

JORDBUNDEN I DANMARK

af Kjeld Rasmussen

Danske geologer beskæftiger sig især med de dybereliggende lag og kun sjældnere med de overfladelag, der udgør den egentlige jordbund, de pedologiske forhold.

Det kan være svært nøjagtigt at afgrænse, hvor dybt denne jordbund når ned. Som naturlige grænser nævnes ofte de dybder, hvortil planterødderne når, eller hvortil virkningen af de jordbundsbyggende processer kan erkendes. Ingen af disse grænser plejer at være skarpe.

I de egne af verden, hvor jordbunden er dannet ved forvitring af faste bjergarter på stedet, vil det kun for unge jorde gælde, at jordbunden omfatter hele forvittringslaget, men de processer, der foregår i den egentlige jordbund, påvirker også i større eller mindre grad de underliggende lag. I Danmark, hvor jordbundsbyggelsen foregår på aflejrede, forud mere eller mindre forvitrede, materialer, må lignende forhold gælde, selvom de her kan være vanskeligere at erkende.

En jordbundsbyggelse foregår gennem en række processer, der groft kan grupperes som:

1. Forvittrings- og opløsningsprocesser, nydannelse og omdannelse af mineraler.
2. Humusdannelse.
3. Flytningsprocesser.

Disse processer forløber kun, hvor der – i hvert fald periodisk – er fugtighed til stede. En egentlig jordbund dannes ikke i ørkener og ej heller, hvor højarktiske forhold forhindrer plantevækst og livsprocesser.

Ved flytningsprocesserne transporteres materialerne i opløst eller opslemmet stand. De afhænger naturligvis af fugtighedsforholdene og af topografien. Temperaturen har stor betydning for forvittringsprocessernes forløb, og hele klimaet har afgørende indflydelse på vegetationen, på de biologiske omsætninger og på stofkredsløb og -balance i jordbunden og indvirker her igennem på den pedologiske udvikling. Jordbundsbyggelsen afhænger således af følgende faktorer:

Udgangsmaterialet, stedets klima, topografi og vegetation samt den medgåede tid. Normalt vil det gælde, at ikke alle disse faktorer er indbyrdes uafhængige.



A—horisont

E—horisont

B—horisont

C—horisont

Figur 1. Podsolprofil fra det nordvestlige Jylland. Foto: Leif Petersen.

I Danmark er klimaet så fugtigt, at der i normale år dannes grundvand. Flytningsprocesserne sker derfor i nedadgående retning. Materialerne transporteres både i opløst form (regulær udvaskning), i opslemmet tilstand (lernedslemning) og gennem processer, som hører hjemme under kolloidkemien.

Flytningsprocesserne fører typisk til, at der øverst dannes et udludningslag, hvorfra materiale er fjernet. Herunder findes lag, hvor en del af de stoffer, som er fjernet fra udludningslaget, er ophobet (se fig. 1).

Udludningslaget kan ofte opdeles i en A- og en E-horisont, hvor A-horisonten omfatter de lag, der er mørkt farvet af humusstoffer, mens E-horisonten ofte er grålig.

B-horisonten, der ofte kan opdeles i flere subhorisonter, omfatter det lag, som er blevet beriget med materiale fra A- og E-horisonterne, mens den underliggende C-horisont ofte betragtes som upåvirket af de processer, der har ført til dan-

nelsen af A-, E- og B-horisonterne, men strengt taget er påstanden om en sådan uberørthed næppe helt korrekt. A-, E- og B-horisonternes karakter og grad af udvikling afhænger af de jordbundsdannende faktorer, og de har ikke været ens i Danmarks forskellige egne. Lad os først se på tidsfaktoren, klimaet og udgangsmaterialerne:

Tidsfaktoren

I Danmark er jordbundsdannelsen næsten overalt foregået på aflejret materiale (gletscher- og vandaflejringer), og langt størstedelen af vore blottede jordbundsprofiler er dannet i Holocæn (de sidste 10.000 år), nogle af dem endda på ret unge Littorinaaflejringer (ca. 4–7.000 år gamle) eller helt recente marsk- og flyvesandsaflejringer. Derimod er de gamle jordbundshorisonter blevet ødelagt gennem erosion og landskabsudvikling i Weichsel istiden. Langt de fleste af vore jorde er altså unge, men dog med sådanne indbyrdes forskelle i alder, at det har sat sig spor i deres udvikling.

Klimaet

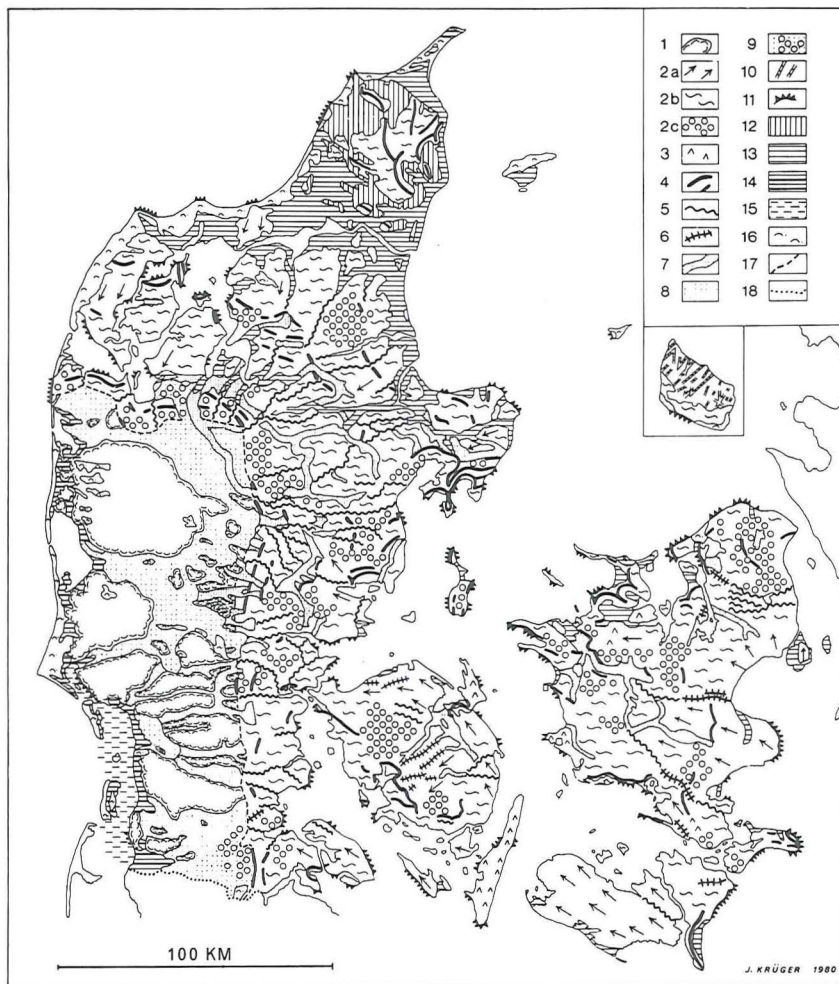
Klimaet er omtrent det samme inden for vort lille land. Den gennemsnitlige jordbundstemperatur, målt i 50 cm dybde, afviger mindre end 1°C mellem Falster og Vendsyssel. Klimaet er overalt humidt, men nedbøren er større i Vest-end i Østdanmark, og da de østdanske jorde gennemgående har større vandholdningsevne end de vestdanske – og herved også taber mest fugtighed ved evapotranspiration ('fordampning') – bliver resultatet, at vandgennemsiivningen er langt større i Vest- end i Østdanmark. I nogle vestjyske egne kan den udgøre 400 mm/år, mens den i Vestsjælland kan være under 100 mm/år. Disse forhold medvirker til de forskelle i jordbundsudvikling, som man finder ved sammenligning af Øst- og Vestdanmark. Men lige så vigtigt er det nok, at de to regioner gennemgående er forskellige med hensyn til udgangsmaterialernes sammensætning og alder. Dette skyldes de kvartærgeologiske forhold.

Udgangsmaterialerne – de kvartærgeologiske forhold

Selv om jeg er klar over, at langt de fleste af mine læsere er fortrolige med Danmarks kvartærgeologi og har kendskab til sammensætningen af overfladelagene i landets forskellige egne, vil jeg gerne støtte min videre fremstilling på fig. 2, der viser de kvartære aflejringer og landskaber i Danmark.

Af kortet ses, at langt den største del af Danmarks overflade er dækket af Weichselmoræner. Disse morænematerialer har dog vidt forskellig sammensætning i landets forskellige egne. På øerne og i den sydlige del af Østjylland er lerindholdet relativt højt (15–25% < 0,002 mm). Indholdet af silt (0,002–0,02 mm) er af lignende størrelse.

De morænejorde, vi finder gennem Jylland, langs hovedstilstandslinien, er mere sandede og indeholder kun 5–10% ler. Det samme gælder for mange moræneområder på Djursland, i Himmerland og i Vendsyssel. Også Saalemorænerne på de vestjyske bakkeøer er flere steder sandede.



Figur 2. Landskabskort over Danmark (efter J. Krüger 1980).

1. Morænelandskaber fra næstsidste istid (bakkeø).
2. Morænelandskaber fra sidste istid.
 - a. Moræneflade med svagt udviklede bakkerygge, der følger isens bevægelsesretning.

- b. Bølget bundmorænelandskab.
- c. Småbakket morænelandskab.
3. Hatformede bakker.
4. Israndsbakker.
5. Tunneldal.
6. Ås.
7. Smeltevandsdal eller -lette.
8. Hedeslette.

Det skal tilføjes, at de lerede moræner i Østdanmark ofte af isen er blevet stærkt opblandet med kalk fra den prækvartære undergrund. I nogle områder kan noget af dette CaCO_3 endnu være til stede i mindre end 1 m dybde. Omvendt gælder, at udgangsmaterialet for jordbundsdannelsen har været stærkere udvasket og forvitret på bakkeøerne end på Weichsel-landskaberne.

Smeltevandsaflejringerne på de jyske hedesletter består overvejende af groft sand. Lerindholdet er tit under 3%, og siltindholdet er ringe.

Også de nordjyske littorinaaflejringer er overvejende sandede, men dog med en finere tekstur. De yngste af disse marine aflejringer kan endnu have et beskedent indhold af kalk. Det samme gælder de yngste af vore marskjorde. Marskjordens sammensætning afhænger af de lokale forhold. I Tøndermarskens indre, østlige område består overfladelagene overvejende af ler (bassinklæg), og den forlandsmarsk, der ved tidevandets hjælp dannes på vaderne langs den åbne kyst, indeholder ofte 20% ler.

Lerfraktionens sammensætning og egenskaber

Jordbundens lerfraktion adskiller sig mineralogisk fra silt- og sandfraktionen ved, at den ikke alene indeholder de primærminerale (kvarts, feldspat m. fl.), hvoraf de grovere fraktioner er sammensat, men også små pladeformede partikler (lerminerale) med en ordnet, lagdelt opbygning, som kan ligne den, man finder i glimmerminerale. Desuden indeholder lerfraktionen sekundært dannede Fe(III)- og Al-oxidhydroxider.

De fleste af lerminerale har gennem såkaldt isomorf substitution (hvorved ioner med lavere valens erstatter ioner med højere valens) erhvervet en negativ elektrisk nettoladning på lagenheder, hvoraf minerale er opbygget. Denne negative ladning kompenseres ved, at partiklerne, eller deres enkelte lag, omgiver sig med en ækvivalent mængde såkaldt adsorbere kationer (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , Al^{+++} , H^+ m. fl.). Disse kationer er i regelen ombyttelige således, at de kan udveksles med andre kationer, som findes i jordvæsken, og herved kan lere bibringe en jord en betydelig stødpudeeffekt overfor forsuring og udpining for næringsstofkationer.

En lignende evne til kationbinding og -udveksling har jordens humusstoffer, endda i højere grad end ler, men humusindholdet er normalt beskedent, så for de fleste jorde gælder, at det er lerindholdet, som har størst betydning for deres kationadsorptionskapacitet.

9. *Smeltevandsslette med dødishuller.*

10. *Sprækkedale i grundfjeld.*

11. *Kystkliner.*

12. *Senglaciale havaflejringer.*

13. *Postglaciale havaflejringer.*

14. *Marsk.*

15. *Vadehav.*

16. *Klitter.*

17. *Hovedholdslinien.*

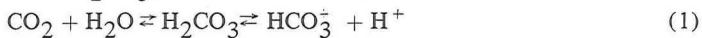
Det er også jordens indhold af fine partikler, som er afgørende for dens vandholdende evne, og derigennem får stor betydning for, hvor ofte en jord under givne klimatiske forhold gennemsvives med vand.

Men særlig vigtigt er det nok, at de små lerpartikler med deres store specifikke overflade har stor evne til ved forvitring at frigøre ikke alene adsorberede kationer, men også sådanne kationer, som indgår i deres krystalstrukturer (Al^{+++} , Mg^{++} , Fe^{+++} , Fe^{++} m. fl.). Herved bibringer de en jordbund større evne til at modstå den forarming på base- og næringskationer, som den under naturlige forhold ellers vil undergå i et klima som vort, og derigennem ændres tillige jordbundsudviklingens forløb således, som det skal vises i det følgende.

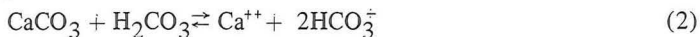
Udviklingen af jordbundsprofiler under forskellige forhold

Jordbundsudviklingen er begyndt samtidig med, at der er etableret en vegetation. Med den følger en jordbundsfauna og mikroflora, som nedbryder planterester til vand, kuldioxid og uorganiske salte. Under disse omsætninger opstår resistente, organiske forbindelser med lang levetid og med høje eller meget høje molekylvægte, det såkaldte humus, som i de øvre jordlag oftest udgør 2–3% af jordens vægt. Det afhænger af forholdene, hvor godt omsætningen af de organiske stoffer forløber, og hvor godt humusforbindelserne blandes med de øvre jordlag.

Under mineraliseringsprocesserne dannes mindre mængder af stærke uorganiske syrer og middelstærke organiske syrer, men især dannes store mængder kuldioxid, CO_2 , en forbindelse, der også produceres i jorden gennem planternes rodånding. Jordluften indeholder derfor oftest 10–100 gange så meget CO_2 som almindelig atmosfærisk luft. En del af dette CO_2 opløses i jordvandet, hvor det delvis omdannes til H_2CO_3 , der har syreegenskaber:



og som kan opløse kalk:



Så længe der er $CaCO_3$ til stede, vil jorden reagere neutralt eller svagt alkalisk. Hvor jorden er, eller er blevet, kalkfri, vil H^+ , der produceres (1), reagere med det stødpudekompleks, som jordens ler- og humuskolloider er bærere af, og herunder gennem ionbytningsprocesser fortrænge adsorberede base-kationer, der herved må tabes ved udvaskning med mindre, de optages af vegetationen. I et fugtigt klima og under gode naturlige afdræningsmuligheder fører disse processer uundgåeligt til jordbundsforurening og tab af plantenæringsstoffer i form af base-kationer. Det er klart, at den tid, det tager, afhænger af jordens syreneutraliseringskapacitet, d.v.s., af dens indhold af ler, og evt. af $CaCO_3$, samt af nedbørsoverskuddets størrelse. Den afhænger også af vegetationen, ikke alene fordi transpirationen afhænger heraf, men også bl. a. fordi rodtybden influerer på den mængde base-kationer, der gennem 'biocycling' indgår i det naturlige

kredsløb og hermed beskyttes mod udvaskning. Blandt andet derfor forløber jordbundsudviklingen 'gunstigere' under eg end under gran eller lynghe.

CO₂-produktionen kan bevirke, at jordens pH-værdi efterhånden falder til ca. 4, samtidig med at dens adsorptionskompleks gradvis tømmes næsten helt for adsorberede base-kationer.

I en oprindelig kalkholdig, leret morænejord tager kalkudvaskningen og forsyningen lang tid, og mens det står på, vil der typisk foregå en lernedslemning i jordbunden. Den begynder, når det øverste jordlag er blevet udvasket for CaCO₃ og har fået svag sur reaktion, fordi en del af de adsorberede Ca⁺⁺-ioner er fjernet fra ler og humus gennem ionbytningsprocesser. Herved mindskes Ca⁺⁺-koncentrationen i jordvæsken således, at leret lettere dispergeres og føres med af det nedsivende vand. Transporten sker gennem revner og sprækker, porer og regnormegange, og det er især de fineste lerpartikler, som føres med.



A-horisont

E-horisont

B-horisont

Argillisk horisont

C-horisont

Figur 3. Brunjordsprofil i kalkholdig moræneler fra Sjælland. Foto: Leif Petersen.

Leret afsættes igen, oftest i form af karakteristiske belægninger, hvis tætte jordlag blokerer for transporten, hvis fine porer i tørre jordlag opsuger det nedsivende vand, eller hvis opslemningen når ned i jordlag, hvor Ca^{++} -koncentrationen er højere.

Gennem denne proces forarmes udludningslaget, A- og E-horisonterne (fig. 3), på ler samtidig med, at den underliggende B-horizont beriges med ler. Man siger, at der er dannet en *argillisk horisont*. Denne er hos os oftest 0,5–1 meter tyk men kan begynde i mere end 1 m dybde. Hvor jordbunden, som det ofte er tilfældet i landets østlige egne, endnu er kalkholdig i mindre end 1 m dybde, vil denne argilliske horisont være tyndere og findes over det (endnu) kalkholdige lag.

En argillisk horisont kan være vanskeligt gennemtrængelig for vand, så der i fugtige perioder sker en vandopstuvning.

I en vestdansk sandjord går udviklingen anderledes. Udgangsmaterialet er i regelen kalkfrit, og i det fugtige klima vil de små reserver af base-kationer hurtigt forsvinde ved udvaskning. Under naturlige forhold vil en sådan jord også blive næringsfattig, så vegetationen, og dermed det organiske affald, ændres. Herved påvirkes jordbundsfaunaen, f. eks. forsvinder de store regnorme, således at nedbrydningen af det organiske materiale nu i højere grad kommer til at foregå ovenpå jorden: *Muldlaget* afløses af et *morlag*. Samtidig hæmmes bakterievæksten, så stofomsætningen kommer til at foregå langsommere, mindre fuldstændigt og i højere grad ved hjælp af svampe.

De ændrede nedbrydningsforhold medfører, at der i morlaget dannes såkaldte fulvosyrer, en blanding af relativt lavmolekylære organiske forbindelser, som er noget opløselige i vand, har syreegenskaber og formår at danne komplekser med jern- og aluminiumioner. Som følge heraf kan morlaget blive ret stærkt surt med pH-værdier omkring 3; og de fulvosyrer, som af det nedsivende vand føres ned gennem de øvre mineraljordslag, formår undervejs at opløse jern- og aluminiumforbindelser og medføre metallerne i kompleksbundet form. Herved dannes en udludningshorisont, som er forarmet med hensyn til ferri- og aluminium-oxidhydroxider. E-horisonten (blegsandslaget) får herved den grå farve, som er karakteristisk for kvarts.

I større dybde vil fulvosyrerne efterhånden mættes med jern- og aluminiumioner, hvorved opløseligheden nedsættes, så de udfældes under dannelse af en såkaldt *spodisk horisont*. Heri kan det udfældede materiale sammenkittet sandkornene således, at der opstår et hårdt og kompakt allag, der kan være vanskeligt gennemtrængeligt for vand og planterødder. Resultatet af denne jordbundsudvikling er en såkaldt *podsoljord*, se fig. 1.

Også i lerjorde kan de øvre lag blive så stærkt sure og næringsfattige, at der dannes et morlag, men her fører det ikke uden videre til, at der dannes en podsoljord, formentlig fordi, lerpartiklerne i udludningslaget har så stor evne til at frigive jern- og aluminiumioner fra deres krystalgitter, at fulvosyrerne hurtigt

mættes hermed og udfældes allerede i det øvre mineraljordslag, så den typiske zonerings udebliver.

Det skal dog nævnes, at man på lerjorde hyppigt kan iagttage, at en lernedslemning er blevet efterfulgt af en begyndende podsolering. Denne podsolering er da foregået i de udludningslag, som under lernedslemningen er blevet forarmet på frie lerpartikler, og hvori der herved er blevet større mulighed for, at fulvosyre kan bevæge sig nedad, før de mættes med metalioner og udfældes. De vil dog ikke nå længere end til overfladen af den argilliske horisont, før de udfældes.

Heraf forstås, at man på lerede moræner kan finde en veludviklet argillisk horisont i ca. 1 m dybde samtidig med vidnesbyrd om en begyndende podsolering i jordens øverste lag. For morænesandsjorde gælder tilsvarende, at man i en veludviklet podsoljord ofte kan finde spor af en argillisk horisont under den spodiske horisont. Der findes altså jorde, som er præget af såvel lernedslemning som podsolering, og det vil ses, at de er dannet gennem opløsnings- og udvaskningsprocesser, efterfulgt af flytningsprocesser, i form af lernedslemning eller podsolering eller gennem de to sidstnævnte typer processer i forening.

I denne gennemgang har jeg ikke nævnt de forvittringsprocesser, som har påvirket jordbundens silikatminerale under jordbundsdannelsen. Dette, fordi en nærmere beskrivelse heraf ville være pladskrævende, og også fordi disse processer foregår langsomt og de fleste steder ikke giver sig til kende gennem markante og let iagttagelige forskelle, jordene imellem.

Der foreligger dog forskningsresultater, som viser, at i de stærkest udludede og forsurede jorde har forvitringen nedsat mængderne af blandt andet feldspatter både i sand- og siltfraktionen, og det er vist, at i lerfraktionen, der jo må påvirkes stærkest, vil også de egentlige lerminerale med tiden omdannes og nedbrydes. Også i den henseende er der forskel på udviklingen i Øst- og Vestdanmark.

I kontinentale og tropiske klimater forløber jordbundsudviklingen anderledes og fører til andre typer jordbundsprofiler. Disse jorde må vi her forbigå, ligesom jeg må undlade en nærmere omtale af vore mose- og marskjorde.

Gennem et internationalt samarbejde har man beskrevet og kortlagt de karakteristiske jorde, man finder rundt omkring på vor klode. Samtidig har man udarbejdet systemer, hvorefter disse jorde klassificeres og navngives. Dette gøres på grundlag af blandt andet de karakteristiske, såkaldt diagnostiske horisonter, man finder i dem. Blandt disse diagnostiske horisonter er f. eks. en argillisk og en spodisk horisont, men det må bemærkes, at langt fra alle de jorde, som hos os bærer præg af podsolering eller lernedslemning, har så veludviklede horisonter, at de opfylder de kvantitative krav, som de internationale regler fastsætter, for at en horisont kan klassificeres som spodisk eller argillisk. Hertil kan der være forskellige grunde.

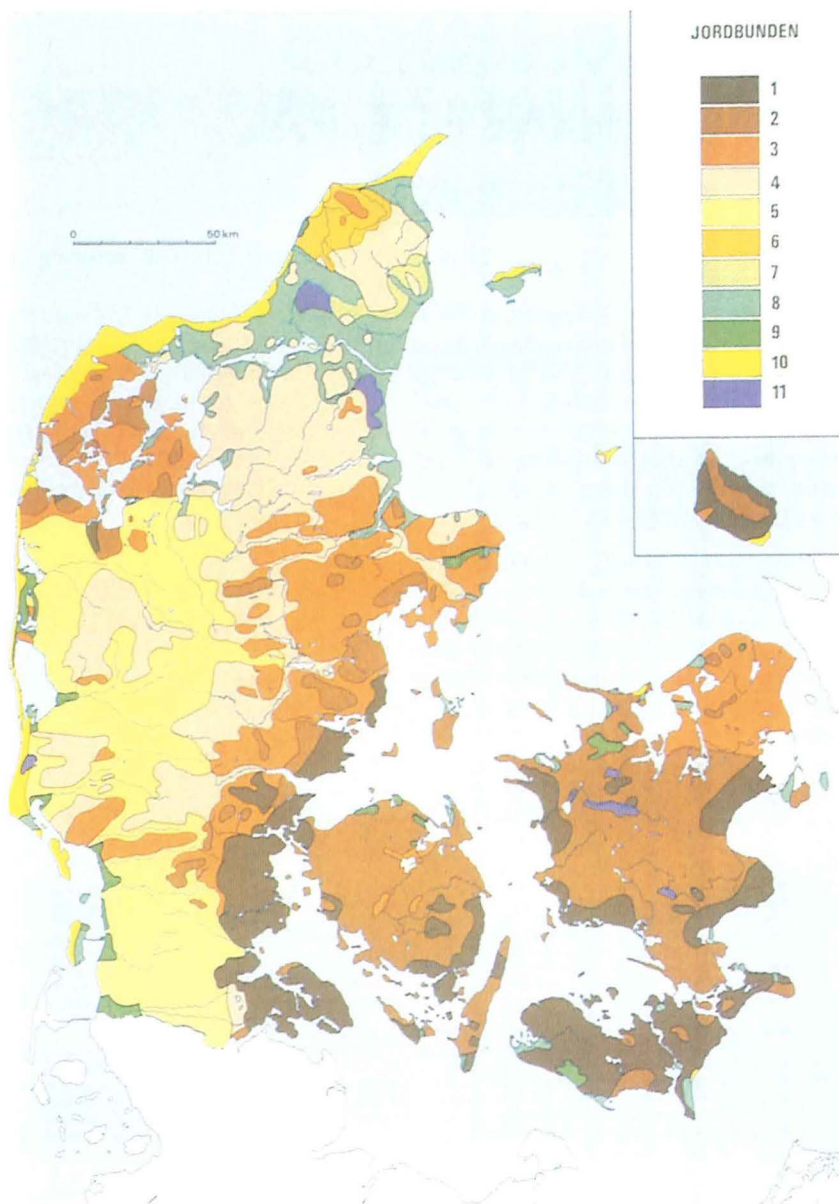
For det første gælder, som allerede anført, at alle vore jorde geologisk set er unge, nogle af dem endda meget unge således, at de kun i et relativt kort tidsrum har kunnet gennemgå en naturlig udvikling, før opdyrkning, gødsning og, senere, kalkning har forstyrret deres udvikling. I nogle tilfælde, f. eks. ved opdyrkning af hedejord, har kultiveringen i større eller mindre grad bevirket, at podsoljordens horisonter er blevet udvisket. Det er karakteristisk, at vi oftest finder de bedst udviklede og bevarede jordbundsprofiler på heder og i skove.

I figur 4 er vist et kort over de dominerende jordbundstyper i landets forskellige regioner. Det skal siges, at der indenfor hvert af disse områder vil være store lokale forskelle i jordbundsudviklingen således, at man indenfor samme område inden for korte afstande kan finde stærkt afvigende jordbundstyper. Et pedologisk kort, som lod disse lokale variationer komme til udtryk, måtte i nogle egne være endog meget detaljeret.

Figur 4 nøjes med for de enkelte områder at gengive de dominerende jordbundstyper samt de typer, der dækker mindre arealer. Herved fås forhåbentlig en oversigt over forholdene, som, sammen med det kvartærgeologiske kort (fig. 2) kan tjene til at illustrere den fremstilling af vore jordes pedologiske udvikling, som jeg her har forsøgt at give.



1. *Overvejende lerjorde med 15–25% ler. Lerneslemning med dannelse af et lerberiget lag i 0,5-1 meters dybde er almindelig.*
2. *Sandblandede lerjorde med 10–15% ler og lerjorde. Lerneslemning er almindelig.*
3. *Lerblandede sandjorde med 5–10% ler og sandblandede lerjorde. Lerneslemning er almindelig, men hæmmer ikke afdræning og luftskifte så godt, som de ovenfor nævnte lerjorde.*
4. *Sandjorde med 0–5% ler og lerblandede sandjorde. Sandjordene er præget af podsolering men indeholder i reglen ikke længere et ubrudt al-lag. De lerblandede sandjorde kan være noget præget af lerneslemning.*
5. *Sandjorde med 0–5% ler. En del har før kultivering været mangelfuldt afvandede (hedemoser), og ofte findes grundvandet i ringe dybde.*
6. *Lerjorde (senglaciale Yoldia-aflejringer) ofte med dække af flyvesand. Kun svag jordbundsudvikling.*
7. *Sandjorde (senglaciale Yoldia-aflejringer). Før kultivering præget af podsolering og/eller mangelfuld afvanding.*
8. *Sandjorde (postglaciale Litorina-aflejringer). Før kultivering præget af mangelfuld afvanding men kun svag podsolering.*
9. *Svære lerjorde med 25–45% ler. Kun svag jordbundsudvikling i disse næringsrige jorde.*
10. *Sandjorde (flyvesand) med en podsolering, der afhænger af alderen.*
11. *Tørvejorde, hovedsagelig på højmøser, hvor den oprindelige tørv er sur og næringsfattig.*



Figur 4. Jordbundskort over Danmark. Efter Atlas over Danmark, bind 4 (1986): Landbrugsatlas over Danmark. Gengivet med tilladelse fra Det Kongelige Danske Geografiske Selskab (Copyright).