

December, 2020

## **Faglig vurdering af Albrecht og Solvita jordanalysernes egnethed til bestemmelse af jordens frugtbarhed**

*Søren Husted, Professor*

Sektion for Plante og Jordvidenskab,

Institut for Plante og Miljøvidenskab, Københavns Universitet

I det følgende er der, efter anmodning fra Økologisk Landsforening, foretaget en faglig bedømmelse af grundlaget for Albrecht og Solvita jordanalysernes egnethed til bestemmelse af jordens frugtbarhed. Den kritiske gennemgang er fortrinsvis baseret på videnskabelig litteratur, der er publiceret i anerkendte og fagfælle bedømte (peer-reviewed) internationale tidsskrifter.

Jeg har valgt at introducere beskrivelsen af metoderne med en kortfattet gennemgang af de klassiske jordanalyser, som i sin nuværende form har været anvendt i Danmark siden begyndelsen af 1980'erne. Fremgangsmåden gør det nemmere for læseren at kunne relatere grundlaget, omfanget og resultaterne af Albrechts jordanalyse til, hvad der må opfattes som "state-of-the-art" på området.

### **1. De klassiske jordanalyser**

Formålet med de klassiske jordanalyser er at estimere plantetilgængeligheden af et eller flere af de 14 essentielle plantenæringsstoffer. Analysen foretages som regel forud for dyrknings sæsonen for at muliggøre eftergødskning med de næringsstoffer, der måtte være i underskud. Der findes ingen internationaler standarder for, hvordan jordanalysen udtages og analyseres, til trods for at det har været forsøgt flere gange i regi af bl.a. The International Organization of Standardization (ISO) og The Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) samt Natural Resources Conservation Service at the United States Department of Agriculture. I Danmark er de klassiske jordanalyser ikke formelt autoriserede, men de gældende standarder er beskrevet i "Fælles arbejdsmetoder for jordbundsanalyser" (Sørensen & Bulow-Olsen, 1994). Langt de fleste jordanalyser, der foretages i dansk jordbrug følger disse standarder. Men det er vigtigt at henlede

opmærksomheden på, at der i stigende omfang udføres jordanalyser af dansk jord på laboratorier i f.eks. Sverige, Tyskland og England, og at disse analyser ikke nødvendigvis følger ovennævnte danske standarder, hvorfor data skal sammenlignes med forsigtighed.

Grundlaget for jordanalyserne er udviklet i tiden efter 2. verdenskrig, og de enkelte lande har ofte implementeret egne standarder for, hvordan analysen udføres. Det gør det meget vanskeligt, og ofte umuligt, at sammenligne data på tværs af nationaliteter, da selv små modifikationer kan have stor betydning for resultatets udfald. Det kender man f.eks. for analyse af plantetilgængeligt fosfor (P), hvor resultatet af en dansk fosfortalsanalyse (Pt, fosfortallet) kan variere meget, og tilsyneladende systematisk, alt efter hvilket laboratorium, der udfører analysen, og hvornår analysen udføres (Rubæk & Kristensen, 2017). Endvidere findes der alene i Europa 17 forskellige autoriserede analysemetoder til analyse af P i jorden. Det faktum at analysemetoderne varierer så meget på tværs af nationaliteter indikerer stærkt, at der ikke er åbenlyse fordele ved en bestemt analyse og der må forventes både fordele og ulemper ved dem individuelt (Mundus et al. 2014).

Den grundlæggende udfordring ved jordanalysen er, at en kemisk ekstraktion af jord aldrig kan afspejle den pulje af næringsstoffer, som planteroden eksponeres for i marken. Derfor vil jordanalysen som udgangspunkt altid rumme et element af usikkerhed og risikoen for fejltolkning vil altid være tilstede. Den væsentligste årsag til det er, at rhizosfære processerne ikke kan reflekteres af jordanalysen. Rhizosfæren er de yderste 1-3 mm af jorden udenfor roden, som påvirkes af rodens respiration, eksudering af næringsstof, mobiliserende eksudater og den mikrobielle population af svampe og bakterier, der findes her. Rhizosfæren varierer markant i pH set i forhold til jorden udenfor og plantetilgængeligheden, der reflekteres i en analyse af den såkaldte "bulk" jord", altså jorden uden for rhizosfæren, vil altid afvige markant fra det jordmiljø som "planten ser" eller rettere som roden er eksponeret for.

Desuden ekstraheres jorden typisk med vandige ekstrakter af et letopløseligt salt og en pH buffer ved stuetemperatur, hvilket i sig selv er grundlæggende problematisk, idet plantetilgængeligheden af alle essentielle næringsstoffer er meget påvirkelige for jordens fugtighed, temperatur og ikke mindst pH. Derfor vil jordanalysen aldrig blive et præcist estimat for, hvor meget af et givent næringsstof, der er tilgængeligt, men i bedste fald et mål for, hvor meget der potentielt kan stilles til rådighed i løbet af vækstsæsonen – hvor meget af dette potentiale planten realiserer afgøres af andre faktorer end dem jordanalysen kan prædikterer. Det forhold er meget vigtigt, og samtidig ofte

et overset faktum, i en analyse og diskussion af muligheder og begrænsninger ved de klassiske jordanalyser.

I Danmark udføres der i regi af SEGES (Landbrug & Fødevarer) årligt 140-150.000 jordanalyser af dansk landbrugsjord – dertil kommer et ukendt antal prøver, der analyseres uden om det officielle system. Den klassiske analysepakke omfatter: plantetilgængeligt fosfor, kalium, magnesium, pH og i mindre omfang Cu (ca. 5000 analyser årligt). Ofte måles også organisk stof (humus) og tekstur, da de ønskede værdier for næringsstofferne samt pH afhænger af disse faktorer. Da jordanalyserne for ovenstående har fulgt den samme standard i mere end 30 år, har de klassiske danske jordanalyser stor værdi, da den generelle udvikling i analysetallene kan følges både regionalt og nationalt over en lang periode. Værdierne for en given mark, kan derfor sammenlignes med et stort antal tilsvarende jordtyper analyseret årligt siden slutningen af 1980'erne. Nedenfor er angivet de anbefalede værdier for de enkelte analyser (Tabel 1).

Som det ses af tabel 1, er der ikke tradition for at analysere det ombyttelige calcium (Ca) indhold i dansk jord, da værdien indirekte er fastlagt af pH og CEC-værdien for den enkelte jordtype (Husted & Jensen, 1997). Endvidere vil en analyse af ombytteligt Ca udført i store dele af Danmark være ubrugelig, fordi der i jorden forefindes, enten naturligt eller som et resultat af kalkning,  $\text{CaCO}_3$  granuler som uundgåeligt vil ødelægge målingen af det ombyttelige Ca.

Ca-niveauet i jord korrigeres derfor ved at justere pH værdien ved jævnlig tilførsel af 2-4 t  $\text{CaCO}_3$  eller evt. større kalkmængder ved mere markante fald i jordens pH set i forhold til et årligt gennemsnit. Ligeledes er der heller ikke tradition for analyse af de to øvrige makronæringsstoffer kvælstof (N) svovl (S), hvilket for sidstnævnte kan undre, da der på markniveau er et klart S underskud, især for S kævende afgrøder såsom kålarterne og korsblomstrede planter.

Der analyseres ligeledes meget lidt for de 8 essentielle mikronæringsstoffer, bortset fra Cu, i den klassiske jordanalyse, primært fordi der ikke findes et solidt datasæt af normalværdier for B, Mn, Fe, Zn, Mo. Desuden formodes mangel på de fleste af dem, at være meget sjælden, dog med undtagelse af Mn og B, hvor det er velkendt, at der ofte optræder mangel i følsomme afgrøder såsom kornarterne (Mn) og decideret B følsomme afgrøder såsom kålarterne, raps og roer. Endvidere er det veldokumenteret at der ofte er en meget dårlig korrelation mellem det ekstraherbare mikronæringsstof indhold i jord og plante tilgængeligheden. Det gælder ikke mindst Mn hvor det er umuligt at finde en sammenhæng mellem jordens indhold på prøvetagnings tidspunktet og plantens indhold (Schmidt og Husted, 2019). Det skyldes primært, at Mn er meget

redox sensitivt og i markant grad vekselvirker med Mn reducerende og oxiderende mikroorganismer i jorden, hvorfor en analyse af plantetilgængeligheden ved kemisk ekstraktion er meningsløs.

**Table 1.** Normalværdier for den klassiske jordanalyse i Danmark.

<b>Tekstur (JB klasse)</b>	<b>Fosfortal (Pt)</b>	<b>Kaliumtal (Kt)</b>	<b>Magnesiumtal (Mgt)</b>	<b>Reaktionstal (pH)</b>
Sandjord <4	2-4	5-8	3-7	5.5-6.5
Lerjord >4	2-4	7-10	4-8	6.5-7.5

En sandjord har et lerindhold <10% og en lerjord indeholder > 10% ler. En Pt, Kt og Mgt enhed svarer til en potentiel plantetilgængelighed på ca. 25 kg /ha. Fosfortallet (også kaldet Olsen-P) er analyseret ved ekstraktion i 0.5 M NaHCO<sub>3</sub> (pH = 8.5); Kt og Mgt ved ekstraktion i 0.5 M ammoniumacetat (pH = 7). Reaktionstallet er analyseret i 0.01 M CaCl<sub>2</sub> i forholdet 1:2,5 (jord/opløsning) og beregnes som pH + 0,5.

## 2. Albrecht analysen

Den amerikanske agronom William A. Albrecht (1888-1974) var i sin samtid en respekteret jordbundsforsker og en af pionererne på forskningsområdet, der vedrører jordens frugtbarhed. Han publicerede videnskabeligt i perioden fra 1916-1970, og stort set hele hans produktion vedrører de faktorer, der styrer jordens frugtbarhed og kvælstoffiksering. Ved sin død efterlod han en stor videnskabelig produktion i form af videnskabelige artikler, rapporter og bøger, hvoraf kun en brøkdel er offentlig tilgængelig i de sædvanlige videnskabelige databaser. Albrecht overdrog ved sin død, rettighederne til alt skriftligt materiale til hans ven og elev, økonom og journalisten Charles Walters, der i 1970 dannede ACRES, USA. Walters arbejdede indtil sin død i 2009 målrettet på at promovere familielandbruget og økologisk jordbrug i USA, og baserede i vid udstrækning den videnskabelige argumentation på Albrechts tanker og publikationer.

Albrecht publicerede i sin karriere 47 internationale publikationer med peer-review, og de er citeret i alt 270 gange, hvilket er overraskende lavt set i forhold til den betydning, han tillægges af mange. Det er endnu mere overraskende, at ingen af de videnskabelige publikationer berører det, han er allermest kendt for, nemlig tesen om "The Balanced Soil" eller BCSR (Base Cation Saturation Ratio) systemet. Tesen bygger på, at jordens frugtbarhed i væsentlig grad styres af forholdet mellem base kationer Ca, Mg og K. Hans videnskabelige fokus var på symbiotisk kvælstof-fiksering, og hvordan

Ca og andre essentielle plantenæringsstoffer påvirker processen. Desuden var han optaget af, hvordan Ca påvirker flokkulering af ler mineraler og dermed stabiliteten af aggregaterne i jorden.

Konceptet bag BCSR systemet er rent faktisk udviklet af Firman E. Bear, University of New Jersey, USA, i perioden 1930-50, dog med inspiration fra artikler, der daterer sig helt tilbage Loew (1892), som arbejdede med det optimale forhold mellem Ca:Mg. Først i de såkaldte "The Albrecht Papers", der udkom som et nedskrevet resultat af ugentlige samtaler mellem Walters og Albrecht, begyndende i slutningen af 60'erne, hvor Albrecht var en ældre herre på 80 år, omtales BCSR systemet og "Soil Balancing" af Albrecht første gang. Samtalerne fandt sted over en længere årrække på Albrechts emeritus-kontor på University of Missouri, USA. Resultatet af disse samtaler og sammendrag af en lang række fotokopier af upubliceret arbejde, fundet på Albrechts kontor efter hans død, er nu samlet i et stort 7 binds værk "The Albrecht Papers" (Albrecht & Walters, 2011). Flere af bindene i "The Albrecht Papers" handler om "Soil Balancing" og betydningen af forholdet mellem næringsstofferne i jorden, men arbejdet med BCSR og det optimale forhold mellem Ca:Mg:K er ikke i væsentlig grad et resultat af Albrechts egen forskning. Værket fremstår desværre rodet og det er ofte svært at få overblik over hvornår Walker refererer til Albrechts originale arbejde eller hvornår der tolkes på andet arbejde.

Det var altså Bear, der introducerer begrebet den "ideale" jord og konkluderede, at en sådan jord har et balanceret forhold mellem base kationerne Ca, Mg og K og, at planternes vækst og vitalitet vil aftage, såfremt jorden afviger fra dette forhold (Bear et al. 1945). Bears hypotese er, at mange af de kemiske, fysiske og biologiske faktorer, der styrer jordens frugtbarhed påvirkes negativt, når der ikke er balance mellem base kationerne, og at der følgelig opstår ubalance mellem de mineralske næringsstoffer i planten. Herved forstyrres grundlæggende stofskifte-processer såsom fotosyntese, respiration og indlejring af kulhydrater i de høstbare dele af planten. Endvidere vil især drøvtyggere, der græsser på jord med markante afvigelser fra forholdet mellem basekationerne, påvirkes negativt i form af reduceret tilvækst og sygdomme, såsom græs-tetani (hypomagnesaemia), vil optræde, når indholdet af Mg i græsset er lavt, eller når indholdet af K er højt i forhold til indholdet af Ca og Mg.

Konceptet udspringer oprindeligt af en række forsøg, hvor Bear forsøgte at reducere luksusoptaget<sup>1</sup> af K i lucerne for at øge foderkvaliteten. I disse bestræbelser formulerede han konceptet om den "Ideale" jord og fandt, at den optimalt skulle bestå af 65% Ca, 10% Mg og 5% K på jordens kation ombytnings-complex (CEC, Cation Exchange Capacity eller Complex) (Bear et al. 1945). Dette forhold svarer til en BCSR for Ca:Mg:K på 13:2:1 for den "Ideale" jord, men forholdet mellem base-kationer varierer dog ganske meget mellem forskellige studier publiceret af Bear i 1940'erne. Graham (1959) modificerede tallene og foreslog, at værdierne frit kunne variere i intervallerne 65-85% Ca, 6-12% Mg og 2-5% K mætning af jordens samlede kation-ombytnings-kapacitet. Albrecht har ligeledes selv senere anvendt tilsvarende brede intervaller (Albrecht, 1967).

Det videnskabelige arbejde, der ligger til grund for disse værdier blev sammenfattet af Graham (1959), men kigger man grundigt ned i data bag disse publikationer er det uklart, hvordan de anbefalede værdier er fremkommet (Kopitkke & Menzies, 2007; Johnston et al. 2011; Chaganti & Culman, 2017). Endvidere er mange af forsøgene, som blev udført på det tidspunkt, ikke præcist beskrevet og med den viden vi har i dag, står det klart, at man ofte ikke havde styr på markante vekselvirkninger mellem Ca tilførslen og andre væsentlige faktorer i jorden, såsom ombytning mellem kationer, når der tilføres store mængder Ca, samt ændringer i pH, der utvivlsomt vil have påvirket iagttagelserne. Mange af forsøgene er udført i potter, hvilket var en meget udbredt forsøgsmetodik på det tidspunkt. I dag ved vi, at pottforsøg ikke er velegnede til at fastlægge niveauer af næringsstoffer på markniveau, da bl.a. forholdet mellem rod og jord i sådanne forsøg afviger så markant fra virkeligheden i marken, at forsøgene ofte ikke giver meget mening. Der er derfor grund til at være meget påpasselig med ukritisk at overføre forsøg med base-kationer og BCSR konceptet, udført for næsten 100 år siden, til nutidens landbrugsmæssige praksis.

Der er brug for en kritisk gennemgang af, hvor solidt grundlaget er for at anbefale ovenstående balance mellem base-kationer. Resten af dette afsnit vil derfor blive dedikeret til den analyse ved at gennemgå litteraturen, der foreligger på området, hvoraf det meste er fra perioden omkring 1940-1960. Meget af det publicerede materiale fra den gang er som tidligere nævnt ufuldstændig beskrevet, der mangles ofte statistisk bearbejdning, og generelt følger det ikke de nuværende standarder, der gælder for videnskabelig kvalitetsarbejde. Endvidere har eftertiden vist, at Albrecht tog afgørende fejl på en række områder, blandt andet kan man ofte i hans værker finde sætninger

---

<sup>1</sup> Luksusoptagelse er den proces hvor en plante akkumulerer et givent næringsstof i vævet over det niveau, der kræves for at understøtte de metaboliske funktioner. Typisk forekommer processen når et næringsstof findes i høje koncentrationer i jordvæsken.

som "Don't lime to fight acidity, lime to feed the plants". Det synpunkt ved vi er grundlæggende forkert i dag, da kalk-tilførsel netop er vigtig for at neutralisere den syre, der frigives, når de sure ioner (Al, Fe og Mn) frigives fra ombytningskomplekset og hydrolyserer i jordvæsken (Albrecht 1967; Husted & Jensen, 1997). Det betyder ikke, at Albrecht manglede kompetencer, men det indikerer, at tiden er gået, og meget ny viden er blevet skabt. Desuden er arbejdet produceret på en tid, hvor standarderne for jordbrugsforskning endnu ikke var udviklet til det stadie, det har i dag.

Hunter et al. (1949) undersøgte, hvordan Ca:K forholdet i jord påvirkede udbyttet af lucerne (*Medicago sativa*). I forsøget blev det konkluderet, at Ca:K forholdet frit kunne variere i forholdet mellem 1:1 og 100:1 uden, at det påvirkede udbyttet. Det blev konkluderet, at lucerne har en markant plasticitet, der fører til, at planten kan tilpasse sig et meget variabelt forhold mellem de to kationer.

Et enslydende resultat kom Giddens & Toth (1951) frem til ti år efter. Toth arbejdede sammen med Bear i 1940'erne og efterprøvede i 1951 Bears hypotese om, at den "ideale" jord fører til en forbedret frugtbarhed og dermed en bedre vækst. Fire forskellige jorde blev mættet med 7 forskellige ratioer af Ca:Mg:K, og i jorden blev der dyrket kløver (*Trifolium repens* L.). Forsøget viste klart, at der ikke var nogen sammenhæng mellem udbyttet og mætningsgraden af Ca. Rent faktisk fik man samme udbytte ved at mætte jorden med henholdsvis 40% K og 40% Mg, som når mætningsgraden lå på Bears værdier for den "ideale" jord for Ca:Mg:K på 65:10:5 (%). Siden har en lang række forsøg vist det samme resultat. Sammenfattende på tværs af jordtyper, afgrøder og klimazoner kan det konkluderes, at der ikke er en sammenhæng mellem Ca:Mg:K forholdet og jordens frugtbarhed, når man betragter de værdier, der normalt findes i landbrugsjord, og når udbyttet af afgrøden måles som respons variabel (Hunter, 1949; McLean and Carbonell, 1972).

McLean arbejdede sammen med både Bear og Albrecht i 1940'erne, og konkluderede senere i karrieren følgende: "there is no "ideal" basic cation saturation ratio or range" og "emphasis should be placed on providing sufficient, but not excessive levels of each basic cation rather than attempting to attain a favorable basic cation saturation ratio which evidently does not exist" (Eckert and McLean, 1981).

I et stort og samtidigt studie udført af Liebhardt (1981) advares der decideret mod at følge forholdet angivet for den "ideale" jord, da det blev fundet, at en samlet mætningsgrad på 75% for Ca og Mg, som netop anbefales af Bear (og senere Albrecht), fører til manganmangel i majs og sojabønne på

sandede jorde. Endvidere blev det fundet, at der ofte vil tilføres overdrevne mængder af Ca, Mg og K holdig gødning, kalk og andre jordforbedringsmidler per areal enhed, hvis Bears koncept følges.

I en engelsk vurdering af BCSR metoden finder man ligeledes, at der ikke er en sammenhæng i ratioen mellem Ca:Mg:K og hvedeudbyttet. Ved at sammenligne to jorde med meget forskellig forhold mellem Ca:Mg, henholdsvis 37:1 og 9:1, fandt man faktisk det største udbytte ved den ratio, der afviger mest (den på 37:1) fra BCSR idealet for Ca:Mg:K på 13:2:1 (65:10:5 i % af CEC) (Johnston et al. 2011). Anvender man BCSR konceptet vil det typisk medføre, at der på en jord med et Ca:Mg forhold på 37:1, skulle tilføjes mere Mg i form af enten dolomit eller  $MgSO_4$  (epsom salt), men analyse af den plantetilgængelige pulje af Mg viste, at der er rigelig Mg i jorden til at understøtte en frugtbar planteproduktion (Johnston et al. 2011).

BCSR systemets hypotese om et optimalt Ca:Mg:K forholdet på 65:10:5 % mætning af CEC i den "ideale" jord bygger i vid udstrækning på en antagelse om, at jordens fysiske struktur, aggregaternes stabilitet, porøsitet og hydrauliske ledningsevne antager et maksimum, når mætningsgraden af de divalente base kationer Ca og Mg er høj. Den antagelse holder stadig, og der er god grund til at antage, at den "ideale" jord vil have en god fysisk kvalitet i form af stabile aggregater, selvom vi i dag ved at aggregaternes stabilitet i jord styres af en lang række kemiske, fysiske og biologiske faktorer i et kompliceret samspil.

Det er velkendt og veletableret lærebogspensum på universiteterne, at Ca, og i mindre grad Mg, spiller en vigtig rolle for flokkulering af ler og humus og for stabilisering af de dannede aggregater. Men siden Bear i 40'erne formulerede hypotesen om den "Ideale" jord eller "The Balanced Soil" har forskningen vist, at organisk stof (humus) og eksudater fra rødder, svampe, mikroorganismer og jordboende smådyr (regnorme) spiller en mindst ligeså vigtig rolle, som Ca og Mg for sammenkitning og stabiliteten af både mikro- og makro aggregaterne (Weil & Brady, 2017). Det er derfor en oversimplificering at have et så stærkt og ensidigt fokus på forholdet mellem base kationerne. Nyere undersøgelser viser, at basekationernes evne til at flokkulere ler mineraler og dermed stabilisere mineralske aggregater følger sekvensen  $Na < K < Mg < Ca$ . Sætter man K til indeks = 1, finder man at Mg og Ca har en flokkuleringsevne, der er henholdsvis 15 og 25 gange større end K og Ca har en flokkuleringsevne, der er 1.7 gange større end Mg (Zhu et al. 2019). Flere forsøg har dog vist, at en høj Mg mætning på CEC i visse tilfælde fører til dispergering og ødelæggelse af jordstrukturen, hvorimod dette ikke synes at være tilfældet ved selv 100% Ca mætning (Dontsova & Norton, 1999). Det er derfor velbegrunder at holde niveauerne af både Mg og K på et moderat niveau, men det er



ikke muligt at finde videnskabelig evidens for at forholdet mellem Ca:Mg:K skal være 65:10:5 % i forhold til mætning på CEC eller med andre ord, at Ca indholdet skal være 6-7 gange større end Mg, og 13 gange større end K for at opnå den bedste stabilitet.

Der er heller ikke sammenhæng mellem ratioen af base-kationerne i jorden, og de værdier man finder i afgrøden. Typisk vil K koncentrationen i det fotosyntese aktive væv være 7-10 gange højere end Ca koncentrationen, selvom mætningsgraden af Ca i jorden ofte er 20-25 gange større end den man finder for K (Johnston, 2011). Planter er udstyret med en fascinerende plasticitet, der gør det muligt for afgrøderne, at fastholde koncentrationen af næringsstofferne på et konstant niveau (homeostase) til trods for, at koncentrationen i jorden svinger ganske meget (Husted & Jensen, 1997).

### **3. Tolkning af Albrecht analysen**

Albrechts jordanalyse (se appendix 1) er langt mere omfattende end den klassiske jordanalyse, der typisk kun omfatter de parametre, der er omtalt i tabel 1, dog ofte koblet til analyse af tekstur og organisk stof. Albrecht-analysen analyserer alle 14 mineralske næringsstoffer (med undtagelse af N, hvilket kan undre), samt en række grundstoffer, der ikke er essentielle for planter, såsom Na, Jod og Cobolt, der potentielt kan påvirke foderkvaliteten af afgrøden. Desuden analyseres pH i flere forskellige ekstrakter, kation ombytningskapaciteten (CEC), organisk stof og indholdet af kulstof. Forholdet mellem flere af grundstofferne beregnes, og resultatet ledsages af en kommentar fra udbyderen af Albrecht analysen. Albrecht publicerede aldrig studier med et så omfattende analyseprogram. Ved en gennemgang af litteraturen på området, ser det ud til at Charles Walters i et samarbejde med Neal Kinsey i forbindelse med udgivelsen af bogen "Hands on Agronomy" (Kinsey & Walters, 2013), og ved en meget aktiv foredrags og populærvideenskabelig aktivitet, har opfundet og promoveret det omfattende analyseprogram i Albrechts navn. I den videnskabelige litteratur findes der ingen publiceret dokumentation for, at det fulde analyseprogram, der beskrives i Albrecht metoden giver signifikante fordele i en sammenligning med de klassiske jordanalyser. Iowa State University publicerede i 2007 en rapport, hvor der på tværs af 11 gårde blev sammenlignet tilførsel af næringsstoffer efter enten ratio-princippet i Albrechts jordanalyse (BCSR) eller, hvor de blev tildelt efter de mængder, der foreskrives når de klassiske jordanalyser anvendes. Forsøgene viste, at der oftere må tilføres gødning og jordforbedringsmidler til de jorde, der dyrkes efter Albrechts

metode. Men der blev ikke fundet signifikante forskelle i hverken udbytte eller kvalitet af afgrøden, uanset om jordanalyserne blev tolket efter Albrechts eller de klassiske metoder (Exner, 2007).

**Konkret tolkning af Albrecht analyse, case: 89534, Landmand Per Grube (appendix 1):** Der er ikke udført en teksturanalyse, men jorden angives som en let (sandet) jord med en pH værdi på 6,2 hvilket må anses for at være inden for normalområdet. Ler-indholdet i jorden betinger ikke, at pH værdien bør justeres mod højere pH. Indholdet af organisk stof er relativt lavt (1.8%), og det er korrekt at anføre en bemærkning om, at der bør tilstræbes opbygning af organisk stof i jorden, det vil fremme porøsitet, ombytningskapacitet (CEC) og den vandholdende evne.

Kationer er angivet med forkert valens, sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) er fejlagtigt placeret under kationer og er fejlagtigt anført som  $\text{SO}_3$  (sulfit), og det kan undre, hvorfor P er angivet som  $\text{P}_2\text{O}_5$  (fosforpentoxid) fremfor blot elementært P, som normalt anvendes når data rapporteres for jordanalyser. Alle grundstoffer anført under "kationer" er ekstraheret med en Mehlich-3 opløsning, og anvender man de sædvanlige korrektionsfaktorer (Culman et al. 2019), svarer det for Mg vedkommende til et dansk Mg-tal på ca. 2, hvilket dermed er korrekt anført som lavt/meget lavt, og derfor kræver justering med egnet Mg gødning. Det undrer dog, at det i kommentarfeltet angives, at Mg skal tilføres som bladgødsning. Der er et markant behov for, at justerer Mg niveauet i jorden til et højere Mg-tal, men bladgødsning er kun egnet, som akut udbedring for at undgå mangel i vækstsæsonen. Alle de øvrige kationer ligger inden for normal området. Det bemærkes, at P er ekstraheret efter Olsen-P (som normal praksis i Danmark) og angivet som  $\text{P}_2\text{O}_5$ , hvorfor det vil svare til et P-tal på 2,3, hvilket er i den lave ende af normalområdet. Der er ingen kommentar om at være opmærksom på P-tallet.

Forholdet mellem Ca, Mg og K giver anledning til bemærkninger om, at jorden er over-flokkuleret og tør, hvilket der slet ikke er belæg for med de angivne analysetal. Aggregatstabiliteten i en let jord med de angivne værdier vil ikke være påvirket af det aktuelle niveau for base-kationer (K, Mg og Ca). Aggregaternes stabilitet vil i vid udstrækning være påvirket af jodens lave indhold af organisk stof.

I afsnittet "Biologi" er der angivet kommentarer som "godt biologisk miljø" og "forbedre jordbiologi", hvilket der ikke findes noget fagligt belæg for. Der er intet videnskabeligt belæg for at koble Albrecht analyserne eller andre kemiske jordanalyser med det biologiske miljø.

Mikronæringsstofferne er angivet i enheden mg/L, hvilket forekommer besynderligt. Normalt vil man angive deres koncentration i mg/kg (ppm). Det er ikke muligt, at vurdere om de angivne værdier er normale eller giver anledning til kommentarer. For enkelte mikronæringsstoffer såsom Mn giver det ikke mening at udføre en jordanalyse, da Mn er meget redox sensitivt og derfor meget påvirkeligt over for prøveudtagning, opbevaring og analyse. Mn kan kun vurderes ud fra en planteanalyse.

Man kan overordnet konkludere, at Albrecht analysen ikke fremkommer med flere valide konklusioner, end dem der ville kunne afsløres i en klassisk dansk jordanalyse, som endda kan udføres meget billigere.

#### **4. Solvita testen til måling af jordens respiration**

Firmaet Solvita udbyder en række relativt simple udførte test til at kvantificere frugtbarhed ([www.solvita.com](http://www.solvita.com)). Ved hjælp af Solvita CO<sub>2</sub> testene kan respiration i en jordprøve måles ved hjælp af en test-probe, der placeres sammen med jordprøven i en gas tæt beholder. Proben skifter farve alt efter mængden af frigivet CO<sub>2</sub> fra jordprøven, og herved kan den samlede respiration fra primært mikroorganismer måles. Metoden kan anvendes efter to forskellige principper, hvor der enten måles direkte på en sigtet frisk jordprøve over en periode på typisk 24 timer eller på en tørret, sigtet og genopfugtet jordprøve. I sidstnævnte modifikation måler man det såkaldte "CO<sub>2</sub> burst", som angiveligt skulle afspejle jordens kapacitet for respiration (Brinton et al. 1996). Endvidere markedsføres simple test til måling af organisk bundet kvælstof (SLAN-test, Soil Labile Amino Nitrogen) samt en mekanisk test til måling af jordaggregaternes stabilitet (VAST, Volumetric Aggregate Stability Test). Metoderne er udviklet af William Brinton, som også er ejer af Woods End Laboratorierne, der siden 1974 har specialiseret sig i analyse af jordens frugtbarhed ved hjælp af primært respirations målinger. Solvita respirationsmetoden blev oprindeligt udviklet til at måle modenheden af kompost. Adskillige videnskabelige artikler med peer-review har vist, at metoden er meget velegnet til netop det formål, da modnet og velomsat kompost stabiliserer CO<sub>2</sub> frigivelsen fra respirations processerne på et relativt lavt og stabilt niveau set i forhold til umoden kompost (Changa et al. 2003).

Hvorvidt respirationstesten kan benyttes til at måle en jords frugtbarhed beror på hypotesen om, at en frugtbar jord vil have en højere respiration end en tilsvarende jord med mindre frugtbarhed,

og, at en evt. forskel kan afspejles ved hjælp af denne meget simple test. Brinton har selv medvirket på flere rapporter og videnskabelige publikationer, der antyder at dette kan være tilfældet (bl.a. Jemison et al. 2019; <https://solvita.com/publications>). Men der er endnu ikke udført uvildige test på det nødvendige antal jorde, der udspænder variabiliteten i jordtype og frugtbarhed. Derfor er det endnu ikke muligt at vurdere, om Solvita og andre test til måling af jord-respiration kan anvendes til at bestemme jordens frugtbarhed. Det vil af indlysende årsager ikke give mening at udføre en respirationstest på tilfældige jordprøver på et tilfældigt tidspunkt. Resultatet vil f.eks. være afhængig af, om der lige er nedmuldet halm. I en sådan jord vil respirationen være meget høj, men frugtbarheden på måletidspunktet vil være lav, da N og andre næringsstoffer vil immobiliseres. Frugtbarheden vil først manifestere sig efter flere års nedmuldning, hvor der er etableret en quasi ligevægstilstand, der mobiliserer plantetilgængeligt N og andre næringsstoffer. I jorde af den type, hvor der er etableret en art tilsyneladende ligevægt, er der god grund til at tro, at frugtbarheden vil være korreleret med jordrespirationen og for den sags skyld med en lang række andre faktorer såsom: indhold af omsat organisk stof, aggregatstabiliteten, porøsitet, labilt organisk N, regnormegange og ombyttelige næringsstoffer.

## 5. Konklusion

En kritisk og videnskabelig baseret gennemgang af baggrunden for Albrechts jordanalyse viser klart, at hypotesen om, at ratioen mellem næringsstofferne (base kationer) spiller en afgørende rolle for jordens frugtbarhed, ikke støttes af den videnskabelig litteratur på området. Planter (landbrugs- og havebrugsafgrøder) udviser en høj grad af plasticitet og der opnås hverken bedre udbytte eller plantekvalitet, når ratioen mellem næringsstoffer optimeres i forhold til de værdier, der er angivet i BCSR (Albrecht metoden). Desuden er der heller ikke belæg for, at jordens fysiske struktur er bedre ved de ratioer, der angives som optimale i BCSR. Tværtimod viser forsøgene på området, at gødskning og jordforbedring efter Albrechts metode kan føre til en unødvendig tilførsel af grundstoffer (naturressourcer), som potentielt kan belaste både miljø, klima og planteavlens økonomi.

Albrechts jordanalyse, som den markedsføres i dag, består af et omfattende program af analyser for både essentielle makro- og mikronæringsstoffer samt af sporstoffer, der har betydning for foderkvaliteten (Appendix 1). Procedurerne følger analytiske principper, der ikke anvendes for jordanalyser i Danmark, hvorfor der kun i begrænset omfang findes egnede data, der kan benyttes

som reference, når en tolkning af data skal foretages. Metoderne er dog bredt anerkendte i f.eks. USA, England og Australien, hvor de i vid udstrækning anvendes i både det konventionelle- og økologiske jordbrug. Den eneste markante forskel, der i virkeligheden findes mellem Albrechts jordanalyse og mange af de klassiske jordanalyser, er faktisk anvendelsen af ratioer mellem grundstofferne og ikke mindst den tolkning, der ligger bag data. Tolkningen af data i Albrecht-analysen er ofte temmelig vidtgående, og ikke altid støttet af den videnskabelige litteratur på området. På enkelte områder forekommer analyserne meningsløse, og i visse tilfælde er der fundet deciderede fejl i den måde, som data beskrives og fortolkes.

Blandt mange økologer er der et velbegrundet ønske om at betragte landbrugsjorden, som mere end et system, der kan beskrives ved hjælp af de kemiske og fysiske analyser, som anvendes i de klassiske jordanalyser. Men Albrechts metode er faktisk ikke markant anderledes end de klassiske jordanalyser. Analyseprogrammet er mere omfattende, men stadig udelukkende baseret på kemiske ekstraktioner og en fysisk karakteristik. Albrechts metode er ikke i stand til at inddrage mikroorganismernes og det øvrige dyreliv i jorden, eller parameterisere "den levende jord". Vælger man Albrecht-analysen til, fravælger man således ikke den klassiske tilgang til tolkning af jordbundsanalyserne og fokus flyttes ikke fra planteernæringen til jordens liv, fordi analysen ikke kan inddrage det komplekse system mellem kemi, fysik og biologi. Der er intet belæg for, at der eksisterer en sammenhæng mellem jordanalysens resultater og aktiviteten af jordens mikroorganismer og smådyr.

Brock et al (2019) udtrykker dette misforhold på følgende vis "The persistence of soil balancing practitioners in the face of scientific skepticism provides an example of a gap between knowledge derived from rigorous scientific experiments and expertise drawn from practical experience"

Inddragelsen af Solvita analyserne i kombination med kemiske jordanalyser repræsenterer et forsøg på at inddrage biologien i en samlet tolkning af jordens frugtbarhed. Der mangler dog fortsat en solid afprøvning af Solvita metoden på tværs af forskellige jordtyper med variabel frugtbarhed, for at kunne skabe evidens for, at der er en sammenhæng mellem respiration og frugtbarhed.

## **6. Perspektivering**

På baggrund af ovenstående kan det ikke forventes, at Albrecht analysen og jordrespirationsanalyser såsom Solvita analysen vil være i stand til at karakterisere jordens

frugtbarhed bedre end de klassiske jordanalyser. Albrecht analysen er tilmed meget kostbar (2400,- DKK) sammenlignet med en klassisk analyse, der kan gennemføres for 2-300,- DKK. Da de klassiske jordanalyser er meget veletablerede, og bygger på mere end 30 års data indsamlet på et meget stort antal danske landbrugsjorde, vil det give mere mening at fastholde anvendelsen af dem i kombination med simple jordfysiske målinger af porøsitet (jordpakning) og aggregatstabilitet. Endvidere bør der være et stærkere fokus på anvendelse af planteanalyser. En planteanalyse, der er korrekt udtaget, vil være langt bedre end en jordanalyse til at fastlægge, om niveauet af f.eks. mikronæringsstoffer er passende. Endvidere vil planteanalysen være meget velegnet til at vurdere, om der er balance mellem næringsstofferne, og samtidig vurdere om f.eks. jorden lider af kalktrang. I sådanne tilfælde vil koncentrationen af Fe, Mn og Al være markant forhøjet. Endvidere vil en række af de velkendte antagonismer mellem K, Mg og Ca tydeligt fremgå af planteanalysen, hvilket heller ikke vil fremgå med sikkerhed af jordanalysen. En planteanalyse af samtlige essentielle næringsstoffer er efterhånden kommet så meget ned i pris, at den kan gennemføres for ca. 250,- DKK, hvilket er medvirkende til, at den bør finde indpas i en større del af jordbruget. Endvidere er der et stort uudnyttet potentiale for at anvende nye spektroskopiske teknikker, såsom klorofyl fluorescens analyse. Fluorescens analysen tager ganske få minutter, kan anvendes direkte i marken, er velbeskrevet og et meget nyttigt værktøj til at måle fotosynteseeffektiviteten og forskellige former for stress i afgrøder. Fluorescens analysen kan ydermere benyttes til at identificere bl.a. fosfor- og manganmangel langt før det kan detekteres med andre teknikker (Maarschalkerweerd & Husted, 2015).

-oOo-

## 7. Litteratur

Albrecht WA, Waters C (2011). The Albrecht papers. Vol. 7. Acres, USA.

Albrecht W (1967): Soil Reaction (pH) and Balanced Plant Nutrition. paper was prepared for an illustrated lecture in Alamosa, Colorado, sponsored by the County Agricultural Extension Service in the College Auditorium August 31, 1967, and for a seminar at Canon City Colorado, under invitation of the Western Soils Company, Waterloo, Iowa. September 1-2, 1967.

Bear, FE, Prince AL, Malcolm JL (1945). Potassium needs of New Jersey soils. Bull. 721. N. J. Agric. Exp. Stn., New Brunswick.

Brinton, W (1996) A new soil test for general biological activity. IFOAM Research Conference, Oxford University, Sussex UK.

- Brock, C., Jackson-Smith, D., Kumarappan, S., & Brown, C. (2019). Farmer and Practitioner Conceptions and Experiences with Soil Balancing. OSU Technical Report. Available online: [http://go.osu.edu/SB\\_Practices\\_Report](http://go.osu.edu/SB_Practices_Report).
- Chaganti VN, Culman SW (2017) Historical Perspective of Soil Balancing Theory and Identifying Knowledge Gaps: A Review. *Crop, Forage and Turfgrass Management*, 3, 1-7.
- Changa CM, Wang P, Watson ME, Hoitink H & Michel Jr. F (2003). Assessment of the Reliability of a Commercial Maturity Test Kit for Composted Manures, *Compost Science & Utilization*, 11:2, 125-143.
- Culman S et al. (2019) Converting between Mehlich-3, Bray P, and Ammonium Acetate Soil Test Values. *Ohioline, Ohio State University Extension. ANR-75. Agriculture and Natural Resources*.
- Dontsova K, Norton DL (2001) Effects of exchangeable Ca:Mg ratio on soil clay flocculation infiltration and erosion. *Purdue University, Agronomy Department*.
- Eckert DJ, McLean J (1981). Basic cation saturation ratios as a basis for fertilizing and liming agronomic crops: I. Growth chamber studies. *Agron. J.* 73:795–799.
- Exner R (2007) *Soil Fertility Management Strategies - Philosophies, Crop Response and Costs -- Sustainable Agriculture*. Iowa State University, Extension and Outreach.
- Giddens, J., and S.J. Toth. (1951). Growth and nutrient uptake of ladino clover on red and yellow grey-brown podzolic soils containing varying ratios of cations. *Agron. J.* 43:209–214.
- Graham, E.R. (1959). An explanation of theory and methods of soil testing. *Bull. 734. Missouri Agric. Exp. Stn., Columbia*.
- Hunter, A.S. (1949). Yield and composition of alfalfa as influenced by variations in the calcium-magnesium ratios in the soil. *Soil Sci.* 67(1):53–62. doi:10.1097/00010694-194901000-00007
- Husted S, Jensen LS (1997) *Compendium in Plant Nutrition and Soil Fertility*. University of Copenhagen, Chapter 2.
- Jemison JM et al. (2019). Soil Health of Recently Converted No-till Corn Fields in Maine, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50:19, 2384-2396, DOI: 10.1080/00103624.2019.1659302.
- Johnston J (2011). *Assessing soil fertility; the importance of soil analysis and its interpretation*. PDA report, Potash Development Association. Rothamsted Research, UK.
- Kinsey N, Walters C (2013) *Hand on Agronomy*. Acres, USA.
- Kopitkka PM, Menzies NW (2007). A review of the Use of the Basic Cation Saturation Ratio and the “Ideal” Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:259–265.
- Liebhart WC. (1981). The basic cation saturation ratio concept and lime and potassium recommendations on Delaware’s Coastal Plain soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:544–549.
- Loew, O. 1892. *Über die physiologischen funktion der kalzium- und magnesiasalzein planzen organisms*. *Flora* 75:368–394.

McLean EO, Carbonell MD (1972). Calcium, magnesium, and potassium saturation ratios in two soils and their effects upon yield and nutrient contents of German millet and alfalfa. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36:927–930.

Mundus S, Carstensen A, Husted S (2014) Testing for plant available phosphorous in soils. *Proceedings from the International Fertilizer Society, Cambridge, 738, 1-24.*

Rubæk GH, Kristensen K. (2017). Protocol for Biocarbonate extraction of inorganic phosphate from agricultural soils. *DCA rapport, nr. 102.*

Schmidt SB, Husted S (2019) Advances in understanding manganese cycling in soils, acquisition by plants and ways of optimizing manganese efficiency in crops. *Achieving sustainable crop nutrition, Vol 1, Chapter 19, Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2019. DOI: 10.19103/AS.2019.0062.19 pp. 48.*

Sørensen NK & Bulow-Olsen A (1994). *Fælles arbejdsmetoder for jordbundsanalyser, Plantedirektoratet.*

Maarschalkerweerd M, Husted S (2015). Recent developments in fast spectroscopy for plant mineral analysis. *Frontiers in Plant Science, 169, 1-16.*

Weil RR, Brady NC (2017). *The Nature and Properties of Soils. Pearson, 15th edition.*

Zhu Y et al. (2019). Re-examining the flocculating power of sodium, potassium, magnesium and calcium for a broad range of soils, *Geoderma, 352, 422-428.*