrudt organisk stof, der er uhyre finkornet. Humus kan med tiden nedbrydes yderligere til CO_2 og næringssalte.

Humusindholdet er vigtigt, da det binder næringssalte og vand. Det har også betydning for jordens *struktur*, dvs. den måde, hvorpå de enkelte partikler er lejret i forhold til hinanden, se fig. 4.4. Humusrig leret jord har *krummestruktur*. Humusen klæber partiklerne sammen til mm-store krummer, der indeholder fine porer, som kan fastholde meget vand. Mellem

4.3 Lermineraller binder næringssioner, men ikke stærkere end at planterne kan optage dem. (Efter R.O.Rasmussen).



krummerne er der større porer, som giver et godt *luftskifte*, dvs. oxygentilførsel til rødderne, og god vandgennemstrømning. Jord med krummestruktur er derfor god dyrkningsjord. Grovsandet humusfattig jord har *enkeltkornstruktur* med godt luftskifte, men den er dårlig til at holde på vand og næringsstoffer.



4.4 Krummestruktur med små porer i krummerne og store porer mellem krummerne. Enkeltkornstruktur med løst lejrede partikler. Luftskiftet afhænger af kornstørrelsen. (Efter A.Bjerggård: Jordbunds- og gødningslære).

Jordens *hulrum* eller porer udregnes i % af det samlede jordvolumen og kaldes *porøsitet*. Den er ca. 50% i lerjord og ca. 30% i sandjord. Lerjord kan derfor rumme mest vand. En stor del af vandet er dog utilgængeligt for planterne, da det bindes kraftigt til mineraloverfladerne, se fig. 6.13. Hvis porerne er konstant vandfyldte, opstår der vækstproblemer, fordi luftskiftet nedsættes.

De bedste dyrkningsjorder har et lerindhold på 15-25% og en passende blanding af finsand og sand, samt ca. 4-5% organisk stof i overfladejorden.

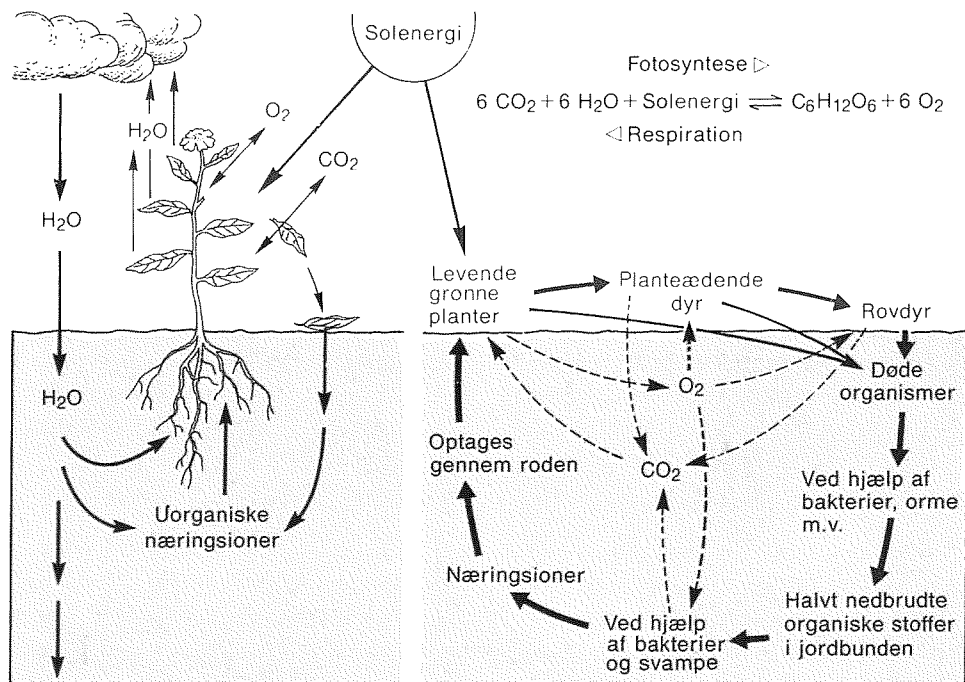
Næringsstoffer

Atmosfæren og planterne udveksler CO_2 , O_2 , og H_2O gennem fotosyntesen og respirationen, se fig. 4.5. Figuren viser også, at

planterne udnyttes af andre organismer i en fødekæde. Derved dannes det døde organiske materiale, som nedbryderne omsætter til humus, CO_2 og uorganiske næringsioner, der atter kan optages i vegetationen. Der foregår på denne måde en stadig recirkulering af vand, næringsioner og kulstof mellem atmosfære, organismer og jordbund.

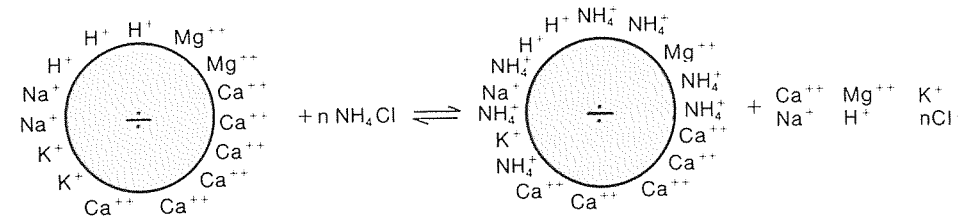
Grundstofferne C, O og H udgør 90% af plantematerialet. N (nitrogen), P (fosfor), K (kalium), Ca (calcium), Mg (magnesium) og S (svovl) optages i store mængder af planterne og kaldes *makronæringsstoffer*. Fe (jern), Mn (mangan), Cu (kobber), Zn (zink), m.fl., som planterne kun optager i uhyre små mængder, kaldes *mikronæringsstoffer*.

Planterne kan kun optage næringsstofferne i form af letopløselige ionforbindelser som

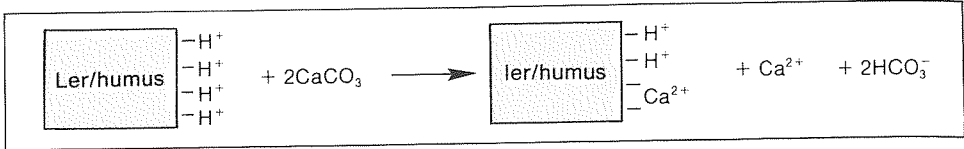


4.5 Stofkredsløbet mellem atmosfære, planter og jordbund. (Delvis efter P.Smed: Kulturgeografi på økologisk grundlag. Gyldendal 1982).

4.6 Ler og humus binder positive ioner. Ved gødningstilførsel sker der ionbytning mellem jordpartikler og jordvand.
(Efter S.Tovborg Jensen: Jordbundslære).



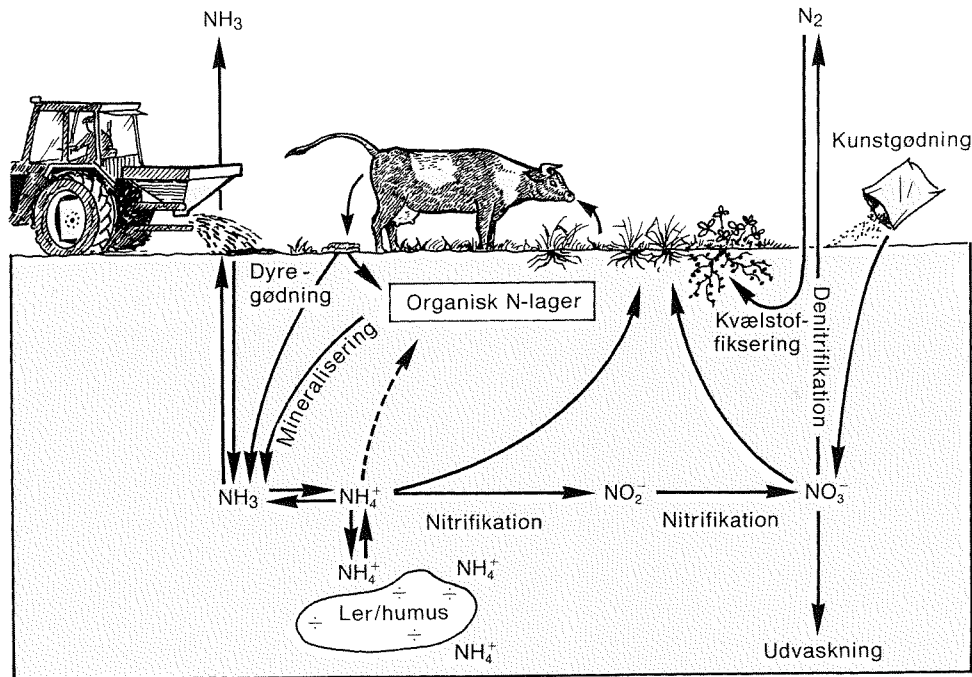
4.7 Jordbrugskalk hæver jordens pH-værdi og øger jordens evne til at binde næringsioner.
(Efter S.Tovborg Jensen: Jordbundslære).



HPO_4^{2-} (fosfater), K^+ og NO_3^- (nitrater). Da de fleste grundstoffer er bundet i mineraler eller i dødt organisk stof, er de ikke umiddelbart tilgængelige for planterne. Positivt ladede ioner kan bindes af jordens lermineraller og humus. De kan ombyttes med andre positive ioner, hvis jordvandets ionsammensætning ændres ved udvaskning eller gødskning, se fig. 4.6. De positive ioner bindes ikke lige stærkt til ler og humus. H^+ bindes stærkere end næringsioner som Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ og NH_4^+ (ammonium). Hvis alle de negative ladninger på ler og humus er optaget af H^+ , bliver jorden sur ($\text{pH}=4$) og næringsfattig. H^+ tvinger nemlig næringsionerne ud i jordvandet, hvorefter de udvaskes.

Stærkt sure jorder kan forbedres ved tilførsel af jordbrugskalk, se fig. 4.7. Ca^{2+} bytter plads med 2H^+ på ler- og humuspartiklerne. Samtidig dannes der 2HCO_3^- (hydrogencarbonat), som udvaskes af jordvandet. Herved stiger jordens pH og evne til at binde næringsioner. Hvis ler og humus udelukkende binder Ca^{2+} , Mg^{2+} og K^+ , bliver jorden stærkt basisk ($\text{pH} = 8.3$). De fleste nedbrydere foretrækker pH mellem 5 og 7. Neutral eller svagt sur jord har derfor flest plantetilgængelige næringsstoffer. Jordens evne til at binde positive ioner afhænger af antallet af negative ladninger i jorden. Humus binder positive ioner bedre end lerminerallerne, som tilmed har for-

4.8 Nitrogenkredsløbet.
(Delvis efter H. Mygind: Nitrat).



skellig bindingsevne. Det er en af årsagerne til jordbundsforskellene mellem troperne og de tempererede egne. Tropejorderne er nemlig humusfattige og domineres af lermineralet *kaolinit*, mens lermineralet *illit* er almindeligt i de humusrige tempererede jorder. Evnen til at binde ioner er 3-5 gange mindre for kaolinit end for illit, og ca. 20 gange mindre end for humus. Dette forklarer, hvorfor tropejordens næringsioner hurtigt bliver udvasket, hvis vegetationen fjernes.

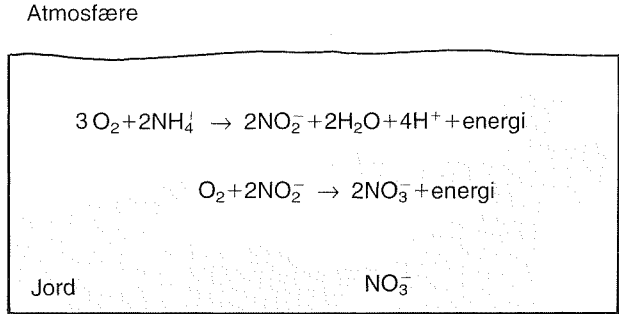
Nitrogens kredsløb

78% af atmosfæren består af nitrogen, der skal omdannes til nitrogenforbindelser, for at planterne kan optage det. Nitrogens kredsløb er vist i fig. 4.8.

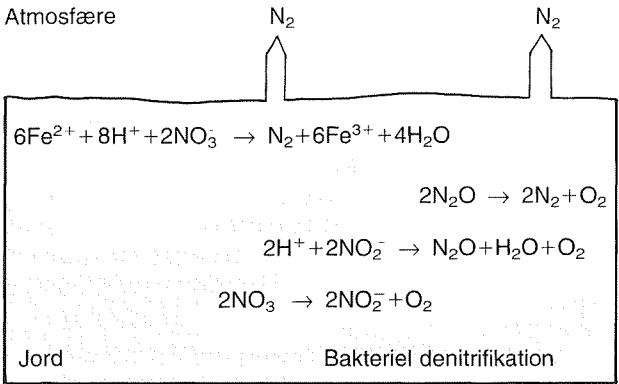
Ved mineraliseringen af jordens organiske nitrogenlager, dvs. indholdet af døde plante- og dyrerester, og gødning fra dyrene, dannes der NH_3 (ammoniak). Hvis der er vand i jorden, vil det frigjorte ammoniak hurtigt omdannes til NH_4^+ (ammonium), som optages af såvel nedbrydere som af grønne planter. Eventuelt overskud af ammonium kan bindes til ler og humus, eller det kan omdannes af bakterier til NO_2^- (nitrit) og NO_3^- (nitrat). Denne proces, der kaldes *nitrifikation*, er stærkt oxygenkrævende, se fig. 4.9. Den sker kun i jord med godt luftskifte.

NO_3^- bindes ikke i jorden. Nitratet udvaskes derfor hurtigt, hvis det ikke bliver optaget i vegetationen. Nitrifikationen går i stå i vandlidende jord med lavt luftskifte. Her sker der et nitrogentab, fordi ammoniakken fordampes fra jorden. Der kan også ske *denitrifikation*. Nogle bakterier skaffer sig nemlig oxygen ved at omdanne nitrat til nitrit eller til frit nitrogen N_2 , som forsvinder ud af jorden, se fig. 4.10.

Fig. 4.11 viser, at jordens nitratindhold varierer gennem året. Det stiger med gødningstilførslen og den begyndende nedbrydning i det tidlige forår, og det falder igen om sommeren, i takt med afgrødernes rodudvikling. Efterår/vinter er vist i



4.9 Nitrifikation. Under aerobe forhold kan nogle bakterier udnytte den energi, der er bundet til NH_4^+ . Bakterierne bruger energien til deres livsfunktioner. Omdannelsen sker i to trin. Først omdanner nitritbakterier NH_4^+ til NO_2^- , som herefter omdannes til NO_3^- af nitratbakterier.



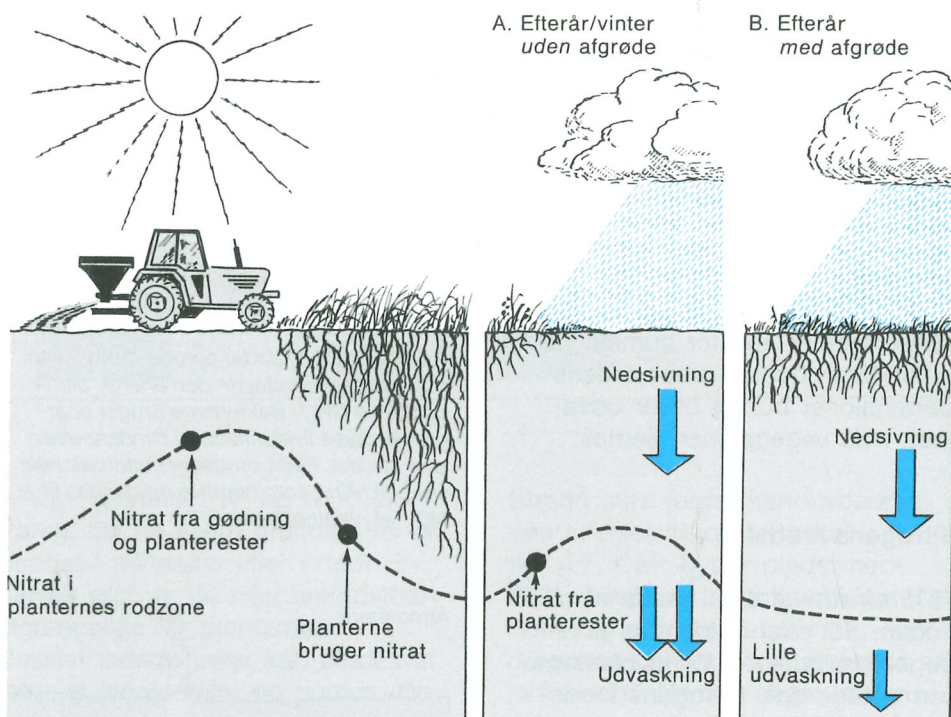
4.10 Denitrifikation. Under anaerobe forhold kan nogle bakterier dække deres iltbehov ved at reducere nitrat og nitrit til frit nitrogen, N_2 . Denitrifikationen kan også finde sted uden medvirken af bakterier. Det dannede N_2 forsvinder op i atmosfæren og er således tabt for økosystemet.

to situationer, en uden og en med afgrøde. Vintersæd er blevet almindelig for at begrænse nitratudvaskningen.

Nitratforureningen af grundvand og havområder har rettet opmærksomheden mod forbruget af nitrogengødning. Grænseværdien for nitrat i grundvandet (50 mg/l) er overskredet mange steder. Nitratbelastningen er størst under sandjord, se fig. 4.12 og 6.27.

Grundvandsproblemerne er størst i Midt- og Vestjylland, hvor jorden er sandet, og hvor nedbør og gødningsbehov er størst. Problemerne forstærkes af udviklingen i landbruget, der går mod større, specialiserede gårde med øget anvendelse af kunstgødning, se

4.11 Jordens nitratindhold varierer med årstiden. Vintersæd begrænser udvaskningen i vinterhalvåret.
(Kilde: Landbrugsrådet).



s. 308ff. Tyngdepunktet for husdyrholdet er desuden rykket mod vest. Der er således opstået en ubalance mellem arealstørrelse og mængden af dyrisk gødning, der afspejles i grundvandets nitratindhold.

Omsætningsgraden af organisk stof i jorden udtrykkes ved *C/N-forholdet*, dvs. forholdet mellem indholdet af kulstof og nitrogen. I muldjord er *C/N-forholdet* 10-15:1, mens det er over 30:1 i dårligt omsat morjod, se s. 168. *C/N-forholdet* kan ændres ved mineraliseringen. Når bakterier "æder" sig gennem døde organiske rester, bruger de den ene halvdel af det nedbrudte stof til deres egen vækst og den anden halvdel til respirationen for at skaffe sig energi. Bakteriernes eget *C/N-forhold* er 5:1. De binder nemlig 5 C for hvert N, mens 5 C, der udnyttes til energi, forsvinder som CO_2 . Da nitrogenet bliver i jorden, mens en del af kulstoffet forsvinder, kan *C/N-forholdet* efterhånden sænkes. Et *C/N-forhold* på 10-15:1 er således ideelt i en dyrkningsjord. Det giver nedbryderne optimale forhold og sikrer et stort indhold af tilgængelige næringsioner i jorden. Hvis *C/N-forholdet* er væsentligt

større, bliver jorden næringsfattig, fordi nedbrydernes aktivitet begrænses af nitrogenmangel. Landbrugets halmproblem er nært forbundet med *C/N-forholdet*. Nedgangen i husdyrholdet i det østlige Danmark har medført, at der bruges mindre halm til foder og strøelse. Overskudshalmen blev tidligere brændt af på marken. Derved gik det organiske materiale ud af kredsløbet. Det havde den uheldige virkning, at humusindholdet blev mindre og jordstrukturen forringet, og samtidig blev jordens evne til at binde næringsioner nedsat. Afbrændingen er nu blevet forbudt, men halmen skal man stadig af med. Det sker ved at fjerne halmen fra marken, fx for at udnytte den i halmfyringsanlæg, eller ved at pløje den ned. Det sidste sikrer, at jorden bevarer sin humusmængde. Men halm er nitrogenfattigt (*C/N-forholdet* i halm er 80:1). Nedbrydningen går derfor langsomt og kan eventuelt gå helt i stå, fordi bakteriernes aktivitet hæmmes af nitrogenmangel. Der vil derfor ikke være overskud af nitrogenholdige-ioner til afgrøderne, hvis der ikke samtidig tilføres store mængder nitrogengødning.