VURDERING AF **JORDENS FRUGTBARHED**

SEGES

VURDERING AF JORDENS FRUGTBARHED
- GIV JORDEN ET SUNDHEDSTJEK

er udgivet af

SEGES
Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.
Agro Food Park 15, Skejby
DK 8200 Aarhus N

KONTAKT
Annette Vibeke Vestergaard, SEGES
avv@seges.dk 87405360

FORFATTERE
Sektionsleder Mogens Humlekrog Greve, Aarhus Universitet
Seniorforsker Lars Juhl Munkholm, Aarhus Universitet
Seniorforsker Mathieu Lamandé, Aarhus Universitet
Seniorforsker Paul Henning Krogh, Aarhus Universitet
Chefkonsulent Leif Knudsen, SEGES
Landskonsulent Annette Vibeke Vestergaard, SEGES
Konsulent Tove Mariegaard Pedersen, SEGES

FORSIDEILLUSTRATION
Mona Olin Hvidberg

December 2018

Den Europæiske Landbrugsfond for Udvikling af Landdistrikterne:
Danmark og Europa investerer i landdistrikterne

Miljø- og Fødevareministeriet
Landbrugsstyrelsen

Den Europæiske Landbrugsfond
for Udvikling af Landdistrikterne

LDP 2020

Se EU-Kommissionen, Den Europæiske Landbrugsfond for Udvikling af Landdistrikterne

STØTTET AF
promilleafgiftsfonden
for landbrug

FORORD

I denne rapport beskrives forskellige elementer af jordens frugtbarhed samt specifikke metoder til at analysere eller vurdere disse. Som supplement til denne rapport er der udarbejdet 8 fakta-ark med tilhørende instruktionsvideoer, som beskriver enkle metoder, der kan give hurtige og kvantitative vurderinger af jorden i danske marker. Disse simple metoder kan udføres af både rådgivere og landmænd. Rapporten udgør sammen med fakta-ark og videoer en vejledning til vurdering af jordens frugtbarhed, og bygger videre på en rapport "Vurdering af jordens frugtbarhed – Nye simple muligheder?" fra 2016, som var en forundersøgelse til udvælgelsen af disse metoder. Rapporten er udvidet med flere beskrivelser, og er tænkt som et opslagsværk, hvis man vil vide mere om et bestemt element af jordens frugtbarhed, og hvordan man måler på det. Med de nye fakta-ark og videoer kan man forholde sig konkret til frugtbarheden af en enkelt mark, eller et område i en mark.
Ud fra en analyse af den samlede tilstand med diagnosticering af hvilke parametre, der er kritiske, kan man iværksætte eller rådgive om konkrete tiltag, der kan forbedre tilstanden. Der er udarbejdet en praktisk vejledning til dette formål: "*Forbedring af jordens frugtbarhed*".

Rapporten er udarbejdet i 2018 af:
SEGES:

Leif Knudsen, Chefkonsulent, Gødskning og kulturteknik
Annette Vibeke Vestergaard, Landskonsulent, Jord og kulturteknik
Tove Mariegaard Pedersen, Konsulent, Økologi

Aarhus Universitet:

Mogens Humlekrog Greve, Sektionsleder, Institut for Agroøkologi – Jordfysik og Hydropedologi
Lars Juhl Munkholm, Seniorforsker, Institut for Agroøkologi – Jordfysik og Hydropedologi
Mathieu Lamandé, Seniorforsker, Institut for Agroøkologi – Jordfysik og Hydropedologi
Paul Henning Krogh, Seniorforsker, Institut for Bioscience – Jordfaunaøkologi og økotoksikologi

INDHOLD

INDHOLD 4
1 INDLEDNING 6
2 TRUSLER MOD JORDENS FRUGTBARHED 7
2.1 JORDPAKNING 7
2.2 TAB AF ORGANISK STOF 7
2.3 EROSION 8
3 POTENTIELLE UDBYTTER 8
4 OVERSIGT OVER RELEVANTE PARAMETRE 11
5 JORDENS KEMISKE EGENSKABER 11
5.1 PH ELLER REAKTIONSTAL 12
5.2 INDHOLD AF NÆRINGSSTOFFER 13
5.2.1 BESTEMMELSE VIA INDIKATORPAPIR 14
5.3 CEC – KATIONADSORPTIONSKAPACITET 15
5.4 ALBRECHT ANALYSE 15
5.5 PLANTEANALYSER 15
5.6 ANALYSE FOR TOKSISKE STOFFER 15
6 JORDENS FYSISKE EGENSKABER 16
6.1 TEKSTUR 16
6.1.1 SANSE-PRØVE 18
6.1.2 SEDIMENTATIONSANALYSE 20
6.1.3 SPEKTROSKOPI 20
6.1.4 ELEKTROMAGNETISK INDUKTION (EMI) 20
6.2 ORGANISK MATERIALE OG KULSTOFINDHOLD 22
6.2.1 VURDERING AF JORDENS KULSTOFINDHOLD 22
6.2.2. DEXTER INDEKS 23
6.2.3 BEREGNING AF UDVIKLINGEN AF KULSTOF I JORDEN 25
6.3 JORDENS STRUKTUR 25
6.3.1. RODVÆKST 26
6.3.2 POTENTIEL RODDYBDE 26
6.3.3 PLANTETILGÆNGELIGT VAND I JORDEN 27
6.3.4 JORDENS STABILITET 27
6.3.5 AGGREGATSTABILITET 27

6.3.6 JORDENS PORØSITET 28
6.3.7 VOLUMENVÆGT 28
6.3.8 PENETROMETERMÅLINGER 29
6.3.9 JORDSPYD 30
6.3.10 INFILTRATIONSEVNE 30
6.3.11 OVERFLADEVAND 31
6.4 VISUEL BEDØMMELSE JORDEN 31
6.4.1 SPADEANALYSE 32
6.4.2 VESS: PLØJELAGET (0-25 CM) 32
6.4.3 GRÆSVESS 34
6.4.4 SUBBVESS: UNDERJORDEN (25-100 CM) 35
7 BIOLOGISK AKTIVITET I JORDEN 37
7.1 MÅLING AF RESPIRATION I JORDEN 37
7.2 ANTAL REGNORME 37
7.3 LABORATORIEANALYSER 38
8 STANDARDISEREDE METODER 38
8.1 VISUAL SOIL ASSESSMENT 39
8.2 USDA-NRCS SOIL QUALITY TEST KIT 39
8.3 USDA-NRCS SOIL HEALTH KIT FOR EDUCATORS 39
8.4 SIMPLY SUSTAINABLE SOILS (UK) 39
8.5 MUENCHEBERG SOIL QUALITY RATING (M-SQR) 40
9 FORSKNING 40

1 INDLEDNING

Jordens frugtbarhed defineres som *jordens evne til vedvarende at understøtte en planteproduktion, der er forsvarlig med hensyn til omfang, kvalitet, rentabilitet og påvirkning af det omgivende miljø*[1].

Jordens frugtbarhed er et sammenspil af jordfysik, -kemi og -biologi. Udover klimatiske faktorer er det primært jordens tekstur, der sætter en øvre grænse for jordens vandholdende evne, og anses for at sætte grænserne for det potentielle udbytte i marken. Jordens tekstur kan som udgangspunkt ikke ændres, men i bakkede marker kan der dog ske en transport af ler- og humuspartikler fra bakketop til lavning, som fører til betydelige teksturelle ændringer indenfor marken. En vigtig parameter for jordens fysiske, kemiske og biologiske egenskaber er indholdet af kulstof, som kan ændres, men som er en proces over tid.
I denne rapport betragter vi jordens frugtbarhed som den sammensætning og de egenskaber, der skal til, for at markens potentielle udbytte kan nås, når der tilføres den nødvendige mængde nærings- og hjælpestoffer i det enkelte år, der står i rimeligt forhold til jordens indhold og afgrødens behov.

Rapporten beskriver de parametre, der forudsætter en optimal frugtbarhed, og som kan være udbyttebegrænsende, og som kan påvirkes dyrkningsmæssigt.

For at kunne vurdere jordens frugtbarhed, er der defineret nogle parametre og brugbare indikatorer, da ikke alle parametre er direkte målbare.

Da der findes et standardiseret system til vurdering af mange kemiske parametre (næringsstoffer, pH) og tekstur, fokuseres primært på andre parametre. For disse parametre beskriver vi nogle relativt simple og lavteknologiske felt-metoder, der potentielt kan bruges af landmænd og rådgivere.

[1] Bent Tolstrup Christensen: http://orgprints.org/339/1/Jordens_frugtbarhed.pdf

2 TRUSLER MOD JORDENS FRUGTBARHED

Der er stort internationalt fokus på beskyttelse af dyrkningsjorden imod forringelse som følge af f.eks. erosion og jordpakning. Globalt er der dannet et Global Soil Partnership med opbakning fra FAO, FN's landbrugsorganisation (www.fao.org/global-soil-partnership). Det vurderes, at ca. 33 procent af verdens jorde er berørt af forringelse. På EU-plan har der været planer om at lave et jordbeskyttelses direktiv. Disse er af flere runder blevet opgivet, og fokus er nu på at fremme beskyttelse af dyrkningsjorden gennem EU's generelle landbrugspolitik. EU har udpeget erosion, tab af organisk stof, jordpakning, saltdannelse, jordskred og forsuring som de væsentligste trusler mod jordens frugtbarhed. Schjønning et al. (2009) vurderede at erosion, tab af organisk stof og jordpakning er af særlig betydning under danske forhold.

2.1 Jordpakning

Jordpakning under normal pløjedybde er meget svær at gøre noget ved og pakningsskader under ca. 50 cm dybde vurderes at være stort set permanente. Pløjning eller anden intensiv jordbearbejdning kan i samarbejde med naturlige processer forholdsvis nemt løsne pakningsskader i pløjelaget (0-25 cm dybde). Kørsel med stadig tungere maskiner under våde forhold er den primære årsag til øgede problemer med pakning af underjorden. Pakningen af underjorden giver problemer i forhold til afledning af vand under våde forhold og hæmmer planternes rodudvikling. Det giver reduceret produktivitet og vand- og næringsstofudnyttelse. De negative konsekvenser af pakning ventes at øges i de kommende år som følge af klimaforandringer (vådere vintre, kraftigere nedbørshændelser og længere tørkeperioder om sommeren). Samtidig er øgede udbytter i fremtiden betinget af en velfungerende underjord. Øget roddybde og forbedret rodvækst er en forudsætning for stigende udbytter.

Eksempel på pakket, vandlidende jord (SEGES, arkivfoto)

2.2 Tab af organisk stof

Gennem de seneste årtier er indholdet af organisk stof i jorden generelt set faldet på de lerede danske jorde. Det kan forklares med ændringer i sædskifte (mere korn mindre græs), mindre tilførsel af husdyrgødning og fraførsel af halm. Lavt kulstofindhold på lerjordene kan give dårlig jordstruktur, som kan give problemer i forhold til planteetablering og øget følsomhed overfor erosion og jordpakning. Risikoen for problemer med jordstrukturen øges i takt med øget ler/kulstof forhold (såkaldt Dexter indeks). En række studier peger

på en grænseværdi omkring et ler/kulstof forhold på 10. Kritisk høje værdier findes på en række lerede østdanske lerjorde.
På sandjordene er kulstofindholdet generelt set steget svagt i løbet af de seneste årtier, hvilket skyldes, at husdyrproduktionen er blevet koncentreret på disse jorde. Det betyder fastholdelse eller forøgelse af mængden af græs i sædskifterne og tilførsel af husdyrgødning.

2.3 Erosion

Vinderosion har historisk set været et alvorligt problem i Vestdanmark. Truslen er blevet imødegået ved omfattende plantning af læhegn og i de seneste årtier ved brug af vintergrønne marker. Vanderosion anses normalt ikke for et stort problem under danske forhold som følge af et relativt fladt landskab og få hændelser med intensiv regn. Danske målinger viser dog, at der kan forekomme betydelig vanderosion – særligt efterår og vinter ved langvarig regn på våd jord eller frossen jord og om foråret ved intensiv regn på nyligt bearbejdet jord (f.eks. i forbindelse med dyrkning af rækkeafgrøder som majs, roer og kartofler). Risikoen for begge former for vanderosion forventes at stige i de kommende år på grund af mere vinternedbør og øget hyppighed og intensitet af skybrud i sommerhalvåret. Vanderosion kan effektivt forebygges ved at have et effektivt jorddække af planter eller planterester og ved at stimulere dannelse af vandstabil jordstruktur (tilførsel af organisk stof, minimal jordforstyrrelse).

Jordbearbejdningserosion betegner en flytning af jord indenfor marken fra højt- til lavtliggende områder i forbindelse med pløjning, harvning og såning. Det ses ofte som lyse pletter på bakketoppene og sort jord i lavningerne. Der kan flyttes mere end 20 t pr. ha pr. år på skrånende arealer. Minimal eller ingen jordbearbejdning er det mest effektive virkemiddel mod jordbearbejdningserosion.
For en gennemgang af virkemidler henvises til vejledningen: Forbedring af jordens frugtbarhed.

3 POTENTIELLE UDBYTTER

Jordens frugtbarhed kan vurderes indirekte ved at vurdere det aktuelle udbytte i marken som gennemsnit over flere år mod det potentielle udbytte for samme jordtype. Hvis udbyttet i den enkelte mark ligger under det potentielle udbytte, eller der er betydelige udsving som følge af en lav dyrkningssikkerhed, kan det være et udtryk for, at markens frugtbarhed er for lav. Det kan naturligvis også afspejle en bevidst strategi i henhold til lave afregningspriser, hvor input i planteavlen er reduceret. Endelig kan det skyldes en ikke optimal driftsledelse.

Der findes ikke nogen egentlig angivelse af potentielle udbytter på forskellige jordtyper. Det potentielle udbytte i det enkelte år er påvirket af de klimatiske forhold i året, afdræning, næringsstoftilgængelighed og tryk af ukrudt, sygdomme og skadedyr og skal derfor ses over flere år. I tabel 1 er der vist udbytter for vinterhvede og vårbyg i landsforsøgene som et gennemsnit af 2007-2016. For hver jordtype er vist gennemsnitsudbytte og gennemsnitlig spredning over de 10 år. Desuden viser tabellen gennemsnitsudbyttet med spredning, hvilket svarer til, at 1/6 af forsøgene har et udbytte højere end dette niveau. Hvis man anvender gennemsnitligt udbytte med spredning som et mål for det potentielle udbytte, er det f.eks. 105,0 hkg pr. ha for vinterhvede og 77,6 hkg for vårbyg på jordtype JB 6.

Gennemsnitsudbytterne i forsøgene er ca. 20 procent højere end udbytterne i Danmarks Statistik i samme periode. Det skyldes bl.a., at der ikke indgår foragre i forsøgene, og at forsøgene placeres i ensartede områder med generelt højere udbytter.

Tabel 1. Oversigt over udbytter fra standardled i landsforsøgene fra 2007-2016. Udbytter og spredning er beregnet som gennemsnit af udbytter og spredning i de enkelte år.

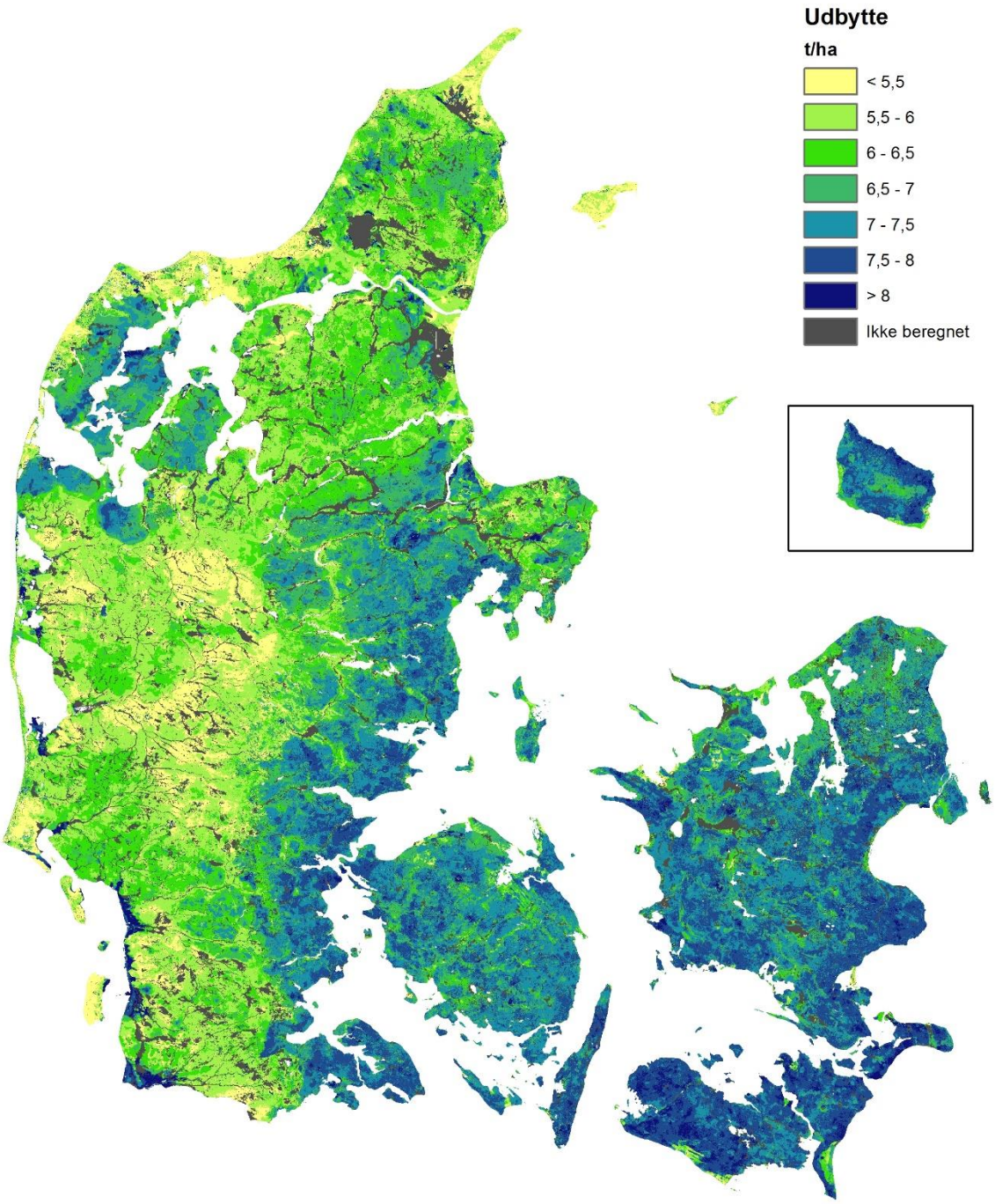
Jord-type	Vinterhvede				Vårbyg			
	Antal	Gns. ud-bytte	Spred-ning	Gns. ud-bytte + spredning	Antal	Udbytte	Spred-ning	Gns. ud-bytte + spred-ning
		hkg pr. ha				hkg pr. ha		
JB 1	59	71,7	13,4	85,1	60	61,5	9,2	70,6
JB 2	29	72,0	15,7	87,6	29	53,8	10,8	64,6
JB 3	29	72,4	9,3	81,7	32	57,4	9,0	66,4
JB 4	240	78,4	13,3	91,7	104	60,7	9,6	70,3
JB 5	191	89,2	14,6	103,8	85	62,9	7,7	70,6
JB 6	522	91,7	13,4	105,0	179	68,2	9,4	77,6
JB 7	209	90,9	13,7	104,6	91	67,2	7,8	75,0
JB 8	12	102,8	14,5	117,3	4	74,2	3,3	77,5
JB 11	5	89,0						
Alle	1310	87,3	15,1	102,3	588	64,5	10,5	75,0
Danmarks Statistik:		73,8				53,6		

Schjønning et al., 2018[2] har beregnet det næringsstofoptimerede udbytte i vinterhvede, på baggrund af analyse af godt 800 landsforsøg med stigende N-tilførsel. Her fandt man overraskende, en negativ effekt af organisk stof i jorden på sand- og mellemjorde og kun en positiv effekt på svære lerjorder, ved optimalt gødskningsniveau. Her er det væsentligt at notere sig, at landsforsøgene netop placeres på de bedste jorder, dvs. som ikke er udfordret af pakningsskader, ringe afdræning eller bakkede arealer.
I gennemsnit af alle forsøg, kunne der spares 12 kg N pr. ha for hver procent enheds stigning i jordens indhold af organisk kulstof. Således vil en positiv effekt af organisk stof ofte være en næringsstofeffekt. Det næringsstofoptimerede udbytte er beregnet ud fra jordtypen i jorddatabasen og indeholder en korrektion for jordens indhold af organisk kulstof, i forhold til indholdet af ler og silt. Resultatet er vist i figur 1. Figuren afspejler således det potentielle hvedeudbytte ved optimalt gødningsniveau og afspejler meget godt den gamle hartkornsinddeling, men indeholder en effekt af organisk materiale.

Indholdet af organisk stof må forventes at have stigende positiv betydning for udbyttet på gødningsbegrænsede ejendomme, hvorved en øgning af jordens kulstofindhold på økologiske marker får en mere positiv udbytteeffekt.

Har man meget afvigende udbytteniveau på en ejendom i forhold til niveauet i området, kan det indikere at jordens sundhed er ringe og at jorden bør undersøges nærmere.

[2] Schjønning, P. Lamandé, M., Greve, M.H. og Greve, M.B. 2018: En basal forudsætning, Momentum nr. 2, 2018



Figur 1. Næringsstofoptimeret udbytte af vinterhvede (målt i kernetørstof) for danske jorder, baseret på data i den danske jorddatabase og statistisk modellering af godt 800 landsforsøg med stigende tilførsel af kvælstof til vinterhvede[2]

4 OVERSIGT OVER RELEVANTE PARAMETRE

I dette afsnit gives en oversigt over de parametre, der kan indgå i en vurdering af jordens frugtbarhed. Generelt for de mest udbredte nuværende værktøjer til vurdering af jorden er, at de ofte kun refererer til én eller få jordparametre (f.eks. jordprøver, der giver svar på reaktionstallet og indholdet af enkelte næringsstoffer). I begrebet jordens frugtbarhed ligger implicit, at det bredeste spænd af parametre indgår i en mere holistisk vurdering. I tabel 2 er opstillet en række parametre, der alle indvirker på den enkelte jords frugtbarhed.

Funktionen og vigtigheden af flere af parametrene er nærmere beskrevet i de efterfølgende kapitler. Her fremgår også eksempler på, hvordan de kan måles eller vurderes direkte eller indirekte via relaterede indikatorer.

Tabel 2. Nøgleparametre for beskrivelse af jordens frugtbarhed.

➢ Kemiske parametre
pH (Reaktionstal)
Indhold af tilgængelige essentielle næringsstoffer
Organisk stof (humus)
CEC – kationadsorptionskapacitet
(Miljøskadelige stoffer (f.eks. PAH, LAS9))
(Tungmetaller)
➢ Fysiske parametre
Tekstur
Ledningsevne/konduktivitet (saltindhold)
Organisk stof (humus)
Struktur (porøsitet, pakningsgrad)
Strukturstabilitet
Potentiel roddybde
Volumenvægt (jordtæthed) i forskellige dybder
Vandholdende evne
Infiltrationsevne
Drændybde og drænsystem
➢ Biologiske parametre
Organisk stof (humus)
Biologisk aktivitet og artsdiversitet
Regnorme og evt. andre arter vigtige for strukturen og omsætningen i jorden
Roddybde
Frøpulje for ukrudt

5 JORDENS KEMISKE EGENSKABER

Jordens kemiske egenskaber er afgørende for jordens evne til at fastholde og frigøre næringsstoffer til gavn for afgrøden og til sikring af emissioner til miljøet. Derudover kommer regulering af eventuel toksicitet i jorden. Samtidig påvirker jordens kemiske egenskaber også jordstrukturen.

5.1 pH eller Reaktionstal

I Danmark bruges Reaktionstallet (Rt) som et udtryk for jordens pH. Reaktionstallet måles ved at ryste jord med calciumchlorid og måle pH. Til det målte pH lægges 0,5 for at få Reaktionstallet. Korrektionen på de 0,5 anvendes for at få et udtryk, der svarer til måling af pH i vand. Der bestemmes i dag mere end 100.000 Reaktionstal, og det anvendes i rådgivningen til styring af kalkning. Der findes forskellige vejledninger i kalkning på Landbrugsinfo.

SEGES vejledninger om optimale Reaktionstal bygger i høj grad på ældre kalkningsforsøg, hvor der er etableret en sammenhæng mellem Reaktionstal, kalktilførsel og udbytte. Anbefalingen til Reaktionstals niveau er vist i tabel 3.

Tabel 3. Generel anbefaling om Reaktionstal.[3]

Jordtype JB nr.	Sædskifte, afgrøder	Meget lavt d)	Lavt d)	Middel d)	Højt d)	Meget højt d)
1 - 4	Tolerante a)	< 5,2	5,2 - 5,7	5,8 - 6,1	6,2 - 6,5	> 6,5
	Middel b)	**< 5,5**	**5,5 - 5,9**	**6,0 - 6,3**	**6,4 - 6,7**	**> 6,7**
	Følsomme c)	< 5,7	5,7 - 5,9	6,0 - 6,5	6,6 - 6,9	> 6,9
5 - 6	Tolerante a)	< 5,3	5,3 - 6,0	6,1 - 6,5	6,6 - 6,9	> 6,9
	Middel b)	**< 5,5**	**5,5 - 6,2**	**6,3 - 6,7**	**6,8 - 7,1**	**> 7,1**
	Følsomme c)	< 5,7	5,7 - 6,4	6,5 - 6,9	7,0 - 7,3	> 7,3
7 - 9	Tolerante a)	< 5,3	5,3 - 6,3	6,4 - 6,7	6,8 - 7,2	> 7,2
	Middel b)	**< 5,5**	**5,5 - 6,5**	**6,6 - 6,9**	**7,0 - 7,4**	**> 7,4**
	Følsomme c)	< 5,7	5,7 - 6,7	6,8 - 7,1	7,2 - 7,6	> 7,6
11	Tolerante a)	< 4,3	4,3 - 4,7	4,8 - 5,2	5,3 - 5,7	> 5,7
	Middel b)	**< 4,5**	**4,5 - 4,9**	**5,0 - 5,4**	**5,5 - 5,9**	**> 5,9**
	Følsomme c)	< 4,7	4,7 - 5,1	5,2 - 5,6	5,7 - 6,1	> 6,1

a) Tolerante afgrøder i sædskiftet: Kartofler, rug, havre, græs.
b) Middelfølsomme afgrøder i sædskiftet: Vinterhvede, vinterbyg, majs, rød- og hvidkløver, raps, markært.
c) Følsomme afgrøder i sædskiftet: Lucerne, sukkerroer, sneglebælg, vårbyg.
d) Korrektion for organisk stof (humus): I marker med et lavt indhold af organisk stof (under 1,5 pct.) tillægges 0,2 enheder i Rt, mens der tilsvarende fratrækkes 0,2 enheder ved et indhold af organisk stof på over 3,5 pct.

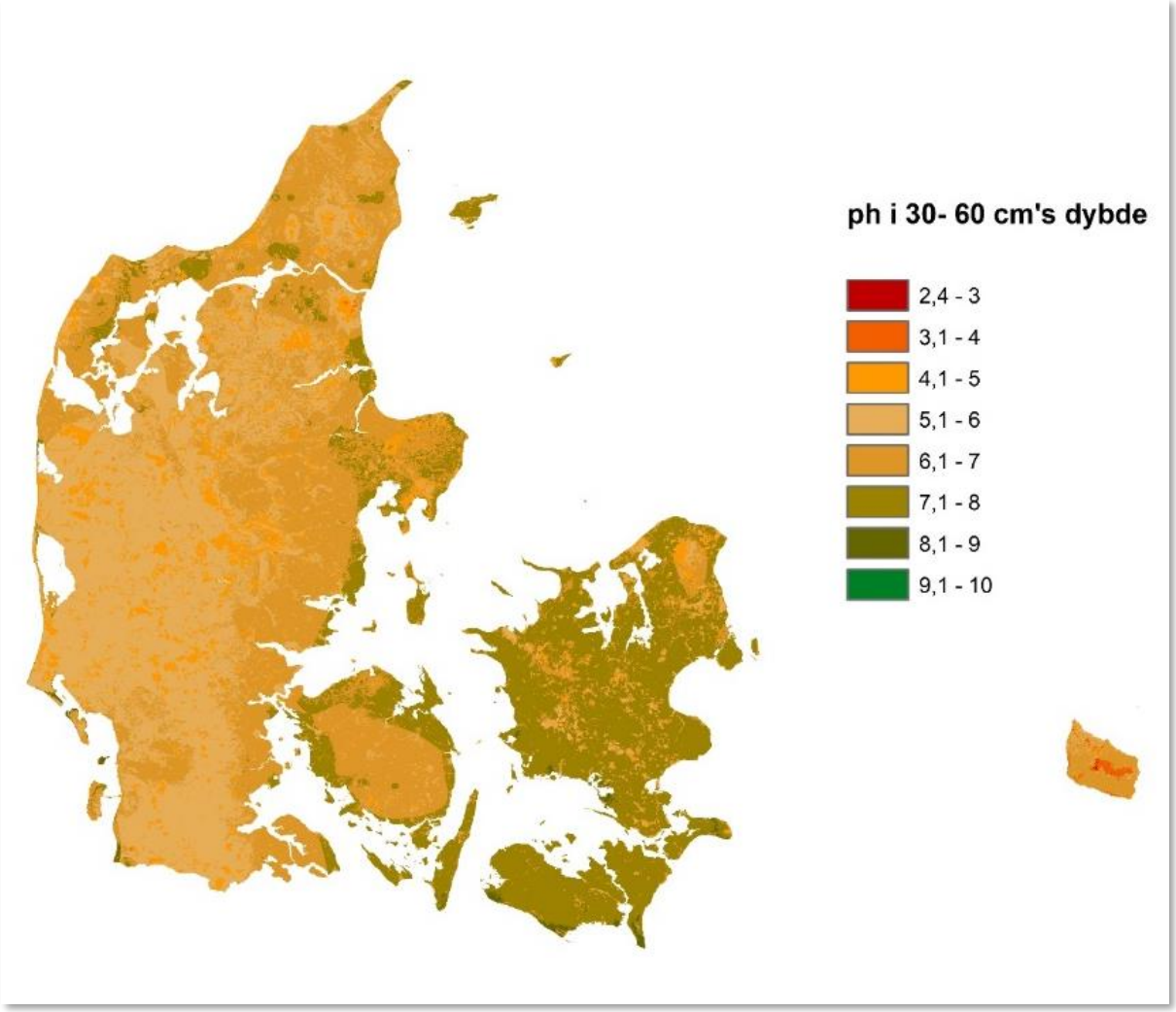
Ved lave Reaktionstal kan der opstå direkte aluminium-forgiftninger af planterne. Ved lave Reaktionstal vil tilgængeligheden af specielt fosfor være lav og hæmme udbyttet. Ved høje Reaktionstal bliver tilgængeligheden af navnlig mangan og bor lav. Reaktionstallet har også en betydning for visse jordbårne sygdomme og ukrudt.

Udover indflydelse på næringsstoftilgængelighed har Reaktionstallet også indflydelse på jordstrukturen. Et højt Reaktionstal betyder, at calcium udgør størstedelen af kationbelægningen på lermineralerne og det giver en større aggregatstabilitet og mere bearbejdningsegnet jord, der slemmer mindre og, hvor det er lettere at etablere en god krummestruktur. Sammenhængen mellem jordstruktur og Reaktionstal er ikke godt

[3] Planteavlsorientering 07-483. Tolkning af jordbundsanalyser

belyst, og der er sandsynligvis behov for at tage hensyn til jordstruktur mere direkte ved tolkningen af Reaktionstal på lerede marker/pletter. Ud over den standardiserede metode til bestemmelse af jordens Reaktionstal, kan det også måles helt lavpraktisk i marken med et lille pH-meter eller ved brug af pH-papir. Metodebeskrivelse ved brug af pH-meter findes i denne vejledning: Soil Quality Test Kit Guide (kap. 6) og ved brug af pH-papir findes i denne vejledning: Soil pH - Soil Health Guides for Educators.

I Danmark er der stor regional forskel på jordens naturlige pH værdi, og dermed jordens naturlige frodighed. Ved at se på underjordens pH værdi får man et kort, som ikke i så høj grad er påvirket af det sidste århundredes hyppige kalkninger af pløjelaget, jf. figur 2.



Figur 2. Underjordens pH værdi.

5.2 Indhold af næringsstoffer

Selvom der årligt tilføres næringsstoffer skal jorden indeholde et minimum af tilgængelige næringsstoffer for at sikre et fuldt udbytte. I dag anvendes rutinemæssigt jordbundsanalyser for fosfor, kalium, magnesium og kobber, så jordens indhold af disse næringsstoffer er sikret for at opnå fuldt udbytte. Den generelle anbefaling for tolkning af jordbundsanalyser er vist i tabel 4. Som udgangspunkt er værdier i niveauet ”middel” tilstrækkeligt til at sikre fuldt udbytte ved tilførsel af gødning i det enkelte år.

Der anvendes normalt ikke jordbundsanalyser for svovl, mangan, bor, natrium, zink eller molybdæn. Enten fordi næringsstoffet stort set altid findes i tilstrækkelig mængde i jorden (zink og delvis molybdæn), fordi jordbundsanalysen ikke kan bestemme det tilgængelige indhold (mangan og delvis bor), eller fordi der altid er behov for at tilføre næringsstoffet.

Tabel 4. Tolkning af jordbundsanalyse.

Analyse	Be-tegn.	JB nr.	Klasse					En-hed	1 enhed svarer til (kg/ha)
			Me-get lavt	Lavt	Middel	Højt	Meget højt	ppm*	
Fosfortal	Pt		< 1,0	1,0 - 2,0	2,1 - 4,0	4,1 - 6,0	> 6,0	10	25
Kaliumtal	Kt	< 4	< 3,0	3,0 - 5,0	5,1 - 8,0	8,1 - 12,0	> 12,0	10	25
Kaliumtal	Kt	> = 4	< 4,0	4,0 - 7,0	7,1 - 10,0	10,1 - 15,0	> 15,0	10	25
Magnesiumtal	Mgt		< 2,0	2,0 - 4,0	4,1 - 8,0	8,1 - 12,0	> 12,0	10	25
Kobbertal	Cut		< 0,8	0,8 - 2,0	2,1 - 5,0	5,1 - 8,0	> 8,0	1	2,5
Bortal	Bt		< 1,5	1,5 - 3,0	3,1 - 5,0	5,1 - 8,0	> 8,0	0,1	0,25
Natriumtal	Nat	> 4	< 2,5	2,5 - 5,0	5,1 - 10,0	10,1 - 15,0	> 15,0	10	25
Zinktal	Znt		< 1,0		1,0 - 3,0		> 3,0	1	2,5
Molybdæntal	Mot		< 2,0		2,0 - 3,0		> 3,0	0,1	0,25
Mangantal	Mnt							1	2,5

* 1 ppm svarer til 1 mg pr. kg jord. Det svarer til ca. 2,5 kg pr. ha i pløjelaget.

For kvælstof anvendes i et vist omfang N-min-analyser (som angiver jordens indhold af hhv. NH_4 og NO_3) til at fastlægge behovet for næringsstoffer. Tilsvarene analyser for sulfat-svovl kunne anvendes. For kvælstof anvendes i sjældne tilfælde analyser af total-kvælstof til at fastlægge markens mineraliseringsniveau, dvs. hvad man kan forvente, at marken kan stille til rådighed af plantetilgængeligt kvælstof i løbet af vækstsæsonen. Dette er dog tæt knyttet til indholdet af organisk stof.

5.2.1 Bestemmelse via indikatorpapir

Nitrat-N (NO_3^-) og fosfat-P (PO_4^{3-}) kan simpelt bestemmes ved brug af indikatorpapir. Links til beskrivelse af metode for måling af nitrat fremgår af denne vejledning: Soil Nitrogen - Soil Health Guides for Educators og metode for måling af fosfat fremgår af denne vejledning: Soil Phosphorus - Soil Health Guides for Educators.

5.3 CEC – Kationadsorptionskapacitet

Ved jordens kationadsorptionskapacitet (CEC) forstås den mængde positive ioner (meq/100g jord), som kan adsorberes til jorden under standardiserede betingelser. CEC bestemmes af mængden af negative ioner båret af jordens indhold af ler og organisk materiale. Der er store forskelle i CEC mellem forskellige lermineraler. Det organiske materiales CEC bidrager væsentligt til jordens samlede CEC og er stærkt afhængig af pH, hvilket i mindre grad er tilfældet for den CEC, der stammer fra jordens lerindhold. Trods dette er der en tæt korrelation mellem CEC og indholdet af ler og organisk stof. Dette er blandt andet årsagen til, at der i Danmark ikke er tradition for at anvende CEC i rådgivningen, hvorimod det anvendes af flere udenlandske laboratorier.

Kationkapaciteten er af afgørende betydning for vurderingen af en jords evne til at fastholde vigtige, positive ioner som NH_4^+ Mg^{2+} og K^+. Jo større kationkapaciteten er, jo større er muligheden for, at jorden kan understøtte et højt udbytte. Jorde med en stor kationkapacitet har oftest et stort vandindhold ved markkapacitet og en god struktur, netop fordi CEC er koblet til indhold af organisk stof og ler.

Udover bestemmelse af CEC kan bestemmelse af fordelingen af kationer (calcium, magnesium, kalium og natrium og brint) give information om jordstrukturen. En høj andel af calcium i kationbelægningen giver en bedre jordstruktur end de andre ioner. F.eks. BLGG laboratoriet i Holland har direkte anbefalinger til gødskning og kalkning ud fra kationbelægningen.

5.4 Albrecht analyse

Den såkaldte Albrecht Analyse er et eksempel på en omfattende analyse og tolkning af jordens massefylde, kulstofindhold og næringsstofsammensætning, hvor også CEC indgår. Ved lave CEC-niveauer (<15) anbefales det at tilføre gødning hyppigt, og i små mængder, for at undgå tab. Tolkningen af analysen indeholder en anbefaling til sammensætningen af kationer i forhold til jordtypen. Kalium og magnesium skal være i indbyrdes optimalt forhold for at sikre plantesundheden, og har jorden et højt magnesium/calcium-forhold kan den være klistret og svær at bearbejde og kan kræve yderligere tilførsel af calcium, selvom indholdet er i orden planteernæringsmæssigt. I forhold til indhold af organisk stof, er målsætningen 5 procent humus og aldrig mindre end 3 procent.

I analysen defineres et optimalt C/P-forhold på minimum 40, ud fra en betragtning om, at det er jordens mikrobiologi, som skal gøre jordens fosfor plantetilgængeligt.

Analysen foretages i England af Nrm Laboratories og vinder stadigt større udbredelse i Danmark. Det danske firma Levende Jord formidler en oversættelse af jordprøveresultater og anbefalinger

5.5 Planteanalyser

Jordens evne til at stille næringsstoffer til rådighed for afgrøden kan også afdækkes ved anvendelse af planteanalyser. Planteanalyser er i dag relativt billige og anvendes i et vist omfang til at diagnosticere næringsstofmangel, og til at danne baggrund for næringsstoftilførsel. Som for jordbundsanalyser har SEGES udarbejdet en tolkning til planteanalyser, der kan ses her.

5.6 Analyse for toksiske stoffer

I landbruget anvendes ikke rutinemæssigt analyser af jord for toksiske stoffer, da alle gødnings- og jordforbedringsmidler allerede er reguleret med grænseværdier fra Bekendtgørelse om anvendelse af affald til jordbrugsformål. Det anvendes kun ved mistanke om jordforurening. Grænseværdier for indhold af tungmetaller fremgår af tabel 5.

Tabel 5. Grænseværdier for indhold af tungmetaller i affald anvendt til jordbrugsformål

	Mg pr. kg tørstof i jord
Cadmium	0,5
Kviksølv	0,5
Bly	40
Nikkel	15
Chrom	30
Zink	100
Kobber	40

6 JORDENS FYSISKE EGENSKABER

Jordens fysiske egenskaber kan opdeles i tekstur og struktur. Teksturen er bestemt af vægtprocenten af partikler i forskellig størrelse (ler, silt og finsand, grovsand og humus), der udgør jorden. Strukturen er udtryk for deres indbyrdes lejring samt hvordan organisk materiale og hulrum indgår i jordprofilen. Udover, at de fysiske egenskaber har direkte eller indirekte indvirkning på jordens kemiske egenskaber (f.eks. CEC og pH), så er de fysiske egenskaber altafgørende for røddernes vækst og tilgængeligheden af luft, vand og næringsstoffer for alle jordens organismer.

6.1 Tekstur

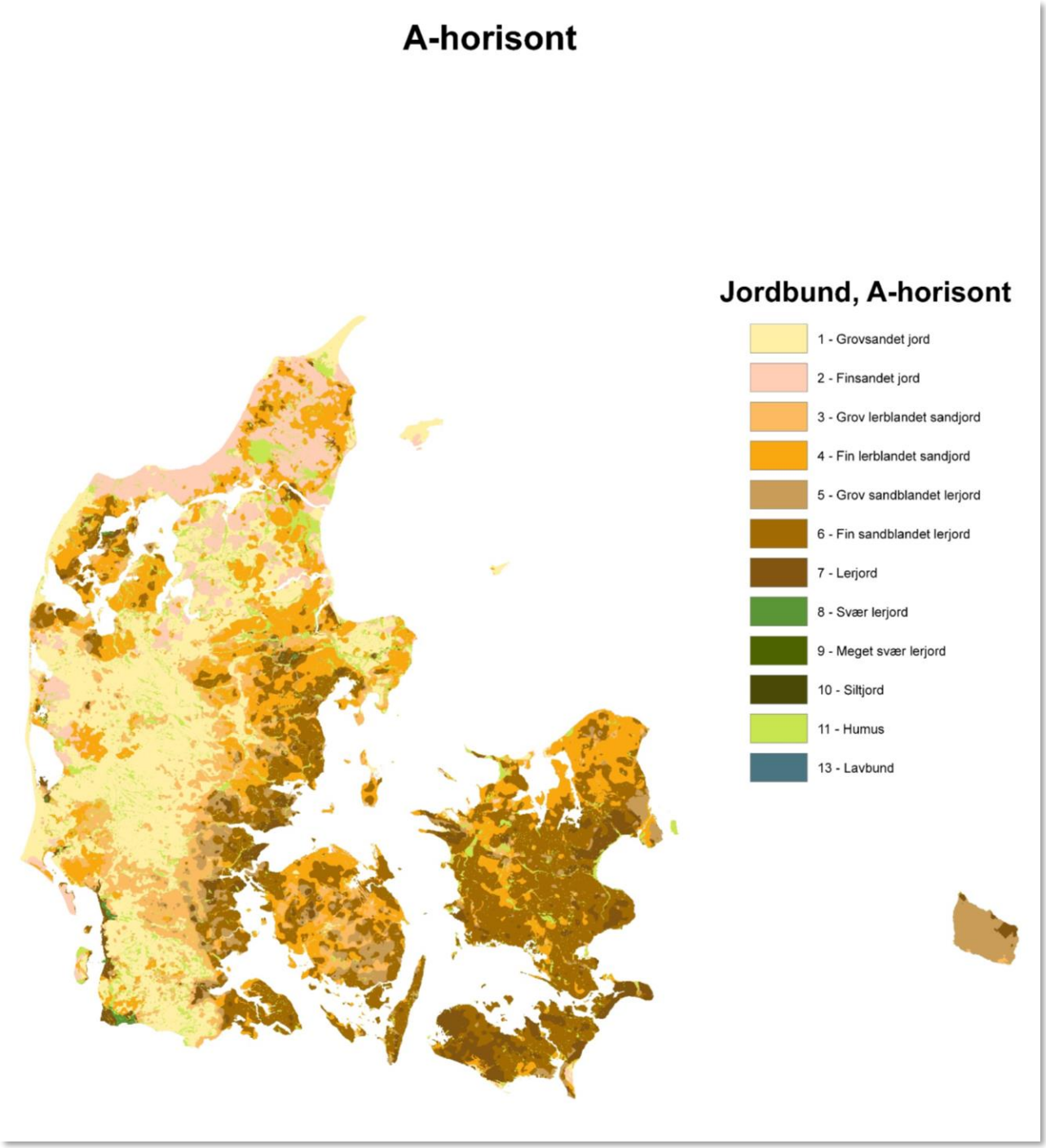
Jordens tekstur (kornstørrelsesfordeling) er en meget stabil karakter til beskrivelse af en given jord. På baggrund af kornstørrelsesfordelingen inddeles jorderne iflg. den danske jordklassificering i JB-klasserne 1-12, se tabel 6. Den mineralske del af jordens tekstur har stor indflydelse på flere fysiske, kemiske og biologiske forhold. I Danmark har vi et godt etableret system for teksturanalyser, hvor jordprøver udtages og derefter analyseres på et laboratorie. Et oversigtskort over jordtypefordelingen i Danmark kan ses i figur 3.

Jordens tekstur analyseres også ved andre metoder, f.eks. ved NIR og EM 38/Dualem, som dog også er udstyrskrævende. Der findes flere felt-metoder til bestemmelse af teksturen, men en kyndig og erfaren person kan få et godt indtryk af teksturen ved at se og mærke jordens konsistens.

Tabel 6. Oversigt over teksturinddeling og JB nr. Modificeret efter Breuning-Madsen et al., 1992[4].

FAR-VE-KODE	JORDTYPE	JB NR.	VÆGTPROCENT					
			Ler < 2 µm	Silt 2-20 µm	Finsand 20-200 µm	Total sand 20-2000 µm	Hu-mus 58,7 pct. C	Kalk $CaCO_3$
1	Grovsandet jord	1	0-5	0-20	0-50	75-100	≤ 10	≤ 10
2	Finsandet jord	2			50-100			
3	Lerblandet sandjord	3	5-10	0-25	0-40	65-95		
		4			40-95			
4	Sandblandet lerjord	5	10-15	0-30	0-40	55-90		
		6			40-90			
5	Lerjord	7	15-25	0-35		40-85		
6	Svær lerjord og siltjord	8	25-45	0-45		10-75		
		9	45-100	0-50		0-55		
		10	0-50	20-100		0-80		
7	Humusjord	11					> 10	10-90
8	Kalkholdig jord og atypisk jord	12					≤ 10	> 10

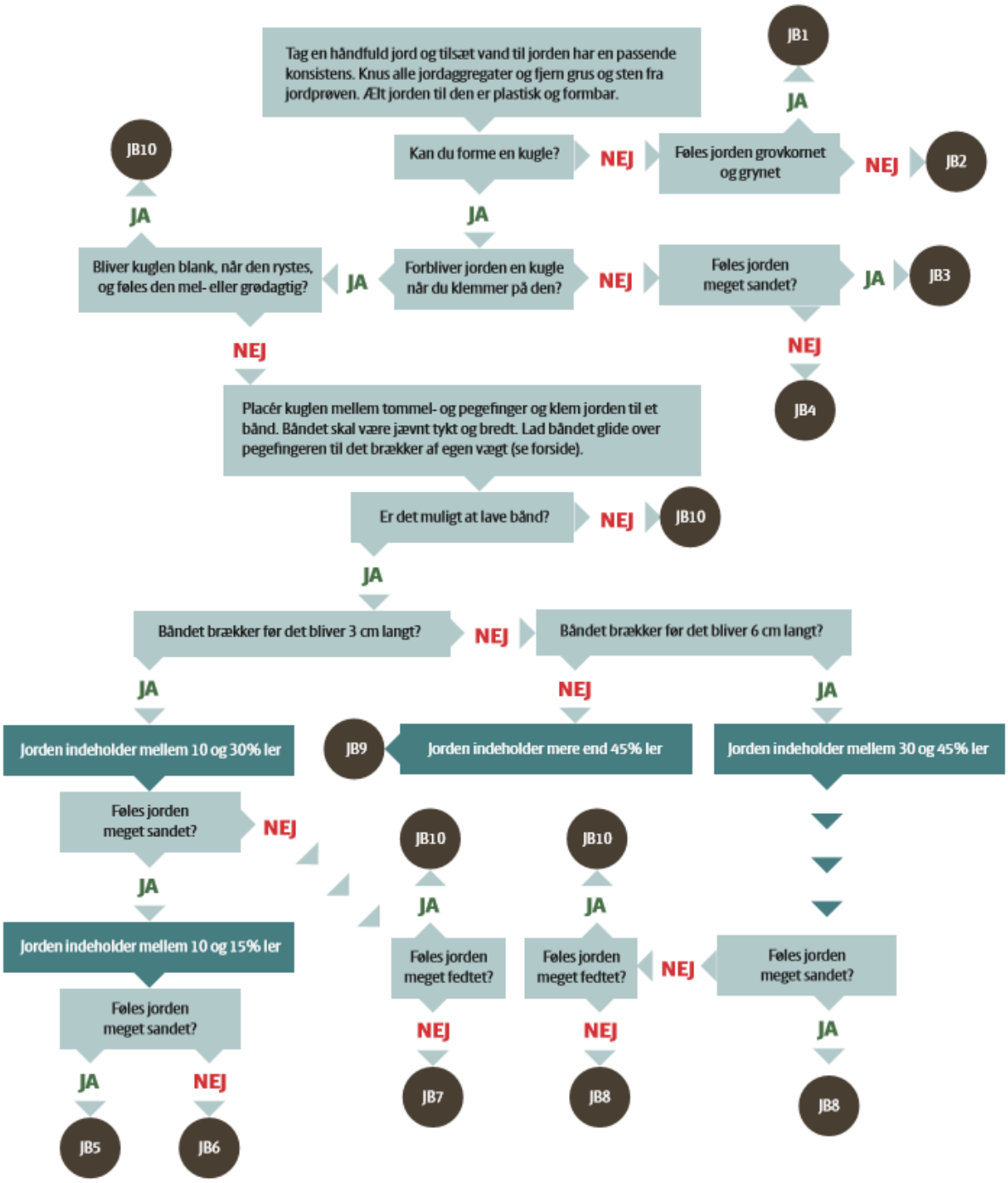
[4] Breuning-Madsen, H., Nørr, A. H. & Holst, K. A., 1992. *Atlas over Danmark,* København: Det Kongelige Danske Geografiske Selskab



Figur 3. Jordtypernes fordeling i Danmark.

6.1.1 Sanse-prøve

Ved at mærke og lytte til jorden når den ældes og gnides mellem fingrene, kan man få en grov fornemmelse af jordens tekstur. Det er dog en meget subjektiv metode. Figur 4 viser eksempel på et flowdiagram, der kan benyttes til teksturvurdering. Der findes andre lignende metoder som alle har lignende karaktertræk.



Figur 4. Flowdiagram til vurdering af jordens tekstur. *Modificeret efter Sundberg et al., 1999*.

6.1.2 Sedimentationsanalyse

Jordens lerindhold kan bestemmes ved sedimentationsanalyse, dvs. inkl. en destruktion af organisk stof, for ca. 100 kr. pr. analyse (AgroLab). Den normale pris for en fuld teksturanalyse er ca. 280 kr. pr. analyse. Metoden er standardiseret og meget udbredt, og beskrives ikke nærmere.

6.1.3 Spektroskopi

Spektroskopiske analyser anvendes i stigende omfang til analyse af eks. næringsstofindhold og sammensætning i bla. fodermidler. Ved spektroskopi måles ved forskellige bølgelængder af lys, molekylers koncentration. Der er ved at blive udviklet en metode til scanning af jord, som er kalibreret med 2.000 danske jordprøver, for at opnå den størst mulige sikkerhed på de målte parametre. Ved scanning behøves ingen forbehandling af jordprøverne og analysen er forholdsvis hurtig at foretage, så det vurderes, at det fremover bliver muligt at få foretaget omfattende og billige analyser.
En håndholdt NIR-scanner bliver et konsulentredskab, som kan analysere færre, men centrale parametre, såsom pH, organisk stof, kvælstof og kalium. Den scanner som er i afprøvning er udviklet af det hollandske firma SoilCares.

6.1.4 Elektromagnetisk induktion (EMI)

Elektromagnetisk induktion (EMI) er en metode, hvorved jordens elektriske ledningsevne kan måles. Målemetoden foregår ved induktionsprincippet, der har den fordel, at man undgår kontakt mellem sensoren og jordoverfladen. Rent måleteknisk foregår det ved, at en senderspole udsender et magnetfelt, hvorved et sekundært magnetfelt skabes i jorden. En modtagerspole måler det samlede magnetfelt og ved at trække det kendte primære felt fra den samlede måling, kan jordens relative elektriske ledningsevne bestemmes. Ledningsevnen angives i millisiemens per meter (mS/m). I tabel 7 er anført nogle af de mest almindelige jordtypers ledningsevne.

Tabel 7. Oversigt over forskellige jordtypers ledningsevne.

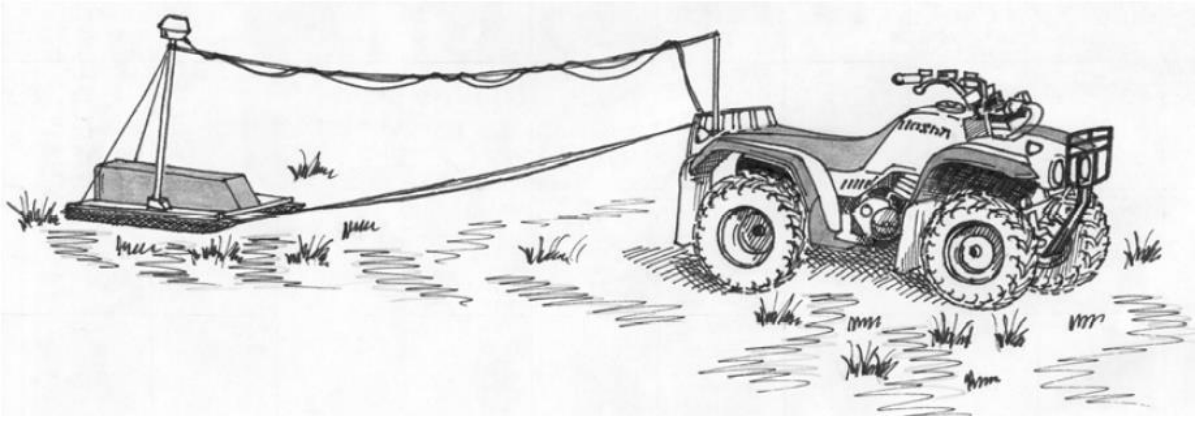
Jordtype	Ledningsevne i mS/m
Sand og grus	0,1 - 1
Siltet sand	1- 5
Loam	5 - 25
Silt	12,5 - 25
Ler	25 - 100
Tørv	40-100
Saltholdig jord	100 - 200

Der er flere faktorer ud over jordens tekstur, der kan påvirke den målte ledningsevne: Jordens temperatur, sorteringsgrad, indhold af salte og metaller, jordens fugtighed og humusindhold. Instrumentets kalibrering har stor indflydelse på målingerne.

På almindelig agerjord uden specielle forhold er erfaringen, at det først og fremmest vil være jordens lerindhold, der påvirker den målte ledningsevne. Ændringer i jordens temperatur henover dagen vil dog medføre ændringer i målingerne.
Stigende indhold af ler, salte, vand, metaller og humus giver stigende ledningsevne. Omvendt vil en lav ledningsevne indikere sand eller grus eller meget tørre forhold.

Instrumentet
Der anvendes to forskellige instrumenter til måling af jordens elektriske ledningsevne, DUALEM 21s samt EM 38 som begge er GCM instrumenter (ground conductivity meter). EM38/Dualem sensoren trækkes henover jorden (figur 5) og giver dermed et forholdsvist nuanceret kort over marken.
EM 38 instrumentet skal kalibreres løbende dels ved start af måling, men også pga. drift. Målingen er følsom for ændringer i lufttemperaturen, og der er drift i målingerne henover dagen, dvs. den samme jord vil tilsyneladende have forskellig ledningsevne afhængig af, hvornår på dagen målingen foretages. Kalibreringen bliver foretaget forskelligt fra operatør til operatør, det er derfor vanskeligt at sammenligne målinger kvantitativt mellem operatører.

Dualem instrumenterne er mere moderne og er selvkalibrerende.
GCM-instrumenter er tillige generelt meget følsomme overfor elektromagnetisk interferens, som kommer fra elektriske hegn eller kraftledninger.



Figur 5. Skitsetegning af DUALEM, der måler jordens elektriske konduktivitet, mens den trækkes henover marken.
Kilde: Rubæk, GH & Sørensen, P (eds) 2011.

Erfaringer med målinger
Institut for Agroøkologi ved Århus Universitet har lang erfaring med anvendelse af GCM instrumenter. Målingerne har vist sig meget anvendelige til underopdeling af marker i relativt homogene delmarker, som vil kunne anvendes til f.eks. gradueret tildeling af kalk. De mange målinger indenfor marken giver også mulighed for at beskrive den rumlige variation. Det er erfaringen, at det derudover er muligt at lave lokale kalibreringer, dvs. hvis man har teksturmålinger på en mark, vil der kunne etableres en god korrelation mellem ledningsevnen og jordens lerindhold.

Dette er i god overensstemmelse med internationale erfaringer[5,6] Der er også gjort forsøg på at opstille sammenhæng mellem målt ledningsevne og teksturklasser i den øverste meter af jorden. Dette forsøg viser, at det er muligt at lave regionale korrelationer i tekstuelt homogene områder[7].

---

[5] K.A. Sudduth. K.A., S.T. Drummond, N.R. Kitchen, 2001. Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture 31 (2001) 239–264

[6] Corwin, D.L. and Rhodes, J.D. 1990. Establishing Soil Electrical Conductivity – Depth Relations from Electromagnetic Induction Measurements. Commun. Soil Sci. Plant Anal.

[7] Domsch, H. A.Giebel. 2004. Estimation of Soil Textural Features from SoilElectrical Conductivity Recorded Using the EM38. Precision Agriculture, 5, 389–409, 2004

EM38-målinger er på Institut for Agroøkologi kun anvendt i lokale studier, sammenholdt med teksturanalyser på stedet. Værdierne fra metoden er således kun anvendt relationelt. På grund af usikkerhed om ved hvilken temperatur jordfugtighedsmålingerne er udført ved, vil sammenhængen mellem EM38-målingerne og jordens lerindhold være usikker.

Tyske undersøgelser viser en vis sammenhæng mellem teksturklassen for jordens øverste meter og målt ledningsevne. Der er imidlertid ikke i Danmark etableret en sammenhæng mellem jordens teksturklasse i topjorden (JB-nummer) og ledningsevnen målt med EM38, og hvor sikker/usikker en sådan bestemmelse kan gøres, findes der ingen danske undersøgelse af. Ud over de lokale usikkerheder vil der være regionale / landskabsmæssige forskelle i EMI-respons til lerindholdet[8].

Håndholdte værktøjer

Jordens elektriske konduktivitet kan også måles via håndholdte værktøjer, som beskrevet i USDA, 2001: Soil Quality Test Kit Guide, s 14. Et eksempel på brug af en EC pocket meter ses her.

Ved erosion flyttes ler og organisk materiale indenfor marken, som kan ændre teksturen i overjorden, men ellers er teksturen givet. Det eneste element af jordens tekstur, vi kan øge eller reducere dyrkningsmæssigt indenfor marken, er jordens indhold af organisk materiale.

6.2 Organisk materiale og kulstofindhold

Jordens indhold af organisk materiale er en meget væsentlig parameter i forhold til frugtbarhed. Det findes på flere forskellige former – fra organisk stof bundet i den levende fauna og flora (rødder, mikroorganismer, jordboende dyr) over nyligt tilført dødt organisk materiale til svært tilgængeligt nedbrudt organisk stof bundet til de mineralske partikler. Langt hovedparten af det organisk stof findes normalt i nedbrudt og forholdsvis stabil form. Organisk stof i jord har forskellige funktioner alt efter, på hvilken form det er.

6.2.1 Vurdering af jordens kulstofindhold

Jordens indhold af kulstof indgår i den typiske klassificering af jordens tekstur. Der findes ikke umiddelbart gode felt-metoder til at måle kulstofindholdet. Men der findes vurderinger, der indirekte kan give en indikation af niveauet. Kulstofindholdet vil have indvirkning på flere af de fysiske parametre, der er beskrevet under jordens struktur. Derfor sker den bedste vurdering af jordens kulstofindhold ved visuel vurdering af jorden (f.eks. VESS), som er beskrevet senere. Her vurderes på jordens farve og generelle strukturegenskaber. Jordens farve kan evt. sammenlignes med et farvekode-kort (se tabel 8).

[8] Rubæk, GH & Sørensen, P (eds) 2011, *Jordanalyser - kvalitet og anvendelse*. 002 edn, DCA - Nationalt center for fødevarer og jordbrug. DCA Rapport, no. 2

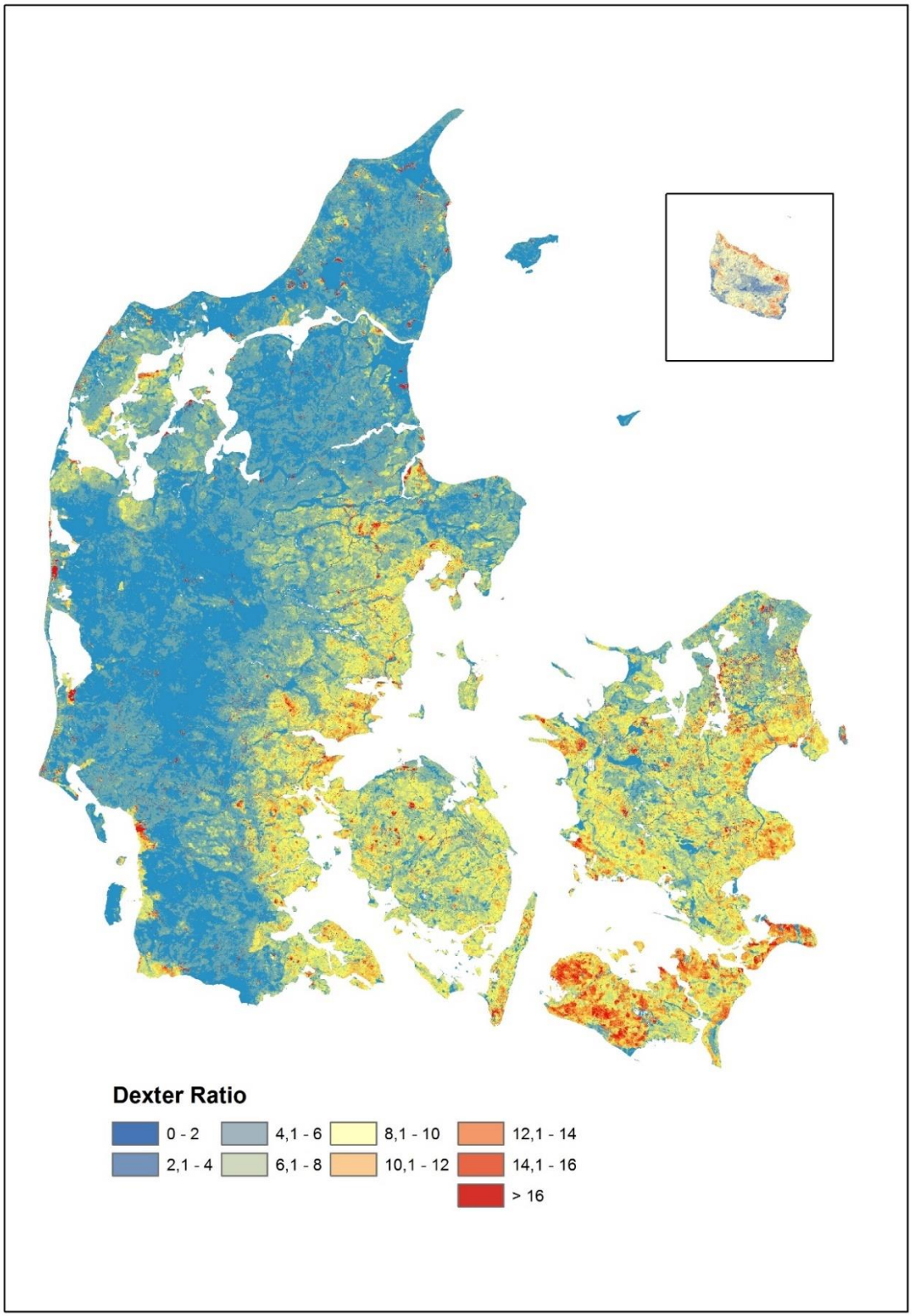
Tabel 8. Indikationer for jordens kulstofindhold. Kilde: ASDA & LEAF. Simply Sustainable Soils.[9]

Indikator	Lavt indhold	Medium indhold	Højt indhold
Farve	lysebrun til gullig i farven	brun i farven	mørkebrun til sort i farven
Struktur	skorpet; hårde, kantede, 'skarpe' aggregater; større blokke; vand-ustabile aggregater	nogle hårde, kantede blokke/aggregater	God, løs struktur; vandstabile aggregater

6.2.2. Dexter indeks

Jordens strukturkvalitet aftager generelt set med faldende kulstofindhold ved et givet lerindhold. For jorde med mere end 10 procent ler er det typisk fundet, at strukturkvaliteten aftager med stigende ler/kulstof forhold (såkaldt Dexter indeks) og man har fundet en kritisk grænseværdi ved et ler/kulstof forhold på >10. Ved Dexter indeks >10 vil der være stor sandsynlighed for dårlig strukturstabilitet, hvilket giver øget risiko for tilslemning og erosion, samt dannelse af hård jord under udtørring, og det vil være hæmmende for afgrødernes vækst. På sandede jorde vil kulstoffet også bidrage til stabilisering af ler og silt, men her overskygger sandindholdet betydningen af dette. På figur 6 ses et kort over Dexter-indekset i Danmark. Der er behov for at få afklaret omfanget og betydningen af lavt kulstofindhold på danske lerrige jorde.

[9] https://leafuk.org/farming/simply-sustainable-series



Figur 6. På kortet ses dexter indeks. I områder med rødlige farver er dexter over 10, dette område er 400.000 ha.

6.2.3 Beregning af udviklingen af kulstof i jorden

I 2015 udviklede SEGES værktøjet PlantePro-Kulstofberegner. Dette Excel-baserede værktøj kan anvendes til at beregne, hvordan kulstofindholdet i pløjelaget vil ændre sig ved den indtastede dyrkningspraksis. Oplysninger om marken indtastes i programmet, som umiddelbart beregner jordens humusindhold i pløjelaget efter 10 - 100 år på basis af jordtypen og jordens nuværende kulstofindhold.
Programmet behøver følgende oplysninger:

- Såtidspunkt for vintersæd. Der vælges mellem tidlig såning, normal såning og sen såning
- Afgrøde og udbytte
- Om halm fjernes eller efterlades
- Om der er efterafgrøde
- Tørstofudbyttet af efterafgrøde
- Mængde og type af husdyrgødning

Når sædskiftet inkl. ovenstående oplysninger er indtastet beregner programmet det gennemsnitlige input af kulstof i henholdsvis planterester og husdyrgødning i det pågældende sædskifte. I tabel 9 vises et eksempel på en lerjord med lavt kulstofniveau, hvor der fremover nedmuldes halm, etableres gode efterafgrøder og gødskes med svinegylle.

Tabel 9. Eksempel på beregning i PlantePro for en JB 7 ejendom som målretter opbygning af kulstofindholdet med efterafgrøder, husdyrgødning og halmnedmulding

Resultat					
År	Kulstof, 0-25 cm, t C pr. ha	Humus pct., 0-25 cm	Kvælstof 0-25 cm, t N pr. ha	Kvælstofmineralisering 0-25 cm, kg N pr. ha pr. år	Dexter ratio
0	57,0	*2,8*	5,7	78	11,2
10	62,0	*3,0*	6,2	84	10,3
25	67,2	*3,3*	6,7	91	9,5
50	72,2	*3,5*	7,2	98	8,8
75	74,6	*3,6*	7,5	101	8,6
100	75,8	*3,7*	7,6	103	8,4

PlantePro-Kulstofberegner er testet ved at afprøve en række scenarier med PlantePro-Kulstofberegner og sammenholde resultaterne med resultater fra C-TOOL[10], kørt ved samme scenarier. C-TOOL er udviklet ved Århus Universitet. Konklusionen på baggrund af de gennemførte tests er, at kulstofindholdet beregnet med PlantePro-Kulstofberegner kun afviger ubetydeligt fra kulstofindholdet beregnet med C-TOOL.

6.3 Jordens struktur

Jordstruktur er betegnelsen for den måde, hvorpå jordens partikler og porer er indbyrdes fordelt i jorden. En god jordstruktur er afgørende for optimal rodvækst og dermed for optimal udnyttelse af næringsstoffer og vand. En god jordstruktur er også afgørende for jordens afdræning og jordens evne til at holde på vandet. Derfor er det afgørende for al dyrkning, at man skaber eller vedligeholder den bedst mulige jordstruktur.

[10] Taghizadeh-Toosi *et al*, 2014. C-TOOL: A simple model for simulating whole-profile carbon storage in temperate agricultural soils. Ecological Modelling, 292, s 11–25

Ved en god jordstruktur er jorden porøs og enkeltpartikler er samlede i stabile aggregater. Jordens indhold af lerpartikler, organisk stof og biologisk aktivitet er afgørende for jordens evne til at danne stabile aggregater. Aggregatdannelsen påvirkes også af, hvilke kationer, der er bundet til lerkolloidernes overflade, hvor Ca-
ioner fremmer aggregatdannelsen, men Na-ioner har den modsatte effekt.

Strukturen udtrykkes også ved jordens porøsitet, dvs. dens evne til at optage, aflede og fastholde luft og vand. Dette kan karakteriseres ud fra luftpermeabiliteten, infiltrationsevnen, penetreringsmodstanden, volumenvægten samt fordelingen og sammenhængen af porer af forskellige volumen.

Der findes en række forskellige parametre, der kan vurderes, og som sammen kan give et mål for jordens struktur. I dette afsnit beskrives nogle metoder til vurdering af enkelt-parametre samt metoder, der vurderer bredt på flere parametre og giver en mere samlet vurdering.

6.3.1. Rodvækst

Til vurdering af rodvæksten i en voksende afgrøde kan ”Trench profile” metoden anvendes[11]. Et 2 m langt, 1 m dybt og 1 m bredt hul graves med gravemaskine. Profilvæggen rettes af med skovl/spade. Et ca. 5 mm lag spules af den ene væg, hvorefter et trådnet placeres på den ene væg. Der kan f.eks. anvendes et 150 x 100 cm trådnet med en maskestørrelse på 10 x 10 cm eller 5 x 5 cm. Der tælles ved at angive om der er +/- rødder i de enkelte felter. Alternativt inddeles i klasser – f.eks. A: >20, B: 5-20, C: 1-5, D: 0.

6.3.2 Potentiel roddybde

Roddybden bestemmes foruden af afgrøden også af tekstursammensætning og rumvægt i jordlagene under pløjelaget. Rodstandsende lag i form af en pløjesål eller sandlag kan reducere den effektive roddybde og dermed mængden af plantetilgængeligt vand. Den potentielle roddybde er den dybde rødder kan nå uden at møde rodstandsende forhold. Rodstandsende forhold kan, udover at være grundet struktur og tekstur også, være grundet vandspejl. Ved at grave ned i jorden kan der visuelt vurderes på, hvorvidt der findes friske eller gamle rødder. En passende roddybde på lerblandet sandjord er, ifølge VSA metoden (se sidst i rapporten):

- >80 cm = god
- 60-80 cm = moderat god
- 40-60 cm = moderat
- 20-40 cm = moderat dårlig
- <20 cm = dårlig

Disse tal vil dog afhænge meget af afgrøden og jordtypen. For kornafgrøder under danske forhold er tallene lidt lave – især på lerjorde, hvor en roddybde over 100-120 cm vil være at betegne som god.
Det kan være relevant at udvikle egne standarder for roddybder afhængig af afgrøde og jordtekstur. Vurdering af denne parameter kan foretages f.eks. ved udgravning af jordhul, som beskrevet under SubbVESS-metoden, der beskrives senere.

[11] Eks. Vepraskas and Hoyt 1988. Comparison of the Trench-Profile and Core Methods for Evaluating Root Distributions in Tillage Studies, Agronomy Journal 80 (2)

6.3.3 Plantetilgængeligt vand i jorden

Jordens evne til at forsyne afgrøderne med vand i vækstsæsonen er den egenskab, der har størst betydning for udbyttepotentialet på ikke-vandlidende jorder. Den plantetilgængelige vandmængde bestemmes af jordens markkapacitet og jordens visnekapacitet i rodzonen. I det enkelte jordlag bestemmes den plantetilgængelige vandmængde af jordens tekstur og af jordens struktur. Det er især jordens indhold af organisk stof og finsand, der er bestemmende for den plantetilgængelige vandmængde. Effekten af det organiske stof går primært via effekten på jordens struktur. Jordens generelle evne til at holde på vand vil derfor være en afledt effekt af jordens tekstur og struktur. En her-og-nu vurdering af plantetilgængeligt vand, kan foretages ved vurdering af om jorden i forskellige dybder er helt tør eller mere eller mindre fugtig, ved at mærke konsistensen.

6.3.4 Jordens stabilitet

Jordens bæreevne er jordens evne til at modstå stress fra maskintrafik uden at der sker ændringer i dens struktur. Jordens bæreevne er derfor afhængig af dens mekaniske styrke, som er påvirket af både jordtype, volumenvægt og vandindhold. Jordens styrke påvirker også, hvorledes kræfterne transmitteres nedad i jorden. Evaluering af jordens bæreevne, samt risiko for jordpakning ved kørsel med landbrugsmaskiner sker ved, at sammenligne, for hele jordprofilen, jordens styrke med den stress, som maskinen påfører jorden på baggrund af informationer om maskine, jordtype, jord struktur (volumenvægt), afgrøde og vejr (jordens vandindhold). Kræfterne fra maskinerne bestemmes af hjullast, dæktype og dæktryk samt endvidere også af overfladejordens styrke. Den komplekse vekselvirkning mellem alle disse faktorer kan ikke umiddelbart gennemskues. Derfor er der udviklet et gratis online beslutningsstøtteværktøj (Terranimo.dk), der giver muligheden for at lave beregninger for en helt specifik maskinopsætning (hjullast, dæktype, dæktryk) på en helt specifik jordtype med et helt specifikt vandindhold. Det gør det muligt for den enkelte bruger at vurdere, om en påtænkt færdsel er forsvarlig.

6.3.5 Aggregatstabilitet

Jordaggregater er jordpartikler, der er mere fast bundne til hinanden end tilstødende jordpartikler. Aggregatstabiliteten kan bruges som et udtryk for jordens modstandsdygtighed overfor jordbearbejdning og jordens modstandsdygtighed overfor erosion ved vind og vand, samt tilbøjelighed til skorpedannelse. Aggregatstabiliteten er blandt andet meget afhængig af jordens biologiske aktivitet og kan derfor også være en indirekte indikator for dette.

Det er vanskeligt at lave en kvantitativ vurdering af aggregatstabiliteten på stedet ved en tur i marken. USDA har beskrevet to måder at teste jordens stabilitet (Aggregate stability og Slake test), der ikke kræver det store teknologiske udstyr, men de er dog lidt omstændige. En mere simpel 'læske test' (slake test) kan udføres ved køkkenbordet (figur 7). Ved at have jordaggregater i en lille bøtte eller skål, og komme vand ved, kan aggregaternes vandstabilitet vurderes ud fra, hvor hurtigt og hvor meget aggregaterne opløses i vandet. Jorden vil dispergere, når aggregaterne ikke er stærke nok til at modstå indre stress fra hurtig optagelse af vand.

Figur 7. Simpel test (slake test) af jordens aggregatstabilitet. Til venstre ses aggregater fra 'sort brak', i midten en 'standard jord' og til højre en jord med vedvarende græs. *Foto: Eskild H. Bennetzen*

6.3.6 Jordens porøsitet

Porøsitet er volumenandelen af porer i jorden - og er omvendt proportional med volumenvægten. Høj porøsitet hænger normalt sammen med høj luft- og vandledningsevne. Men høje værdier for ledningsevne kan også opnås for jorde med moderat porøsitet, hvis der bare er en del lodretgående sammenhængende makroporer. Jordens vandledningsevne kan vurderes ud fra jordens infiltrationsevne, der er beskrevet senere i rapporten. Luftledningsevnen kan vurderes via måling af luftpermeabiliteten. Dette gøres ved udtagning af ringprøver, der afdrænes svarende til markkapacitet, og i laboratoriet kan der måles på prøvens evne til at lede luft.

I marken kan jordens porøsitet vurderes visuelt ud fra en spadefuld jord. Der vurderes på jordens kompakthed, hvor sammenkittet den er, glatheden af overfladen, antal af sprækker og makroporer samt antallet af rødder (se figur 8). Porøsiteten indgår også i VESS og SubVESS metoderne beskrevet senere.

Figur 8. Eksempler på jorde med god, mellem og dårlig porøsitet til vurdering af jorden i marken ved sammenligning. Fotos er fra GræsVESS metoden. *Kilde: Emmet-Booth et al., 2017.*

6.3.7 Volumenvægt

Jordens volumenvægt er et udtryk for dens kompakthed, og en høj volumenvægt kan hindre rodvækst og give dårlig bevægelse af luft og vand gennem jorden. Volumenvægten er beregnet som jordens tørvægt per volumen (g cm^{-3}). Volumen vil bestå af både jordens partikler samt jordens luftrum. Volumenvægten kan bruges som en indikator for jordens funktion mht. luftskifte, vand- og stof-transport, habitat for rødder og jordbiologi, følsomhed over for pakning mm. Som en tommelfingerregel har sten gerne en volumenvægt på 2,65 g cm^{-3}, og ideelt set vil en jord med 50 procent porevolumen have en volumenvægt på 1,33 g cm^{-3}.

Løse, porøse jorde og jorde med stort indhold af organisk stof vil have en lavere volumenvægt end en jord med dårlig struktur. Meget sandede jorde vil have en højere volumenvægt end jorde med meget ler og silt, da de ofte har mindre porevolumen. Volumenvægten vil oftest tiltage ned gennem jordprofilen pga. mindre indhold af organisk stof og forekomst af rødder og jordorganismer, og pga. presset af det ovenpå-liggende jord. For danske jorde tilstræbes i pløjelaget en volumenvægt 1.3-1.45 g cm^{-3} og maksimalt 1,60 g cm^{-3}. I underjorden vokser rødderne i høj grad i bioporer, revner og sprækker, hvorfor højere volumenvægte kan accepteres i underjorden end i pløjelaget. Det gælder især på lerjordene. Danske erfaringer viser en betydelig hæmning af rodvæksten ved volumenvægte over 1,65 g cm^{-3}.

At måle jordens volumenvægt er forholdsvist simpelt og kræver ikke det store udstyr. Det er dog stadig en proces at udtage prøver, gerne flere steder og i flere dybder, som alle skal tørres og vejes, og man skal kende prøvens volumen.

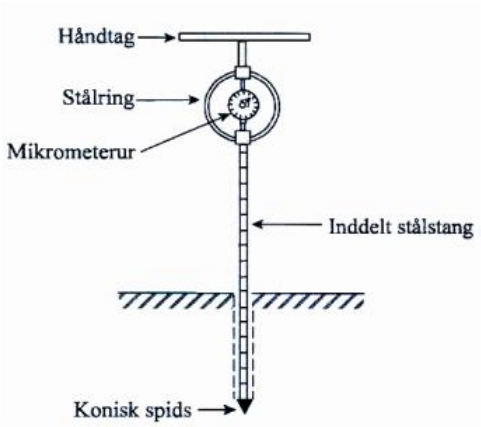
Gør-det-selv opskrift til volumenvægt

Udstyr: hammer, træklods, metalcylinder (f.eks. et 50 mm langt stykke galvaniseret stålrør med en diameter på 50 mm), spade, kniv, plasticpose, alubakker, køkkenvægt, køkkenovn

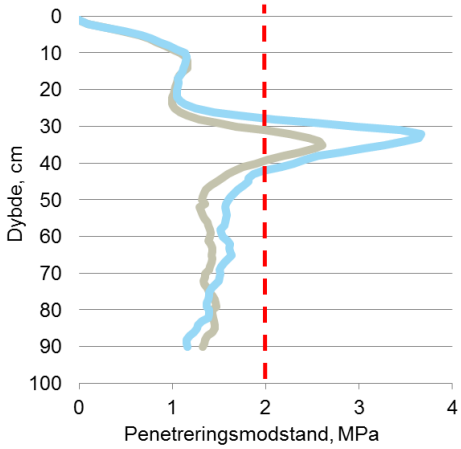
1. Udtagning af et kendt volumen af uforstyrret jord: I en given dybde bankes cylinderen forsigtigt ned med en hammer. Brug træklods mellem hammer og cylinder. Tag cylinderen op og fjern den overskydende jord i bunden og toppen af cylinderen - den overskydende jord skæres forsigtigt væk. Derefter tøm cylinderen over i en plasticpose.
2. Vejning af den markfugtige jordprøve: Vej den tomme alubakke hvorefter jordprøven overføres til alubakken og vejes.
3. Lufttørring af jordprøven i 12 timer i alubakken.
4. Tørring af jordprøven i ovn (105 grader med varmluft i 12 timer) i alubakken.
5. Vejning af alubakken med den tørre jord.
6. Beregning af volumenvægt: Tør jord vægt minus alubakkens vægt i gram divideret med cylinder volumen (=jordvolumen) i kubikcentimeter.

6.3.8 Penetrometermålinger

Jordens modstand mod nedpresning af et stålspyd (penetreringsmodstand) giver et indtryk af, om der er rodstandsende lag pga. jordpakning, se figur 9 og 10. En tommelfingerregel er, at en penetreringsmodstand på over ca. 2 MPa virker hæmmende på rodvækst. Enkelte rådgivningscentre er i besiddelse af sådanne penetrometre.



Figur 9. Skematisk illustration af én type af jord-penetrometer.[12]



Figur 10. Eksempler på penetreringsmodstand ned igennem jorden, der viser pakningsskader lige under pløjedybden. *Kilde: Oversigt over Landsforsøgene 2016, SEGES*

6.3.9 Jordspyd

En mere simpel og noget mere subjektiv måde at vurdere jordens penetreringsmodstand er ved brug af et jordspyd.

Det presses ved håndkraft ned gennem jorden og modstanden (kraften man skal bruge for at presse spyddet igennem jorden) vurderes ned igennem jordprofilet. Nogle rådgivere har gerne et jordspyd med, når de besøger landmænd og bruger dem til at vurdere konsekvenser af jordbearbejdning og kørsel i marken. Metoden er meget simpel, og det er forholdsvis uproblematisk at have et jordspyd med sig i marken.

6.3.10 Infiltrationsevne

Jordens infiltrationsevne udtrykker den nedadgående bevægelse af vand i jorden. Den kan fokusere på henholdsvis jordens evne til at optage vand gennem jordoverfladen og på infiltrationsevnen i andre jordlag (f.eks. lige under pløjedybden). En vis infiltration er vigtigt for at undgå erosion og for at få vandet ned i jorden og ned til rødderne (og ned til drænene ved overskudsnedbør). Men en høj infiltrationsevne kan også betyde, at jorden er dårlig til at holde på vandet og dermed hurtigt mister plantetilgængeligt vand. Infiltrationsevnen er både bestemt af jordens tekstur samt strukturen i form af omfanget og sammenhængen af større porer i jorden. Sandede jorde har som udgangspunkt en noget højere infiltrationsevne end mere lerede jorde, på grund af større indhold af grove porer/mellemrum med luft i en sandjord. Porerne er vandfyldte, når der måles mættet eller nær-mættet ledningsevne. Meget lerede jorde, især hvis de er pakkede, er i risiko for at have en meget lille infiltrationsevne, men kan afhjælpes af f.eks. sammenhængende makroporer pga. regnorme og generel strukturforbedring med organisk materiale og biologisk aktivitet. Også visse kationer (calcium) kan øge infiltrationsevnen.

Jorde med lav aggregatstabilitet har også risiko for at slemme til og danne skorpe ved udtørring. Begge dele mindsker infiltrationen.

[12] Hillel, D. 1998. Environmental Soil Physics 1st Edition. Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations.

Jordoverfladens infiltrationsevne kan vurderes ved en relativ simpel metode (figur 11). En cylinder af kendt diameter bankes ned i ca. 8 cm's dybde og så den stikker ca. 10 cm op over jorden. Heri hældes en kendt mængde vand, så der er f.eks. 30 mm vand over jordoverfladen. Tiden, det tager for vandet at synke i jorden, vurderes. Infiltrationsevnen kan så beregnes som f.eks. mm vand i timen. Infiltrationsevnen vil afhænge af jordens vandindhold på tidspunktet for målingerne, hvilket derfor bør være ens på de forskellige steder, der vurderes. Metoden er nærmere beskrevet i USDAs Soil Quality Test Guide (link).

Figur 11. Jordoverfladens infiltrationsevne testes.

6.3.11 Overfladevand

En meget umiddelbar vurdering af jordens afvandingsevne er, om der står blankt vand i områder af marken. Hvis det er tilfældet, skal der dog vurderes videre på hvilke faktorer, der forårsager det. Om det f.eks. er manglende dræning eller fordi vandet ikke kan trænge gennem jorden ned til drænene, på grund af et pakket jordlag (manglende infiltrationsevne). Vandspejl i lavninger vil ofte være udtryk for problemer i drænsystemet eller højt vandspejl i recipienten. Vandspejl på højere beliggende områder i marken kan være et udtryk for ugennemtrængelige jordlag, som f.eks. en pløjesål.

6.4 Visuel bedømmelse jorden

Der findes forskellige metoder til visuel vurdering af jordstrukturen[13]. Formålet med de fleste metoder er en hurtig vurdering i marken - enten generelt set eller med fokus på problemområder. Den visuelle vurdering sættes i relation til dyrkningshistorien. Visuelle vurderinger er naturligvis subjektive, men ved simple, standardiserede vurderingsmetoder kan en stor del af subjektiviteten afhjælpes. VESS er et godt eksempel herpå (se senere afsnit). Samtidig med at man får en status på jordens struktur, giver det også indtryk af f.eks. regnorme, rodudvikling, kulstofindhold og evt. problemer med afvanding.

[13] Weill & Munkholm (2015): Describing soil structure, rooting and biological activity and recognizing tillage effects, damage and recovery in clayey and sandy soils. Fra: Visual soils evaluation: Realising potential crop production. CABI

6.4.1 Spadeanalyse

For mellem 70 og 100 år siden blev den kendte 'spadeanalyse' udviklet, for at give landmænd og rådgivere mulighed for en relativ simpel metode til at vurdere jordens frugtbarhed. Den har været anvendt og modificeret i mange sammenhænge siden, men det basale har ikke ændret sig. Med en spade med langt blad (30 x 20 cm) udtages en jordblok (30 x 20 x 10 cm) og spaden med jordblokken placeres på to holdere, så jordblokken ligger vandret på spaden (figur 12). Her vurderes jordens systematisk på en række parametre som lagdeling, farve, fugtighed, aggregattyper og størrelser, konsistens, antal og kontinuitet af porer, rødder (antal, forgrening, fordeling, form) samt organisk materiale i forskellige stadier af nedbrydning.

Figur 22. Eksempler på god (venstre) og mindre god jord (højre), der vurderes ved spademetoden.[14].

6.4.2 VESS: Pløjelaget (0-25 cm)

Der findes flere enkle spademetoder til visuel bedømmelse af jordstrukturens kvalitet i marken. Ét eksempel er VESS (Visual Evaluation of Soil Structure)[15], der er en videreudvikling af den kendte Peerlkamp test udviklet gennem 50'erne og 60'erne. Med en spade graver man en blok jord fri, brækker den forsigtigt i stykker, undersøger jorden og giver strukturen karakter ved at sammenligne den med fotografier og karakterbeskrivelser i en visuel identifikationsnøgle (se figur 13). Prøven tager 5-10 minutter pr. sted.

De forskellige VESS-skemaer kan ses i høj opløsning på LandbrugsInfo

En del konsulenter er godt bekendt med denne metode, og flere bruger aktivt at have en spade med i marken ved f.eks. møder med erfa-grupper. Den bruges dog som oftest ikke så kvantitativt, som beskrevet via nøglen.

[14] Munkholm L.J. 2000: The spade analysis – a modification of the qualitative spade diagnosis for scientific use. DIAS report. No 28, Plant Production. DJF (link)

[15] Guimaraes et al., 2011 Ball et al. (2007): Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. Soil Use and Management, 23, 329–337. Guimarães, R. M. L., Ball, B. C., and Tormena, C. A. (2011). Improvements in the visual evaluation of soil structure. *Soil use and Management* **27**, 395-403.

Visuel bedømmelse af jorden struktur

Jordens struktur har indflydelse på rodvækst, vandtilførsel til planterne og iltning af jorden. Med denne enkle og hurtige test kan jordens struktur vurderes ved at bedømme udseende og mærke på en jordblok. Skalaen for testen går fra Sq1, god struktur, til Sq5, dårlig struktur.

Udstyr:
Havespade, ca. 20 cm i bredden, 22-25 cm i længden.
Valgfrit: Lysfarvet plastikfolie, sæk eller bakke ~50 x 80 cm, lille kniv, digital-kamera

Hvornår skal prøven tages:
På et hvilket som helst tidspunkt af året, men helst når jorden er fugtig. Hvis jorden er for tør eller for våd, er det vanskeligt at få en repræsentativ prøve. Rødder kan bedst ses i en etableret afgrøde eller nogle måneder efter høst.

Hvor skal prøven tages:
Udvælg et område med en ensartet afgrøde eller jordens farve eller et område, hvor du mener, der kan være problemer. Inden for dette område planlægges et gitter/udsnit, hvor jorden undersøges på 10, og helst flere, steder. Det kan være nødvendigt at begrænse antallet til 3 eller 5 pr. parcel.

Bedømmelsesmetode:

Trin	Valg	Procedure
Udtagning af jordblok og undersøgelse		
1. Udtag jordblok	Løs jord	Fjern en jordblok ~15 cm i tykkelse i spadens fulde dybde og placer spade og den udtagne jord på foliet, bakken eller jordoverfladen.
	Fast jord	Udgrav et hul, som er lidt bredere og lidt dybere end spaden, og lad den ene side af hullet være urørt. På den urørte side hugges der med spaden ned på hver side af jordblokken og jordblokken fjernes, som beskrevet ovenfor.
2. Undersøg jordblokken	Ensartet struktur	Fjern al sammentrykket jord eller løst, overskydende materiale rundt om på jordblokken.
	To eller flere lag af forskellig struktur	Bedøm dybden af hvert lag og giv hvert lag separat karakter.
Opdeling af jordblok		
3. Opdel hver jordblok (tag et foto – valgfrit)		Mål længde af jordblok og undersøg for lag. Håndter jordblokken forsigtigt ved at bruge begge hænder til at afsløre evt. sammenhængende lag, aggregater og knolde. Hvis det er muligt, deles jorden i naturlige aggregater og kompakte knolde. Knolde er store, hårde, sammenhængende og afrundede.
4. Opdel større dele for at stadfæste karakter		Bræk større stykker fra hinanden indtil der opnås et aggregat på 1,5-2,0 cm. Undersøg form, porøsitet, rødder og hvor let jordblokken kan deles. Knolde, der kan brækkes i ikke-porøse fragmenter med kantede hjørner, er udtryk for en dårlig struktur og giver dermed en højere karakter.
Karaktergivning af jordens struktur		
5. Giv karakter		Sammenlign jorden med billederne kategori efter kategori for at afgøre, hvilken kategori der passer bedst.
6. Stadfæst karakter ud fra:		Faktorer, som giver en højere karakter:
	Blok-udtagning	Problemer med at udtage jordblok
	Form og størrelse af aggregater og knolde	Større, mere kantet, mindre porøst, forekomst af store ormehuller
	Rødder	Rødderne samler sig i klynger, er fortykkede og/eller afbøjede
	Iltfattige forhold	Lommer eller lag af grå jord, der lugter af svovl og tilstedeværelse af jernholdige ioner
	Fragmentering	Kantede fragmenter på ~1,5-2,0 cm. i diametertype med lav porøsitet
7. Beregn jordblok-karakterer for to eller flere lag af forskellig struktur		Gang karakteren for hvert lag med lagets tykkelse og divider resultatet med den totale dybde. Eksempel: For en 25 cm jordblok med 10 cm dybde af løs jord (Sq1) over et mere kompakt (Sq3) lag ved 10-25 cm dybde, er jordblok-karakteren (1 x 10):25 + (3 x 15):25 = Sq 2.2

Karaktergivning: Karaktererne kan evt. ligge mellem Sq-kategorierne, hvis de har egenskaber, der passer ind i begge kategorier. Karakterer på 1-3 er normalt acceptable, hvorimod karakterer på 4 eller 5 nødvendiggør en ændring i driften.

Bruce Ball, SAC (bruce.ball@sac.ac.uk), Rachel Guimarães, University of Maringá, Brazil (rachellocks@gmail.com), Tom Batey, Independent Consultant (2033@tombatey.f2s.com) and Lars Munkholm, University of Aarhus, Denmark (Lars.Munkholm@agrsci.dk)
Ball, B.C.; Batey, T. and Munkholm, L.J. 2007. Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test, Soil Use and Management, 23, 329-337.

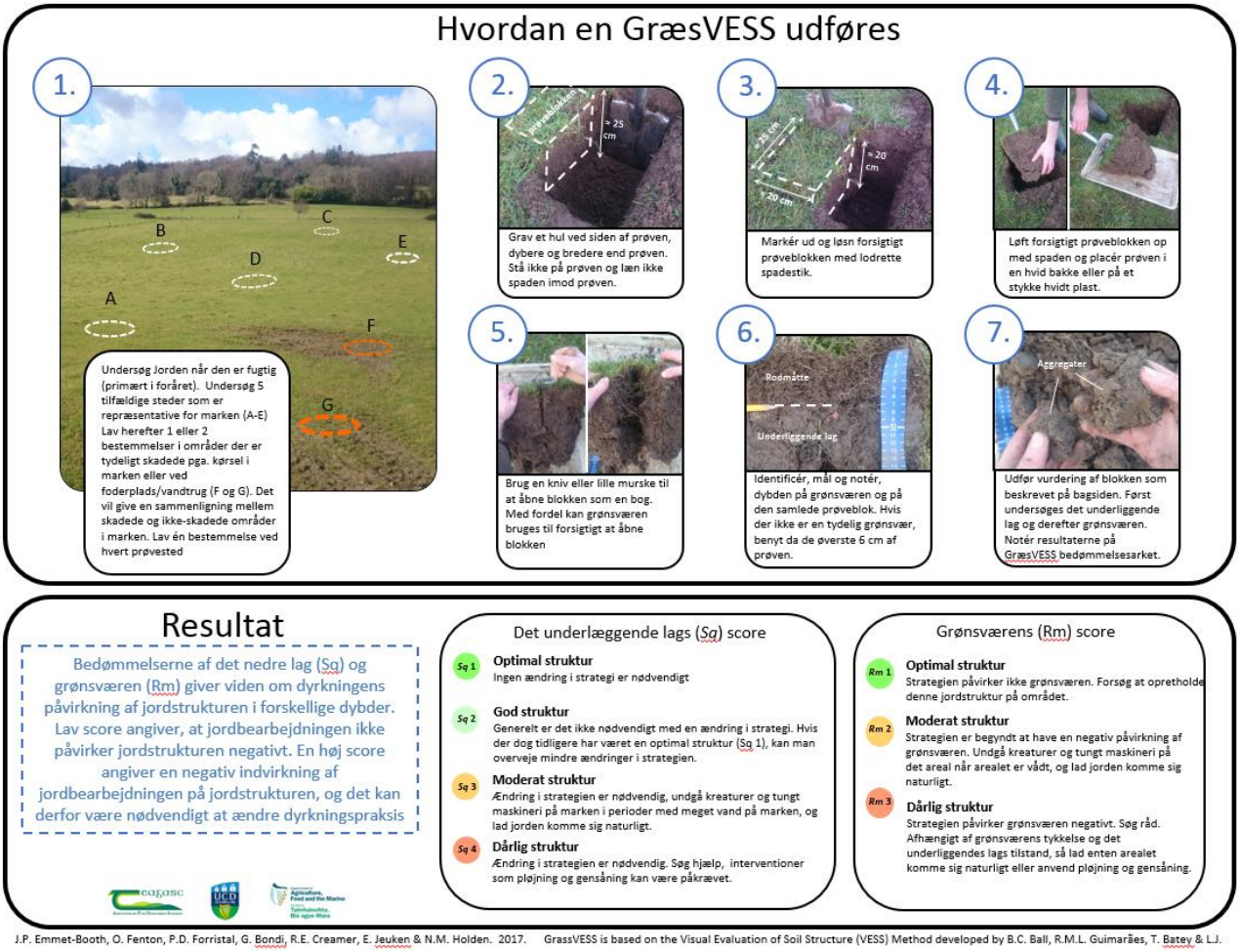
Dansk oversættelse: Margit Rosenlund Hansen

Struktur-kvalitet	Størrelse og udseende af aggregater/knolde	Synlig porøsitet af rødder	Udseende efter opdeling: Forskellige jordtyper	Udseende efter opdeling: Samme jordtype, forskellig dyrkning	Karakteristiske egenskaber	Udseende og beskrivelse af naturligt eller reduceret fragment på ~1,5 cm i diameter
Sq1 Meget smuldrende Aggregater smuldres nemt mellem fingrene	For det meste <6 mm efter smuldring	Særdeles porøs Rødder vokser overalt i jordblokken			 Fine aggregater	 Selve opdelingen af jordblokken er tilstrækkeligt til at afsløre aggregaterne. Store aggregater er sammensat af mindre aggregater, holdt fast af rødder
Sq2 Smuldrende Aggregater deles nemt i mindre stykker med én hånd	En blanding af porøse, afrundede aggregater fra 2 mm – 7 cm. Ingen knolde	De fleste aggregater er porøse Rødder vokser overalt i jordblokken			 Stor porøsitet	 Evt. tilstedeværende aggregaer er afrundede, meget skrøbelige, smuldrer meget nemt, og er særdeles porøse
Sq3 Fast De fleste aggregater deles nemt i mindre stykker med én hånd	En blanding af porøse aggregater fra 2 mm – 10 cm; mindre end 30% er <1 cm. Der kan være nogle kantede, ikke-porøse knolde	Der er makroporer og sprækker Porøsitet og rødder forekommer i aggregater og knolde			 Lille porøsitet	 Det er nimelig nemt at få fragmenter. De har få, synlige porer og er afrundede. Der gror normalt rødder gennem aggregaterne/knoldene
Sq4 Kompakt Kræver en betydelig indsats for at dele knolde/aggregater i mindre stykker med én hånd	For det meste store >10 cm og mindre kantede, ikke-porøse; vandrette/flade også muligt; mindre end 30% er <7 cm	Få makroporer og sprækker Alle rødder er samlet i klynger i makroporer og omkring knolde og aggregater			 Tydelige makroporer	 Det er nemt at få fragmenter, i kubeform, når jordem er våd. Fragmenterne er meget skarpkantede og har sprækker indadtil
Sq5 Meget kompakt Vanskeligt at dele i mindre stykker	For det meste store >10 cm, meget få <7 cm, kantede og ikke-porøse	Meget lille porøsitet. Der kan være makroporer. Kan indeholde iltfattige områder. Der kan være få rødder, begrænset til sprækker			 Grå-blå farve	 Det er nemt at få fragmenter, i kubeform, når jorden er våd, selv om der måske skal bruges betydelige kræfter. Normalt er der hverken synlige porer eller sprækker

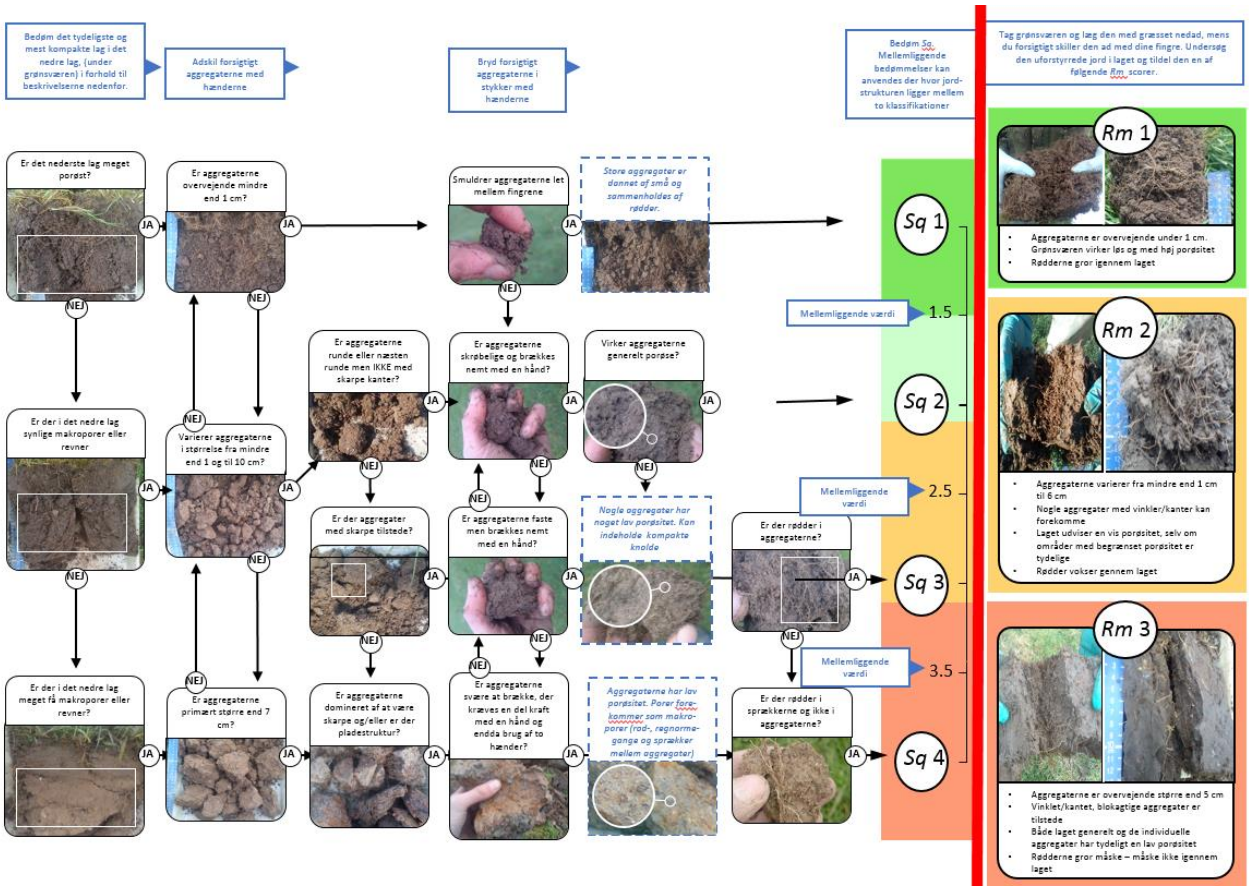
Figur 13. Forklaring af brug af VESS-metoden til visuel vurdering af overjorden.

6.4.3 GræsVESS

Hvis arealet, man gerne vil undersøge jordstukturen i, er græsdækket, kan man benytte en GræsVESS (se figur 14). GræsVESS er metodisk ligeså stærk som VESS, men tager højde for rodmåttens tykkelse og stabilitet. Man får den samme vurdering af jordforholdene som ved en VESS, men med rodmåtte kvalitet scoren, får man en bedre relation til volumenvægten og porøsiteten i 5-10 cm dybde og en visuel vurdering af vandlidende områder i marken. Metoden er hurtig og nem at anvende.[16]



[16] J.P. Emmet-Booth et al. 2018, GrassVESS: a modification of the visual evaluation of soil structure method for grasslands, Soil Use and Management Vol. 34 (1)



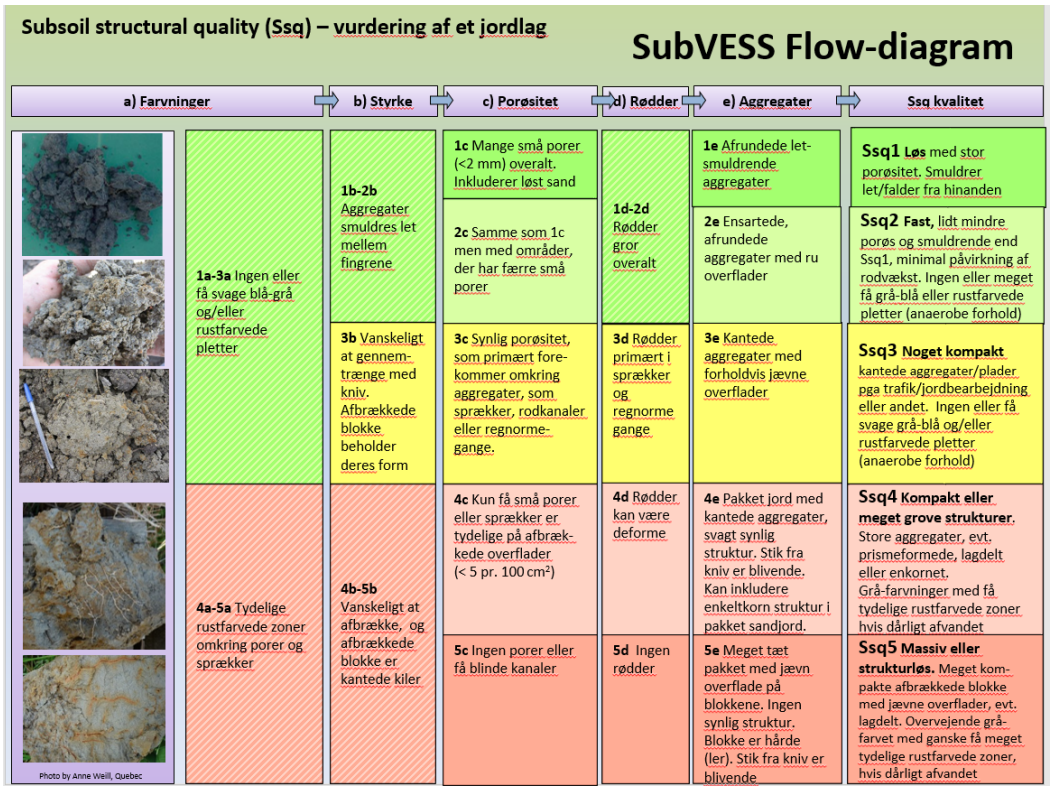
Figur 14. Skema til visuel vurdering af græsmark (0-25 cm dybde) ved brug af GræsVESS metoden. Oversat efter Emmet-Booth et al., 2017[16].

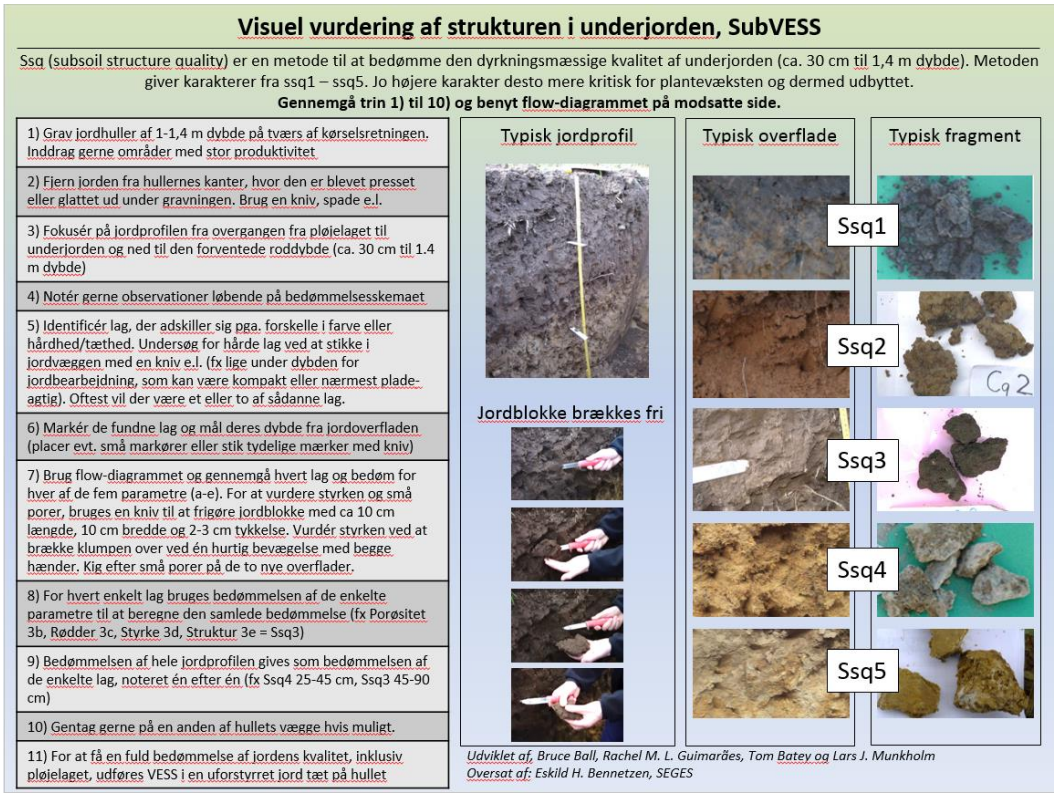
6.4.4 SubbVESS: Underjorden (25-100 cm)

Som for overjorden er der udviklet en tilsvarende systematisk metode til vurdering af strukturen af underjorden (25-100 cm dybde)[17,18]. Ved denne metode kan der både vurderes på roddybde, jordpakning i forskellige lag, dybde af overjord (A-profil), makroporer, anaerobe områder eller pletter, jordstyrke, porøsitet samt størrelse og form af aggregater. Ved brug af et flowdiagram (se figur 15), vurderes strukturen på en skala fra Ssq 1 – Ssq 5. Enkelte konsulenter er godt bekendt med denne metode og er blevet undervist i brugen af den.

[17] Ball et al. (2015): The numeric visual evaluation of subsoil structure (SubVESS) under agricultural production. Soil & Tillage Research, 148, 85-96

[18] Ball et al. (2015): Corrigendum to "The numeric visual evaluation of subsoil structure (SubVESS) under agricultural production" [Soil & Tillage Research, 148, 85-96]. Soil & Tillage Research, 154, 145





Figur 15. Flowdiagram til vurdering af strukturen i underjorden med SubVESS. Oversat efter Ball et al., 2015[19].

[19] Ball, B.C., Batey, T, Munkholm, L.J., Guimaräes, R.M.L. et al. 2015. The numeric visual evaluation of subsoil structure (SubVESS) under agricultural production. Soil and Tillage Research 148, pp. 85-96.

7 BIOLOGISK AKTIVITET I JORDEN

Biologien i jorden indbefatter jordboende dyr og insekter, jordens mikrobiom og plantedele og er en forudsætning for en dynamisk omsætning af organisk materiale og recirkulering af næringsstoffer. Samtidig er biologien en forudsætning for en god jordstruktur.
Men hvad er værdien? Hvor afgørende er det? Er kvantitet af færre bestemte arter mere værd end stor diversitet af arter? Den biologiske værdi i jorden er uden tvivl den mest udfordrende parameter at værdisætte. Og det er den parameter, vi har vanskeligst ved at vurdere i marken. Tager vi et spadestik i jorden, er det kun en lille andel af jordens liv, som vi kan se med det blotte øje, f.eks. regnorme. Regnormene kan dog være en kvalitativ indikator for, om de andre organismer også er til stede.

7.1 Måling af respiration i jorden

Den biologiske aktivitet i jorden kan vurderes ud fra emission af CO_2 fra jorden. Dette vil i høj grad komme fra mikrobiel nedbrydning af organisk materiale, som også vil være en indikator for mineralisering af næringsstoffer. Der vil dog også være nogen respiration fra planterødder. Der findes sofistikerede højteknologiske apparater til måling af dette, som bruges i forskningssammenhænge. Men der findes også forholdsvis simple lavteknologiske metoder, f.eks. ved brug af et 'Soil life respiration kit'. Her kan man efter 24 timer kvantificere respirationen fra en jordprøve ud fra en farve på en måleplade, der opbevares lufttæt sammen med jordprøven i de 24 timer. Pris pr. farvepaddel ca. 50-100 kr. Kilde: www.themeterman.com.au

7.2 Antal regnorme

Til forskel for de fleste andre organismer i jorden er det muligt at lave en optælling af regnorme i marken. I en dyrket mark vil der primært være to grundtyper af regnorme tilstede. De jordædende orme (endogæiske), der lever i de øverste jordlag, som de æder sig igennem som deres primære fødekilde, og de anektiske orme, som laver dybe gange lodret ned i jorden og henter deres føde af planterester fra jordoverfladen. Stor Regnorm hører til den sidste gruppe. Det er også den, der laver dybe gange ned til flere meters dybde, der hjælper til at afdræne jorden og hjælper rødderne ned i de dybe jordlag, se billedet.

De dybe, lodrette kanaler, der er dannet ved en kombination af rod- og regnormeaktivitet, kaldes også bioporer. De kan være meget gamle, og i underjorden bliver rodkanalerne med tiden cementeret af jern- og manganoxider, der udfældes fra drænvand, der løber i porerne. Generelt er en struktur af lodrette porer både i stand til at afdræne jorden bedre og er også mere stabil over for trykskader. Udover at løsne og afdræne jorden er regnorme i stand til at stabilisere jordens aggregater, idet blandingen af mineralske partikler og plantemateriale i regnorme-ekskrementer er stabile med vandbindende egenskaber. Regnorme-ekskrementer gør også jorden mere robust over for vind- og vanderosion og tilslemning ved kraftig nedbør.

Det er relativt simpelt at lave en optælling af regnormebestanden i marken. Ved udgravning af en jordblok på f.eks. 25 x 25 x 25 cm kan orme i overjorden tælles. Ved at hælde to liter vand med iblandet sennepspulver ned i jordhullet, vil man tvinge regnorme op fra de dybere jordlag. Ca. 100 orme og mere pr. m^2 vurderes til at være en god bestand. I græsmarker, eller marker med stort indhold af frisk organisk materiale og ekstensiv jordbearbejdning vil man kunne tælle op mod 500 regnorme pr. m^2. Optællingen kan også ske ved at hælde sennepspulver på jordoverfladen inden for en tælleflade.

Ved visuel optælling af regnorme, kan det være vanskeligt at afgøre de specifikke arter, der har forskellige habitater og levevis og dermed forskellig effekt på jorden. Dette kan gøres med DNA analyser, hvilket dog endnu kræver specialudstyrede laboratorier.

De anektiske orme er indikatorer for sund jord. De er dybdelevende og indsamler føde på jordoverfladen. Her er vist en stor orm: *Lumbricus herculeus*. *Foto: Paul Henning Krogh.*

7.3 Laboratorieanalyser

Der findes forskellige højteknologiske laboratorie metoder til at kvantificere mængden og diversiteten af mikrofaunaen i jorden. Disse er ikke relevante som gængse felt-metoder, men har stor relevans i forskningssammenhænge, eller ved grundige metodiske undersøgelser af forskelle mellem f.eks. dyrkningssystemer. Der findes overordnet tre forskellige metoder:

- Manuel identifikation og optælling i laboratorie
- Identifikation og kvantificering ved fedtsyresammenhænge
- Identifikation og kvantificering ved DNA-analyser

De er alle dyre, og kræver specialiseret taksonomisk og laboratorieteknisk viden på højt niveau. Sidstnævnte er kendt fra opgørelser af vandmiljøer, og på udviklingsstadiet til opgørelser af landbrugsjorden.

8 STANDARDISEREDE METODER

Der findes flere bud på standardiserede metoder, der giver en all-around vurdering af jordens frugtbarhed, som er tænkt som forholdsvis lavpraktiske feltundersøgelser. Ambitionen kan sammenlignes med den af en læge, der via en samling forholdsvis simple værktøjer i sin taske, kan foretage en hurtig vurdering af patientens helbred og derfra eventuelt henvise til yderligere undersøgelser. Ligeledes er disse værktøjer beregnet på at give en forholdsvis hurtig vurdering af jordens frugtbarhed, som kan suppleres med grundigere undersøgelse ved behov. Det er dog stadig en noget kompliceret affære at gennemføre en del af analyserne, og det bliver aldrig helt simpelt og aldrig helt objektivt. I dette kapitel er beskrevet fem udvalgte metoder, der alle fokuserer på forholdsvis hurtige og lavteknologiske vurderinger af et bredt spekter af parametre til én overordnet konklusion om jordens tilstand.

8.1 Visual Soil Assessment

Denne test er udviklet i New Zealand af T. Graham Shepherd og er beregnet til relativt flade arealer med græs og enårige afgrøder[20]. Konceptet og metoden er beskrevet HER. Metoden er udvidet og publiceret af FAO til at indbefatte oliven, vin og generelle frugtplantager samt specifikt til hvede og majs[21]. Metoden er også beskrevet og anbefalet af Defra, UK (Department for Environment, Food and Rural Affairs)[22] samt af Väderstad[23]. Til forskel fra de andre metoder benævnt her, er den designet efter konceptet at være fri for instrumenter. Den er derfor den mest lavpraktiske, simpleste og hurtigste metode til undersøgelser i marken. Samtidigt inddrager den også miljømæssige faktorer som drivhusgasser samt tilstanden af afgrøden.

For at udføre testen behøves kun ganske få remedier:

- En spade
- En plastikbakke (ca. 45x35x25 cm)
- Et hårdt, firkantet bræt (f.eks. et skærebræt) (ca. 26x26x2 cm)
- En solid, hvis plastikdug (75x50 cm)
- En kniv (gerne 20 cm blad)
- En vandflaske
- Et målebånd (minimum 1 meter)
- VSA instruktionsbogen
- Det designede ark til notering og beregning af vurderingerne

Denne metode bør afprøves under danske forhold og vurderes i forhold til anvendelighed i en rådgivningssituation. Den kan vurderes på tidsbehov samt brugbare svar.

8.2 USDA-NRCS Soil Quality Test Kit

Denne metode, der består af 12 specifikke analyser, er den mest omfangsrige, men også mest krævende af dem benævnt i denne rapport. Hver analyse samt fortolkning er detaljeret og brugervenligt forklaret i materiale, der kan hentes HER. Den er baseret på 17 forskellige parametre, der er beskrevet i simple og illustrative fakta-ark. Den kræver instrumenter, der ganske vist ikke er højteknologiske, men minder om et lille hjemmelaboratorie. Enkelte af analyserne er beskrevet ovenfor under specifikke parametre. Den samlede værktøjskasse kan indkøbes for ca. 6.000 kr. fra Gempler men det virker mest relevant at afprøve udvalgte analyser enkeltvis fremfor hele pakken.

8.3 USDA-NRCS Soil Health Kit for educators

Denne metode er en simplere version af USDA-NRCS Soil Quality Test Kit, der er beskrevet ovenfor. Metoden består af ni forskellige analyser, der kan udføres i marken. Hver analyse er beskrevet og instrueret ved videoer på hjemmesiden. Alle materialer er beskrevet og priser og forhandler er angivet HER.

8.4 Simply Sustainable Soils (UK)

En af de mere simple metoder (Simply Sustainable Soil) er udviklet af LEAF (Linking Environment And Farming) og Asda. De har udviklet en guide, hvor man ved seks trin, der hver inkluderer et antal specifikke

[20] http://www.bioagrinomics.com/visual-soil-assessment
[21] http://www.fao.org/docrep/010/i0007e/i0007e00.htm
[22] http://adlib.everysite.co.uk/adlib/defra/content.aspx?id=000HK277ZX.0HDECERM3B2F9G6
[23] http://www.vaderstad.com/uk/about-us/news--press/visual-soil-assessment

tests, vurderer enkelte fysiske, kemiske og biologiske parametre. Metoden virker brugbar for de fleste parametre, men vurdering af organisk materiale og næringsstoffer kræver, at prøver bliver indsamlet og sendt til analyse ved et laboratorie.

8.5 Muencheberg Soil Quality Rating (M-SQR)

Muencheberg Soil Quality Rating (M-SQR) er en metode, der giver en samlet score via otte indikatorer, der minder om dem, der indgår i VSA (pkt. 8.1). Metoden og vejledning til analyser og vurdering findes HER. Ud over dette indgår der observationer af f.eks. overfladevand, hældning (slope & Steepness), større sten, samt om jorden er begrænset af fast undergrund pga. faste sten/bjerg. Den indeholder klimatiske vurderinger af risiko for tørke og oversvømmelse. Den indeholder også metoder til kalibrering til forskellige klimatiske verdenszoner. Med denne metode får man en vurdering af dyrkningspotentialet.

9 FORSKNING

Jordens frugtbarhed har stort forskningsmæssigt fokus, både som indsatsområde i klimadebatten og som redskab til at møde de fremtidige klimaforandringer på markniveau, i en verden med stigende befolkningstilvækst.

Mange af metoderne præsenteret i rapporten er ”standard” metoder, som har været anvendt i årtier. Der er betydeligt fokus på at udvikle nye billige og hurtige metoder til brug i laboratoriet og i marken. Der er udviklet NIR metoder til bestemmelse af tekstur og kulstof. Disse metoder er nu kommercielt tilgængelige og bliver for øjeblikket testet bl.a. på SEGES. Spektroskopiske feltmetoder til bestemmelse af jordens tekstur bliver for øjeblikket testet bl.a. på AGRO og er meget lovende og vil blive tilgængelige i løbet af en kort årrække. Der er også en del igangværende forskning vedr. sensormetoder til måling jordens overfladestruktur[24], pakningsgrad/jordstyrke[25,26] til anvendelse i præcisionsjordbrug.

I de seneste ca. 20 år har der været stort fokus på at udvikle og forbedre simple metoder til visuel vurderingf jord i pløjelaget, underjorden og hele jordprofilen[27]. Det har bl.a. resulteret i de standardiserede metoder VESS, GræsVESS, SubVESS beskrevet i denne rapport. Andre metoder inkluderer Visual Soil Assessment[28], le profil cultural[29] og SoilPAK[30]. Der er forsat betydelig forskningsaktivitet indenfor området i en lang række lande med henblik på at forbedre metoderne og tilpasse dem forskellige klima og jordforhold.

[24] Jensen T, Karstoft H, Green O, Munkholm LJ (2017) Assessing the effect of the seedbed cultivator leveling tines on soil surface properties using laser range scanners. Soil and Tillage Research 167:54-60. doi:https://doi.org/10.1016/j.still.2016.11.006

[25] Naderi-Boldaji M, Weisskopf P, Stettler M, Keller T (2016) Predicting the relative density from on-the-go horizontal penetrometer measurements at some arable top soils in Northern Switzerland. Soil & Tillage Research 159:23-32. doi:10.1016/j.still.2015.12.002

[26] Mouazen AM, Al-Asadi RA (2018) Influence of soil moisture content on assessment of bulk density with combined frequency domain reflectometry and visible and near infrared spectroscopy under semi field conditions. Soil and Tillage Research 176:95-103. doi:https://doi.org/10.1016/j.still.2017.11.002

[27] Emmet-Booth JP, Forristal PD, Fenton O, Ball BC, Holden NM (2016) A review of visual soil evaluation techniques for soil structure. Soil Use and Management 32 (4):623-634. doi:10.1111/sum.12300

[28] Shepherd TG (2009) Visual soil assessment. Volume 1. Field guide for pastoral grazing and cropping on flat to rolling country. Second edition. Palmerston North

[29] Boizard et al., 2017

[30] McKenzie DC (2001) Rapid assessment of soil compaction damage I. The Soilpak score, a semi-quantitative measure of soil structural form. Australian Journal of Soil Research 39:117-125

Der pågår en del forskning i betydningen af de fysiske, biologiske og kemiske egenskaber for jordens frugtbarhed. Siden 2010 er effekten af moderne tung trafik, der direkte påvirker de jordfysiske egenskaber, undersøgt i 3 forsøg på lerjord, der årligt er beskrevet i Oversigt over Landsforsøgene. Det igangværende GUDP finansierede COMMIT projekt undersøger effekten af pakningsbehandlingerne på jordens struktur, plantevæksten og risikoen for tab af næringsstoffer. Der sættes også tal på effekten af biologisk jordløsning med efterafgrøder, enårige samt flerårige afgrøder. Beslutningsstøtteværktøjet Terranimo er udviklet til at kvantificere risiko for pakning ved kørsel med landbrugsmaskiner[31] og værktøjet videreudvikles i COMMIT projektet (mulighed for at vurdere pakningsrisiko for bæltede køretøjer, implementering af forskydningseffekt på pakningsrisiko). Tilpasning af værktøjet til nationale forhold er i gang for andre europæiske lande (Frankrig, Storbritannien, Norge, Tyskland). Status, effekter og mulige tiltage for en række trusler mod jords kvalitet har været undersøgt i et 5-års EU projekt baseret på 17 casestudies (RECARE, 2013-2018, "Soil threats in Europe: status, methods, drivers and effects on ecosystem services", (Editors) Stolte, J., Tesfai, M., Øygarden, L., Kværnø, S., Keizer, J., Verheijen, F., Panagos, P., Ballabio, C., Hessel, R.; Soil threats in Europe; EUR 27607 EN: doi:10.2788/828742.). Betydningen af kulstofindhold for jordens struktur og produktionspotentiale undersøges i et igangværende PhD projekt[32,33,34,35].

I et større EU-forskningsprojekt LANDMARK arbejdes på et beslutningsværktøj (SOIL NAVIGATOR) omkring håndtering af jordens funktioner på den enkelte ejendom.

I et andet EU-forskningsprojekt iSQAPER udvikles en app til mobiltelefon (Soil Quality Assessment app, SQAPP), til vurdering af jordens frugtbarhed i marken.

Sådanne forskningsprojekter kan give essentiel grundvidenskabelig viden om de forskellige parametre, hvordan de relaterer til hinanden og hvilken relevans de har overfor produktionen af afgrøder. Samtidig er det essentielt, at vi fra rådgivningen giver indspil til universiteternes arbejde med udvikling af beslutningsstøtteværktøjer for at sikre relevansen og brugervenligheden for rådgivere og landmænd.

[31] Schjønning P, Lamandé M, Lassen P (2015) An introduction to Terranimo® Available at www.terranimo.dk

[32] Obour PB, Jensen JL, Lamandé M, Watts CW, Munkholm LJ (2018) Soil organic matter widens the range of water contents for tillage. Soil and Tillage Research 182:57-65. doi:10.1016/j.still.2018.05.001

[33] Jensen JL, Schjønning P, Christensen BT, Munkholm LJ (2016) Suboptimal fertilisation compromises soil physical properties of a hard-setting sandy loam. Soil Research

[34] Jensen JL, Schjønning P, Watts CW, Christensen BT, Peltre C, Munkholm LJ (2019) Relating soil C and organic matter fractions to soil structural stability. Geoderma 337:834-843. doi:https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.034

[35] Schjønning P, Jensen JL, Bruun S, Jensen LS, Christensen BT, Munkholm LJ, Oelofse M, Baby S, Knudsen L (2018) The Role of Soil Organic Matter for Maintaining Crop Yields: Evidence for a Renewed Conceptual Basis. Advances in Agronomy. doi:10.1016/bs.agron.2018.03.001

SEGES skaber løsninger til fremtidens landbrugs- og fødevareerhverv. Vi udvikler forretningsmuligheder i tæt samarbejde med vores kunder, forsknings-institutioner og virksomheder over hele verden. SEGES er en del af Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.

SEGES
Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.
Agro Food Park 15
DK 8200 Aarhus N

+45 8740 5000
info@seges.dk
seges.dk