

Dyrkningsjorden under pres

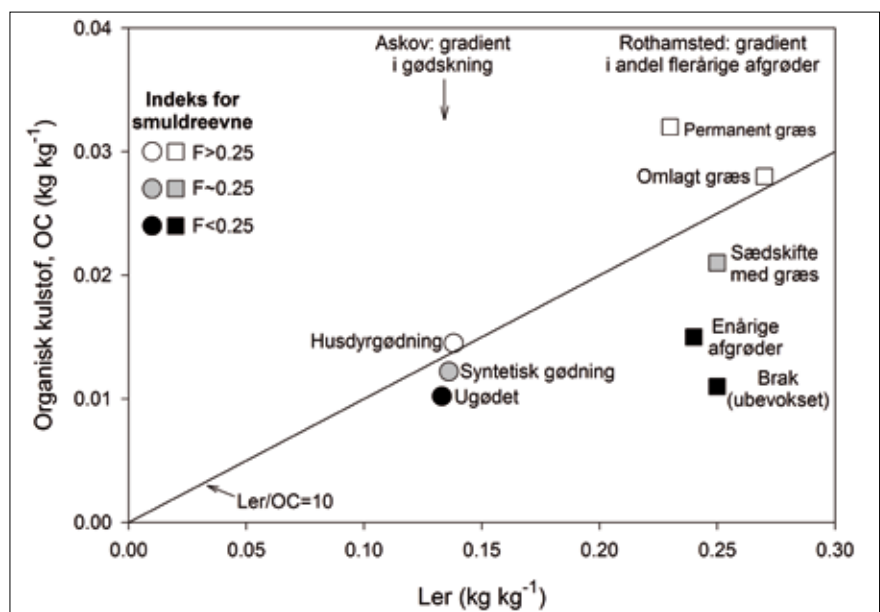
Jordstrukturen er bestemmende for jordens grundlæggende funktioner i relation til både plantevækst og miljøpåvirkning. I denne artikel ser vi nærmere på effekten af et lavt indhold af organisk stof og af jordpakning. Vi viser, at der er grund til at tage disse trusler mod jordens kvalitet alvorligt men påpeger samtidig, at der foreligger en stor viden, og at moderne informations- og kommunikationsteknologi ligger lige for til at gøre denne viden tilgængelig for både erhvervet og myndigheder.

PER SCHJØNNING, MATHIEU LAMANDÉ,
LARS J. MUNKHOLM, MOGENS H. GREVE
& HENRIK BREUNING-MADSEN

Den intensive dyrkning påvirker jordens centrale funktioner, herunder planteproduktionen og evnen til at filtrere vand. Jordstrukturen (se faktaboks) er central for alle processer i jorden og påvirkes både direkte og indirekte ved landbrugsmæssig drift.

Opdyrkning af jomfruelig jord leder til et fald i indhold af organisk kulstof (organisk C, OC). Denne udvikling er accelereret i forbindelse med mekaniseringen i jordbruget og pågår stadig (Schjøning et al., 2009). I de mere end hundred-årige sædskifteforsøg ved Rothamsted er OC i parceller dyrket med enårige afgrøder under halvdelen af hvad der måles i parceller med permanent græs (Watts & Dexter, 1997; se også Figur 1). Et lavt OC indhold øger risikoen for frigørelse (dispergering) af ler fra aggregaterne til poresystemets vand. Det frigjorte ler kan transporteres til dybere jordlag, evt. med adsorberede stoffer (f.eks. pesticider og P). Det dispergerede ler kan give skorpedannelse på jordoverfladen men også internt på aggregaternes overflader i jorden. Dermed mindskes jordens tendens til at smuldre til såbed ved bearbejdning, og iltningen af det indre af aggregaterne kan ligeledes hæmmes. Disse effekter af en dårlig jordstruktur kan i sidste instans lede til mindsket udbytte (Oelofse et al., 2014).

Mekaniseringen i landbruget har samtidig medført en markant stigning i vægten af landbrugets maskiner. På trods af langt større og



Figur 1. Jordens smuldreevne ($F < 0.25$: dårlig; $F = 0.25$: tilfredsstillende; $F > 0.25$: god) målt i de klassiske markforsøg ved Askov (cirkler) og Rothamsted (firkanter). Data fra Munkholm et al. (2002) og Watts & Dexter (1997).

bedre dæk på maskinerne end tidligere er det påvist, at jorden påvirkes til stor dybde (f.eks. Schjøning, 2012; Schjøning et al., 2012a). Sammentrykning af de øvre jordlag kan påvirke både høstudbytte og vigtige jordfunktioner markant men er forbigående, idet jordbearbejdning og biologisk aktivitet hurtigt (månedes til år) udbedrer skaden. Derimod er pakning af jorden under pløjelaget meget langvarig (årtier til århundreder) (f.eks. Berisso et al., 2012). En pakket jord har mistet noget af sit porevolumen. De store, vertikale makroporer (se faktaboks om jordstruktur) kan minimeres i størrelse men overlever typisk. Til gengæld lukkes eller fjernes en række

mindre (marginale) porer (Schjøning et al., 2013). Dermed hæmmes iltningen af underjorden, og under nærmættede forhold øges risikoen for såkaldt præferencestrømning i de vertikale makroporer. Dette kan videre give anledning til transport af de tidligere nævnte partikel-adsorberede stoffer til dybere lag og dræn.

Organisk kulstof og jordstrukturen

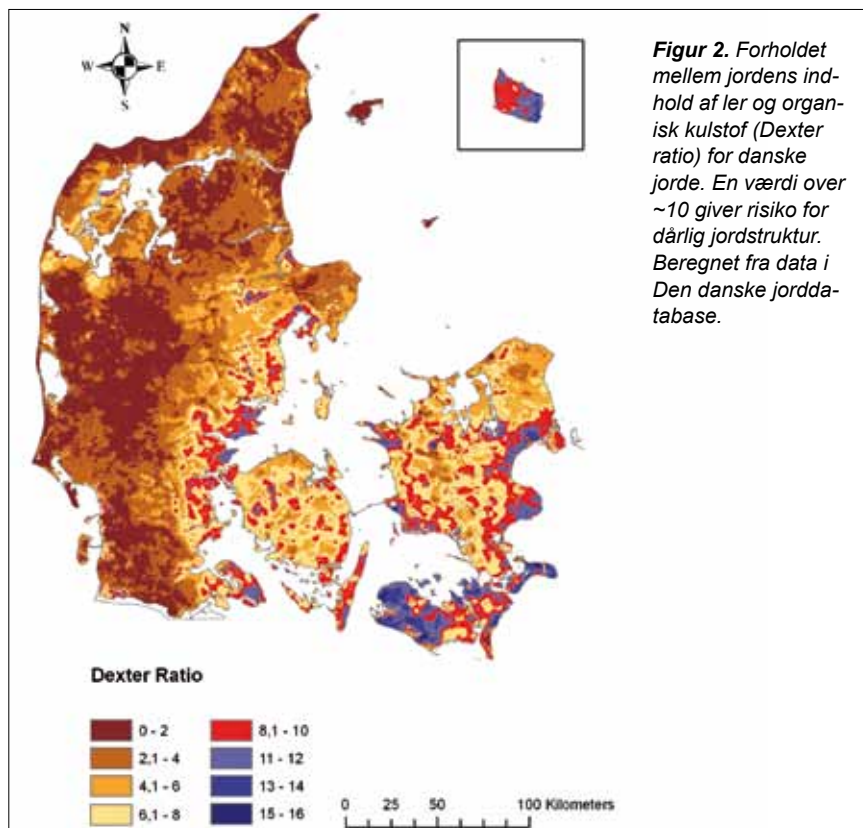
Ny forskning har vist, at jordens OC indhold bliver kritisk lavt for jordstrukturen, hvis jordens ler-indhold er mere end 10 gange så højt som indhold af OC (Dexter et al., 2008; Schjøning et al., 2012b). Dette viser

Faktaboks: Jordstruktur

Jordens mineralske og organiske partikler (selv-)organiseres i en kompleks struktur under medvirken af jordens organismer. I de øvre jordlag med høj biologisk aktivitet og et stort indhold af organisk C dannes kort-husstrukturer (aggregater), der videre indgår som byggesten i større aggregater som et kinesisk æskesystem. Et sådant vaskesvamp-lignende system er tidligt meget dynamisk og optimerer iltning af jorden samt filtrering af gennemstrømmende vand. I dybere jordlag er strukturen meget påvirket af røddernes aktivitet og derfor karakteriseret ved permanente, vertikale 'arterie'-makroporer med mindre 'marginal'-porer, der forgrener sig fra arterie-porerne.

sig f.eks. i målinger af jordens smuldreevne – muligheden for at danne et såbed uden uhensigtsmæssige knolde – i de klassiske gødningsforsøg ved Askov og Rothamsted (Figur 1). Af figuren fremgår for det første, at sædskiftet (Rothamsted) har langt større effekt på OC end gødnings-strategien (Askov). Jordens smuldreevne (F-værdierne) øges ved gødskning og er bedst i jord tilført husdyrgødning. Tilsvarende forbedres smuldreevnen ved sædskifter med stigende andel af flerårige afgrøder (græs) i sædskiftet. F-værdierne er beregnet på grundlag af laboratoriemålinger, men resultaterne er i overensstemmelse med praktiske erfaringer vedrørende gødskning og sædskifte. Figuren bekræfter styrken i at anvende forholdet mellem ler og OC som indikator for kritisk lavt OC niveau frem for OC som sådan. På tværs af de to lokaliteter med forskelligt ler-indhold angiver linien $\text{ler}/\text{OC}=10$ en kritisk grænse for bæredygtige forhold.

Den nye viden giver mulighed for at udpege jorde, der især er i risiko-zonen mht et lavt OC indhold. På grundlag af den danske jorddatabase er i Figur 2 beregnet og vist det såkaldte Dexter-indeks = ler/OC . Altså forholdet mellem på den ene side pløjelagets indhold af mineralpartikler mindre end ca. $2\ \mu\text{m}$ og på den anden side OC. Det fremgår, at kritisk høje værdier (over 10) især findes i den østlige del af Danmark. Dette stemmer overens med, at det især er i disse egne, at der opleves stigende problemer med jordstruktu-



Figur 2. Forholdet mellem jordens indhold af ler og organisk kulstof (Dexter ratio) for danske jorde. En værdi over ~ 10 giver risiko for dårlig jordstruktur. Beregnet fra data i Den danske jorddatabase.

ren. For årtier tilbage kunne et såbed tilberedes med en tandharve trukket af heste. I dag er etableringen af et fornuftigt såbed på flere jorde umuligt uden anvendelse af en rotorharve (roterende harvetænder aktiveret af traktoren ved direkte kraftoverførsel).

Langt hovedparten af data for OC i jordtabasen er indsamlet i 1975-1977. Opdaterede data vil ikke flytte meget på det generelle billede. Men analyser på ejendomsniveau og markniveau på grundlag af aktuelle data er yderst relevante i en vurdering af risikoen for strukturproblemer. Der er behov for udarbejdelse af (online) værktøjer, der giver mulighed for sådanne vurderinger. Disse vil være værdifulde f.eks. ved udpegning af jorde, hvor fjernelse af afgrøderester til biobrændsel er specielt problematisk.

Jordpakning

Foto 1 viser to dybder af jordprofilen på en sandblandet lerjord ved Aarslev på Fyn. Profilet til højre er overkørt tre år i træk om foråret med traktor-gyllevogn. Selv om det i praksis kun er i de såkaldte plejespor i marken, at en sådan trafik gentages årligt, er der tale om praksis-realistisk trafik over tid. Billederne viser tydeligt, at den trykpåvirkede jord er meget mere kompakt og med færre rødder end kontrol-jorden til venstre i billedet.

Omfattende undersøgelser har gennem de seneste år dokumenteret, at mekanisk pakning af jorden under pløjelaget er stort set

permanent (se f.eks. www.poseidon-nordic.dk). Det må altså forventes, at der de første mange år ikke sker markante ændringer i den kompakte jord, der fremgår af profil-fotoet. Figur 3 viser CT-scanning af uforstyrrede jordprøver udtaget i 30-40 cm dybde fra dels en ikke trykpåvirket og dels en pakket jord (Schjønning et al., 2013). Prøverne stammer fra et langvarigt markforsøg med pakning på en lerjord i Finland. Det er vigtigt at bemærke, at den pågældende jord kun er blevet eksperimentelt pakket (hjullast ca. 5 tons, fire gange overkørsel) én gang, nemlig ved forsøgets anlæg i 1981, 29 år før udtagning af de aktuelle prøver. Reduktionen af volumen af makro-

Faktaboks: Jordpakning

På grundlag af en lang række undersøgelser kan formuleres to tommelfingerregler omkring jordpakning (Schjønning et al., 2012a):

50-50-kravet: Trafik på forårsvåd landbrugsjord bør tilrettelægges således, at den ikke giver anledning til mekanisk stress over 50 kPa (0.5 bar) i 50 cm dybde.

8-8 regelen: Dybden for maksimal tilrådelig stress (50 kPa) stiger med 8 cm for hver ton ekstra hjullast og med 8 cm for hver fordobling af daktrykket.

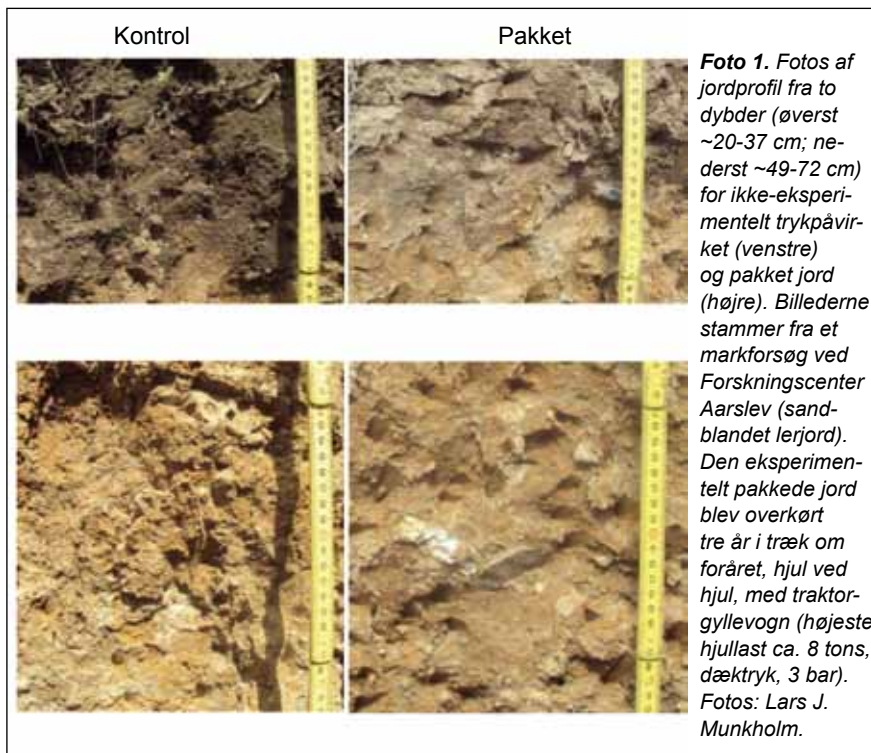
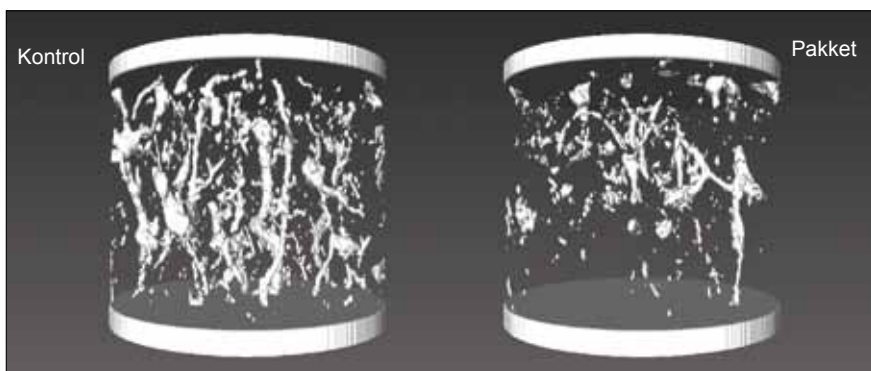


Foto 1. Fotos af jordprofil fra to dybder (øverste ~20-37 cm; nederste ~49-72 cm) for ikke-eksperimentelt trykpåvirket (venstre) og pakket jord (højre). Billederne stammer fra et markforsøg ved Forskningscenter Aarslev (sandblandet lerjord). Den eksperimentelt pakkede jord blev overkørt tre år i træk om foråret, hjul ved hjul, med traktorgyllevogn (højeste hjullast ca. 8 tons, dæktryk, 3 bar). Fotos: Lars J. Munkholm.

porer er tydelige i figuren. Vores analyser viste endvidere, at pakningen ud over at reducere diameteren og volumen af de lodrette bioporer også havde mindsket volumen/mængden af de mindre porer, der forgrener sig fra bioporerne. Disse skader kan formodes at være hæmmende for afgrøden under våde vækstforhold, at mindske næringsstofudnyttelsen i hele jordprofilen og at øge risikoen for såkaldt præferencestrømning af vand med samtidig risiko for transport af partikel-adsorbere fremmedstoffer til stor dybde i jorden.

Det skal tages meget alvorligt, at pakningsskader er så langvarige, som det her viser sig. Der er tilsvarende målt varig pakningsskade ca. 15 år efter kørsel med en selvkørende roeoptager i Skåne. Her på en jord modsvarende en typisk østdansk sandblandet lerjord og med sikker effekt til 90 cm dybde (Berisso et al., 2012). Også i nye danske forsøg med pak-

ning under gyllespredere er der målt pakning til stor dybde (Schjøning, 2012). Det er vigtigt ikke at vurdere denne skadevirkning alene ud fra en kortsigtet økonomisk kalkule. Ældre forsøg har vist ca. 3-5% permanent udbyttetab som gennemsnit over år efter kørsel med 5 tons hjullast. Vi ved endnu ikke, hvad tallet vil være for højere hjullaster, f.eks. 10-12 tons som ikke er ualmindeligt i dag. Men selv et gennemsnitligt langvarigt udbyttetab på måske 5-8% kan muligvis give anledning til en konklusion om, at problemet er til at leve med, - rent økonomisk set i relation til de besparelser, der ligger i brug af de meget store maskiner. Imidlertid må formodes, at udbyttesikkerheden mindskes ved pakning af underjorden. I både tørre og våde år kan frygtes meget større udbyttetab. En pakket jord afdrænes langsommere, hvilket mindsker antal arbejdsdage i marken. Dette er problematisk

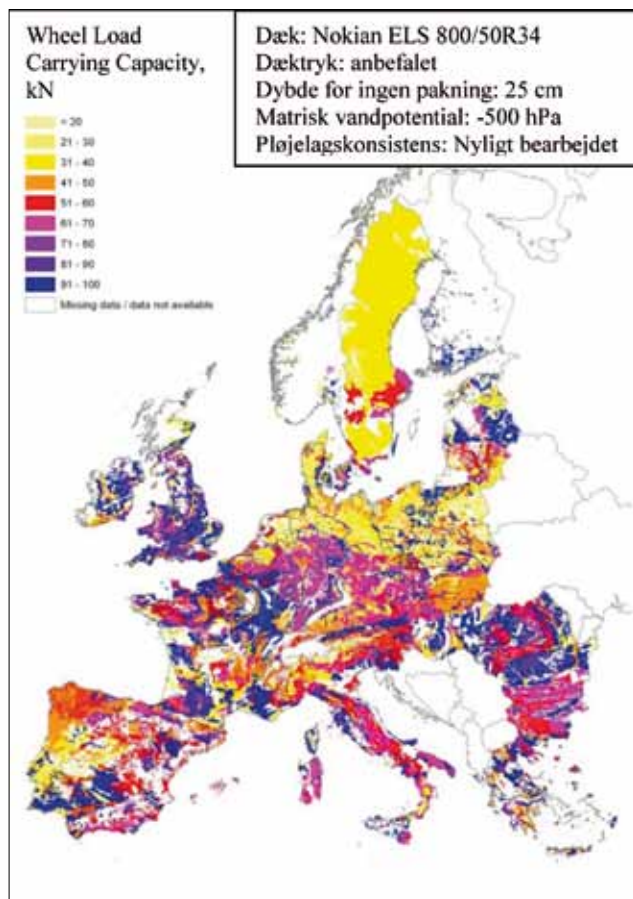


Figur 3. CT-scans af cylindriske jordprøver (10 cm Ø, 8 cm højde) udtaget i 30-40 cm dybde i langvarigt forsøg med jordpakning på en stærk lerjord i Finland. Den pakkede jord blev i 1981 overkørt med hjul lastet med 4.8 tons og dæktryk 7 bar men har efterfølgende ikke oplevet tung trafik. De viste prøver er valgt ud fra, at de hver især ligger nærmest på gennemsnittet af 8 gentagelser for hver behandling. Uddrag fra Schjøning et al. (2013).

især under indtryk af klima-ændringer i retning mod mere regn. Dertil kommer det principielt helt afgørende, at det er meget dristigt at gennemføre en praksis, der giver anledning til en stort set permanent skade på dyrkningsjorden. Der er næsten helt sikkert jordfunktioner, som vi ikke har overblik over i hvor stort omfang bliver påvirket af pakningen.

Konklusioner og afslutning

Der er stærkt begrundet basis for en øget fokus på både det faldende indhold af OC og på jordpakningen. Dertil kommer andre trusler som f.eks. jorderosion, der til dels hænger sammen med de to øvrige processer (Schjøning et al., 2009). EU-Kommissionen har udarbejdet en såkaldt tematisk strategi for beskyttelse af dyrkningsjorden (http://ec.europa.eu/environment/soil/three_en.htm). Et forslag til Jordrammedirektiv er blevet nedstemt i Ministerrådet. Et nystartet EU-projekt (www.recare-project.eu) har til formål at skabe et styrket grundlag for nye EU-initiativer på området. Samtidig har alle FAO-lande ratificeret en tekst omkring en såkaldt 'Global Soil Partnership' (se faktaboks). Uanset den politiske skæbne af sådanne tiltag, bør problemerne tages alvorligt. Der er pt meget fokus på produktion af biobrændsel fra enten afgrøderester eller ved dyrkning af energiafgrøder. Denne udvikling bør vurderes i lyset af jordens sårbarhed mht indhold af OC, hvilket også er påpeget på verdensplan. Det er ikke bæredygtigt at fjerne yderligere kulstof fra allerede udpinte jorde. Den eksisterende viden omkring sårbare jorde bør operationaliseres som det f.eks. er anskueliggjort i figur 2. Tilsvarende kan der udarbejdes kort over hvilke jorde, der kan bære hvilke laster ved specifikke vandforhold. Dette er eksemplificeret for hele Europa i Figur 4. Der er tale om foreløbige resultater udarbejdet i et samarbejde mellem Aarhus og Københavns Universiteter, og indtil videre tages der forbehold for niveauet af de beregnede hjullaster. Kortet viser potentialet i at udpege jorde, der er mere eller mindre i stand til at bære trafik, - kort skal så udtegnes for flere forskellige vandindhold. Tilsvarende kort kan udarbejdes for Danmark samt regionalt og på ejendomsniveau. Endvidere er til sidst nævnte skala et online beslutningsstøtteværktøj (www.soilcompaction.dk: Terranimo) under stadig udvikling til optimering af den enkelte landmands trafik på marken. Det er tankevækkende, at en version af dette værktøj allerede er taget i brug til juridisk bindende regulering af trafik i marken i Schweiz. Her er der et stærkt og naturligt fokus på at beskytte jorden, hvilket sandsynligvis hænger sammen med de relativt små arealer, der er



Figur 4. Jordens mekaniske bæreevne (wheel load carrying capacity) beregnet med ny viden omkring jordens mekaniske styrke samt transmission af stress i jorden (upublicerede, foreløbige data, Aarhus og København Universiteter).

Faktaboks: Internationale konventioner for jordbeskyttelse
EU Soil Thematic Strategy
 EU-Kommisionen foranledigede et stort udredningsarbejde omkring (dyrknings-)jordens kvalitet (~2001-2004), hvilket resulterede i et initiativ til dens beskyttelse, EU Soil Thematic Strategy (STS; http://ec.europa.eu/environment/soil/three_en.htm). STS udmøntes gennem fire 'søjler': oplysning, forskning, integration i øvrig EU-lovgivning, samt lovgivning. Et forslag til et EU Jordrammedirektiv fokuserer seks primære trusler mod jordens fortsatte kvalitet og funktioner: a) erosion ved vind, vand (og jordbearbejdning), b) nedgang i jordens indhold af organisk stof, c) jordpakning, d) saltdannelse, e) jordskred, og f) forurening. Forslaget pålægger EU's medlemslande at identificere risikoområder og at tage initiativer til beskyttelse af jorden. Forslaget er indtil videre blevet bremset i Ministerrådet.

Global Soil Partnership

Global Soil Partnership (GSP; <http://www.fao.org/globalsoilpartnership/en/>) er et frivilligt initiativ i regi af FAO, og dets anbefalinger og beslutninger er ikke juridisk bindende for FAO medlemsstater; dog er GSP ratificeret af FAO's besluttende organer. Da GSP ikke kan tage juridisk bindende beslutninger er det tænkt som rådgivende overfor FAO's besluttende organer. Mandatet for GSP er at forbedre forvaltningen af de begrænsede jordressourcer for at sikre en sund og produktiv jord i fremtiden. GSP har nedsat et mellemstatsligt teknisk panel, som skal rådgive GSP og FAO i tekniske og videnskabelige spørgsmål. GSP vil støtte processen frem mod vedtagelsen af bæredygtige udviklingsmål for forvaltningen af jordressourcen. GSP vil bidrage til miljømæssig bæredygtighed igennem for eksempel forebyggelse af jorderosion, reduktion af udledningen af drivhusgasser, og ved at fremme kulstofbinding samt bæredygtig udnyttelse jorden.

tilgængelige for jordbrug i det bjergrige land. Vi bør lære af dette. En stor viden vedrørende både kritisk lave værdier af OC og vedrørende jordpakning er oparbejdet gennem forskning. Denne viden bør i højere grad gøres tilgængelig til sikring af en fortsat bæredygtig anvendelse af vores dyrkningsjord.

Referencer

- Berisso, F.E., Schjønning, P., Keller, T., Lamandé, M., Etana, A., de Jonge, L.W., Iversen, B.V., Arvidsson, J., Forkman, J. 2012. Persistent effects of soil compaction on soil pore size distribution and gas transport in a loamy soil. *Soil & Tillage Research* 122, 42-51.
- Dexter, A. R., Richard, G., Arrouays, D., Czyz, E. A., Jolivet C., Duval O. 2008. Complexed organic matter controls soil physical properties. *Geoderma* 144, 620-627.
- Munkholm, L.J., Schjønning, P., Deboz, K., Jensen, H.E., Christensen, B.T. 2002. Aggregate strength and mechanical behaviour of a sandy loam under long-term fertilization treatments. *European Journal of Soil Science* 53, 129-137.
- Oelofse, M., Schjønning, P., Jensen, L.S., Knudsen, L., Bruun, S. 2014. Soil clay-to-carbon ratio effects on potential crop yields. *Geoderma* (submitted).
- Schjønning, P. 2012. Effekt af trafik på jordens penetreringsmodstand og poresystem. *Oversigten over Landsforsøgene* 2012, 297-303.
- Schjønning, P., Heckrath, G., Christensen, B.T. 2009. Threats to soil quality in Denmark. A review of exist-

- ing knowledge in the context of the EU Soil Thematic Strategy. *DJF Report Plant Science* 143, 121pp.
- Schjønning, P., Lamandé, M., Berisso, F.E., Simojoki, A., Alakukku, L., Andreasen, R.R. 2013. Gas diffusion, non-Darcy air permeability and CT-images of a clay subsoil affected by compaction. *Soil Science Society of America Journal* 77, 1977-1990.
- Schjønning, P., Lamandé, M., Keller, T., Pedersen, J., Stettler, M. 2012a. Rules of thumb for minimizing subsoil compaction. *Soil Use and Management* 28, 378-393.
- Schjønning, P., de Jonge, L.W., Munkholm, L.J., Moldrup, P., Christensen, B.T., Olesen, J.E. 2012b. Clay Dispersibility and Soil Friability-Testing the Soil Clay-to-Carbon Saturation Concept. *Vadose Zone J* 11.
- Watts, C.W., Dexter, A.R. 1997. The influence of organic matter in reducing the destabilization of soil by simulated tillage. *Soil & Tillage Research* 42, 253-275.
- PER SCHJØNNING er seniorforsker ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, Per.Schjonning@agrsci.dk
 MATHIEU LAMANDÉ er seniorforsker ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, Mathieu.Lamande@agrsci.dk
 LARS J. MUNKHOLM er seniorforsker ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, Lars.Munkholm@agrsci.dk
 MOGENS H. GREVE er sektionsleder ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, MogensH.Greve@agrsci.dk
 HENRIK BREUNING-MADSEN er professor ved Institut for Geovidenskab, Naturforvaltning og Geografi, Københavns Universitet, hbm@ign.ku.dk