2013

geoviden

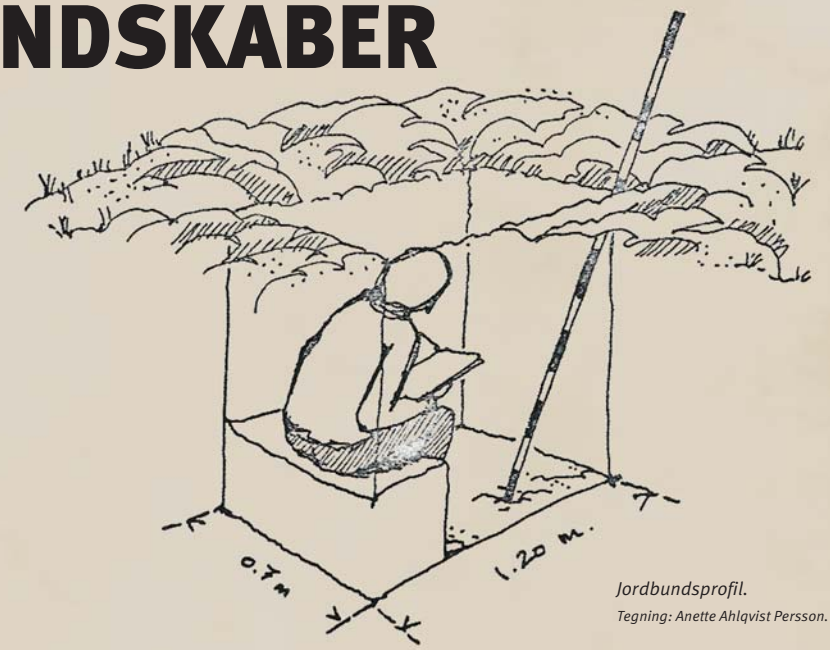
GEOLOGI OG GEOGRAFI NR. 4

JORDBUND

- JORDBUNDSUDVIKLING I DANSKE LANDSKABER
- JORDBUNDEN SOM LANDSKABSDANNENDE FAKTOR
- KULSTOF & KVÆLSTOF PÅ GODT OG ONDT
- JORDBUNDEN SOM ARKIV
- DANMARKS BEDSTE JORD
- JORD OG JORDRELATEREDE EMNER

JORDBUNDSUDVIKLING I DANSKE LANDSKABER

Jordbunden er fællesbetegnelsen for de øverste meter af jordskorpen, som er basis for den naturlige vegetation eller landbrugsafgrøder. Den er dannet ved en mangeårig kemisk og fysisk forvitring af geologiske sedimenter og bjergarter. Det sker bl.a. ved omdannelse og nydannelse af mineraler, ved flytning af bestanddele og ved dannelse af humus i de overfladenære lag.



Jordbundsprofil.
Tegning: Anette Ahlqvist Persson.

Jordbundsudvikling studeres af pedologer (af gr. *pedon* 'grund, jordbund' og *–logi*). De tolker og forklarer jordbundsudviklingen ud fra de jordbundsdannende faktorer, som er de klimatiske forhold, geologi/geomorfologi/topografi, organismerne i jorden, tiden og menneskets påvirkning via kulturelle aktiviteter. I Danmark, hvor klimaet er fugtigt og tempereret, foregår jordbundsdannelsen ikke så hurtigt som i troperne, hvor høje temperaturer og store nedbørsmængder fremmer de kemiske og fysiske processer. Men jordbundsudviklingen kan – selv under vore hjemlige himmelstrøg – variere meget fra sted til sted, fordi forudsætningerne for jordbundsdannelsen kan variere meget inden for selv korte afstande. Det er især geologien (som er udgangsmaterialet for jordbundsudviklingen), nedbørsmængden og dræningsforholdene, der har betydning. De jordbundstyper, der kan studeres i felten, er således et snapshot i tid og viser et nuværende stadium i en lang proces, fordi jordbunden er under stadig udvikling.

PEDOGENESE – UDVIKLING AF JORDBUNDEN

En pedolog kan give en beskrivelse af jordbundens genese og dens egenskaber ved at studere en jordbundsprofil på størrelse med et lille siddebadekar, se tegningen øverst. I det kan jordbundens forskellige horisonter tolkes og beskrives efter bestemte regler, fx FAO's manual til profilbeskrivelse, og der kan udtages prøver i de forskellige horisonter (lag) til bestemmelse af kornstørrelsesfordelinger (tekstur), humusindhold, indhold af vigtige næringsstoffer (Ca, Mg, K, P, N og S), pH, volumenvægte, vandindhold mv. Disse oplysninger kan så samlet give et billede af jordbundens udvikling, og dens kvaliteter eller mangler kan vurderes i en dyrkningsmæssig eller miljømæssig sammenhæng.

I Danmark er der fortaget en række systematiske, videnskabelige undersøgelser af jordbundsforhold i forbindelse med to store kampagner i 1980erne. Først fra 1981 til 1983 langs traceen for hoved-naturgasledningen og i 1986–89 i Landskontoret for Planteavls kvadratnet for gødningsplanlægning i et 7- km net. Ved disse blev der gravet ca. 2.100 jordbundsprofiler, og en database kaldet Den Danske Jordbundsprofil- og Analysedatabase blev opbygget i et samarbejde mellem Københavns Universitet, Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole (nu LIFE) og Danmarks Jordbrugsforskning, Foulum (nu DCA, Aarhus Universitet). Siden er databasen suppleret af data indsamlet ved lokale undersøgelser i marskområderne i Sønderjylland og de såkaldte landovervågningsoplande (LOOP). Databasen består af både profilbeskrivelser og analyseresultater. Gennem årene er der publiceret talrige artikler om jordbundsforholdene og afledte parametre bl.a. vedr. jordens vandtilbageholdende evne (vandretentionen), som benyttes som input til beregninger af udvaskningsrater for næringsstoffer og pesticider fra landbruget.

Med udgangspunkt i profil- og analysedatabasen har det også været muligt at ekstrapolere viden om jordbundsforholdene til de omkringliggende landområder. Det er primært sket ved at benytte geografiske informationssystemer (GIS) og statistiske metoder til at overføre egenskaberne for jordbundsprofilerne i relation til deres landskabsmæssige og geologiske placeringer til det omkringliggende land med samme karakteristika. Dette er muliggjort takket være forskellige landsdækkende kortlægninger af over- og underjorden og terrænforholdene. Overjorden, den øverste del af jorden, blev kortlagt i 1970erne (dog kun landbrugsjordene) i henhold til 12 tekstur- og humusklasser. Kortlægningen af underjorden er efterhånden tæt på at være landsdækkende takket være GEUS' kortlægning af de kvartære jordarter i de øverste 1,25 meter. Dertil kommer viden om udbredelsen af lavbundsområder registreret ved *Okkerundersøgelsen* i 1981–1984 og *SINKS*-projektet afsluttet i 2012 til beregninger af kulstofpuljer i lavbundsområderne, kort over udbredelsen af forskellige landskabselementer og en præcis digital højdemodel.

De nationale tolkninger af jordbundsforholdene er også blevet vurderet i forhold til internationalt udarbejdede klassifikationssystemer. Mest kendt er FAO-Unesco's system fra 1970erne, som blev udarbejdet i tilknytning til et verdensomspændende jordbundskort i skala 1:5 mio. I 1990erne udarbejdedes kort over Europa i skala 1:1 mio. efter FAO 1990- og senere WRB 1998-systemet (Verdens referencegrundlag for jordressourcer). Det danske bidrag ses på kortet side 3. Det tager udgangspunkt i horisontfølger, tekstur, humusindhold og jordens dræningstilstand – dvs. om der er synlige

tegn på vandlidende forhold i dele af profilen eller ej. Systemet baserer sig på såkaldte diagnostiske horisonter, som beskriver graden af jordbundsudvikling og -sammensætning i den mest karakteristiske overfladehorisont, A-horisonten, og den underliggende B-horisont. Svagt udviklede jorde, eksempelvis en sandet klitjord, har oftest en tynd A-horisont og i bedste fald en svagt udviklet strukturel B-horisont, hvor den naturlige lejring er forstyrret af den biologiske aktivitet. Stærkere udviklede jorde har en dybereliggende B-horisont beriget af materiale fra overliggende lag, fx lermineraler, jern- og aluminiumoxider eller humus.

Jordbundsudviklingen i højtliggende landskaber er væsentlig forskellig fra jordbundsudviklingen i lavtliggende landskaber. Højbundsjorde opdeles ofte i sandede og lerede typer, og de er udviklet i områder upåvirket af det permanente grundvandsspejl, men de kan have et midlertidigt højtstående grundvandspejl dannet om vinteren pga. nedbørsoverskud og en langsom permeabel (gennemtrængelig) underjord (leret till).

De sandede højbundsjorde findes i klitlandskaber, på smeltevandssletterne, på de vestjyske bakkeøer og i det yngre morænelandskab øst derfor. I klitlandskaberne er der stort set ingen jordbundsudvikling, fordi det dynamiske miljø hele tiden sørger for nye pålejringer af sand. Vegetationen har derfor svært ved at finde fæste, så der udvikles kun meget tynde A-horisonter, som i følge FAO-Unesco's system betegnes *albiske Arenosols* (lyse sandjorde). På smeltevandssletterne er der er typisk udviklet *cambiske Arenosols*, hvor sandet er brunt pga. in situ-forvitring af primærmineraler. De er naturligt næringsfattige og har ringe vandtilbageholdende evne, og de skal derfor gødes og vandes til landbrugsproduktion. De stærkest udviklede sandjorde er *Podzols* – også kaldet al-jorde. De er meget næringsfattige og med tydelige tegn på udvaskning af jern, aluminium og humus fra de overfladenære lag. *Podzols* findes fortrinsvis under nåleskove og lyngheder, hvor vegetationen har fremmet et surt miljø og dannelsen af et næringsfattigt morlag øverst, hvori der dannes organiske syrer, som kan opløse og mobilisere jern og aluminium i de øverste lag på kompleks form. Disse stoffer er så ført nedefter i profilen med nedbørsoverskuddet til aflejring i 60–90 centimeters dybde i et såkaldt al-lag. Det var alen, som Dalgas brød (fra 1866), da heden i sin tid blev opdyrket. Nogle steder i det midtjyske findes jern- og manganaflejringer i koncentrationer på mere end 10 %. Disse er dog ikke aler, men myremalm dannet som redox-betingede aflejringer på hedesletterne forårsaget af grundvandsudsivninger fra bakkeøerne. Disse jorde er stort set håbløse at opdyrke, medmindre de bliver dybdepløjet eller myremalmen er bortgravet til industriel brug.

HØJBUNDSJORDE

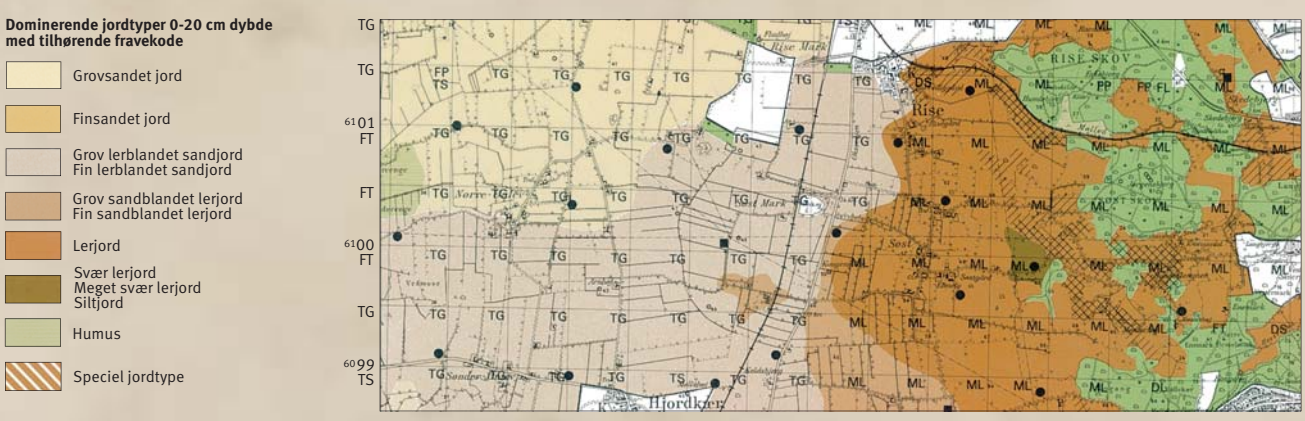
De lerede højbundsjorde findes udbredt på bakkeøerne og især i det yngre morænelandskab. Nogle af disse jorde har i sin tid været kalkrige (især dem der er afsat af den ungbaltiske is), men med årene er kalken blevet opløst af kulsyre og udvasket fra de øverste 1–1,5 m af jordbunden. Kalkholdige lag har en pH på ca. 8,3, men efter udvaskningen er pH-niveauet faldet. Ved pH 5–7 er bindingerne lermineralerne imellem blevet svagere, og pga. overskudsnedbør har leret så kunnet transporteres nedefter via grov- og mellemporerne og er genaflejret, når porerne er blevet mindre, og/eller hvis kalkindholdet er forøget. Jordene i Nordjylland og på de vestjyske bakkeøer er mest udvaskede og sure i toppen, og i lerberigede horisonter (Bt-horisonter; t ≈ ton, det tyske ord for ler) længere nede i profilen er der lave pH-værdier, under ca. 5,5. Disse jorde kaldes *Alisols*, mens jordene som er mindre udvaskede, men også lerberigede i dybden, kaldes *Luvisols*. Disse jordtyper har ofte problemer med den såkaldte indre dræningstilstand pga. det stigende lerindhold med dybden, så nedbøren ikke kan bortledes effektivt. De udviser derfor ofte vandlidende træk i dele af året, som minder om forholdene på en lavbundsjord, hvor grundvandsspejlet står højt året rundt. Disse udviser derfor tegn på reducerede forhold – et fænomen, som også betegnes pseudogley, hvor de vandlidende områder fremstår grå på en brun baggrund. Disse højbundsjorde er gode og næringsrige landbrugsjorde med en god vandretention pga. de høje lerindhold. *Luvisols* er dog betydeligt mere næringsrige end *Alisols* pga. den ringere udvaskning, og hvis de

Henrik Breuning-Madsen
Professor, IGN, KU
hbm@ign.ku.dk

Thomas Balstrøm
Lektor, Inst. for Planlægning, AAU-Cph
thomasb@plan.aau.dk

Mogens H. Greve
Sektionsleder, Inst. for Agroøkologi – jordfysik og hydropedologi, AU
mogensh.greve@agrsci.dk

Niels H. Jensen
Lektor, Inst. for Miljø, Samfund og Rumlig Forandring, RUC
nhj@ruc.dk



Udsnit af Basisdatakort 1:50.000, vest for Åbenrå. ML = Moræneler; TG = Ferskvandsgrus i 1 meters dybde.

Generaliseret FAO-kort for Danmark.

Alisol
Luvisol
Cambisol
Arenosol
Podzol
Regosol
Gleysol
Fluvisol
Histosol

drænes (hvilket hovedparten er blevet siden indførelsen af rørdrænet i 1848), er de gode landbrugsjorde. Af øvrige højbundsjorde (men med ringe udbredelse) kan nævnes områder med kalkklippe (*Rendzinas*) i Himmerland og på Saltholm samt det stort set blottede grundfjeld på Bornholm, som kun har et tyndt sedimentdække (*Litosols*).

LAVBUNDSJORDE

Lavbundsjordene er udbredte i ådale og andre lavninger i landskabet, ved kysterne, de marine forlande og i marskområderne, hvor grundvandet permanent står højt i profilen, og drænings-tilstanden derfor er dårlig. I meget våde områder som fx lavninger i det glaciale landskab og på de marine forlande er der ophobet organisk materiale, nemlig tørv. Tørvejorde benævnes under ét *Histosols*, hvis de har en såkaldt histisk horisont, som er min. 40 cm tyk og har et organisk indhold på mere end 20 %. Tørv består af delvist eller ufuldstændigt omsat organisk materiale dannet under iltfattige forhold i vandmættet jord. Der skelnes ofte mellem to typer af tørv: lavmose- og højmosetørv.

OMRÅDER MED TØRVEDANNELSER

Lavmosetørv findes i landskabets lavninger efter tilgroning af søer og kær. Tørven i lavmoser er ofte velomsat og næringsrig. Dette skyldes, at lavmosen beriges med næringsstoffer fra grundvand eller åvand.

Højmosetørv findes ofte oven på lavmosetørv, idet tørvedannelsen kan fortsætte op over niveauet for det oprindelige grundvandsspejl. Dette skyldes, at planter som spagnum koloniserer lavmosen og langsomt opbygger mosen til et svagt hvælvet legeme. Nogle af vore største moser, som Vildmoserne og Holmegårds Mose, er højmoser. I modsætning til lavmoser er højmoser næringsfattige og sure. Dette skyldes, at højmosetørven mister kontakten til det næringsrige grundvand, og at planterne derved udelukkende ernæres af den begrænsede mængde næringsstoffer, der tilføres via nedbøren.

I ådale og marskområder, som jævnligt overskylles af å eller hav, og hvor der er aflejret vekslende lagfølger af lerede og sandede sedimenter, populært kaldet 'kiksekager', tales der om *Fluvisols*. I afsnørede å-slyngninger i ådalene kan der ved tilgroning dannes tykke tørvelag, og dér findes *Histosols*. Øvrige jorde med dårlig dræning med grundvandspræg inden for de øverste 50 cm udviklet på mineraljorde betegnes *Gleysols*.

Udsnit af klimpelandskabet i Stensbæk Plantage. Klimperne er beliggende på en jævn afblæsningsflade, der er svagt gruset.
Foto: Forfatterne.

JORDBUNDEN SOM LANDSKABSDANNENDE FAKTOR

Det er normalt at landskabet dannes før jordbundsudviklingen tager sin begyndelse. Det kan derfor virke lidt sært, at det modsatte kan forekomme, altså at jordbundsudviklingen er en forudsætning for landskabsdannelsen. Ikke desto mindre forekommer det, og et af de mest markante landskaber, hvor pedogenesen spiller en overordnet rolle, er klimpelandskaberne i Sønderjylland.

Klimp er et gammel dansk ord for jordklump eller -knold. Klimperne består af flyvesand. De fleste flyvesandsområder domineres af klitter, som ses tydeligt i landskabet pga. deres højde og karakteristiske fx parabel- eller seglformer. Sandet i klitterne stammer fra nærliggende områder, hvor der så er dannet afblæsningsflader. På nogle ganske få af disse flader findes erosionsrester, der hæver sig op til 5 meter over afblæsningsfladen og fremstår som lave, flade øer – det er klimperne. I Sønderjylland kaldes de også 'Færøerne' eller 'Pandekagerne' i folkemunde efter deres særegne form, se foto øverst. Nogle af disse 'øer' er ganske små, andre er på størrelse med en fodboldbane.

KLIMPERNES OPBYGNING

De sandede klimper har flere bemærkelsesværdige karaktertræk; de har fx vand på toppen, men er tørre ved foden, hvilket synes at stride mod al logisk sans. På toppen findes nemlig en sumpet lavning omkranset af en lille randvold, også kaldet skulderen. Den sumpede lavning består af et tyndt sandlag, hvorunder der er mose. Tørven er ofte ret uomsat og kan være mere end 1 meter tyk i de centrale dele af klimpen, medens det tynder ud mod kanten. Historiske kilder beretter, at kreaturerne gik op på toppen af bakkerne for at drikke. Årsagen til at der kan ligge vand på toppen af en klimpe er, at der inden i klimpen findes en stærkt udviklet podzol med en såkaldt *placisk* horisont. Det er et mindre end 1 cm tykt lag bestående af sandskorn, der er sammenkittet af jern- og manganoxider og derfor uigennemtrængeligt for vand. Laget danner en skål, der forhindrer vandet fra klimpens top i at dræne bort på nær tæt ved kanten af klimpen, hvor den placiske horisont ikke forekommer, se figuren nedenfor og fotoet øverst side 7.

Klimperne kan ligge som veldefinerede enkeltobjekter med stejle kanter og en konkav

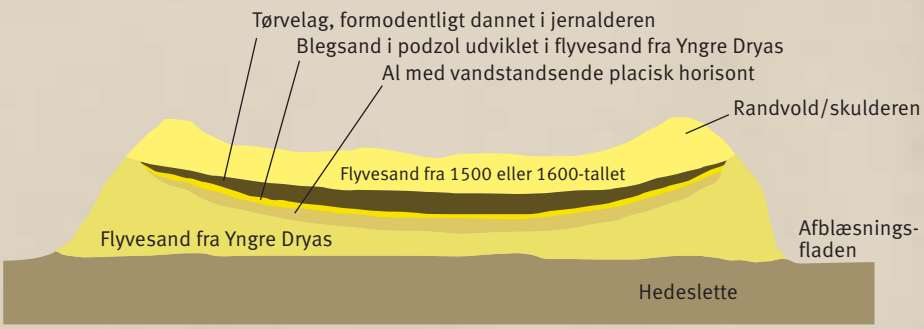
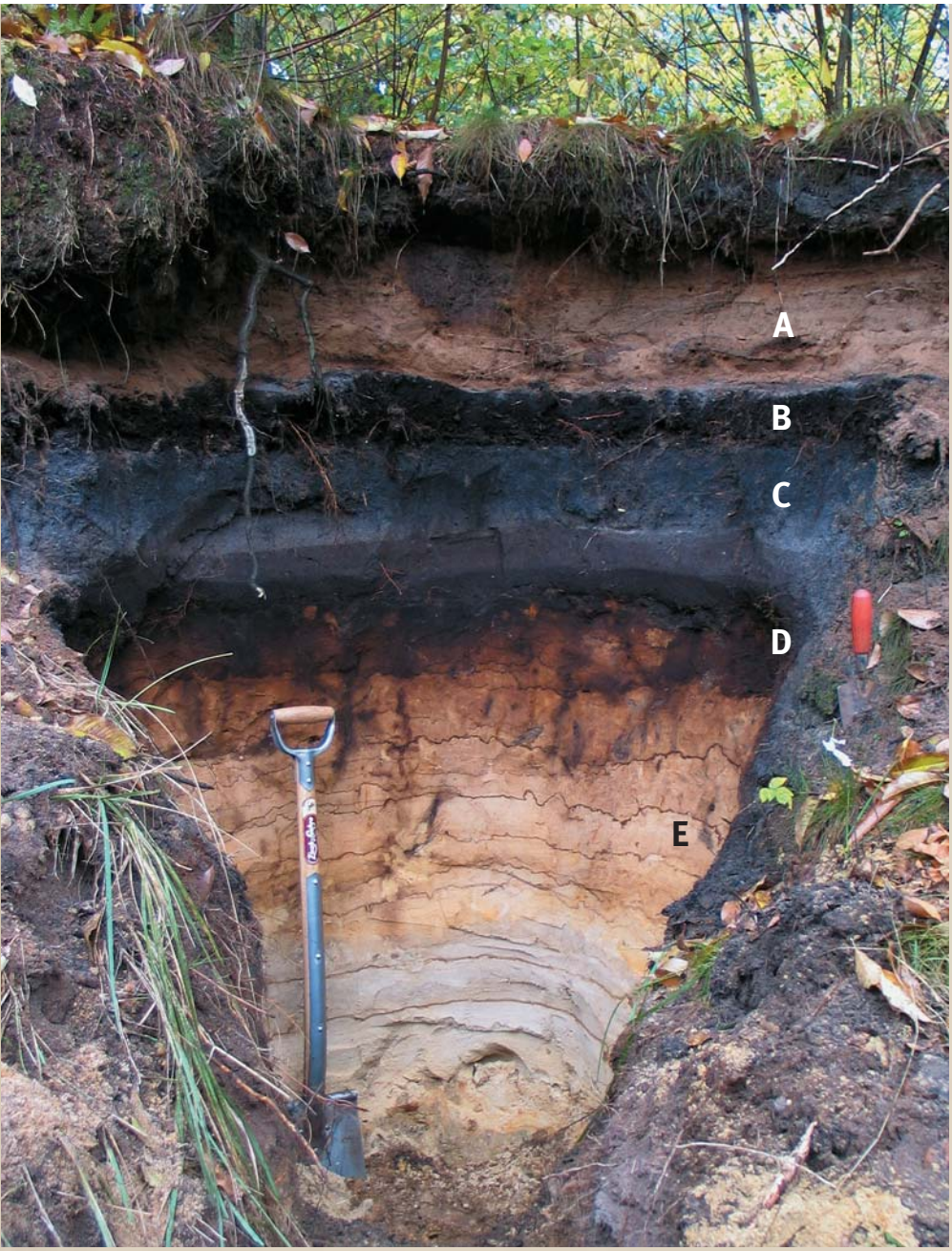


Illustration: Forfatterne og Henrik Klinge Pedersen, GEUS.



Jordprofil gennem en klimpe, hvor tørvelaget er tyndt, Frøslev plantage. A) Flyvesand fra den lille istid. B) Tørvelaget, lidt over 1000 år gammelt. C) Blegsandslaget i podzolen. D) Alen med en ikke synlig tynd placisk horisont, der er vandstandsende. E) Senglacialt sand (Yngre Dryas) med striber dannet ved al-dannelsen.
Foto: Forfatterne.

Henrik Breuning-Madsen
Professor, IGN, KU
hbm@ign.ku.dk

Karen Lise Bird
Adjunkt, Roskilde Katedralskole
rkklb@rks-gym.dk

Bo Elberling
Professor, IGN, KU
be@geo.ku.dk

Else Benete Lei
Naturstyrelsen Vadehavet
leihaase@mail.dk

overflade, der består af en veldefineret randvold og en mose i midten. Mosen i midten vil være dækket af et mere eller mindre tykt sandlag, men fremstår alligevel med en randvold og en lavning. Ved små moser dannes der små klimper, der ikke udvikler en konkav overflade med randvold og lavning, men derimod en konveks overflade. Endelig kan klimper udvikles som 'halvøer', der rager ud fra klitsystemer eller bakkeøer.

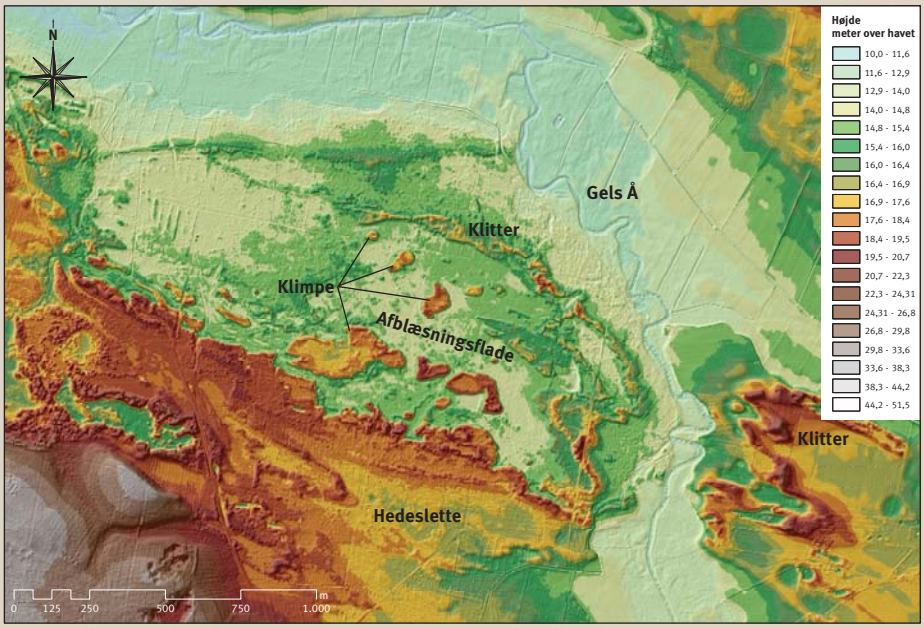
Klimper er ikke særligt almindelige, faktisk er de kun fundet i større antal i Frøslev Plantage ved grænsen til Tyskland og i Stensbæk Plantage mellem Gram og Ribe. Klimpelandskabet ses bedst i Stensbæk Plantage, hvor det er dækket med hedevegetation modsat Frøslev, hvor det ligger i en plantage. På figuren side 8 ses en digital højdemodel af klimpelandskabet, der viser hedesletten i venstre, nedre side af figuren og afblæsningsfladen med klimperne centralt. Nederst på figuren ses en klitrække, der består af sand fra afblæsningsfladen.

Der er i Stensbæk Plantage fundet omkring 15 klimper med tørv i ringe dybde. Der er udført et par OSL-dateringer af sandet over og under tørvelaget i en af klimperne samt ^{14}C-datering af tørven. (OSL-dateringsmetoden er bl.a. beskrevet i Geoviden nr. 3 fra 2013, s. 4). På basis af disse dateringer kan man opstille følgende model for landskabets dannelse, men det skal dog bemærkes, at datagrundlaget endnu er forholdsvis spinkelt, især med hensyn til dateringer. Det er derfor sandsynligt, at kommende studier med nye dateringer vil gøre det nødvendigt at revidere dannelseshistorien på enkelte punkter.

For omkring 18.000 år siden, medens isen stod ved Hovedstilstandslinjen, blev hedesletten mellem Gram og Toftlund Bakkeø dannet. Den er grovsandet med et lille indhold af grus. I senglacialtidens sidste kuldeperiode, Yngre Dryas, for ca. 12.000 år siden, blev der dannet et jævnt flyvesandsdække over store dele af hedesletterne, fordi en sparsom vegetation ikke kunne holde på jorden. I Stensbæk Plantage omlejredes hedesletten, så der var ca. 5 meter dryassand. Overfladen af hedesletten med dryassand forblev derefter ret stabil i flere tusinde år, og kun i forbindelse med opdyrkning eller større brande åbnedes landskabet, og vinderosionen kunne tage fat.

I jernalderen, hvor klimaet blev koldere og fugtigere, podzoleredes sandjordene. Podzolering er en jordbundsproces, hvor organiske syrer, dannet i morlaget oven på mineraljorden, opløser jern- og aluminium(hydr)oxiderne, der dækker sandskornene i lagene umiddelbart under og farver dem brune. Jernet og aluminiummet føres derefter med overskudsnedbøren ned i ca. en halv til én meters dybde, hvor det genudfældes og danner alen (se foto ovenfor). Visse steder blev alen så kraftig, at den blev uigennemtrængelig for vand, og næringsfattige hedemoser opstod. Opdyrkning af arealerne mellem moserne åbnede landska-

Klimpe med den våde indsynkning og den højereliggende randvold, Stensbæk Plantage.
Foto: Forfatterne.



Digital højdemodel over området med klimper, Stensbæk Plantage.
Kilde: Danmarks Højdemodel (DHM), data fra Kort- og Matrikelstyrelsen.

Svagt podzoleret sandjord i randvolden til en af de veludviklede klimper. Grundvandet står i ca. 1,2 meters dybde, Stensbæk Plantage.
Foto: Forfatterne.

bet, og sandflugt fra markerne fandt sted. Ud fra et par OSL-dateringer ser det ud til, at det var under den lille istid, at sandflugten var voldsom, og den endelige udformning af klimpelandskabet fandt sted. Moserne sandede til, og afblæsningsfladerne mellem moserne sank flere meter, så toppen af moserne i klimperne i dag ligger op til mere end tre meter over den nuværende basisflade. En grov mængdeberegning af afblæs- ningen viser, at det er mere end 2 mio. m^3 sand, der er blevet blæst op i klitlandskaber på begge sider af Gels Å eller er blæst ud i ådalen, der blev mere eller mindre tilsandet.

KLIMPERNES ALDER

Klimpernes morfologiske dannelse er altså ret ny, næppe mere end 400 år gammel. Den specielle form af klimpernes overflader med dannelsen af en randvold og en lavning i midten kan tilskrives en efterfølgende indsynkning af de centrale dele af klimpen på grund af sammenpresning af tørvelaget, betinget af vægten af det påføgne sand, se foto øverst. Siden den lille istid er der sket en begyndende podzolering i sandet på randvolden (se foto ovenfor) og i lavningerne, hvor sandlaget er tykt. Podzoleringen er dog endnu ikke så kraftig som den, der skete i sandet under tørvelaget, se foto øverst side 7.

Klimperne er en enestående lokaliteter, som indtil videre kun er beskrevet i Danmark og Holland. I Stensbæk vest for Gram ses landskabet bedst, da det er lyngbevokset, medens det ved Frøslev er sløret, fordi det ligger i en plantage. Klimpelandskabernes dannelse er kun delvist udforsket, og der mangler stadigvæk en del dateringer, især i Frøslev, og en sammenligning med klimperne i Holland: er genesen den samme? og er de dannet synkront under den lille istid?

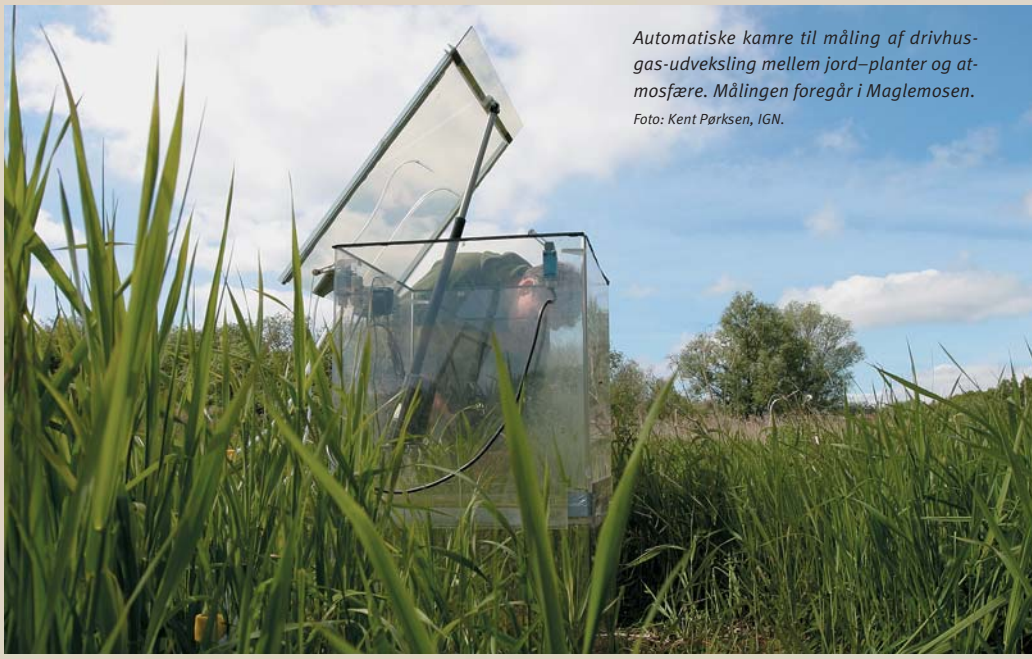
KULSTOF & KVÆLSTOF PÅ GODT OG ONDT

– DANSKE VÅDOMRÅDERS BIDRAG TIL DRIVHUSGASBUDGETTET

Bo Elberling
Professor, IGN, KU
be@geo.ku.dk

Christian Juncher Jørgensen
Postdoc, IGN, KU
cjj@geo.ku.dk

Jordbundens øverste par meter spiller en central rolle for klodens kulstof- og kvælstof-kredsløb. Mellem to og tre gange så meget kulstof, som der findes i hele atmosfæren, er bundet i jordbunden. Organisk stof kan under forskellige fysiske og biogeokemiske forhold blive frigivet som næringsstoffer til planter og mikroorganismer og omsat til drivhusgasserne kuldioxid, metan og lattergas. Undersøgelser i danske vådområder viser, at udvekslingen af disse drivhusgasser mellem jordmiljøet og atmosfæren i visse vådområder primært styres af ilt- og drivhusgastransport igennem planter. Denne viden om drivhusgas-dynamik i naturlige økosystemer er en vigtig brik i puslespillet om at forstå samspillet mellem drivhus-gasser og fremtidige klimaændringer.



Automatiske kamre til måling af drivhusgas-udveksling mellem jord–planter og atmosfære. Målingen foregår i Maglemosen.
Foto: Kent Pørksen, IGN.

DRIVHUSGASDYNAMIK

I de fleste økosystemer på land, fx skove og vådområder, sker der en naturlig udveksling af ilt (O_2), kuldioxid (CO_2), lattergas (N_2O) og metan (CH_4) mellem jorden og atmosfæren. Udvekslingen sker i mange tilfælde som både frigivelse og optag og er styret af en række biogeokemiske processer under omsætning af kulstof (C) og kvælstof (N) bundet primært i organisk stof. Disse processer har tidligere fået stor opmærksomhed i vådbundsområder som moser og våde enge i kraft af deres evne til at fjerne overskudsnitrat (NO_3^-) fra afstrømning fra tilstødende landbrugsarealer. Våde jordbundstyper er således anerkendt for deres positive indvirkning på vandmiljøet, hvorimod det er mere usikkert, hvilken virkning de har på drivhusgasbudgettet.

I vores undersøgelser er der særlig fokus på potentielle drivhusgasudslip fra vådområder, fordi disse er karakteriseret ved en stor ophobning af kulstof og kvælstof på grund af det generelt iltfattige jordmiljø. Under disse vandmættede jordforhold omsættes organisk stof langsomt med efterfølgende dannelse af primært metan, som kan frigives til atmosfæren. Drænes vådområdet derimod, øges omsætningshastigheden af det organiske materiale betydeligt, og retningen af drivhusgasudslip kan vende. Det medfører en øget kuldioxid-frigivelse og et lille nettooptag af lattergas og metan fra atmosfæren. Balancen mellem udslip og optag af drivhusgasser i vådområder er således styret af ilt-niveauet i jordmiljøet, der i overordnet grad er reguleret af jordens vandmætningsgrad og afstand til vandspejlet.

NYE METODER OG TVÆRGÅENDE SAMARBEJDE

Siden 2007 har en tværvidenskabelig gruppe af biogeokemiske forskere og studerende ved Københavns Universitet arbejdet med at udvikle og implementere nye metoder til at forbedre vores forståelse af det samlede drivhusgasbudget i danske vådområder (se boksen side 10).

Vores undersøgelser tager udgangspunkt i Maglemosen ved Vedbæk i et område, som det meste af året står under vand. Om sommeren falder vandspejlet dog ofte til under 0,5 m under terræn. Fordi arealet har været militærområde, er det et at de mest upåvirkede vådområder tæt på København, men alligevel dominerer stedvist en ikke-hjemmehørende, invasiv rørgræs, *Phalaris arundinacea*. Planten har tiltrukket sig international bevågenhed, da den har et stort potentiale som energiafgrøde, der kan erstatte fossilt brændstof.

I Maglemosen har vi fulgt udvekslingen af kuldioxid, metan samt lattergas mellem jord–plante-systemet og atmosfæren gennem flere år og koblet den til variationer i klima, jordtemperatur, vandspejl, ilt og til indholdet af

OM PROJEKTET I MAGLEMOSEN

BOKS

Dette projekt er blevet finansieret i to omgange af det Frie Forskningsråd - Natur og Univers (FNU): I perioden 2007–2010 under arbejdstitlen **'Oxygen availability controlling the dynamics of buried organic carbon pools and greenhouse gas emissions'** og derefter i perioden 2010–2013 under arbejdstitlen **'Nitrous oxide dynamics: The missing link between controls on subsurface N_2O production/consumption and net atmospheric emission'**. Projektet har været ledet af Bo Elberling som et samarbejdsprojekt mellem daværende Institut for Geologi og Geografi og Biologisk Institut (Michal Kyhl og Anders Priemé). Desuden er der bidrag fra DTU (Per Ambus) og Odense Universitet (Ronnie Glud).

Som del af projektet har Louise A. Jensen og Christian J. Jørgensen afsluttet deres Ph.d.-projekter. Der har også været specialer og bachelor-opgaver koblet til projektet, og der har årligt været afholdt praktisk feltundervisning i forsøgsområdet.

drivhusgasser i jorden. I felten er der bl.a. blevet benyttet et fuldautomatisk gaskammersystem, fiber-optiske iltsensorer og mikroelektroder. I laboratoriet har der desuden været anvendt *planar optoder*, dvs. en teknik til visualisering af iltens tilstedeværelse i to dimensioner. Derved har det været muligt at måle kontinuert og således kvantificere samspillet mellem transport- og omsætnings-processer.

VANDSPEJL OG ILT

At både iltindholdet og transporten af ilt er yderst begrænset i vandmættet jord er velbeskrevet, men direkte målinger af iltdynamik ved vandspejlsvariationer i tørvejorde er nye. Vi har begravet fiberoptiske iltsensorer, som er lyslederkabler med sensorkemi på endefladerne, som vender ud mod jorden. Selve lyslederkablet er en tynd fiber af glas, der er i stand til at transmittere lys over lange afstande. Målingen består i at udsende et fluorescerende lyssignal, og når signalet støder på et iltmolekyle, overføres der energi til det, hvormed signalet dæmpes proportionelt med iltkoncentrationen i jorden. Den type mikroelektroder, der bruges i jord er en kraftig og robust nål. Figuren til højre viser, at iltkoncentrationen svinger meget koblet til vandspejlet og aldrig bliver nul i rodzonen på trods af, at jorden er vandmættet. Dette skyldes plantetransport af ilt fra atmosfæren.

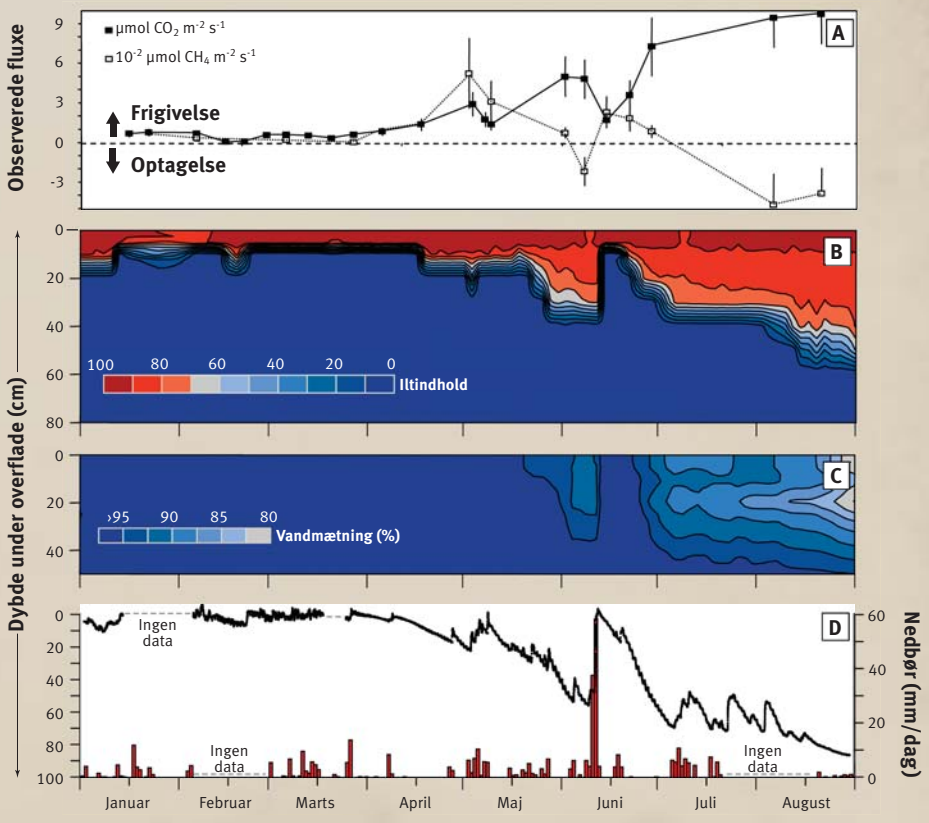
GASTRANSPORT VIA PLANTER

Undersøgelserne i Maglemosen viser, at rørgræs i helt afgørende grad står for udvekslingen af ikke bare ilt, men også kuldioxid, lattergas og metan mellem jorden og atmosfæren. Det særlige ved denne type gastransport i luftfyldt plantevæv er, at gasserne herved kan bringes hurtigere fra atmosfæren til rodzonen eller omvendt, sammenlignet med transport gennem vandmættet jord. I Maglemosen kan op til 70 % af metan-frigivelsen ske gennem rørgræsserne (se figurerne øverst side 11).

Selve den mikrobiologiske produktion og forbrug af metan og lattergas i jorden er reguleret af iltkoncentrationen i de jorddybder, hvor drivhusgasomsætningen sker. Det medfører den relativt hurtige gastransport gennem planternes væv og rødder, og at jord–plante–atmosfære-systemet som helhed derved opnår en høj grad af kompleksitet med kontrastfyldte skift mellem produktion og forbrug i jorden og frigivelse og optag af drivhusgas inden for ganske få timer.

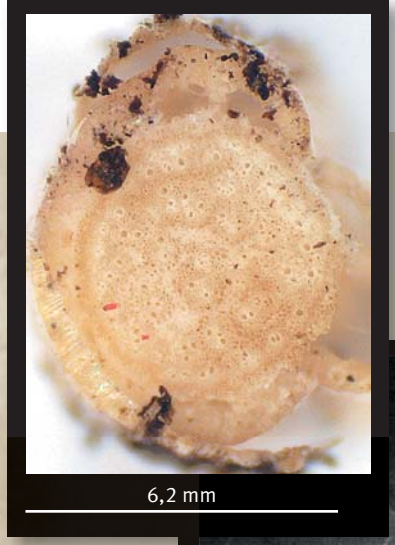
LATTERGAS – EN OFTE OVERSET DRIVHUSGAS

Lattergas (N_2O) er en afgørende komponent til forståelse af kvælstofomsætning i jordmiljøet og en kvantificering af et samlet drivhusgasbudget, som desuden omfatter kuldioxid og metan. Lattergas er uden sidestykke den vigtigste drivhusgas i en typisk dansk mark, hvilket skyldes de betydelige mængder af kvælstof, der tilføres som gødning. I landbrugsjorde er næringssaltet nitrat (NO_3^-) vigtigt, fordi dette stof er meget mobilt i jordmiljøet på grund af dets høje vandopløselighed og ringe tilbageholdelse. Markernes overskudsnitrat ender derfor ofte på markernes dårligst drænede områder eller nærliggende vådområder, hvor betingelserne for både produktion og frigivelse af lattergas er optimale.



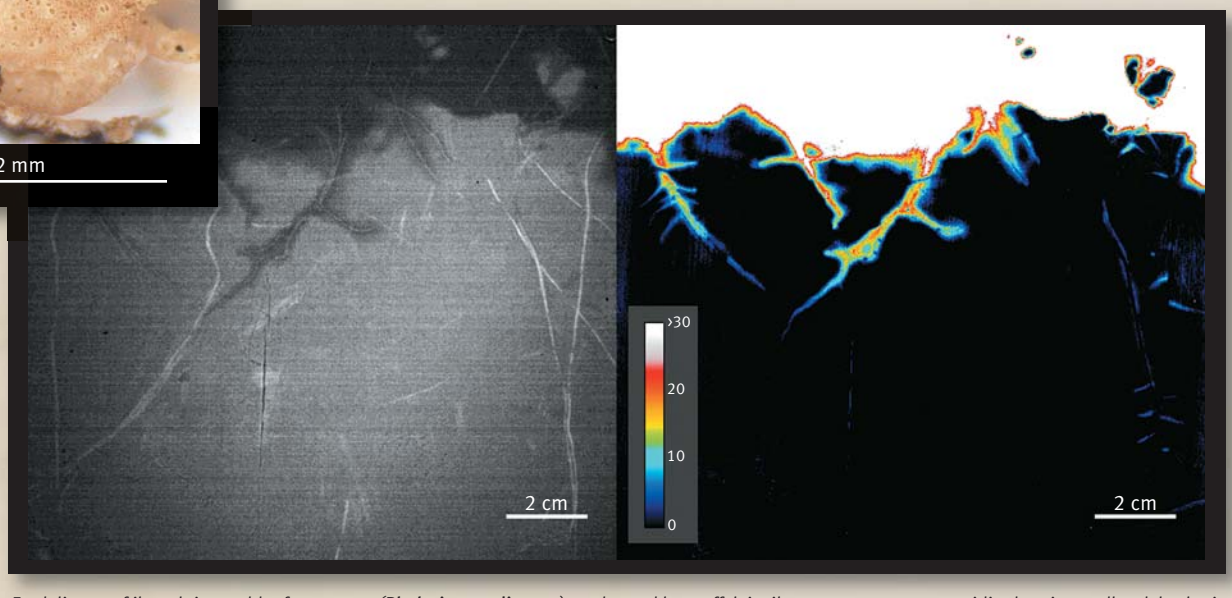
Detailmålinger af
A: gasudveksling
B: iltindholdet
C: jordens vandindhold
D: nedbør og vandspejl (sorte punkter)

Kilde: Forfatterne. Midterste reference i boksen side 12.



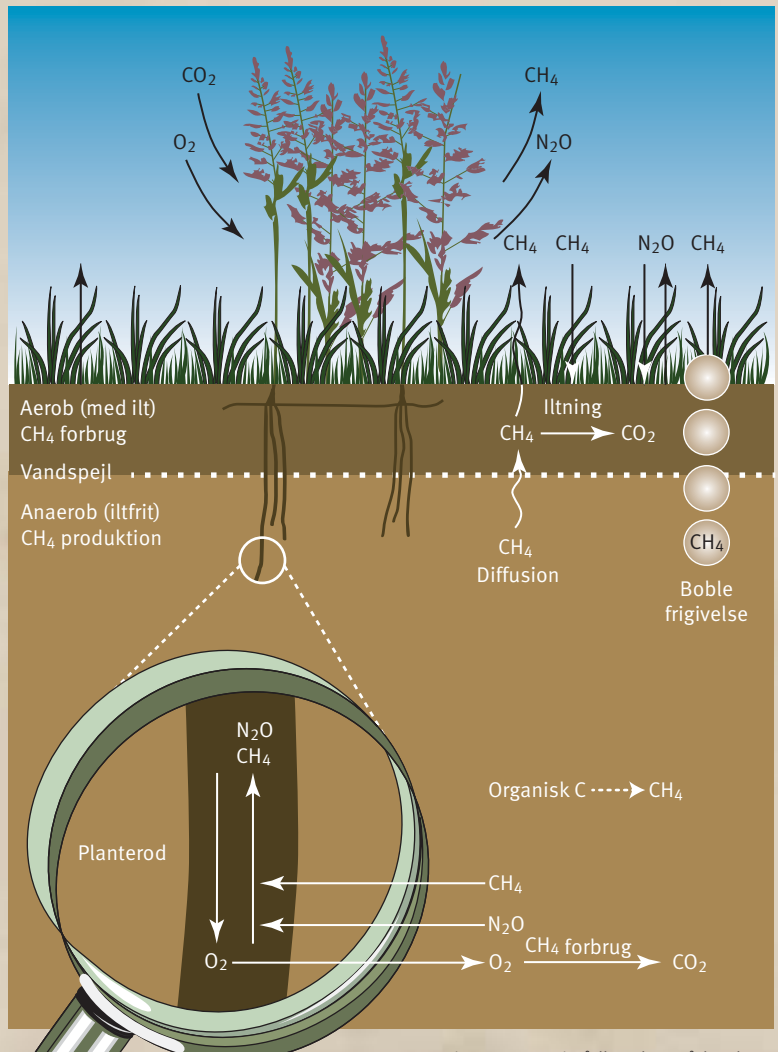
*Tværsnit af rod fra rørgræs (**Phalaris arundinacea**) som viser fordelingen af luftfyldt plantevæv, der forbinder jordmiljøet direkte til atmosfæren.*

Foto: Elberling, m.fl. (2011), se boks side 12.



*Fordelingen af ilt omkring rødder fra rørgræs (**Phalaris arundinacea**) og dermed hvor effektivt ilttransporten er og samtidig den ringe udbredelse betinget af et hurtigt iltforbrug. Skalaen viser % iltmætning.*

Foto: Elberling, m.fl. (2011), se boks side 12.



Gastransport i rørgræsser i vådbundsområder, hvor udveksling mellem jordmiljøet og atmosfæren primært sker gennem luftfyldte porehul i planterne.

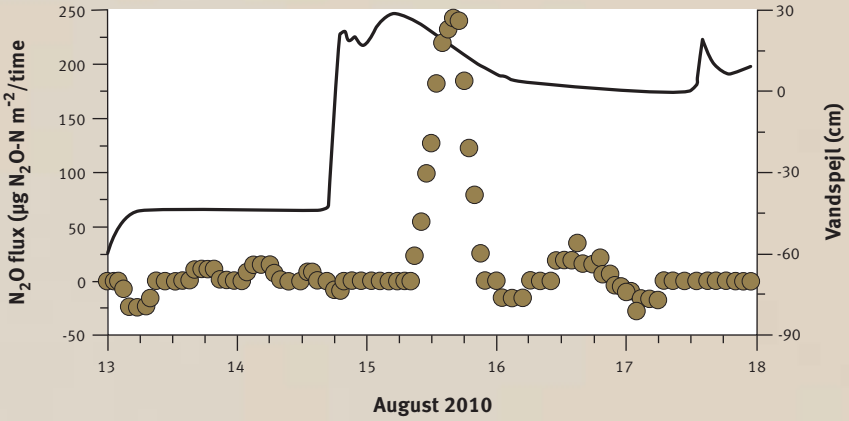
Illustration: Annabeth Andersen, GEUS. Omtegnet efter forfatterne.

UDLEDNING AF LATTERGAS OG EKSTREMNEDBØR

De igangværende klimaforandringer medfører sandsynligvis, at vi i Danmark får et både varmere og vådere klima med hyppigere ekstremvejrshændelser med kraftige skybrud og omfattende oversvømmelser. En af konsekvenserne af hurtig oversvømmelse af afvandede jordsystemer er, at vilkårene for dannelse af lattergas og metan i jorden forbedres markant, når jorden vandmættes, og iltfrie processer sættes i gang. Det er derfor sandsynligt, at oftere forekommende ekstremt vejr i fremtiden kan forstærke frigivelserne af disse drivhusgasser til atmosfæren og udgøre en positiv feedbackmekanisme til den drivhusgasrelaterede klimaforandring.

En forsmag på denne fremtidige ekstremvejrstype blev observeret i Maglemosen 14. august 2010, hvor vi målte 112 mm nedbør på mindre end syv timer og med nedbørsintensiteter på op til 27 millimeter nedbør på blot 30 minutter. Disse enorme nedbørsmængder gav anledning til en stigning i grundvandsstanden på 72 cm på blot tre timer, hvorved store dele af vådområdet blev helt eller delvist oversvømmet (se figuren øverst side 12).

På trods af denne meget markante emissionspuls er hovedkonklusionen dog, at en øget hyppighed i fremtidige ekstremvejrsoversvømmelser i denne type vådområder kun vil have en meget begrænset påvirkning af det



Ændringer i vandstand (fuldt optrukken linje) og frigivelsen af lattergas (prikker) i Maglemosen i dagene omkring ekstremvejrshændelsen 14. august 2010.
Kilde: Jørgensen m.fl. (2012); se tredje ref. i boksen nederst .

samlede drivhusgasbudget for lattergas, da den observerede puls udgjorde mindre end tre procent af det samlede årlige udslip af lattergas fra Maglemosen. Dette er i modsætning til kvælstofrige landbrugssystemer, hvor enkelte kortere perioder med vandmætning kan forårsage mere end 50 % af den årlige lattergas-frigivelse.

Målinger af iltniveauet i forskellige dybder i mosen viste, at i timerne efter den naturlige oversvømmelse faldt iltkoncentrationerne til et niveau, hvor lattergas typisk kan blive dannet, (se Figur B side 10). Dette bratte skift i grundvandstand og ilt–jordforholdene førte til en intens men kortvarig emissionspuls af lattergas dagen efter oversvømmelsen (se Figur A side 10), hvor emissionsniveauerne gik fra meget lave til meget høje værdier i løbet af ganske få timer.

KLIMAPÅVIRKNING FRA NATURLIGE VÅDOMRÅDER

Eksemplerne fra Maglemosen hjælper os til at få et detaljeret kendskab til størrelsesordenen og omfanget af udslip og optag af drivhusgasser fra naturlige økosystemer, hvilket er en forudsætning for at vurdere omfanget af den menneskeskabte klimaforandring. Kender vi det naturlige referenceniveau, vil vi i langt højere grad kunne forudsige eventuelle forandringer ved naturlige drivhusgasudslip, som kommer af fremtidige klimaændringer. Med udgangspunkt i drivhusgasmålingerne i Maglemosen kan vi se, at der på årsbasis bindes omkring 2–3 kg kulstof per m^2 fra atmosfæren i form af kuldioxid-optag via planterne. Cirka 5 % af dette optag skal modregnes det naturlige udslip af metan og lattergas, der omregnet til kuldioxidækvivalenter udgør et årligt udslip på henholdsvis 67 og 35 gram kuldioxid per m^2.

På grund af lattergassens høje opvarmningspotentiale sammenlignet med kuldioxid er det tydeligt, at selv små ændringer i lattergas-udslippene fra naturlige økosystemer kan have en markant effekt på netto-drivhusgasbudgettet. Sammenligner man det målte årlige udslip af lattergas for det undersøgte vådområde (0,74 g N_2O-N m^{-2} $år^{-1}$) med lattergas-udslippene fra et typisk kvælstofgødsket landbrugsområde, viser det sig, at det naturlige udslip udgør omkring 1/10 af den forventelige frigivelse, jvf. FN´s klimapanel IPCC, for et tilsvarende landbrugsområde (8 g N_2O-N m^{-2} $år^{-1}$).

PERSPEKTIVER OG KONKLUSIONER

Etablering af våde enge, grønne bræmmer nær vandløb og beskyttelseszoner har længe været en udbredt praksis for at nedbringe nitratindholdet i vand fra landbrugsområder. Herved sikres det, at nitratholdigt vand løber gennem jordlag uden ilt, hvorved nitraten omsættes til forskellige kvælstofgasser. Samme jordbundsforhold er gældende i mange vådområder, hvor kvælstof-frigivelsen fra den interne omsætningen af organisk stof suppleres med nitratholdigt vand fra de tilstødende omgivelser. Efterfølgende frigivelser af både metan og lattergas vil være afhængigt af den sæsonmæssige placering af vandspejlet. I de fleste tilfælde vil vandspejlet bevæge sig op og ned i disse dele af landskabet, og oftest ses store variationer knyttet til først tørre sommermåneder efterfulgt af et mere nedbørsrigt efterår. Med de gængse forudsigelser om klimaet i Danmark, vil disse variationer i fremtiden blive forstærket med dertil følgende påvirkninger i jordens evne til naturligt at producere og frigive drivhusgasser til atmosfæren.

HER KAN DU LÆSE MERE

Elberling, B., Kühl, M., Glud, R.N., Jørgensen, C.J., Askaer, L., Joensen, H.P., Liengaard, L.L.H. (2013)
Methods to assess high-resolution subsurface gas concentrations and gas fluxes in wetland ecosystems. Book Chapter "*Methods of Soil Analysis* (Soil Science Society of America Book Series), volume title "Methods in Biogeochemistry of Wetlands" (i trykken).

Elberling, B., Askaer, L., Jørgensen C.J., Kühl, M., Joensen, H.P., Glud R.N. & Hansen, B.U. (2011)
Linking Soil O_2, CO_2, and CH_4 Concentrations in a Wetland Soil: Implications for CO_2 and CH_4 Fluxes. *Environmental Science & Technology* 45, 3393–3399.

Jørgensen C. J. & Elberling, B. (2012)
Effects of flooding-induced N_2O production, consumption and emission dynamics on the annual N_2O emission budget in wetland soil. *Soil Biology & Biochemistry 53, 9–17.*

BOKS

JORDBUNDEN SOM ARKIV

– VAR DER MERE KULSTOF I VORE JORDE FØR DET MODERNE LANDBRUG?

I forbindelse med debatten om den globale opvarmning forårsaget af bl.a. den stigende CO_2-koncentration i atmosfæren har man diskuteret, om det moderne danske landbrug har reduceret puljen af organisk-bundet kulstof i jorden og dermed bidraget til den globale opvarmning. For at kunne sammenligne det moderne danske landbrug med tidligere tiders landbrug skal man have adgang til velbevarede fossile pløjelag. Disse fossile pløjelag, som har et bevaret kulstofindhold fra tidligere tider, er yderst sjældne. Derfor har diskussionen baseret sig på en række formodninger om tidligere tiders landbrugssystemer og deres evne til at binde kulstof.

Henrik Breuning-Madsen
Professor, IGN, KU
hbm@ign.ku.dk

Jeppe Å. Kristensen
Stud. Scient. IGN
qgp764@alumni.ku.dk

Bo Elberling
Professor, IGN, KU
be@geo.ku.dk

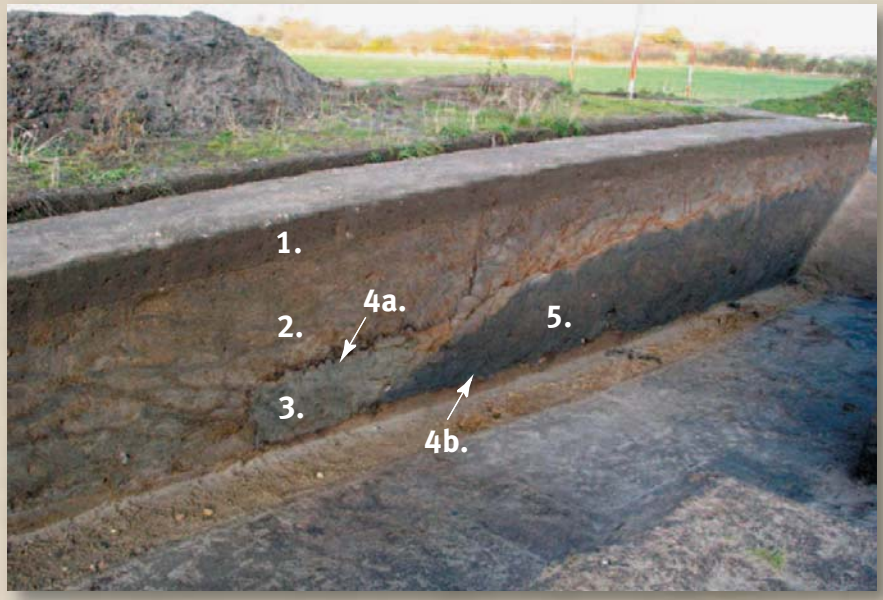
Thomas Balstrøm
Lektor, Inst. for Planlægning, AAU-Cph
thomasb@plan.aau.dk

Mads K. Holst
Lektor, Inst. for Kultur og Samfund
- Forhistorisk Arkæologi, AU
mads.holst@hum.au.dk

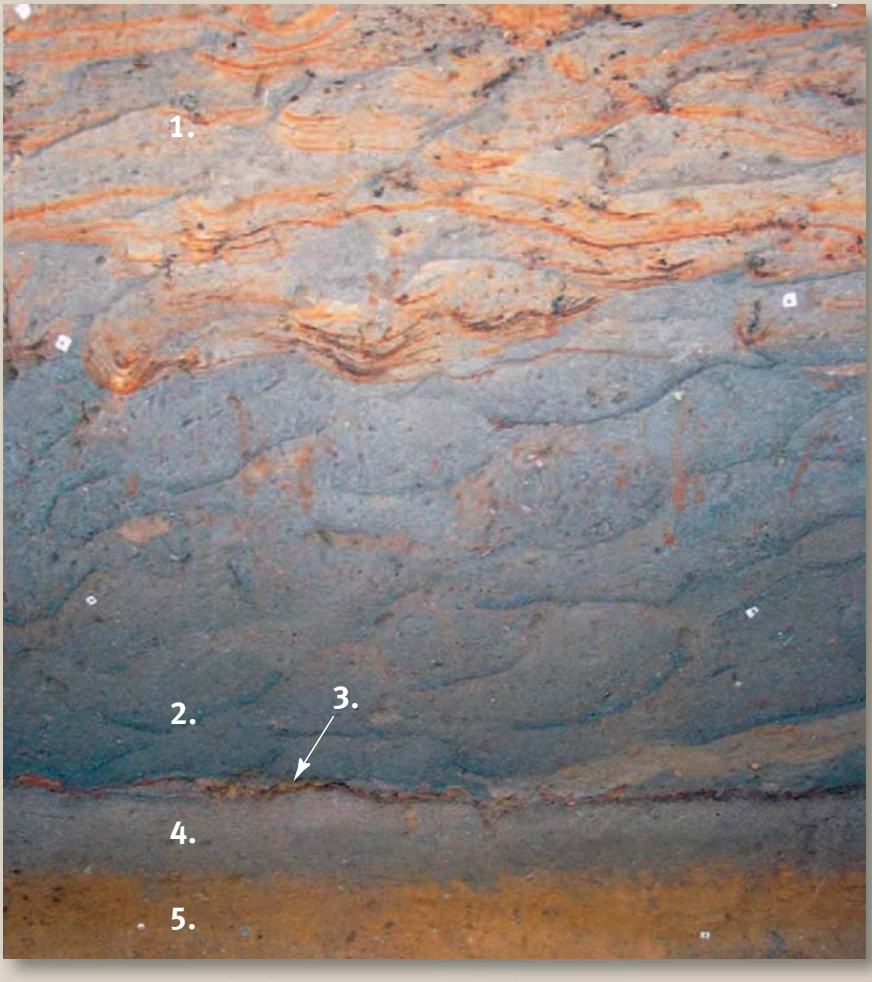
I Danmark har vi en del af de sjældne lokaliteter, hvor det er muligt at udtage prøver af forhistoriske pløjelag eller ardlag, opkaldt efter datidens plov, arden. Det er vore gravhøje, især dem fra Bronzealderen, men også fra Vikingetiden, der giver os en unik mulighed for at vurdere, om det moderne landbrug i det lange tidsperskeptiv er medskyldig i et tab af kulstof og dermed et forøget CO_2-indhold i atmosfæren. Pointen er, at disse gravhøje er opbygget af overfladetørv fra brakmarkerne i det flyttemarksbrug, som var den fremherskende brugsform dengang. I nogle tilfælde er der opstået iltfattige forhold i højene, som har hindret, at det organiske stof i tørvene er blevet omsat, hvilket efterlader et enestående arkiv til vores undersøgelser.

DANNELSEN AF ILTFATTIGE KERNER I BRONZEALDERHØJE

I den tidlige Bronzealder, for ca. 3300 år siden, blev der i Danmark bygget omkring 80.000 gravhøje, der kunne blive op til 8 meter høje og med en diameter på op til 70 meter. De blev bygget over en eller flere egetræskister, og højene bestod af græs- eller lyngtørv, skåret ud af de nærliggende marker, der i flyttemarksbruget lå brak. Tørvene blev lagt med vegetationen nedad, og de bestod af sand eller ler, alt efter hvor i landet man var. I nogle af disse høje – som fx Egtvedpigens – udviklede der sig en vandmættet, blå, iltfattig kerne omgivet af en rustrød jernkappe, se foto til venstre. Udviklingen må have gået hurtigt, idet vegetationen på tørveoverfladerne var helt uomsat ved udgravningen. Man må derfor antage, at omsætningen af humussen er gået i stå umiddelbart efter højbygningen, og at den derfor afspejler pløjelagets kulstofindhold i Bronzealderen. Dannelsen af jernkappen rundt om kernen i højene skyldes en redoxproces, hvor iltet ferri-jern i kernen af højen reduceres til ferro-jern på grund et stort iltforbrug til omsætning af vegetationslagene på tørvene. Ferrojern er mobilt og nedvaskes med nedbørsoverskuddet indtil det geniltes og udfældes lige under gravhøjen som et impermeabelt jernlag. Oven på dette



Overpløjet Bronzealderhøj ved Hüsby, Sydslesvig. (1) moderne pløjelag, (2) aerob kappe, (3) tidligere anaerob kerne, (4a, b) øvre og nedre jernkappe, (5) anaerob kerne.
Foto: Forfatterne.



Kernen, nedre jernkappe og den begravede jord under Skelhøj. (1) tidligere anaerob kerne, nu aerob med gley, (2) anaerob kerne, (3) nedre jernkappe, (4) 3.300 år gammel begravet A-horisont, (5) begravet B-horisont.
Foto: Forfatterne.

jernlag bliver jordlagene vandmættede, hvilket stort set stopper den biologiske aktivet, og tørvene med vegetationslag er bevaret for eftertiden, se foto ovenfor. Der findes ikke mange høje med udviklingen af de blå, iltfattige kerner. De findes stort set kun i Jylland og udgør der under 5 % af højene. Fra tre af disse høje, der bestod af sand, er der blevet udtaget prøver til kulstofbestemmelse.

DANNELSEN AF ILTFATTIGE FORHOLD I VIKINGETIDSHØJENE.

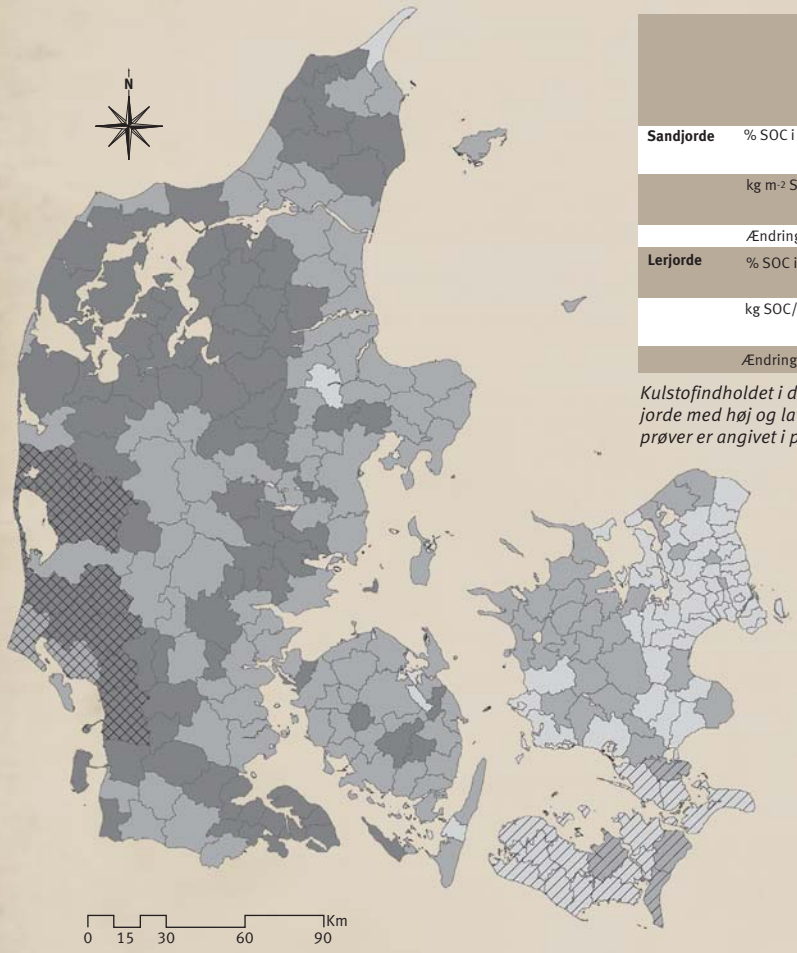
Der blev i 2009 foretaget en række boringer i de to Jellinghøje, der blev bygget i anden halvdel af 900-tallet i følge dendrokronologisk datering. De er ca. 8 meter høje og har en diameter på omkring 65–70 meter. I begge høje, der er bygget af leret till med ca. 15 % ler, er der udviklet iltfattige forhold fra ca. 2,5 meters dybde og derunder. En boring viste, at der er et vandmættet lag i ca. 2,5 meters dybde, der i løbet af nogle dage fyldte borehullet med vand. Det var dette lag, der gennem flere hundrede år forsynede en brønd på toppen af Nordhøjen – den ene af de to Jellingehøje – med vand. Dannelsen af den iltfattige kerne skyldes ikke som i Bronzealderhøjene jernkappedannelse rundt om kernen i højen, men snarere en stor forskel i den mættede hydrauliske ledningsevne mellem bioturbationszonen (det lag, som er gennemgravet af jordlevende dyr) og den underliggende uforstyrrede tørv, se foto nedenfor. De opborede prøver i og under det vandmættede lag havde alle uomsatte planterester på tørveoverfladerne, se foto nederst.

Velbevaret vegetation på toppen af tørvene i Jellinghøjene.
Foto: Forfatterne.

SAMMENLIGNING AF KULSTOFINDHOLDET I NYE OG GAMLE JORDE

Kulstoftallene fra de sandende bronzealderjorde og de lerede vikingetidsjorde, der er bestemt ved tørforbrænding i en ovn (*ELTRA*, ved ca. 1300°C), er blevet sammenlignet med tilsvarende kulstoftal fra kvadratnetsundersøgelsen i slutningen af 1980erne, hvor der blev gravet en profil for hver 7 km landet over. På kortet side 15 kan det ses, hvor der i 1989 var områder med høj og lav husdyrgødning (målt i dyreenheder/ha). De moderne pløjelag

Billede af Sydhøjens sydvæg ved udgravningen af Jellinghøjene i 1941. Mudderlaget (svup-laget) fremstår som en svag mørk linje i toppen af kernen med velbevarede tørv. Nedenfor er tørvene vandmættede og intakte med bevoksede overflader, mens de ovenfor er mere eller mindre udviskede pga. bioturbation.
Foto: E. Dyggve.



		Forhistorisk landbrug	Moderne landbrug Højt input af husdyrgødning	Moderne landbrug Lavt input af husdyrgødning
Sandjorde	% SOC i Ap	1.57±0.32 (3*)	2.16±0.56 (34)	1.42±0.50 (18)
	kg m^{-2} SOC i 0–28 cm	5.03±1.04 (3*)	8.36±1.94 (34)	5.64±1.75 (18)
	Ændring (%) siden forhistorisk tid		66	12
Lerjorde	% SOC i Ap	3.74 ±0.83 (29)	2.70 ±0.97 (42)	1.43 ±0.57 (1466)
	kg SOC/m^2 (0–28 cm)	10.29 ±2.91 (29)	11.02 ±3.95 (42)	5.84 ±2.32 (1466)
	Ændring (%) siden forhistorisk tid		7	-43

*Kulstofindholdet i de sandede og lerede forhistoriske jorde og i de moderne sandede og lerede jorde med høj og lav gødningsintensitet. A refererer til A-horisonten, p til pløjelaget. Antallet af prøver er angivet i parentes. * Antallet af høje der blev samplet.*

Anvendte data med lavt input af husdyrgødning
Anvendte data med højt input af husdyrgødning

Husdyrgødning

Lav
Medium
Høj

Områder i Vestjylland og Sydsjælland og øer, hvor SOC-data for områder med højt hhv. lavt gødningsinput er vist med skraveringer. Data er fra Danmarks Statistik 1989.

er i gennemsnit 28 cm tykke og SOC-puljeberegningerne er udført til denne dybde (SOC= Soil Organic Carbon). Vi ved fra undersøgelser af gravhøje og lagene derunder, at pløjelaget i forhistorisk tid var ca. 15 cm tykt. Ved beregningen af puljen i forhistorisk tid regnes der derfor med 15 cm pløjelag og 13 cm underjord. For den præcise beregningsmetode henvises til artiklerne i boksen nedenfor.

Tabellen øverst viser, at mængden af kulstof i de forhistoriske sandjorde kun er lidt lavere end i de moderne landbrugsjorde med lille input af husdyrgødning. Dette er forventeligt ud fra den betragtning, at gødningsinputtet var lavt i Bronzealderen. Det moderne landbrug med højt input af husdyrgødning har derimod en markant højere SOC-pulje end de forhistoriske, hvilket ikke alene skyldes den store gødningsproduktion, man har i dag, men også at der i Vestjylland ofte indgår græsmarker i sædskiftet.

Billedet er et andet for lerjordene. Her ligger de forhistoriske jorde på niveau med de moderne jorde med højt input af husdyrgødning og har 75 % højere kulstofpulje end de moderne jorde med lavt input af husdyrgødning. Der må for lerjordene være noget andet end gødningsniveauet, som gør sig gældende. Det er sandsynligvis indførelsen af drænrøret omkring 1850, hvilket gradvist har ledt frem til den nutidige situation, hvor ca. 50 % af landbrugsarealet bliver drænet. Det er især lerjordene, der er blevet drænet på grund af en langsomt afdrænende underjord. Herved kommer der mere ilt til det organiske stof i pløjelaget, hvorved det omsættes. Hvis vi forudsætter, at Vikingetidens landbrugssystem havde et lavt input af gødning, har tabet af kulstof fra de gamle jordbunde som følge af dræning været på omkring 4,5 kg/m^2 siden rørdræning blev introduceret for omkring 150 år siden. Dette tab kan kompenseres ved et moderne landbrugssystem med stort input af husdyrgødning.

Det skal slutteligt nævnes, at disse gamle jorde er enestående arkiver også for at studere andre stofkredsløb – fx tungmetaller, tilbageholdelseskapaciteter for næringsstoffer og meget andet.

HER KAN DU LÆSE MERE

Breuning-Madsen, H., Elberling, B., Balstroem, T., Holst, M.K. & Freudenberg, M., 2009.
A comparison of soil organic carbon stock in ancient and modern land use systems in Denmark. European Journal of Soil Science. Vol. 60, 1, pp 55-63.

Breuning-Madsen, H., Kristensen, J.Aa., Holst, M.K., Balstroem, T., Henriksen, P.S., 2013.
A comparison of soil organic carbon stocks in Viking Age and modern land use systems in Denmark. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2013, Vol.174, pp.49-56.

Anderberg, S., Elberling, B., Krogh, L., Rasmusen, K., Søgaard, H. & Birch-Thomsen, T. (2006)
Klima, Klimaproblematikken og kulstofkredsløbet. *Geoviden 2*, 1-20.

Hinge, H., Elberling, B., Asmund, G. & Breuning-Madsen, H. (2005)
Tungmetaller i danske jordtyper- baggrundsværdier og koncentrationsændringer gennem de sidste 3000 år. *Vand & Jord*, 12(2), 66-70.

BOKS

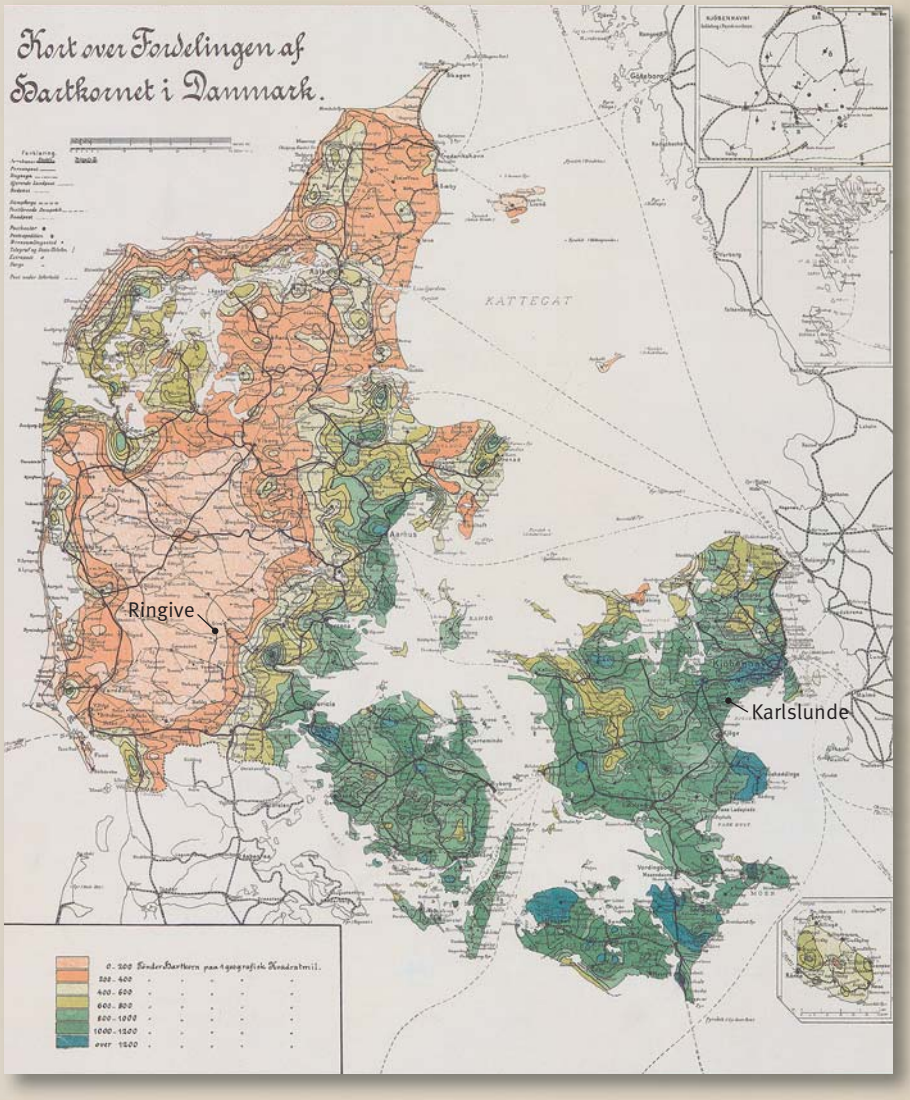
DANMARKS BEDSTE JORD

Fra gammel tid har jorden været anvendt som grundlag for beskatning af bønderne til at dække samfundets fællesudgifter. Først svarede man skat i forhold til udbyttet. Senere – efter den landsdækkende 1844-bonitering – svarede man skat efter jordens beskaffenhed. Nedenstående er et historisk tilbageblik over 'jordskatterne' og deres beregningsgrundlag.

Jorden og dens udnyttelse har fra gammel tid været et af de mest brugte grundlag for beskatning. De mennesker, der udnyttede jorden, skulle betale en vis afgift til samfundets fælles husholdning og ikke mindst til oprustning og krigsførelse. Det var almindeligt, at jordskatten skulle gradueres efter størrelsen og kvaliteten af ejendommens jord. I Middelalderen var det ikke muligt at vurdere jorden direkte, så man baserede fx skyldsætningerne på antal plove. Rester af en plovmatrikel kendes helt tilbage til 1100-tallet, hvor kong Erik endda fik tilnavnet Plovpenning for sine plovskatter. Den første landsdækkende matrikel, der inddrog en vurdering af jorden, var Christian 5.s matrikel fra 1688, hvor jordene vurderedes ud fra udsædmængden.

1844-BONITERINGEN – ET SKATTEGRUNDLAG

Det er først i den efterfølgende landsdækkende 1844-bonitering, at man lavede jordbeskrivelser og fastlagde Danmarks bedste jord ud fra jordens beskaffenhed. I *deliberationsprotokollen* fra 1805 beskrives det nye taksationsprincip som følger: *"Den nye Matrikul skal grunde sig paa en speciel Taksation af samtlige Landets Jorder. Denne Taksation skal bestaa deri, at alle Jorder uden Undtagelse ansættes i rigtig og lige Forhold imod en saadan Jordart, som formedelst sine indvortes Egenskaber og udvortes beskaffenheder anses for den bedste til Agerdyrkning. Den bedste Jord skal benævnes med Tallet 24 og de ringere Jorder med de i rigtigt Forhold dertil staaende lavere Nummere"*. Man opstillede en idealjord, som man forsøgte at finde ved en række prøvematrikuleringer i Roskilde Amt. Det lykkedes



Landsdækkende kort med angivelse af tønder hartkorn per geografisk kvadratmil. De omtalte jorde ved Karlslunde og Ringive er markeret.

Kilde: Atlas over Danmark, serie 1, bind 3.

ikke at finde den, og man besluttede sig så til, at jorden ved Niels Nielausens tofte i Karslunde (se kortet ovenfor og øverst side 17) var Danmarks bedste jord og skulle tildeles takst-en 24. Jorden blev beskrevet som følger:

"...denne Jords Bestanddele at være disse, nemlig: af maadelig skarp Sand og Grus, forsaavidt disse ved Udvaskning lader sig fraskille nærmest 5/12, af Ler tillige med det meget fine Sand, som ikke ved Udvaskning lader sig

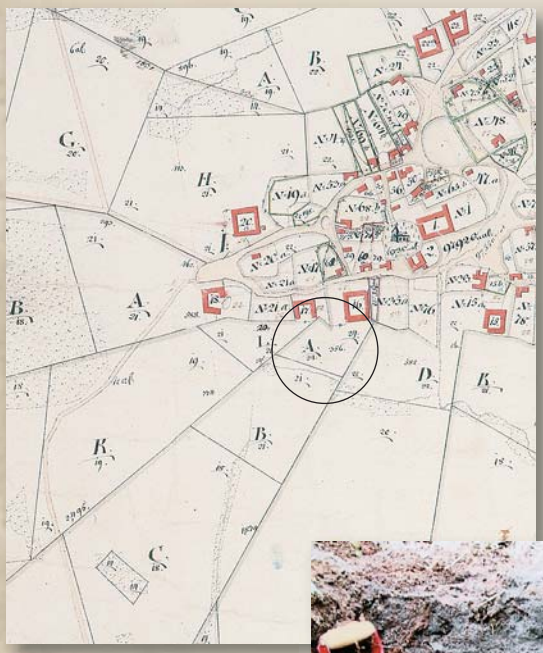
Takst	Muld Tal i 24-del	Sand og grus Tal i 24-del	Ler Tal i 24-del	Kalk Tal i 24-del	Tommer muldlag
Idealjorden	8	8	4	4	10-12
24, Karlslunde	8	10	6	0	18
20, Karlslunde	7	11	6	0	15-16
16, Karlslunde	4	12	8	0	9-10
10, Karlslunde	2	10	12	0	8-9
3, Ringive	4•	20	0	0	9-12

Beskrivelsen af jordene anvendt for taksering af landbrugsjorden.

• *Moor-jord*

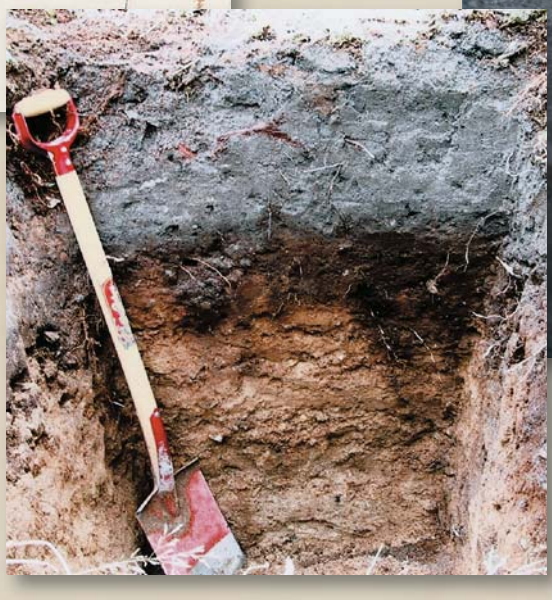
Henrik Breuning-Madsen
Professor, IGN, KU
hbm@ign.ku.dk

Kristian Dalsgaard
Institut for Geoscience, AU
kristian.dalsgaard@geo.au.dk



Udsnit af matrikelkort fra Karlslunde indeholdende takst 24-jorden.

Takst 24-jorden ved Karlslunde.
Foto: Kristian Dalsgaard.



Takst 3-jorden ved Ringive.
Foto: Fotograf ubekendt.

fraskille 3/12 og af Muldjord 4/12, alt foruden kalken, som i denne Jord ikke optager noget mærkeligt Volumen. Denne Blanding findes i en Dybde af over 18 Tommer, dens Beliggenhed er imod Sønden med et godt Fald."

For at forbedre taksationsgrundlaget foretager matrikulationskommissionen yderligere tre taksationer på Karlslunde mark og en nord for kirkegårdsmuren i Ringive lige nord for Billund. Jordenes beskaffenhed fremgår af tabellen side 16. Det er på basis af de fem jorde og nogle eksempeltakster for dårlige jorde i Jylland, at taksationen af højbundsjorden blev foretaget. For taksation af vådbund vurderedes fx hvor mange læs hø disse kunne give.

METODENS EGNETHED

Som det ses, lagde man meget vægt på muldlagets tykkelse, hvilket giver mening i et landbrugssystem uden store input af gødning. Derimod er mængdeangivelserne af sand og ler meget forkerte, fx anslås det, at takst 10-jorden indeholder 50 % ler i pløjelaget, hvilket ikke forekommer i det område jf. den danske jordklassificering. Det er uklart, hvad man mener med muld. I dag opfatter vi muld som sammenblandingen af de mineralske partikler og humus, der karakteriserer pløjelaget på vore marker, men det kan ikke have været opfattelsen dengang, fordi mulden så ville udgøre 100 %. Hvis man med muld mener mængden af humus, er mængdeangivelserne helt gale, fx indeholder takst 24 kun 5 % organisk stof (3 % karbon) og ikke de 33 %, som mulden er anslået til at udgøre af takst 24. I dagens pløjelag udgør organisk stof kun omkring 3 %.

To af de fem lokaliteter kan vi stadigvæk finde, nemlig takst 24 og takst 3. Takst 24 ligger på den lille tofte lige bag Vindalgård, se kortet øverst. I dag er den ikke i landbrugsmæssig drift, men henligger som offentligt område med græs. Takst 24 blev undersøgt for en del år siden, og på billedet øverst ses profilen. Jorden er en leret till, hvor kalken er udvasket til ca. 150 cms dybde. Muldlaget er lidt over en halv meter tykt, og der er en tydelig lernedslemning med 30 % i Bt-horisonten. Der er under pløjelaget mange store ormegange, der er beklædt med sorte humusbelægninger, hvilket vidner om lang tids intensiv landbrugsdrift.

Ringive-profilen er i dag let tilgængelig lige nord for kirkegårdsdiget, i et tilplantet område. Der er tale om en podzol, som vist på billedet ovenfor. Den har i begyndelsen af 1800-tallet været sur og med en lav vandholdende evne, der har givet anledning til en meget svingende produktion, da man på dette tidspunkt ikke vandede jordene.

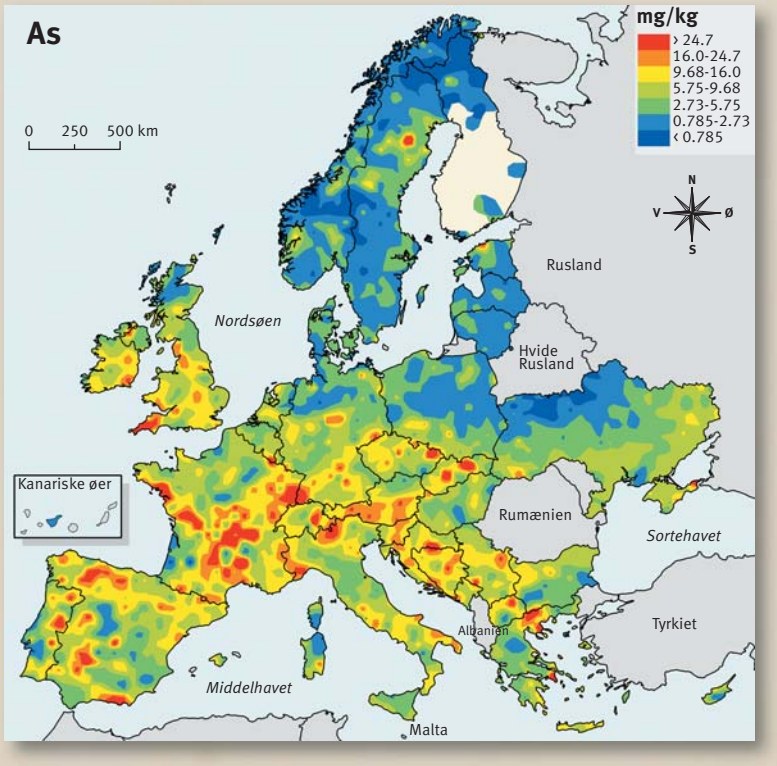
Der blev ved 1844-boniteringen lavet landsdækkende matrikelkort i skala 1:4.000, se kortet ovenfor og side 16. Kortene blev især udarbejdet i 1810–1825 og blev i 1844 det officielle grundlag for skatteopkrævning. På grund af hedeopdyrkningen og introduktion af rørdræning i 1848 ændrede jordenes bonitet sig markant, og i 1903 opgav man 1844-boniteringen som skattegrundlag.

JORD OG JORDRELATEREDE EMNER
– HVOR FINDES DATA?

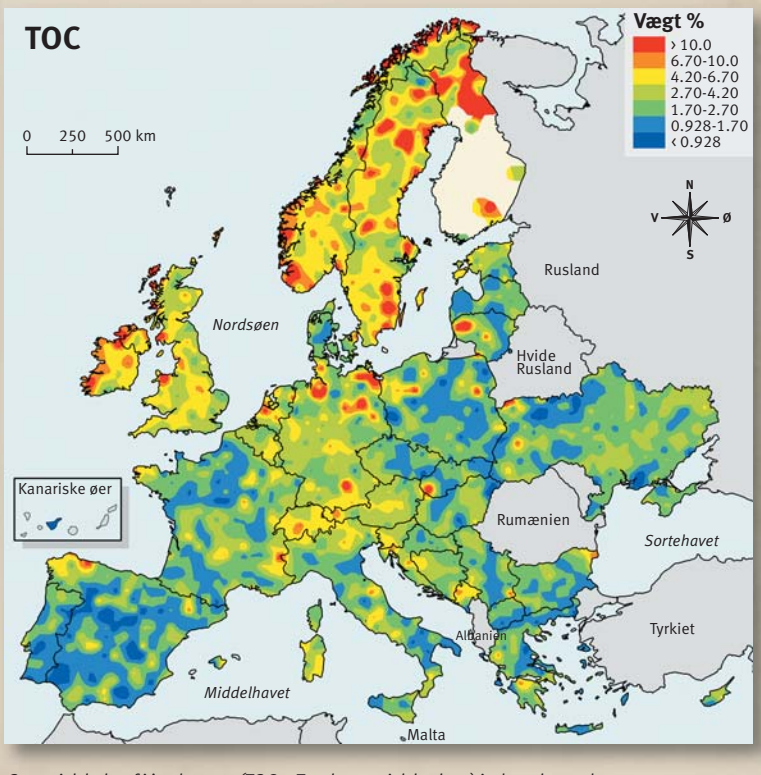
Jordbunden er et yderst komplekst medie, hvis egenskaber er bestemt af en lang række parametre og som varierer såvel lokalt som globalt. Det netop afsluttede GEMAS projekt viser, hvorledes bl.a. udgangsmateriale, alder og klima påvirker fordelingen af næsten 100 forskellige kemiske jordparametre inden for Europa, inklusive arsen og organisk kulstof. Via en række nyttige links til forskellige databaser er det muligt at finde oplysninger om jordbundens egenskaber samt jord-relaterede emner.

DEN KEMISKE SAMMENSÆTNING AF LANDBRUGSJORD PÅ EUROPÆISK SKALA

Resultaterne af GEMAS-projektet, der havde til formål at undersøge landbrugsjorde i Europa, blev publiceret den 5. december 2013, mens dette blad var i trykken – på selve *jordens dag*. Undersøgelsen dækker 34 lande med et samlet areal på 5,6 mio. km^2. Der er indsamlet jordprøver fra hhv. landbrugsjord og permanente græsmarker; for hver arealtype er der udtaget prøver fra ét prøvested for hver 2.500 km^2 (i et net på 50 X 50 km). Det betyder, at der fx i Danmark er der udtaget 2 gange 17 jordprøver. Prøverne er udtaget fra de øverste 20 cm under landbrugsjord og fra de øverste 10 cm under permanente græsmarker. Alle jordprøver er udtaget og dokumenteret efter én og samme 'drejebog', der var udarbejdet af de deltagende lande. Alle jordprøver blev forbehandlet (dvs. tørret og sigtet gennem en 2 mm-sigte) i et laboratorium og samtlige jordprøver er analyseret for de enkelte parametre i ét og samme laboratorium. Jordprøverne er analyseret for hen ved 100 forskellige parametre, herunder forskellige tungmetaller, pH, organisk kulstof, kulstof, svovl og kation-ombytningskapacitet (CEC, et udtryk for jordens egenskaber). Styrken ved den her anvendte prøveindsamlings- og analysestruktur er, at forskelle i indhold i de undersøgte parametre ikke skyldes



Arsen i jordprøver indsamlet under permanent græs i 34 lande. Resultaterne stammer fra det netop afsluttede GEMAS-projekt.



Organisk kulstof i jordprøver (TOC = Total organisk karbon) indsamlet under permanent græs i 34 lande. Resultaterne stammer fra det netop afsluttede GEMAS-projekt.

Vibeke Ernstsen

Seniorforsker, GEUS
ve@geus.dk

NYTTIGE LINKS TIL 'JORD-EMNER'

Ved hjælp af disse links kan du finde oplysninger om emner, der knytter sig til jord og dets egenskaber på nationalt og internationalt plan.

www.dansoil.dk: Dansk forening for Jordbundsvidenskab. Under *fanebladet Links* finder du en hurtig adgang til 68 danske jordbundsprofiler på forskellige udgangsmaterialer med oplysninger om bl.a. horisonter og fysikske og kemiske data. Under samme faneblad findes et link til den europæiske jord-portal.

www.djfgeodata.dk: Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet (DJF), Aarhus Universitet. Under *fanebladet Jordbundsdata* findes oplysninger om jordprofiler og -klassificering, jordbundsdata og landskabselementer og Under *fanebladet DJF geodata* er det mulig at finde landsdækkende kort over simplificerede jordtyper, landskabselementer og underbund.

www.geus.dk: GEUS. Under *fanebladet arbejdsområder* finder du vej til GIS-gruppen, hvor Danmarks digitale jordartskort i 1:25.000 og 1:200.000 er beskrevet.

www.eea.europa.eu: Det Europæiske Miljøagentur (European Environment Agency). Under *fanebladet topics* findes emnet jord (soil). Her hjælper linket: soil data service frem til jord-relaterede emner belyst på en europæisk skala, eksempelvis erosion, organisk stof og forurenede grunde.

www.eusoils.jrc.ec.europa.eu: Joint Research Centre (JRC) i Ispra, Italien. Her finder du: European Soil Portal – Soil Data and Information Systems (på dansk: den europæiske jord-portal) med mange jord-relaterede og relevante emner. Under *fanebladet: Soil dataset* kan man downloade kortbøger med beskrivelser af jordbundsforhold i Europa, Afrika og de nordlige Circumpolare egne. Her findes også en kortbog over biodiversiteten i jord. Under *fanebladet: Soil at JRC* findes oplysninger om EU's politik og initiativer på jordområdet og under *fanebladet: Soil Themes* findes en beskrivelse af de syv mest anerkendte trusler mod jordmediet inkl. erosion, tab af organisk materiale, kompaktion, saltdannelse, arealbefæstelse, forurening og tab i biodiversitet.

www.fao.org/nr/land/soils/en: Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO). Her findes oplysninger om jord-relevante emner samt det digitale verdenskort over jordtyper og verdens reference-database (WRB) over jordtyper.

Bogen: Chemistry of Europe's agricultural soils (inkl. CD-rom) indeholder samtlige data fra GEMAS-projektet vedr. geokemisk kortlægning af landbrugsjorde. Bogen er redigeret af Reimann, C., Birke, M., Demetriades, A, Filzmoser, P, O'Connor, P (2013) og udgivet som Geologiches Jahrbuch (Reihe B) Schweizerbarth. I undersøgelsen deltog geologiske undersøgelser og institutioner fra 34 lande (se også *gemas.geolba.ac.at*).

BOKS

forskelle i indsamlings- og/eller analysemetoder, men kan tilskrives reelle forskelle. Dette gør datasættet unikt i forhold til mange andre kortlægninger, der er baseret på data for jordprøver, der er indsamlet og analyseret ved brug af forskellige metoder.

De mange data viser – selv med den lave prøvedensitet med 1 jordprøve for hver 2.500 km^2 – at der forekommer betydelige forskelle i mange af de kemiske elementer fra Nord- til Sydeuropa. Således indeholder de unge jorde i den nordlige del af Europa fx 2–3 gange mindre guld, cobalt, kobber, nikkel og arsen end de gamle jorde i den sydlige del af Europa, hvor forvitringsprocesserne har forløbet gennem meget længere tid. Se figuren side 18 - As, hvor arsen-indholdet er vist som eksempel herpå.

Et andet resultat af undersøgelsen er fordelingen af organisk stof, se figuren side 18 -TOC. Organisk stof udgør normalt kun en lille del af jordbunden, men har til trods herfor en meget stor betydning for jordens egenskaber, funktionen som økosystem og øvrige jordbundsprocesser. Fordelingen af organisk stof inden for Europa viste sig at være nogenlunde ens for de dyrkede arealer og de permanenter græsområder. Nogle områder udmærker sig ved markant højere værdier, eksempelvis bjergområder og områder præget af det milde og regnfulde vejr (de Britiske øer) eller ved markant lavere værdier (Syd- og Østeuropa) som blandt andet tilskrives tørre somre. Regionale forskelle i den nordlige del af Tyskland, Polen og Letland forklares ved at de permanente græsområder primært findes på vandlidende og lavereliggende arealer, mens de dyrkede områder findes på højereliggende arealer.

Steingrimur Jonsson fra Island videregiver den olympiske ild til Christian Marcussen (GEUS, t.v.) med den russiske atomisbryder 50 let Pobedy i baggrunden. Se videoer fra begivenheden, som foregik i det arktiske mørke, på http://rt.com/news/olympic-torch-relay-arctic-722/ *og* http://www.olympic.org/news/olympic-flame-reaches-the-north-pole/213942.

Foto: Sergeydolya.livejournal.com

GEOCENTER DANMARK

Geocenter Danmark

Er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, samt Geologisk Museum (Statens Naturhistoriske Museum) begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.

Udgiver

Geocenter Danmark.

Redaktion

Geoviden – Geologi og Geografi redigeres af Seniorforsker Merete Binderup (ansvarshavende) fra GEUS i samarbejde med en redaktionsgruppe.
Geoviden – Geologi og Geografi udkommer fire gange om året og abonnement er gratis. Det kan bestilles ved henvendelse til Annette Thy, tlf.: 91 33 35 03, e-mail: athy@geus.dk og på www.geocenter.dk, hvor man også kan læse den elektroniske udgave af bladet.

ISSN 1604-6935 (papir)
ISSN 1604-8172 (elektronisk)

NORDISK MILJØMÆRKNING
TRYKSAG
541 176

Produktion: Annabeth Andersen, GEUS.
Tryk: Rosendahls - Schultz Grafisk A/S.
Forsidefoto: Podzol udviklet i flydejord.
Blåfarvning skyldes højtstående grundvand.
Foto: Det tidligere Arealdatakontor.
Reprografisk arbejde: Benny Schark, GEUS.
Illustrationer: Forfattere og Grafisk, GEUS.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)
Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 38 14 20 00
E-mail: geus@geus.dk

GEUS

Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN)
Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 35 32 25 00
E-mail: sl@life.ku.dk

Geologisk Museum (SNM)
Øster Voldgade 5-7
1350 København K
Tlf: 35 32 23 45
E-mail: rcp@snm.ku.dk

Institut for Geoscience
Aarhus Universitet
Høegh-Guldbergs Gade 2, B.1670
8000 Århus C
Tlf: 89 42 94 00
E-mail: geologi@au.dk