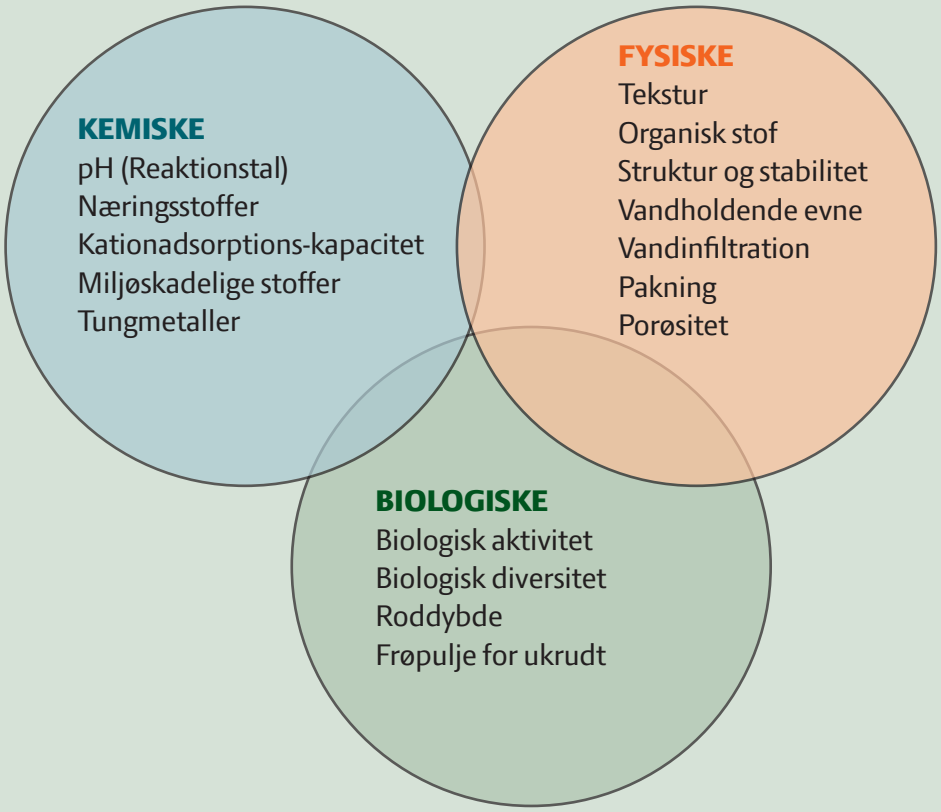
VURDERING AF **JORDENS FRUGTBARHED** - NYE SIMPLE MULIGHEDER?

Jordens frugtbarhed - et kompleks af kemiske, fysiske og biologiske parametre



SEGES

VURDERING AF JORDENS FRUGTBARHED
- NYE SIMPLE MULIGHEDER. JORDENS FRUGTBARHED
- ET KOMPLEKS AF KEMISKE, FYSISKE OG BIOLOGISKE PARAMETRE
er udgivet af

SEGES
Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.
Agro Food Park 15, Skejby
DK 8200 Aarhus N
8740 5000
seges.dk

Kontakt
Eskild Hohlmann Bennetzen, ehob@seges.dk
D +45 2870 1365

Redaktion
Eskild Hohlmann Bennetzen, SEGES
Leif Knudsen, SEGES
Hans Spelling Østergaard, SEGES

Forsideillustration
Eskild Hohlmann Bennetzen, SEGES

Rapporten er støttet af Promilleafgiftsfonden for Landbrug

2016

Forord

I denne rapport beskrives forskellige elementer og parametre af jordens frugtbarhed og muligheder for at vurdere eller måle tilstanden. Vi beskriver de enkelte elementer, der indgår i jordens frugtbarhed samt specifikke metoder til at analysere eller vurdere disse. Formålet er at afdække mulighederne for at udvikle simple metoder, der kan give kvantitative vurderinger af jorden i danske marker. Rapporten fungerer som forundersøgelse til en kommende afprøvning af udvalgte metoder, der vil gennemføres i løbet af 2017 og 2018. På baggrund af denne indledende rapport samt afprøvningerne i felten, vil vi udgive en praktisk vejledning til brug for rådgivere og landmænd. Målet er, at vi kan forholde os konkret til frugtbarheden af en enkelt mark, eller et område i en mark. Ud fra en analyse af den samlede tilstand samt hvilke parametre, der er kritiske, vil vi kunne rådgive om forbedrende tiltag, der kan gøres.

Rapporten er udarbejdet af:

Eskild Hohlmann Bennetzen, Specialkonsulent, Kulturteknik og afvanding
Leif Knudsen, Chefkonsulent, Gødskning og kulturteknik
Hans Spelling Østergaard, Specialkonsulent, Gødskning
Rebekka Kjeldgaard Kristensen, Konsulent, Gødskning

Indhold

1 Sammendrag og konklusioner ... 3
2 Indledning ... 4
3 Potentielle udbytter ... 5
4 Oversigt over relevante parametre ... 6
5 Jordens kemiske egenskaber ... 7
5.1 pH eller Reaktionstal ... 7
5.2 Indhold af næringsstoffer ... 8
5.2.1 Bestemmelse via indikatorpapir ... 9
5.3 CEC – Kationadsorptionskapacitet ... 9
5.4 Albrecht analyse ... 9
5.5 Planteanalyser ... 9
5.6 Analyse for toksiske stoffer ... 10
6 Jordens fysiske egenskaber ... 10
6.1 Tekstur ... 10
6.1.1 Sedimentationsanalyse ... 11
6.1.2 NIR spektroskopi ... 11
6.1.3 Jordens elektriske konduktivitet ... 11
6.1.4 'Sanse-prøve' ... 12
6.2 Organisk materiale og kulstofindhold ... 14
6.2.1 Vurdering af jordens kulstofindhold ... 14
6.2.2 Dexter indeks ... 15
6.2.3 Beregning udviklingen af kulstof i jorden ... 15
7 Jordens struktur ... 15
7.1 Potentiel roddybde ... 16
7.2 Plantetilgængeligt vand i jorden ... 16
7.3 Jordens stabilitet ... 17
7.3.1 Aggregatstabilitet ... 17
7.4 Jordens porøsitet ... 17
7.4.1 Volumenvægt ... 18
7.4.2 Penetrometermålinger ... 20
7.4.3 Jordspyd ... 20

7.4.4 Infiltrationsevne 20
7.4.5 Overfladevand 21
7.5 Visuel bedømmelse jorden 21
7.5.1 Spadeanalyse 22
7.5.2 VESS: Overjorden (0-25 cm) 22
7.5.3 SubbVESS: Underjorden (25-100 cm) 24
8 Biologisk aktivitet i jorden 25
8.1 Måling af respiration i jorden 25
8.2 Antal regnorme 25
8.3 Trusse-testen 26
8.4 Laboratorieanalyser 27
9 Standardiserede metoder 27
9.1 Visual Soil Assessment 28
9.2 USDA-NRCS Soil Quality Test Kit 29
9.3 USDA-NRCS Soil Health Kit for educators 29
9.4 Simply Sustainable Soils (UK) 30
9.5 Muencheberg Soil Quality Rating (M-SQR) 30
10 Forskning 31

1 Sammendrag og konklusioner

I denne rapport afdækker vi parametre, der indgår i jordens frugtbarhed, som vi definerer som '*jordens funktionalitet som vækstmedie for landbrugsafgrøder*'. Vi beskriver essentielle parametre og giver nogle bud på, hvordan de kan måles eller vurderes. Formålet er at identificere mulige metoder til brug i felten, som relativt simpelt giver et hurtigt svar. I tabel 1 fremgår konklusioner for de forskellige parametre, med fokus på muligheden for at måle eller vurdere dem i marken.

Tabel 1. Oversigt over parametre og muligheder for måling eller vurdering. Der skelnes mellem målinger, som giver et direkte kvantitativt svar og vurderinger, som enten giver indirekte svar eller en rent kvalitativ vurdering. Parenteser er udtryk for, at metoden er omstændig eller bare indikerende.

Parameter	Kan <u>måles</u> i marken	Kan <u>vurderes</u> i marken	Kommentarer til felt-metoder
pH / Reaktionstal	(Ja)	Ja	Kan vurderes med indikatorpapir
Næringsstoffer	(ja)	Ja	Kan vurderes med indikatorpapir
CEC	Nej	Nej	
Tekstur	Nej	Ja	Kan vurderes i marken ud fra konsistens
Elektrisk konduktivitet	Ja	Nej	Kan både måles håndholdt samt ved at trække en slæde
Organisk stof	Nej	Ja	Kan vurderes ud fra jordens farve samt struktur
Porøsitet	Nej	Ja	Kan vurderes visuelt
Strukturstabilitet	Nej	Ja	
Pakningsgrad	Ja	Ja	Kan måles med et penetrometer samt vurderes visuelt og med jordspyd
Infiltrationsevne	Ja	Ja	Forholdsvist omstændig
Roddybde		Ja	Kan vurderes visuelt i jordhul
Volumenvægt	(Ja)		Kræver en god vægt
Biologisk omsætning	(Ja)	Ja	Kan vurderes ud fra måling af respirationen eller ved brug af 'trusse-testen'
Biologisk diversitet	(ja/nej)	(nej)	Makrofauna kan optælles. Mikrofauna kræver laboratorieudstyr

2 Indledning

Jordens frugtbarhed kan være et lidt abstrakt begreb at forholde sig til – i familie med begreber som jordsundhed og jordkvalitet. Hvordan definerer vi det? Hvordan vurderer vi det? Er det penge værd? Den primære årsag til at beskæftige sig med jordens frugtbarhed er, at dyrkning af jorden er basis for en tilstrækkelig fødevareproduktion i verden både nu og i mange år fremover. Begrebet indgår også hyppigt i den almindelige debat om landbrugets udvikling, produktionsformer, fødevareforsyning og -kvalitet samt bæredygtighed.

Jordens frugtbarhed er ikke en statisk størrelse men vurderes efter jordens anvendelse til dyrkningsformål. Der vil derfor ikke kunne fastsættes en universel gyldig og dyrkningsuafhængig standard for jordens frugtbarhed. Én brugbar definition er *"jordens evne til vedvarende at understøtte en planteproduktion, der er forsvarlig med hensyn til omfang, kvalitet, rentabilitet og påvirkning af det omgivne miljø"*[1]. I denne rapport forholder vi os til jordens frugtbarhed som grundlag for effektiv planteproduktion, dvs. høje udbytter, lavest mulige omkostninger og minimering af næringsstoftabet fra jorden.

Udgangspunktet er, at marken har et potentielt udbytte, der er bestemt af faktorer, der ikke eller kun meget vanskeligt kan ændres. 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 – bortset fra indholdet af organisk stof – kan ikke ændres. I denne rapport betragter vi jordens frugtbarhed, som den sammensætning og de egenskaber, der skal til, for at markens potentielle udbytte kan nås, *hvis der tilføres den nødvendige mængde nærings- og hjælpestoffer i det enkelte år, der står i rimeligt forhold til afgrødens behov.* En høj frugtbarhed betyder derfor ikke nødvendigvis, at marken kan give høje udbytter under ugødede forhold.

Ud fra dette indikerer vi primære parametre, der forudsætter en optimal frugtbarhed og/eller kan være direkte begrænsende, og som kan påvirkes i en dyrkningsstrategisk kontekst. For at kunne vurdere jordens frugtbarhed, må vi altså definere nogle parametre og finde brugbare indikatorer, da ikke alle parametre er direkte målbare.

Formålet med denne rapport er, at beskrive mulige, simple metoder til at vurdere jordens frugtbarhed. Da der findes et standardiseret system til vurdering af mange kemiske parametre (næringsstoffer, pH) og tekstur, fokuserer vi 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 T. Christensen (2000): Hvad forstås ved jordens frugtbarhed, Tidsskrift for Landøkonomi, nr. 187

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 kan det være et udtryk for, at markens frugtbarhed er for lav med mindre, at 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, og derfor skal det ses over flere år. I tabel 2 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 tabelen gennemsnitsudbyttet + spredning, hvilket svarer til, at 1/6 af forsøgene har et udbytte højere end dette niveau. Hvis man anvender gns. udbytte + spredningen som et mål for det potentielle udbytte er det f.eks. 105,0 hkg/ha for vinterhvede og 77,6 hkg for vårbyg på jordtype på JB 6 (se tabel 2).

Tabel 2. 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.

Jordtype	Vinterhvede				Vårbyg			
	Antal	Gns. udbytte	Spredning	Gns. udbytte + spredning	Antal	Udbytte	Spredning	Gns. udbytte + spredning
		hkg/ha				hkg/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		

Gennemsnitsudbytterne i forsøgene er ca. 20 pct. 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. Der findes i litteraturen angivet forskellige måder at opgøre potentielle udbytter på ud fra f.eks. solindstråling og klimazoner, hvilket kan overvejes i fremtidige vurderinger.

4 Oversigt over relevante parametre

I dette afsnit gives en oversigt over de parametre, der umiddelbart bør 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 (fx jordprøver, der giver svar på reaktionstallet og indholdet af enkelte nærringsstoffer). I begrebet jordens frugtbarhed ligger implicit, at det bredeste spænd af parametre indgår i en mere holistisk vurdering. I tabel 3 er opstillet en række parametre, der alle indvirker på den enkelte jords frugtbarhed. Funktionen og vigtigheden af hver 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 3. Nøgleparametre for beskrivelse af jordens frugtbarhed

➢ **Kemiske parametre**
pH (Reaktionstal)
Indhold af tilgængelige essentielle næringsstoffer
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**
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 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 4.

Tabel 4. Generel anbefaling om Reaktionstal. Kilde: Hvad gemmer sig bag tallene.

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 Rt bliver tilgængeligheden af navnlig mangan og bor lav. Reaktionstallet har også en vis betydning for visse jordbårne sygdomme og ukrudt.

Udover indflydelse på næringsstoftilgængelighed har Rt også indflydelse på jordstrukturen. Et højt Rt 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 belyst i nyere tid. Hensynet til jordstruktur bør måske indgå mere i tolkningen af Reaktionstal på marker. Dette kan evt. være relevant for områder med højt indhold af ler i jorden.

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 HER (side 15) og ved brug af pH-papir findes HER.

5.2 Indhold af næringsstoffer

Selvom der årligt tilføres næringsstoffer skal jorden indeholde et minimum af tilgængeligt næringsstof for at sikre et fuldt udbytte. I dag anvendes rutinemæssigt jordbundsanalyser for fosfor, kalium, magnesium og kobber. Det er velunderbygget gennem forsøg, at disse analyser kan danne udgangspunkt for, hvorvidt jordens indhold af disse næringsstoffer er tilstrækkeligt til at sikre fuldt udbytte. Den generelle anbefaling for tolkning af jordbundsanalyser er vist i tabel 5. 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 næringsstoffer (kvælstof, svovl).

Tabel 5. 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 til at fastlægge behovet for næringsstoffer, og tilsvarene analyser for sulfat-svovl kunne anvendes. For kvælstof anvendes også i et vist omfang

analyser af total-kvælstof til at fastlægge markens mineraliseringsniveau. 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 også simpelt bestemmes ved brug af indikatorpapir. Beskrivelse af metode for måling af nitrat findes her og metode for måling af fosfat findes her.

5.3 CEC – Kationadsorptionskapacitet

I Danmark er der ikke tradition for at anvende CEC i rådgivningen, hvorimod det anvendes af flere udenlandske laboratorier.

Ved jordens kationadsorptionskapacitet (CEC) forstås den mængde positive ioner (meq/100g jord), som kan adsorberes til jorden under standardiserede betingelser. Kationkapaciteten bestemmes af mængden af negative ioner båret af jordens indhold af ler og organisk materiale. Der er store forskelle i kationkapaciteten mellem forskellige lermineraler. Det organiske materiales kationkapacitet bidrager væsentligt til jordens samlede kationkapacitet og er stærkt afhængig af pH, hvilket i mindre grad er tilfældet for den kationkapacitet, 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^+ og K^+. Jo større kationkapaciteten er, jo større er muligheden for, at jorden kan understøtte en stor planteproduktion. Jorde med en stor kationkapacitet har oftest et stort vandindhold ved markkapacitet og en god struktur, 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 metode til analyse og tolkning af jordens kemiske egenskaber, hvor CEC har en bærende rolle. Den har ikke vundet særlig stor indpas i Danmark, men tilbydes af enkelte mindre rådgivningsvirksomheder (fx Levende Jord) og nyder noget interesse i det økologiske jordbrug. Et eksempel på rådgivning ved Albrecht Analyse ses HER.

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. SEGES har tilsvarende som for jordbundsanalyser udarbejdet en tolkning til planteanalyser, der kan ses HER.

5.6 Analyse for toksiske stoffer

I landbruget anvendes ikke rutinemæssigt analyser for toksiske stoffer. Det anvendes kun ved mistanke om jordforurening. Grænseværdier for indhold af tungmetaller fremgår af bekendtgørelsen om anvendelse af affald til jordbrugsformål (Slambekendtgørelsen). Nr. 1650 af 13. december 2006. Se tabel 6.

Tabel 6. 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 (fx 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. Den mineralske del af jordens tekstur er stabil indenfor en tidsramme, der er relevant. Det gør den ikke uden betydning. Tværtimod har denne del af jorden 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. Der forsøges med andre analyser (fx NIR og EM 38/Dualem), som dog også er udstyrskrævende. Der findes ikke særligt subjektive felt-metoder til bestemmelse af teksturen, men en kyndig og erfaren person kan få et godt indtryk af teksturen ved ad mærke jordens konsistens. Da denne rapport primært søger at afdække felt-metoder beskriver vi 'sanse-prøven' grundigere end de laboratoriebaserede metoder.

Det eneste element af jordens tekstur, vi kan påvirke dyrkningsmæssigt, er jordens indhold af organisk materiale. Derfor gennemgås det særskilt i nedenstående afsnit.

6.1.1 Sedimentationsanalyse

Jordens lerindhold kan bestemmes med den ”officielle metode”, dvs. inkl. en destruktion af organisk stof for ca. 100 kr. pr. analyse (AgroLab). Den normale pris for en fuld teksturanalyse med den ”officielle metode” er ca. 280 kr. pr. analyse. Denne metode er standardiseret og udbredt brugt, og beskrives ikke nærmere.

6.1.2 NIR spektroskopi

Det forventes, at det indenfor kort tid vil være muligt at bestemme tekstur, organisk kulstof samt kation-bytnings kapacitet (CEC) med NIR (near infrared spectroscopy). Dette er på udviklingsstadiet og SEGES er i dialog med FOSS om den videre udvikling og mulig implementering.

6.1.3 Jordens elektriske konduktivitet

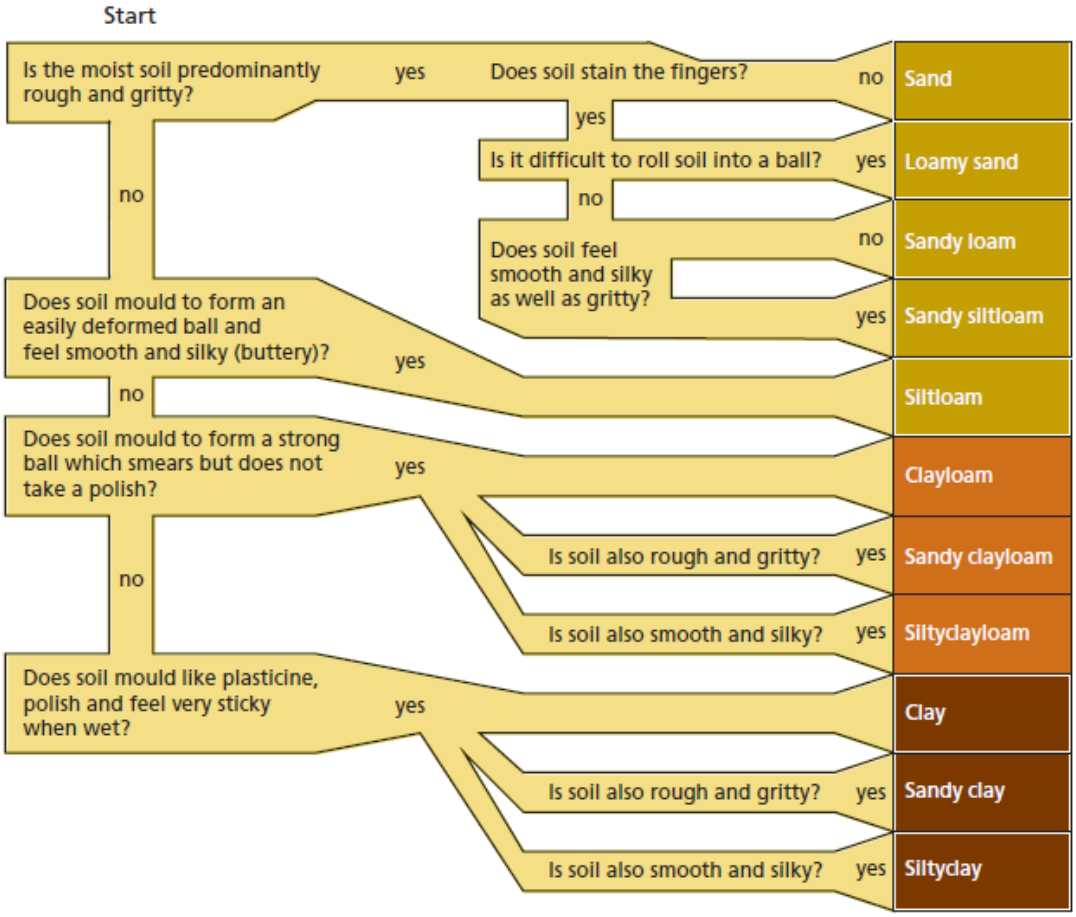
EM38/Dualem sensoren er et instrument, der måler jordens elektriske ledningsevne og kan trækkes henover jorden og dermed give et forholdsvist nuanceret kort over marken (figur 1). Under danske forhold er der fundet en god sammenhæng mellem jordens elektriske ledningsevne og lerindholdet. EM38 sensoren indikerer derfor jordens lerindhold. Metoden fortæller dog ikke noget om mængden af de andre jordmineraler, fx af finsand versus grovsand, hvilket er afgørende forskelligt for jordens egenskaber.

Figur 1. Dualem måler jordens elektriske konduktivitet mens den trækkes henover marken. *Kilde: Dualem.com*

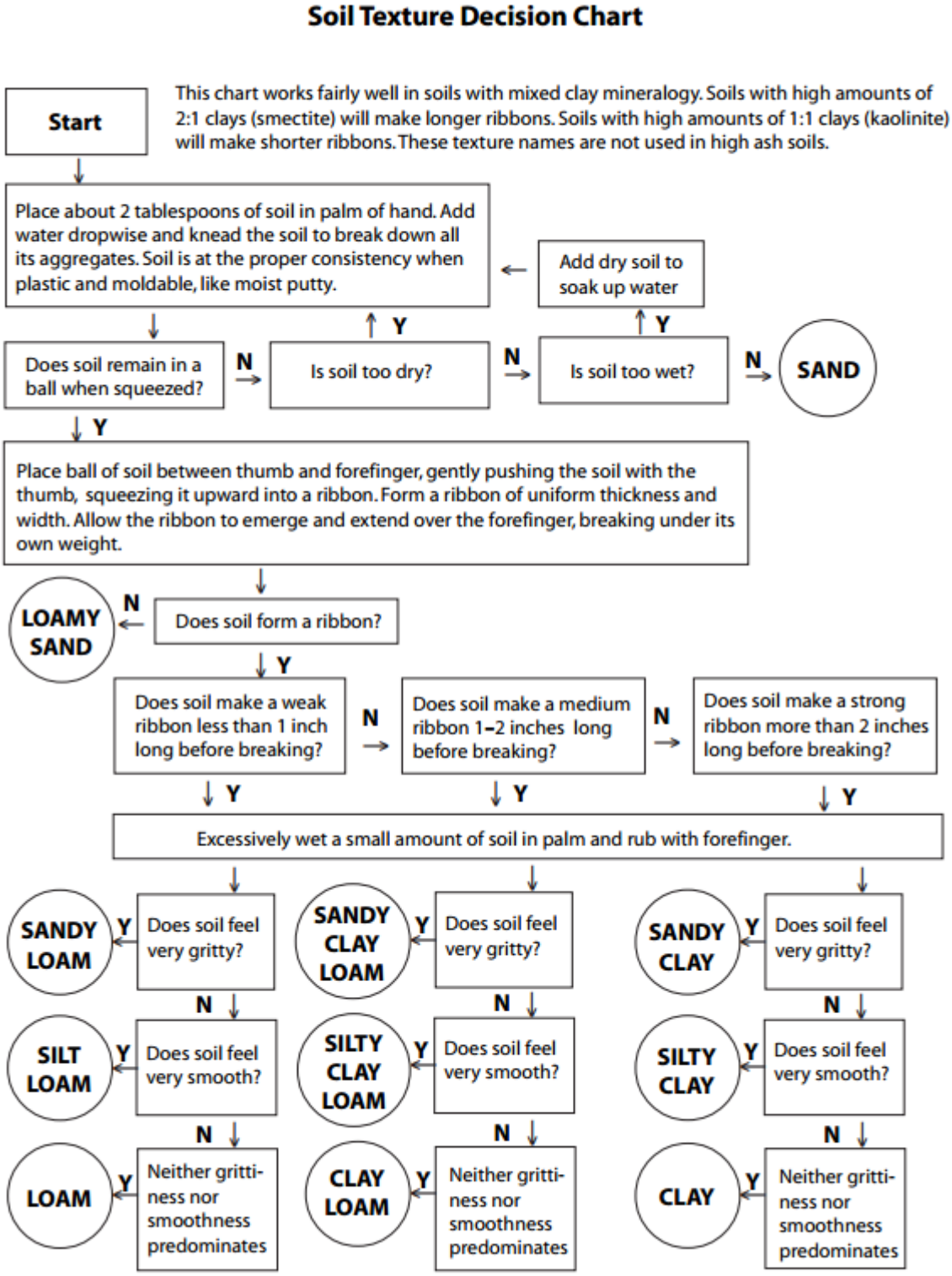
Jordens elektriske konduktivitet kan også måles via håndholdte værktøjer, som beskrevet i USDA, 2001: Soil Quality Test Kit Guide, s 14. Et eksempel på brug af en EC pocket meter ses her.

6.1.4 'Sanse-prøve'

Ved at mærke og lytte til jorden når den æltes og gnides mellem fingrene, kan man få en grov fornemmelse af jordens tekstur. Det er dog selvsagt en meget subjektiv metode. Figur 2 og 3 viser eksempler på flowdiagrammer, der kan benyttes til en sådan teksturvurdering. Der findes andre lignende metoder som alle har lignende karaktertræk.



Figur 2. Flowdiagram til vurdering af jordens tekstur. *Kilde: Defra. Cross compliance guidance for soil management. 2010 edition, UK*



Figur 3. Flowdiagram til vurdering af jordens tekstur. *Kilde: BURR OAK, Center for Durable Culture:* *http://www.traces.org/green/curricula-farming-marketing.html*

6.2 Organisk materiale og kulstofindhold

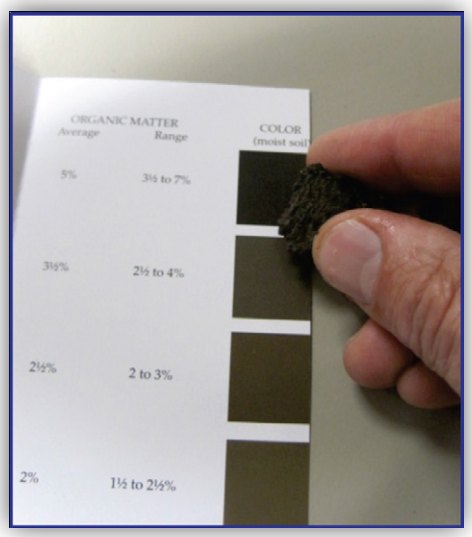
Jordens indhold af organisk materiale er en meget væsentlig parameter i dens frugtbarhed. Det findes på flere forskellige former - fra nyligt tilført dødt organisk materiale over det, der findes i den levende fauna, til nedbrudt kulstof sammensat i nye humus-forbindelser. Og det har forskellige funktioner 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 (fx VESS), som er beskrevet senere. Her vurderes på jordens farve og generelle strukturegenskaber. Jordens farve kan evt. sammenlignes med et farvekode-kort (se tabel 7 og figur 4).

Tabel 7. Indikationer for jordens kulstofindhold. *Kilde: ASDA & LEAF. Simply Sustainable Soils*

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



Figur 4. Vurdering af jordens kulstofindhold på basis af jordens farve sammenlignet med farvekode. *Kilde: USDA-NRCS, 2014: Soil Health – Guide for Educators. Soil Organic Matter*

6.2.2 Dexter indeks

Det kan være vanskeligt at sætte kritiske grænser for indholdet kulstof i jorden – et minimum eller optimum. Dexter indeks er et system for dette. Det er altså ikke en metode til at måle eller vurdere kvantiteten af kulstof – men til at vurdere om mængden af kulstof er fordelagtig eller kritisk. Dexter indekset giver et tal for mængden af ler i forhold til mængden af kulstof. Hvis der er for lidt kulstof i jorden relativt til mængden af ler, vil aggregaterne have dårlig stabilitet og vil generelt være hæmmende for afgrødernes vækst. Denne grænse har man fundet at være omkring et Dexter indeks på 10. Er værdien højere end 10, er der altså kritisk lavt kulstof i jorden. Sådan en grænseværdi kan dog diskuteres, og danske undersøgelser har fundet en kritisk grænse ved et Dexter indeks omkring 15-18. Metoden er muligvis heller ikke retningsgivende på jorde med meget lavt indhold af ler. Hvis Dexter indekset skal bruges til vurdering af om kulstofindholdet i jorden er optimalt eller kritisk, er det vigtigt at få afklaret, om der er tilfælde, hvor metoden ikke er holdbar.

6.2.3 Beregning 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.

PlantePro-Kulstofberegner er testet ved at afprøve en række scenarier med PlantePro-Kulstofberegner og sammenholde resultaterne med resultater fra C-TOOL[2] kørt ved samme scenarier. Konklusionen på baggrund af de gennemførte tests er, at kulstofindholdet beregnet med PlantePro-Kulstofberegner kun afviger ubetydeligt fra kulstofindholdet beregnet med C-TOOL.

7 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

[2] 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

til at holde på vandet. Derfor er det afgørende for al dyrkning, at man skaber eller vedligeholder den bedst mulige jordstruktur.

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 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.

7.1 Potentiel roddybde

Roddybden bestemmes foruden af afgrøden 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 visuel vurderes på hvorvidt der findes friske eller gamle rødder. En passende vurdering 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

Det kan være relevant at udvikle egne standarder for roddybder afhængig af afgrøde og jordtekstur. Vurdering af denne parameter kan foretages fx ved udgravning af jordhul som beskrevet under SubbVESS-metoden, der er beskrevet senere.

7.2 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.

7.3 Jordens stabilitet

7.3.1 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 biologisk 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 5). 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 5. 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*

7.4 Jordens porøsitet

Jordens porøsitet kan til dels vurderes ud fra jordens infiltrationsevne, der er beskrevet senere i rapporten. Den kan også 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.

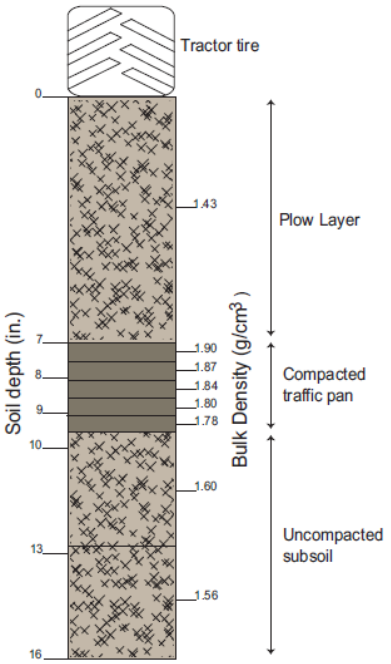
I marken kan jordens porøsitet vurderes visuel ud fra en spadefuld jord. Der vurderes på jordens kompakthed, hvor sammenkittet den er, glatheden af overfladen, antal af sprækker og makroporer samt antallet af rødder (se figur 6). Porøsiteten indgår også i VESS og SubbVESS metoderne beskrevet senere.

Figur 6. Eksempler på jorde med god, mellem og dårlig porøsitet til vurdering af jorden i marken ved sammenligning. *Kilde: Shepherd T.G., 2009: Visual Soil Assessment, Volume 1, Second edition.*

7.4.1 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 strukturelle funktioner mht vand- og stof-transport og luftpermeabilitet. Som en tommelfingerregel har sten gerne en volumenvægt på 2,65 g cm^{-3} og ideelt set vil en jord med 50 % 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.

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.



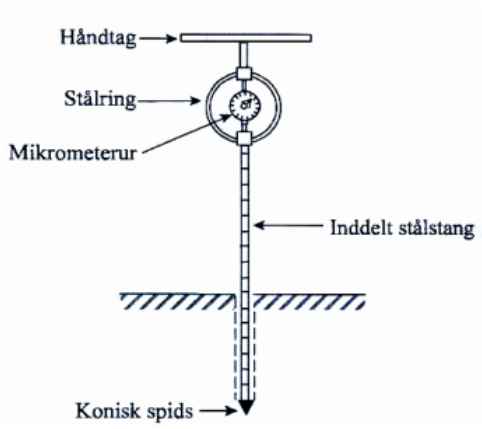
Figur 7. Eksempel på forskellig volumenvægt (bulk density) ved forskellige dybder i jordprofilen, der viser en tydelig pløjesål. *Kilde: USDA-NRCS Soil Quality Indocators. Bulk Density (Link).*

Tabel 8. Tærskler for hvornår volumenvægten (bulk density) kan blive begrænsende for rodvækst. *Kilde: USDA (2011): Soil Quality Test Guide, s 57 (link)*

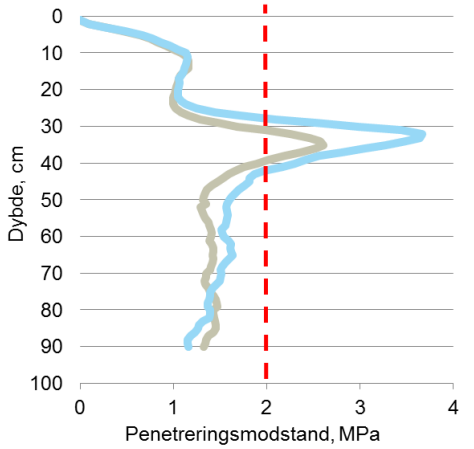
Soil texture	Ideal bulk densities (g/cm^3)	Bulk densities that may affect root growth (g/cm^3)	Bulk densities that restrict root growth (g/cm^3)
sands, loamy sands	< 1.60	1.69	> 1.80
sandy loams, loams	< 1.40	1.63	> 1.80
sandy clay loams, loams, clay loams	< 1.40	1.60	> 1.75
silts, silt loams	< 1.30	1.60	> 1.75
silt loams, silty clay loams	< 1.40	1.55	> 1.65
sandy clays, silty clays, some clay loams (35-45% clay)	< 1.10	1.49	> 1.58
clays (> 45% clay)	< 1.10	1.39	> 1.47

7.4.2 Penetrometermålinger

Jordens modstand mod nedpresning af et stålspyd (penetreringsmodstand) giver et indtryk af, om der er rodstandsende lag pga. jordpakning. En tommelfingerregel er, at en penetreringsmodstand på over ca. 2 MPa virker hæmmende på rodvækst. Enkelte rådgivningscentre er i besiddelse af sådanne penetrometre, men det er uvist, hvorvidt de bliver benyttet ved landmandsbesøg. De benyttes ved demonstrationer.



Figur 8. Skematisk illustration af én type af jord-penetrometer. *Kilde: Hillel 1998*



Figur 9. Eksempler på penetreringsmodstand ned igennem jorden, der viser pakningsskader lige under pløjedybden. *Kilde: Oversigt over Landsforsøgene 2016, SEGES*

7.4.3 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 jordprofilen. Enkelte rådgivere har gerne et jordspyd med, når de besøger landmænd. Hvorvidt det bliver brugt til handlingsbeslutninger er uvist. Metoden er meget simpel, og det er forholdsvis uproblematisk at have et jordspyd med sig i marken. Det kan dog være vanskelligt at få brugbare svar og en praktisk vejledning synes ikke umiddelbart at findes.

7.4.4 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 (fx lige under pløjedybden). En vis infiltration er vigtigt for at undgå erosion og 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 de større porer/mellemrum med luft i en sandjord. Meget lerede jorde, især hvis de er pakkede, er i risiko for at have en meget lille infiltrationsevne, men kan afhjælpes af fx sammenhængende makroporer pga. regnorme og generelt strukturforbedring ved organisk materiale og biologisk aktivitet. Også visse kationer (calcium) kan

øge infiltrationsevnen. Jorde med lav aggregatstabilitet har også risiko for at danne skorpe på overfladen ved udtørring, der hindre infiltrationen.

Jordoverfladens infiltrationsevne kan vurderes ved en relativ simpel metode (se illustration her) (figur 10). En cylinder af kendt diameter bankes ned i ca. 8 cm's dybde og så den stikker ca. 10 cm op over jorden. Her i hældes en kendt mængde vand så der er fx 30 mm vand over jordoverfladen. Tiden det tager for vandet at synke i jorden vurderes. Infiltrationsevnen kan så beregnes som fx 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 10. Jordoverfladens infiltrationsevne testes. *Kilde: www.soilquality.org*

7.4.5 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 gør det. Om det fx 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 fx en pløjesål.

7.5 Visuel bedømmelse jorden

Der findes forskellige metoder til visuel vurdering af jordstrukturen[3]. Sådanne vurderinger er naturligvis lidt subjektive, men ved simple, standardiserede vurderingsmetoder kan en stor del af subjektiviteten afhjælpes. VESS er et godt eksempel herpå (se senere afsnit). Flere planteavlsrådgivere og enkelte landmænd har spaden med sig, når marken besøges vurderes. Samtidig med at man får en status på jordens struktur, giver dette også indtryk af fx regnorme, rodudvikling, kulstofindhold og evt. problemer med afvanding.

[3] 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

7.5.1 Spadeanalyse

For mellem 70-100 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 (30x20x10 cm) og spaden med jordblokken placeres på to holdere, så jordblokken ligger vandret på spaden. 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 (LINK).

Figur 11. Eksempler på god (nederst) og mindre god jord (øverst), der vurderes ved spademetoden. *Kilde: 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).*

7.5.2 VESS: Overjorden (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)[4], 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 12). Prøven tager 5-10 minutter pr. sted. En del konsulenter er godt bekendt med denne metode, og flere bruger aktivt at have en spade med i marken ved fx møder med erfa-grupper. Den bruges dog som oftest ikke så kvantitativt, som beskrevet via nøglen.

[4] Ball et al. (2007): Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. Soil Use and Management, 23, 329–337.

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.

S√ccess through Knowledge

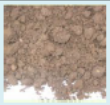
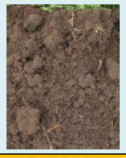
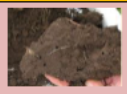
Bedømmelsesmetode:

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.

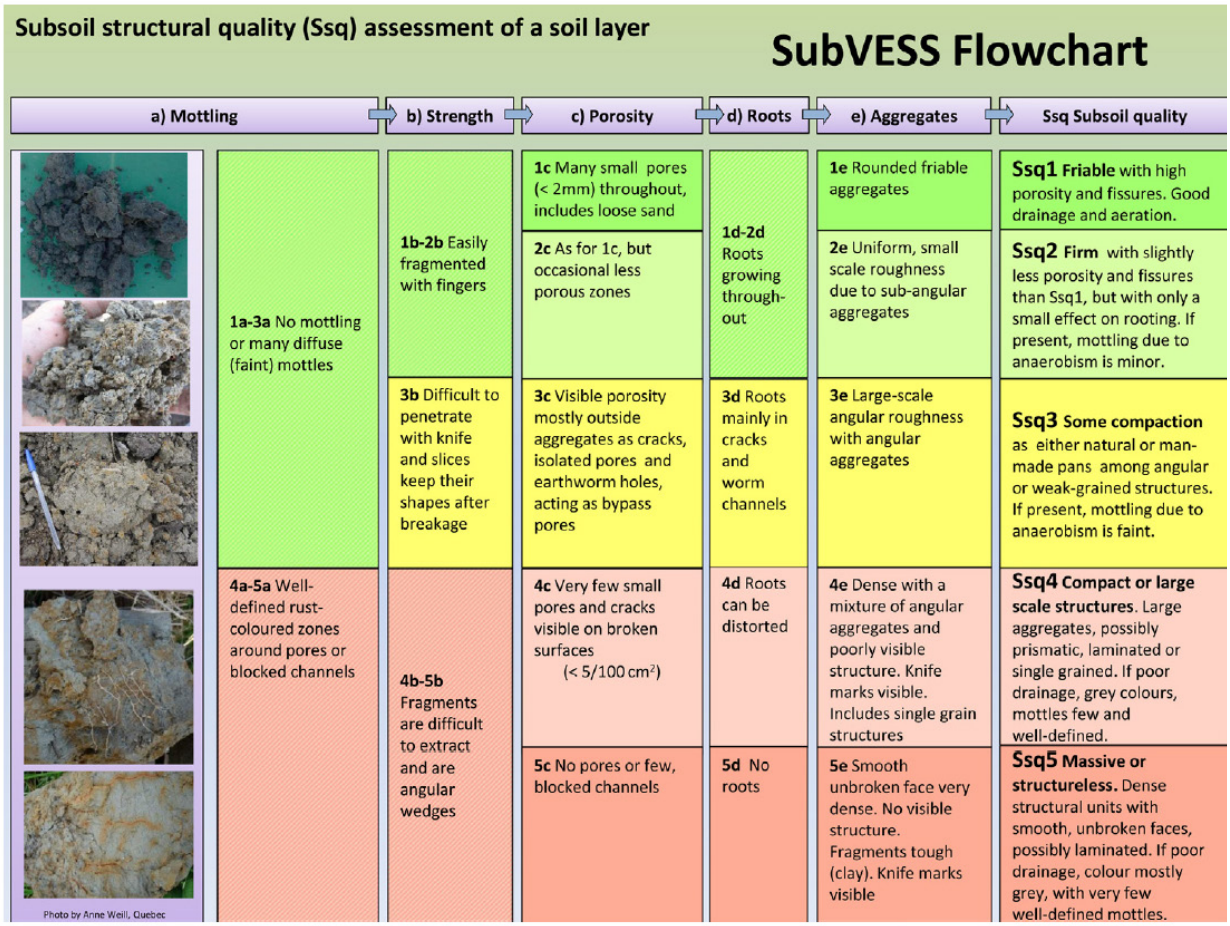
Dansk oversættelse: Margit Rosenlund Hansen

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 rimelig 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 12. Forklaring af brug af VESS-metoden til visuel vurdering af overjorden.

7.5.3 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)[5,6]. 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 13), vurderes strukturen på en skala fra Ssq 1 – Ssq 5. Enkelte konsulenter er godt bekendt med denne metode og blevet undervist i brugen af den.



Figur 13. Flowdiagram til vurdering af strukturen i underjorden med SubbVESS. *Kilde: Ball et al., 2015.*

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

[6] 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

8 Biologisk aktivitet i jorden

Biologien i jorden er en forudsætning for omsætningen 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 under 20 % 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.

8.1 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, fx 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 (se figur 14).

Figur 14. Solvita Soil Life Respiration Kit, der efter 24 timer i lukket bæger viser respirationen via farvekode. Pris per farvepaddel ca 50-100 kr. Kilde: www.themeterman.com.au

Figur 15. Måling af respiration i marken ved Draeger-Tube® metoden. *Kilde: soilquality.org*

En anden test er the Draeger-Tube® metoden (beskrevet af USDA-NRCS her). Her måles der ikke på udtagede prøver men fra et afgrænset område i jorden i marken. Den virker noget mere omstændig og kræver en del specialudstyr (se figur 15) og den praktiske relevans virker ikke oplagt. Det kan dog være interessant ved strukturerede undersøgelser af forskelle mellem dyrkningssystemer.

8.2 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 anetiske orme 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. De dybe, lodrette kanaler, der er dannet ved en kombination af rod- og regnormeaktivitet, kaldes også bioporer. De kan være meget gamle og bliver 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 meget vandstabile. Regnorme-ekskrementer på jordoverfladen gør også jorden mere robust over for vind- og vanderosion og tilslemning ved kraftig nedbør.

Optælling af regnorme

Det er relativt simpelt at lave en optælling af regnormebestanden i marken. Ved udgravning af en jordblok på fx 25x25x25 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 per 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 per m^2.

Ved visuel optælling af regnorme, kan det være vanskelligt at afgøre de specifikke arter, der har forskellige habitater og levevis og dermed forskellig effekt på jorden. Dette kan gøres ved genetiske analyser i laboratorier, hvilket dog er temmelig dyrt.

8.3 Trusse-testen

Den biologiske aktivitet i nedbrydning af organisk materiale kan demonstreres ved en illustrativ, og noget komisk, test – 'trussetesten'. Ved nedgravning af bomuldstrusser, og opgravning efter en bestemt periode, vil graden af hvor nedbrudt trusserne er blevet være en indikator for biologisk aktivitet i jorden (figur 16). Selvom denne metode næppe finder vej ind i videnskabelige redegørelser for jordens frugtbarhed, kan det være en fængende måde at illustrerer forskelle på markerne og forskellige dyrkningssystemer. Denne metode burde testes i relation til andre indikatorer som fx respirationsmålinger og undersøgelser af biologisk aktivitet.

Figur 16. Trusser opgravet efter to måneder nedgravet i jorde med forskellige dyrkningssystemer. Fra højre a) no-till sædskifte med majs-soya-hvede+rødkløver, b) no-till med flerårig soya, c) pløjet system med majs-soya sædskifte og d) pløjet system med flerårig soya. *Kilde: Claire Coombs fra* *http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/hort/news/hortmatt/2015/22hrt15a2.htm*

8.4 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 fx 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 meget dyre, og kræver specialiseret taksonomisk og laboratorieteknisk viden på højeste niveau. Sidstnævnte er kendt fra opgørelser af vandmiljøer, og på udviklingsstadiet til opgørelser af landbrugsjorden.

9 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.

9.1 Visual Soil Assessment

Denne test er udviklet i New Zealand af T. Graham Shepherd og beregnet til relativt flade arealer med græs samt og enårige afgrøder[7]. 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[8]. Metoden er også beskrevet og anbefalet af Defra, UK (Department for Environment, Food and Rural Affairs)[9] samt af Väderstad[10]. 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 (figur 17):

- En spade
- En plastikbakke (ca. 45x35x25 cm)
- Et hårdt, firkantet bræt (fx 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

Figur 17. Alt, der behøves af remedier for at udføre VSA-metoden

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

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

9.2 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 (figur 18). 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.

Figur 18. Komplet værktøjskasse til USDA Soil Quality Test Kit. Kan indkøbes for ca 800 AUD. *Kilde: www.gemplers.com*

9.3 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. Se figur 19.

Figur 19. Komplet værktøjskasse til USDA_NRCS Soil Health Kit for educators. *Kilde nrcs.usda.gov*

9.4 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 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.

9.5 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. Metoden og vejledning til analyser og vurdering findes HER. Ud over dette indgår der observationer af fx overfladevand, hældning (slope & Steepness), større sten samt om jorden er begrænset af fast undergrund pga. faste sten/bjerg. Den indeholder også klimatiske vurderinger af risiko for tørke og oversvømmelse. Den indeholder også metoder til kalibrering til forskellige klimatiske verdenszoner.

10 Forskning

I denne rapport er der fokuseret på mulige værktøjer, der relativt simpelt kan give et svar i felten. Der har de senere år, været et markant fokus i større forskningsprojekter på at udvikle beslutningsværktøjer til vurdering og forbedring af jordens frugtbarhed, eller enkelte dele af den. Gottlieb Basch, Professor at the Univertsity of Évora in Portugal, er ekspert på området og har kendskab til mere end 45 forskningsprojekter, der enten arbejder på, eller har udviklet, vurderingsmetoder til bedømmelse af jordens frugtbarhed.

Ét eksempel er det igangværende større EU forskningsprojekt LANDMARK, hvor bl.a. Aarhus og Københavns Universiteter er med i. Én af projektets hovedformål er netop at udvikle et beslutningsværktøj (SOIL NAVIGATOR) omkring håndtering af jordens funktioner på den enkelte ejendom. Det er et projekt vi vil følge med stor interesse.

Et andet eksempel er det igangværende større EU forskningsprojekt iSQAPER. I dette projekt vil man udvikle en app til mobiltelefon (Soil Quality Assessment app, SQAPP), til vurdering af jordens frugtbarhed i marken. Ønsket er, at den både kan give umiddelbare vurderinger foretaget på relativt få data, og med bedre og mere brugbare vurderinger jo mere komplekse data, der indgår.

Cornell University har sammen med USDA-NRCS Soil Health Division udviklet en metode til vurdering af jordens frugtbarhed (The Cornell Framework Manual for Comprehensive Assessment of Soil Health). Denne er dog baseret på udtagning af jordprøver, der analyseres i et laboratorie, og altså ikke egentlige felt-metoder.

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.

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