

RIJKSLANDBOUWPROEFSTATION TE WAGENINGEN.

Scheikundig bodemonderzoek ¹⁾

DOOR

Dr. D. J. HISSINK.

Zoo men niet bij ervaring had, dat aan het invoeren van een tal van goede dingen in den eersten tijd altoos overdrijving en dus onwaarheid verbonden is, zou men een streng oordeel moeten uitspreken over dat indringen; maar wat natuurlijk is moet zijn loop hebben.

De scheikunde der bouwbare aarde door G. J. Mulder, 1860, III, 483.

1. Inleiding. ²⁾

Toen in de eerste helft der vorige eeuw de natuurwetenschappen — en daaronder de scheikunde zeker niet in de laatste plaats — een hoogere vlucht namen, vonden ze direct een ruim veld van toepassing op het gebied der landbouwkunde.

Men leerde de samenstelling der verschillende planten kennen. Behalve koolstof, waterstof, zuurstof en stikstof bleken tal van andere elementen aanwezig te zijn, waaronder zwavel, phosphorus, silicium, chloor, kalium, natrium, magnesium, ijzer en calcium.

De scheikundige analyse van den bodem toonde aan, dat ook in den grond deze stoffen voorkomen en in den mest, welke toegediend wordt om de voortbrengende kracht der bouwkruiden te verhoogen, vond men wederom dezelfde elementen terug.

Wat was natuurlijker dan dat men meende uit eene eenvoudige analyse der plant, gepaard met een scheikundig onderzoek van

¹⁾ Voor het begrip „bodem” zij verwezen naar de door Mitscherlich (Bodenkunde, 1905, 1) gegeven definitie: „Boden ist ein Gemenge von mehr oder minder kleinen, festen Teilchen, Wasser und Luft, welches, versehen mit den erforderlichen Pflanzennährstoffen, als Träger einer Vegetation dienen kann”

²⁾ Zie ook „Naaste doeleinden der bemestingsleer”, door Adolf Mayer, Landbouwkundig Tijdschrift, 1893, 15 en mijne in November 1901 te Medan en te Bindjey (Deli) gehouden voordrachten; Mededeelingen uit 's Lands Plantentuin te Buitenzorg, LXII, blz. 57.

2086657

den bodem, te kunnen opmaken, wat de meest doelmatige meststof voor dit gewas zou zijn.

Reeds Davy ³⁾ verkondigde deze meening in 1814; we lezen bij hem: „Is een bodem onvruchtbaar en is men op middelen bedacht, dit gebrek te verbeteren, zoo moet men voor alle dingen de oorzaak der onvruchtbaarheid opsporen, welke noodzakelijk in de menging zijner bestanddeelen ligt, die zich door eene scheikundige ontleding laat vinden.” Zoo dacht men algemeen nog in de vijftiger jaren der vorige eeuw. Men hoedde zich als bij het invoeren van een tal van goede dingen niet voor overdrijving; men stelde te hooge verwachtingen aan het scheikundig bodemonderzoek — en kwam bedrogen uit.

G. J. Mulder ⁴⁾ was een der eersten, die niet die groote waarde aan de kennis van de scheikundige samenstelling van den bodem hechtte, omdat men uit die samenstelling, zooals de analyse haar leert, niet kan opmaken, hoe de bodem eigenlijk voor de kultuur is. Hij meent zelfs, dat de volkomene nutteloosheid van analyses van gronden, om daaruit te leeren of zij vruchtbaar zijn of niet, niet te zeer betoogd kan worden; alles, gaat Mulder voort, komt neder op *beschikbaar* zijn, hetwelk uit het *voorhanden* zijn niet kan worden afgeleid: de analyse leert wat er is, en de landbouw moet van hetgeen er is kunnen partij trekken. Boussingault merkt terecht op, dat een bodem, die 4 pCt. potasch bevat in vrijen staat, volkomen onbruikbaar is door zoo-veel alcali, terwijl een bodem uit poeder van feldspath, waarin 16,7 pCt. potasch voorkomt, nog wel hout-asch kan behoeven om alcali genoeg te bekomen. Vier pCt. vrije potasch is veel te veel; 16,7 pCt. gebonden potasch, die voor de plant niet, of slechts voor een minimum in één gewas bereikbaar is, is veel te weinig ⁵⁾.

Hier aan toe te voegen is het bekende voorbeeld uit Mayer's leerboek ⁶⁾. In een zeer onvruchtbaren grond vond men 3 pCt. kali; het Nijlslib daarentegen, misschien de vruchtbaarste grond, die er bestaat, bevatte $\frac{1}{2}$ pCt. van dit bestanddeel; en toch was de eerstgenoemde zeer dankbaar voor eene kalibemesting, niet-tegenstaande zijn hoog kaligehalte, terwijl eene bemesting van het slib der Nijl in het geheel geene uitwerking heeft.

De oorzaak is thans bekend. De scheikundige samenstelling van den bodem is een zeer belangrijke factor, maar niet alleen het quantum, ook het quale geldt, zooals Mulder zich reeds kernachtig uitdrukte. Het komt er niet alleen op aan te weten, hoeveel van een zeker bestanddeel in den bodem is, van even-

³⁾ Elemente der Agrikultur-chemie, Berlin 1814, S. 3 (naar Mulder, IV, 390).

⁴⁾ G. J. Mulder, De scheikunde der bouwbare aarde, 1860; IV, 389 „Scheikundig onderzoek van bouwbare aarde”.

⁵⁾ Mulder, IV, 394.

⁶⁾ Lehrbuch der Agrikulturchemie von Adolf Mayer. Die Bodenkunde, 1901, blz. 87.

veel, misschien van nog meer belang is het te weten, onder welken vorm het voorkomt; of het gemakkelijk door de planten kan worden opgenomen, terwijl ook de onderlinge verhouding, waarin de plantenvoedende bestanddeelen voorkomen, van belang is.

Waar ten tijde van Mulder alsnog geen methoden bestonden, om bij analyse te beslissen, welke stoffen beschikbaar en welke niet beschikbaar zijn voor de planten, achtte hij het voorloopig het beste om de korrelige deelen (die losheid geven) en de fijne deelen (die vastheid geven en water binden, de eigenlijke klei), te onderscheiden van het geleiachtige silikaat, dat in verdunde zuren oplosbaar is. Voor dit laatste zou dan eene herhaalde uittrekking met slap, vervolgens met toenemend sterk zoutzuur, aan te bevelen zijn ⁷⁾.

Voor al het zeolitische deel, dus de geleiachtige stoffen volgens Mulder, zijn als belangrijk deel der bouwaaarde te beschouwen. Ze zijn hem ⁸⁾ het essentieele van de vruchtbaarheid; ze zijn in geringe hoeveelheid in schrale zandgronden, in groote hoeveelheid in vette kleigronden aanwezig. Zij bestaan uit de humusstoffen en uit complexe aluinaarde-ijzeroxyd- en oxyd-silikaten in geleiachtigen toestand, die de vier bases (kalk, magnesia, kali, natron) en tevens phosphorzuur en humuszuren in hun complex kunnen opnemen. In zuren zijn ze oplosbaar, zoodat zij de stoffen zijn, die de aluinaarde en verder het grootste deel van het ijzer-oxyd (oxydule), de kalk, magnesia, natron, kali, het phosphorzuur, de humuszuren leveren, welke door uittrekking der aarde met zoutzuur in oplossing worden verkregen, onder vrijwording van kiezelzuur, welk laatste door alkaliën kan worden opgelost. Mulder geeft ze den naam van zeolitische silikaten, welke benaming van Bemmelen minder juist acht, waarom deze ze geleiachtige silikaten noemt. Deze gelatineuse silikaat- en humuscomplexen zijn de opbergers en bewaarders der plantenvoedingsstoffen — de assimileerende en conserveerende elementen.

2. Het scheikundig bodemonderzoek kan in de eerste plaats ten doel hebben het karakter van een grondsoort vast te stellen. ⁹⁾

Het is vooral van Bemmelen geweest, die het scheikundig bodemonderzoek opgevat heeft in de door Mulder aangegeven

⁷⁾ Zie ook van Bemmelen, Bijdrage tot de wetenschappelijke biographie van G. J. Mulder, 1901, 20.

⁸⁾ Van Bemmelen, t. a. p. 6.

⁹⁾ Buiten bespreking blijven hier die gevallen, waarin het scheikundig bodemonderzoek dient om de aanwezigheid van schadelijke bestanddeelen vast te stellen (bijv. schadelijke ferroverbindingen). In dit verband zij hier ook genoemd de bepaling van het gehalte aan keuzenzout van overstroombad geweest zijnde landen.

richting. Zijne onderzoekingen ¹⁰⁾ hebben hem tot de uitkomst geleid, dat de gelatineuse humus-komplexen en de gelatineuse silikaten (van aluinaarde, ijzeroxyde, enz.) geene chemische verbindingen zijn in bepaalde verhoudingen, maar kolloïdale absorbtie-verbindingen in onbepaalde verhoudingen. Zij kunnen in hun kolloïdaal waterhoudend kompleks allerlei stoffen absorbeeren, zoowel phosphorzuur en bases als geheele zouten (de laatste in de zwakste hoeveelheid). Zij kunnen tevens met zoutoplossingen bases uitwisselen. De absorbtie is van dien aard, dat het evenwicht, hetwelk zich instelt tusschen de absorbeerende stof en de oplossing, eene functie is 1°. van de natuur en van den (voor wijziging vatbaren) molairen bouw van het colloïd; 2°. van het specifiek absorbtievermogen voor elke stof (K_2O , P_2O_5 , enz.); 3°. van de concentratie zelve en 4°. van de temperatuur. De vorm dier functie is natuurlijk nog geheel onbekend.

Maar verder heeft van Bemmelen, zich bewegende op den door Mulder aangegeven weg, tal van analyses van bouwgronden gegeven, die zonder twijfel theoretische en praktische waarde hebben.

Het zou mij te ver voeren, dit in extenso aan te toonen. Ik bepaal mij tot het volgende. Door van Bemmelen ¹¹⁾ is ingesteld een zeer uitvoerig onderzoek naar de samenstelling van enkele voor de tabakscultuur bestemde gronden op Deli (Sumatra's Oostkust) en hij heeft getracht samenhang te vinden tusschen de resultaten van dit scheikundig onderzoek en de vruchtbaarheid van den Delibodem voor de tabak. De oorzaken, die volgens hem tot de vruchtbaarheid van den Deligrond bijdragen, zijn:

- 1°. Een hoog gehalte aan humus en in ammoniak oplosbare humaten.
- 2°. Een hoog stikstofgehalte.
- 3°. Een hoog phosphorzuurgehalte.
- 4°. Een goed gehalte aan in verdund zuur oplosbare kali.
- 5°. Het feit, dat deze kali niet aan zoutzuur en zwavelzuur, maar aan humusstoffen en in het colloïdaal silicaat gebonden is.
- 6°. Een hoog gehalte aan in zoutzuur oplosbaar colloïdaal silicaat, dat veel gebonden water bevat en een zeer basisch aluminium silicaat is (1 tot 2 moleculen SiO_2 op 1 molecule Al_2O_3).
- 7°. Eene zoodanige physische samenstelling van het silicaat, dat de grond niet tot eene te harde kleimassa indroogt. Zoo droogt de roodbruine grond ¹²⁾ in tot een gemakkelijk fijn te wrijven, korrelige massa.

¹⁰⁾ Zie t. a. p., blz. 32, noot 1.

¹¹⁾ Zie de verschillende publicaties in den 37sten Band der Versuchsstationen, 1890.

¹²⁾ Zie voor de verschillende grondsoorten mijne „Grondsoortenkaart van een gedeelte van Deli, met toelichting”, Buitenzorg, 1901.

Verder wordt vermeld, dat de humus, de losse physische geaardheid van den grond en de eigenaardige samenstelling van het verweeringssilikaat ongetwijfeld zeer gewichtige momenten zijn voor het behoud van het juiste vochtgehalte en voor de voeding der planten door de wortels.

Het zal door niemand betwijfeld worden, dat de tijd, aan bodemonderzoek besteed in deze richting, goed besteed is en verre van nutteloos.

3. In de tweede plaats kan het scheikundig bodemonderzoek zich ten doel stellen de behoefte van den bodem te bepalen aan plantenvoedingsstoffen.

Dit is de vraag van de praktijk, die weten wil, welke stoffen de bodem bevat en welke ontbreken, om daaruit regelen voor de bemesting vast te stellen. Om deze vraag te beantwoorden ving men aan te bepalen, hoeveel stoffen — en wel in het bijzonder hoeveel stikstof, phosphorzuur, kali en kalk — in oplossing gingen door den bodem bij kookhitte met sterke zuren te behandelen. Zoo werd voor de stikstofbepaling met sterk zwavelzuur gedestruerd; voor de phosphorzuurbepaling met sterk salpeterzuur en voor de kali- en kalkbepaling met sterk zoutzuur gekcokt. Talloos is het aantal analyses, dat aldus werd uitgevoerd. Thans nog geschieden alle bodemanalyses bij de Nederlandsche proefstations op deze wijze, al is haar aantal niet groot meer. De waarde der verkregen resultaten bleek van twijfelachtigen aard te zijn en wel om de volgende reden. Door eene dergelijke analyse is men wel in staat het gehalte van den bodem aan de verschillende vruchtbaarmakende stoffen, die voor de plantenvoeding in aanmerking komen, te bepalen, maar daarmee is nog niet vastgesteld, of de planten deze door sterke zuren in oplossing gebrachte verbindingen ook kunnen opnemen. Toch komt het mij voor, dat het wel mogelijk is de wijze van scheikundig bodemonderzoek, berustende op het extraheeren van den bodem met sterke zuren, meer te benutten dan soms geschiedt. Dit onderzoek geeft toch altijd onderling vergelijkbare uitkomsten. Wanneer door voorafgaande breed opgezette studie's het karakter van eene grondsoort is vastgesteld, dan kunnen andere gronden van hetzelfde typus, gelegen in dezelfde streek en dienende voor dezelfde cultuur, hiermede en verder onderling vergeleken worden. Van dit idee uitgaande, heb ik de verschillende grondsoorten, die op Deli voor de tabakscultuur gebruikt worden, onderzocht ¹³⁾ en meen uit de resultaten van dit grondonderzoek, in verband met de uitkomsten der bemestingsproeven, eenige regels voor de bemesting te hebben kunnen vaststellen.

¹³⁾ Landbouwkundig Tijdschrift, 1903, Onderzoek op Deligronden, 405, 439.

Ook anderen zijn deze meening toegedaan. Zoo gaf Mayer¹⁴⁾ in 1903 een aardig voorbeeld van de beteekenis van grondanalyses. In dat jaar werden aan het Rijkslandbouwproefstation Wageningen ter onderzoek aangeboden vier gronden, afkomstig van eene onderneming op Deli, waarvan drie bevredigende oogsten van goede tabak opleverden, terwijl het vierde daarop eene uitzondering maakte. Bij het onderzoek (verricht op de gebruikelijke wijze door extractie met sterke zuren) kwam aan het licht, dat het gehalte aan kali in de goede gronden 0,14—0,16 pCt. bedroeg, in den slechten grond slechts 0,05 pCt., terwijl overigens geen verschil kon worden geconstateerd.

G. Thoms¹⁵⁾ meent, dat men op grond van chemisch en mechanisch bodemonderzoek in staat is een indruk over de vruchtbaarheid der onderzochte gronden te krijgen.

Ten slotte zij hier de meening van R. Heinrich¹⁶⁾ aangehaald: Hoe meer men zich met de scheikundige bodemanalyse bezighoudt, des te meer neemt deze hare rechten in de bemestingsleer weer in, als trouwe raadgeefster van den landbouw. Door groote series bodemanalyses, uitgevoerd volgens eene zelfde methode, is vastgesteld, dat een vruchtbare bodem in den regel ook rijk is aan de voornaamste plantenvoedende stoffen, terwijl onvruchtbare gronden althans enkele dezer stoffen missen.

Onwillekeurig vraagt men zich af, waaraan het toch is toe te schrijven, dat niettegenstaande de twijfelachtige resultaten, de methode van scheikundig bodemonderzoek, die den bodem extraheert met sterke zuren bij kookhitte, telkens weer wordt ter hand genomen. Het antwoord kan als volgt worden gegeven. Zooals reeds opgemerkt is, stelt de praktijk de vraag, aan welke bestanddeelen een bodem behoefte heeft om het een of andere gewas op te leveren. De middelen om te trachten deze vraag te beantwoorden zijn de volgende:

1. Vegetatie- en bemestingsproeven;
2. De analyse der geogste planten;
3. Het scheikundig bodemonderzoek.

Het eerste middel, het nemen van vegetatie- en bemestingsproeven, is tijdroovend en omslachtig. Er gaat minstens één oogst voorbij voor men resultaten verkrijgt. Bovendien zijn deze in hooge mate afhankelijk van weers- en andere omstandigheden, zoodat er dikwerf onderling en in verschillende jaren zeer groote afwijkingen optreden. Dit geldt vooral voor de bemestingsproeven. Hoe gering de daarmede verkregen resultaten waren, blijkt

¹⁴⁾ Een aardig voorbeeld van de beteekenis van grondanalyses, door Adolf Mayer, Landbouwkundig Tijdschrift, 1903, 294.

¹⁵⁾ Heft IX der Berichte der Versuchsstation Riga, 1893/94—1896/97, zie ook Journ. f. Landwirtschaft, 1894.

¹⁶⁾ Dünger und Düngen, 1899, S. 82. Zie ook Beiträge zum Werte der heutigen Bodenanalyse, von C. Bloch und M. Hoffmann, Mitteilungen Breslau, 1907, IV, Heft I en II.

het beste uit de vraag, die Wagner voor een twintig jaar stelde: „Hoe komt het, dat dezelfde vragen inzake bemesting, waar men reeds vijf en twintig jaar geleden proeven over begon te nemen, nu nog een onderwerp van studie uitmaken en het inderdaad niet mogelijk is op grond van die proefnemingen te komen tot duidelijkheid en zekerheid zelfs over vele der dichtbij liggende en belangrijkste bemestingsvraagstukken.” Wagner meende dit te moeten toeschrijven aan het ontbreken van eene nauwkeurige methode van onderzoek en heeft toen de bekende methode met zinken cylinders uitgewerkt. Wel is waar kunnen deze potproeven betrouwbaarder resultaten leveren, maar men dient toch steeds de hiermede verkregen resultaten weer door bemestingsproeven op het vrije veld aan de praktijk te toetsen.

De methode om door middel van eene analyse der plant de behoefte van den bodem aan voedende bestanddeelen vast te stellen, dateert reeds van Hellriegel (1869). Eene systematische uitwerking dezer methode zijn wij Atterberg verschuldigd. De resultaten zijner onderzoekingen (bij haver) worden neergelegd in vier stellingen, waarvan wel de voornaamste is de vierde, die uit de drie eerste wordt afgeleid. Deze vierde stelling toch doet ons een middel aan de hand om uit de analysecijfers van den oogst te leeren kennen het bestanddeel, dat zich in het minimum bevindt. Men vergelijkt daartoe de gehalten der verschillende bestanddeelen van een gewas *met de gemiddelde gehalten van dat gewas*. Volgens Atterberg's vierde stelling bevindt zich dat bestanddeel in het minimum, waarvan het gehalte — in vergelijking met de gemiddelde — het laagste is. De methode van Atterberg heeft dit voordeel, dat ze geen bemestingsproeven noodig heeft. Men analyseert slechts den oogst van een veld, om door vergelijking met de gemiddelde waarden dat bestanddeel (of die bestanddeelen) te leeren kennen, hetwelk zich in het minimum bevindt. Door mij is beproefd de methode van Atterberg toe te passen op kultuur der Delitabak ¹⁷⁾. Zonder meer bleek ze echter niet door te gaan. Ook de weersgesteldheid was van grooten invloed op de samenstelling der tabak, zoodat de vraag rees of niet voor elk jaar verschillende gemiddelde waarden (Normahlzahlen ¹⁸⁾ moesten worden aangenomen. Toch is daarom de analyse der plant geen nuttelooze arbeid. Terwijl de opbrengsten per veld het kwantitatief resultaat der bemesting aangeven, krijgt men door de scheikundige analyse der plant een inzicht in de kwalitatieve werking.

¹⁷⁾ Eine Studie über Delitabak, Journal für Landwirtschaft, 1905, blz. 161: F. Ist die Pflanzenanalyse imstande, die Düngerbedürftigkeit des Bodens fest zu stellen? Zie ook Mededeeling, uitgaande van het Departement van Landbouw in Nederlandsch-Indië I — Batavia, G. Kolff & Co., 1905.

¹⁸⁾ Zie ook von Seelhorst, Journal für Landwirtschaft, 1902, 318.

Juist in de vele bezwaren, die methode 1 en 2 aanbieden en in de twijfelachtige waarde der verkregen resultaten, ligt het antwoord op de gestelde vraag, waarom men telkens en telkens weer pogingen ziet aangewend om door eene scheikundige analyse de behoefte van den bodem aan voedende bestanddeelen vast te stellen. En men redeneerde daarbij, zeker niet geheel en al ten onrechte, dat in het algemeen slechts daar vele voor de plant assimileerbare stoffen in den bodem aanwezig zullen zijn, waar vele moeilijk oplosbare stoffen worden aangetroffen.

4. Bestaat er dan geen methode van scheikundig bodemonderzoek, die ons in staat stelt, alleen die bodembestanddeelen te bepalen, die door de planten worden opgenomen; een middel dus om ¹⁹⁾ „die für das Pflanzenwachstum in einer Vegetationsperiode verfügbare Stoffen voraus zu bestimmen“?

In 1895 schreef Mulder, dat wij alsnog methoden missen, om bij analyse te beslissen welke stoffen beschikbaar zijn en welke niet.

Meer dan veertig jaren later, in 1901, verklaren en Mayer ²⁰⁾ en van Bemmelen ²¹⁾, dat men nog niet in staat is het in den bodem voor het eerst volgende gewas beschikbare te bepalen.

Daartusschen ligt een groot stuk menschelijke arbeid, die er op gericht was om dit geheim aan de natuur te ontwingen.

Reeds door Mulder ²²⁾ wordt er herhaaldelijk op gewezen, dat door sterke zuren van eene aardsoort veel meer opgelost wordt, dan hetgeen onmiddellijk, d.w.z. in de eerste jaren, den planten tot voedsel kan strekken. Zoo men langs den weg der analyse een bruikbaar resultaat wil bekomen, raadt hij aan, koolzuur-houdend water te gebruiken, ondersteund met zwak azijnzuur.

De eerste, die in deze richting systematisch te werk ging, was Dijer ²³⁾, die in 1894 voorstelde om den bodem te extraheren met eene éénprocentige oplossing van citroenzuur. Het zuur, dat de wortel bevat, bleek hem bij een onderzoek, dat zich over 100 planten van 20 verschillende soorten uitstreckte, gemiddeld ongeveer van deze sterkte te zijn. Zijn voorstel vond navolging. Het zou me te ver voeren hier een overzicht te geven van alles wat op dit gebied na Dijer is geschied.

¹⁹⁾ Mayer, Leerboek (1901), Bodenkunde, 119.

²⁰⁾ Mayer, Leerboek (1901), Bodenkunde, 119.

²¹⁾ Bijdrage tot de wetenschappelijke biographie van G. J. Mulder, 1901, blz. 20.

²²⁾ Scheikunde der bouwbare aarde, III, 393.

²³⁾ Journ. Chem. Soc. Transact., 1894, 65, 115; zie ook Chemiker Zeitung, 1894, 18, 332.

Ik wil volstaan met er op te wijzen, dat verschillende onderzoekers weer verschillende zuren voorschrijven. Terwijl men derhalve volgens de oude methode — extraheeren met sterke zuren — althans onderling vergelijkbare cijfers verkreeg, heeft thans nagenoeg ieder onderzoeker zijn eigen zuur. Men kan, om slechts de voornaamste te noemen, eene keuze doen uit de volgende collectie: 2 pCt. en 1 pCt. citroenzuur; $\frac{1}{5}$ normaal zoutzuur, 1 pCt. azijnzuur; 1 pCt. zoutzuur; CO_2 -houdend water; zeer verdund salpeterzuur, enz. ²⁴⁾.

Niettegenstaande de verwarring, die het voorstel van Dier veroorzaakt heeft, is het toch een stap vooruit.

Eene tweede schrede in de goede richting was het gevolg van de volgende eenvoudige redeneering ²⁵⁾. Wanneer eene aarde in eene langdurige vegetatieperiode van eene voedingsstof veel verliest, dan is deze hoeveelheid toch zelden grooter dan 100 K.G. per H.A. De gezamenlijke aarde van zoo'n grooten akker weegt tot eene diepte, waarop de wortel nog functionneert, ten minste 5 millioen K.G., dat is dus $50.000 \times$ zoo veel. Hieruit volgt, dat eene grondanalyse, die ten doel heeft zulke kleine hoeveelheden, die voor de plantenvoeding nog in aanmerking komen, aan te wijzen, in ieder geval tot op duizendste procenten of nog tot op kleinere breuken nauwkeurig moet zijn. Aangezien men, om zulke verschillen nog met nauwkeurigheid te kunnen wegen, dan toch minstens 1 centigram moet hebben, mag voor de bepaling van een enkelvoudig bestanddeel zeker niet minder dan 1 K.G. aarde, maar moet liever nog meer gebruikt worden; bovendien moet dan het uitloogingsmiddel natuurlijk zwak zijn, om niet een grooten ballast van verschillende andere stoffen in de oplossing te krijgen en om zooveel mogelijk de werking der plantenwortels na te bootsen.

Mayer stelt dan voor, als volgt te werk te gaan. Men vulle glazen cylinders, die 5 liter inhoud hebben, van onder van een gat voorzien en rustende op een vlak eetbord, met de tot onderzoek dienende luchtdroge aarde in den natuurlijken toestand. Afzeven van steenen is geheel onnoodig. Men overgiete met 2 liter 2 pCt. citroenzuur en late het zoo 24 uur in aanraking. Dan begint men het citroenzuur door overgieten van gedistilleerd water te verplaatsen en dat doet men zoo lang, totdat men eene zekere hoeveelheid oplossing, bijv. 1400 cc. verzameld heeft, die men in verschillende portie's voor de analyse gebruikt.

In de derde plaats dient met het volgende rekening te worden gehouden. In 1863 reeds wees Ulbricht ²⁶⁾ op de gefractioneerde bodemextractie, waarbij in elk volgend extract weer

²⁴⁾ Zie mijne publicatie over Deligronden, Landbouwkundig Tijdschrift, 1903, 404—405.

²⁵⁾ Mayer, Landbouwkundig Tijdschrift 1903, 371.

²⁶⁾ Eine Beitrag zur Methode der Boden-Analyse von Dr. R. Ulbricht, Versuchstationen, 5 (1863), 200.

opnieuw, hoewel telkens kleinere hoeveelheden, van de voedende bestanddeelen gevonden werden. Na Ulbricht is door meerdere onderzoekers op deze omstandigheid gewezen. Men zou feitelijk een zeker kwantum bodem bij constante temperatuur met zooveel oplosmiddel zoolang moeten behandelen, dat alles wat bij die temperatuur in dat oplosmiddel kan oplossen, ook in oplossing overging; m.a.w. men moet afwachten tot de evenwichtstoestand is ingetreden. Dit heb ik getracht in 1904 te bepalen ²⁷⁾ voor verdund HNO_3 . Het bleek mij, dat bij eene zevendaagsche behandeling bij kamertemperatuur van 200 gram grond met 5 L. 0,1 normaal HNO_3 nagenoeg alle in dat zuur oplosbare phosphorzuur in oplossing ging, terwijl bij aanwending van 500 gram op $2\frac{1}{2}$ L. bij eerste extractie na 7 dagen slechts 16,5 pCt. van deze hoeveelheid oploste.

5. De opvattingen van Mitscherlich.

In dezen verwarden toestand verkeerde de methode van het scheikundig bodemonderzoek, voor zoover het zich ten doel stelt, de direct voor de plant opneembare stoffen te bepalen, tot 1907, toen Mitscherlich in de Landw. Jahrbücher zijne mededeeling „Eine Bodenanalyse für pflanzenphysiologische Forschungen” publiceerde.

Mitscherlich stelt zich voor in dezen arbeid te beproeven langs chemischen weg die stoffen in den bodem kwantitatief te bepalen, die door de planten kunnen worden opgenomen.

De leidende gedachten, waarvan hij uitging, zijn als volgt weer te geven.

De planten kunnen de voedingsstoffen uit den bodem slechts opnemen door diffusie. Assimileerbaar is derhalve ieder zout, dat opgelost is, onverschillig of het voor den plantengroei indifereent, of plantenvoedsel is, of dat het een plantengift is, dat wil zeggen op het plantenorganisme een meer of minder schadelijken invloed uitoefent.

De zouten, die derhalve uit een plantenphysiologisch oogpunt in aanmerking komen, moeten in water opgelost zijn of door de uitscheidingen der plantenwortels in oplossing gebracht kunnen worden (aufgeschlossen = opengesloten kunnen worden). Opneembaar voor de plant zijn derhalve ten eerste alle in water oplosbare zouten; verder, omdat het bodemwater tengevolge van de ontleding der humusstoffen steeds meer of minder koolzuur bevat, de in koolzuurhoudend water oplosbare zouten. De wortels onzer kultuurplanten zijn natuurlijk slechts in staat daar zouten in oplossing te brengen, waar ze daarmede direct in aanraking komen. Over den juiststen scheikundigen aard der worteluit-

²⁷⁾ Grondonderzoek. Voordracht, gehouden op de Algemeene Vergadering der Nederlandsche Chemische Vereeniging, op 16 Juli 1904. Chemisch Weekblad 1904, 681.

scheidingen van onze hoogere planten verkeert men nog in onzekerheid. Dat het echter hoofdzakelijk koolzuur is, daarin stemmen alle onderzoekers overeen. Het is ook absoluut onnoodig, dat nog andere zuren aanwezig zijn; want het verschil in opensluitingsvermogen der verschillende kultuurplanten laat zich ook physisch verklaren door het verschil in wortelsysteem.

Het maximum der voor onze kultuurplanten in den bodem ter beschikking staande stoffen, wordt dus gevormd door die verbindingen, welke in met koolzuur verzadigd water oplosbaar zijn, wanneer men — en dat schijnt zoo te zijn — de andere worteluitscheidingen van de plant hiertegenover verwaarloozen kan.

Bij een scheikundig bodemonderzoek, dat die bodembestanddeelen kwantitatief bepalen wil, die voor de planten assimileerbaar, dus plantenvoedsel in den eigenlijken zin des woords zijn, gaat het derhalve slechts om het onderzoek van de in koolzuurhoudend water oplosbare plantenvoedingszouten.

Aangezien de eigenlijke chemische voedingsstoffen voor de plant stikstof, kali, phosphorzuur en kalk zijn, kan het onderzoek der bodemoplossingen zich bepalen tot deze stoffen. Slechts in uitzonderingsgevallen zal het noodig zijn kiezelzuur, magnesium, aluminium en ijzer te bepalen; deze stoffen schijnen in den regel in voldoende hoeveelheid voor de planten beschikbaar te zijn.

Mitscherlich wil derhalve slechts bepalen de stoffen, die oplosbaar zijn en wel oplosbaar in koolzuurhoudend water. Deze twee fundamenteele principes zijner methode mogen hier aan eene nadere beschouwing worden onderworpen.

6. Nemen de wortels der planten de stoffen uit den bodem al of niet in oplossing op?

De toevoer van stoffen in de plant vindt principieel op dezelfde wijze plaats, of de opnemende organen zich bevinden in water of in een met water doortrokken bodem, want slechts water en in water opgeloste stoffen kunnen de planten binnentreden. Deze opvatting ²⁸⁾, welke thans wel geen tegenspraak meer uitlokken zal, werd nog in 1859 door Liebig bestreden. Zoo schrijft Liebig ²⁹⁾:

„Zeer waarschijnlijk zijn de cultuurplanten grootendeels er op aangewezen hare anorganische bestanddeelen direct van den bodem te ontvangen; hun bestaan wordt in gevaar gebracht, ze leiden een kummervol leven, sterven ten slotte af, wanneer deze bestanddeelen hun in eene oplossing worden toegevoerd”.

²⁸⁾ Pfeffer, Pflanzenphysiologie, 1897, 145; ook op blz. 149: Die Landpflanze wird übrigens durch die Bodenlösung in analoger Weise mit gelösten Stoffen versorgt, wie eine Wasserpflanze durch die sie umgebende verdünnte Lösung.

²⁹⁾ Chemische Briefe von Justus von Liebig, Zweiter Band, 1859, 273.

Maar men leest dan tot zijne groote verbazing zeven regels verder: „Het is zeer moeilijk zich eene voorstelling te maken van de wijze, waarop de planten medewerken om deze oplossing der minerale bestanddeelen te bewerkstelligen; dass Wasser für den Uebergang derselben unentbehrlich ist, versteht sich wohl von selbst.”

Wanneer echter Liebig blijkens deze laatste opvatting toch wel voelde, dat water eene groote rol speelde bij het opsloringsproces, hoe komt hij dan tot de zoo positieve uitspraak, dat de planten zelfs ten slotte afsterven, wanneer de minerale bestanddeelen in oplossing worden toegevoerd? Hij meende, dat de samenstelling van drainwater overeenkwam met de samenstelling der oplossingen in de omgeving der plantenwortels. En uit de omstandigheid, dat drainwater nagenoeg geen plantenvoedingsstoffen bevatte, leidde hij af, dat er geen oplossingen in den bodem voorkwamen. Voor de kritiek op deze bewering van Liebig en van vele zijner leerlingen (Zoeller, Fraas) verwijs ik naar Mulder ³⁰⁾. Liebig heeft niet begrepen het gewichtige door Way gevonden feit, dat er metamorphose en substitutie plaats vindt, wanneer zoutoplossingen met aarde in aanraking worden gebracht. Zoo zag Way ³¹⁾ o.a. van eene oplossing van natriumphosfaat, door bouwgrond gefiltreerd, het phosphorzuur door de grondsoort vastgelegd. Rottende urine, water uit de Londensche riolen en soortgelijke, door witte klei, of door eene aan klei rijke akkeraarde gefiltreerd, verloren reuk, ammoniak, phosphorzuur en potasch ³²⁾. Na Way zijn tal van drainwaters onderzocht en bleek uit het zeer geringe gehalte aan plantenvoedsel de vasthoudende kracht van den bodem. Uitgaande nu van de samenstelling van drainwater, komt Liebig tot de bewering, dat de planten hare stoffen uit den bodem niet in oplossing bekomen. Door Mayer wordt de volgende uiteenzetting van den bovenaangeduiden strijd gegeven. Mayer onderscheidt twee wijzen, waarop de planten hun voedsel uit den grond opnemen: de opname in reeds van te voren opgelosten vorm en de opname door de werking der plantenwortels uit de absorbtieverbindingen. Tegen deze opvatting valt niets in te brengen, mits men slechts aanneemt, dat de bedoelde werking der plantenwortels op de absorbtief gebonden stoffen in den bodem eene oplossende is en dat eerst nà dit oplossingsproces

³⁰⁾ L. c. II, 230—262; III 155—172.

³¹⁾ Journal of the Royal Agric. Soc. of Engl., Tom. XI en XIII; zie ook Mulder II, 180.

³²⁾ Way besloot uit zijne proeven, dat de opgeloste of oplosbare stoffen van den meest in den bodem worden vastgelegd en daar voor de planten bewaard blijven, om het even of die opgeloste stoffen al of niet in groote mate van verdunning worden aangebracht. De eigenlijk werkende stof in den bodem, die in staat is zulk een vermogen van terughouding uit te oefenen, is, volgens Way, een aluinaarde-silikaat van een der alkaliën of alkalische aarden.

opname kan plaats vinden. M. a. w., dat alleen in het bodemwater oplosbare verbindingen voor opname in aanmerking kunnen komen.

Dat wil echter niet zeggen, dat alle stoffen, welke den plantenwortels in oplossing worden aangeboden, ook opgenomen worden, noch dat de verhouding, waarin dit geschiedt, dezelfde is als waarin ze worden aangeboden ³³⁾. Voor de opname komen nog twee andere factoren in aanmerking. De oplosbare stoffen moeten door het protoplasma diosmeeren kunnen en in de cel eene zoodanige stofverandering ondergaan, dat ze geen of nagenoeg geen of althans minder osmotischen druk uitoefenen. Het protoplasma is een half-doorlatende wand, die wel het oplosmiddel (water), maar niet *alle* daarin opgeloste stoffen doorlaat. Wat door het protoplasma diosmeert, hangt van den aard van het protoplasma af; of het in groote hoeveelheid diosmeert, hangt af van de stofverandering in de cel. Deze veranderingen kunnen nog van verschillenden aard zijn ³⁴⁾. De met het water binnentredende stoffen kunnen in de cel veranderd worden in onoplosbare verbindingen. Dit is het geval bij de vorming van kristallen van zuringzure kalk, die o. a. in de opperhuid der bladen van *Vanilla planifolia*, in de schors van vele boomen, in de jonge takken van *fuchsia* en elders voorkomen ³⁵⁾. Op dezelfde wijze verklaart *Thoms* ³⁶⁾ de ophooping van phosphorzure kalk in djattihout. Verder is het mogelijk, dat polymerisatie plaats vindt. Als zoodanig ware misschien op te vatten het door *Maquenne* ³⁷⁾ ontdekte feit dat in de wortels der suikerbiet hoofdzakelijk het disaccharid (rietsuiker) voorkomt, in de bladen daarentegen monosacchariden. Ten slotte is de onderstelling geopperd, dat de binnentredende stoffen in kolloidalen toestand overgaan.

Maar in alle drie gevallen neemt de osmotische druk in de cel af en wordt aan nieuwe opgeloste stoffen gelegenheid gegeven door semipermeabele wanden te diosmeeren.

Op dezelfde wijze is dan ook te verklaren, hoe de asch van waterplanten soms in aanzienlijke hoeveelheid stoffen bevatten kan, die nagenoeg niet in het omringende water voorkomen ³⁸⁾.

³³⁾ Dit verschijnsel was reeds aan de *Saussure* in 1804 bekend; zie *Pfeffer*, 109. Ook *Mulder*, III, 164 e. v.

³⁴⁾ Ik stel op den voorgrond, dat in het algemeen de verklaring gegeven kan worden; al onthreekt in vele gevallen een duidelijk inzicht in de onderdeelen van het verschijnsel.

³⁵⁾ *De Vries*, Leerboek der plantenphysiologie, 1880, blz. 36.

³⁶⁾ *Thoms*, Beitrag zur Kenntniss des Teakholzes; Landw. Versuchsstationen, 23, 413.

³⁷⁾ Naar *Mayer*, Lehrbuch, 1901, I, 368—369, noot. Ook *Archief voor de Java-Suikerindustrie* 1896, II, 906.

³⁸⁾ Onlangs is door *Went* (*Plantkunde en Landbouw, Rede*, uitgesproken bij de opening van de 135^{ste} Algemeene Vergadering van het Provinciaal Utrechtsch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen op 3 Juni 1908 door den Voorzitter van het Genootschap *Dr. F. A. F. C. Went*) op grond van deze verschijnselen de meening geopperd, dat de grondanalyses eigenlijk nutteloos geweest zijn. *Went* schrijft: „Dat een chemicus redeneerde: om te weten, wat een plant uit den grond zal opnemen, moet ik eene

Men denke slechts aan de zeewieren, die jodium in zulk eene mate tot zich nemen, dat de technische bereiding van deze grondstof uit de asch van die zeewieren geschiedt, terwijl het zeewater jodium in zulke kleine hoeveelheden bezit, dat de aanwezigheid gedurende vele jaren niet is kunnen worden aangetoond.

Opmerkelijk is het zeker, dat stoffen als kaliumnitraat met groote vasthoudendheid worden vastgehouden en toch hunne chemische eigenschappen bewaren. Mayer ³⁹⁾ denkt aan het ontstaan van organische nitraten met hoog moleculair gewicht of van nitrolichamen ⁴⁰⁾. Hoe het ook zij, vast staat, dat het salpeterzuur de buit is geworden van een chemisch-physiologische verandering.

Door het volgende voorbeeld moge het zich afspelende proces nog eens duidelijk worden uiteengezet en tevens worden aangetoond, dat het kwantitatieve kiesvermogen der planten, vroeger wel opgevat als „das dunkle Wahlvermögen” volstrekt niet samenhangt met het al of niet onontbeerlijk zijn der opgenomen bestanddeelen (naar Pfeffer, 103—107): De epidermiscellen van de wortels van *Lemna minor* kunnen in eenige uren tijd 1 pCt. methyleenblauw opnemen uit eene oplossing, die slechts 0,001 pCt. van deze kleurstof bevat. Het looizuur in de cellen verbindt zich met de binnentredende kleurstof en geeft wederom aan nieuwe kleurstof gelegenheid binnen te treden. Legt men na afloop deze cellen in eene groote hoeveelheid 0,01 pCt. citroenzuur, dan vindt het volgende plaats. Het de cellen binnentredende citroenzuur lost eene zeer kleine hoeveelheid van het looizure methyleenblauw op; citroenzuur-methyleenblauw exosmeert en looizuur blijft in de cel achter. Nieuw citroenzuur kan binnen treden en ten slotte wordt alle kleurstof weer verwijderd. Produceert de plant zelf een zuur, dan ware de mogelijkheid geopend zelf de kleurstof te verwijderen.

analyse van dien grond maken, is begrijpelijk. Nog afgezien daarvan dat dit standpunt in zoover eenzijdig is, dat geen rekening gehouden wordt met de physische geaardheid van den grond, zou een bioloog daarentegen gaan vragen naar den aard van de plant, die er zou moeten groeien, want het hangt in de eerste plaats van het levende protoplasma der wortelcellen af, wat er uit dien grond wordt opgenomen. Immers wij weten toch, dat waterplanten, in hetzelfde water vlak naast elkaar groeiende, toch daaruit zeer verschillende bestanddeelen opnemen. Daarna volgen eenige voorbeelden van dit verschijnsel”. Ik meen te hebben aangetoond, dat de door de plantenwortels opgenomen hoeveelheid afhangt in eerste instantie van de hoeveelheid, die in oplossing wordt aangeboden; verder van de eigenschappen van het protoplasma en ten slotte van de physiologische veranderingen, die de opgenomen stof in de cel ondergaat. Maar juist omdat in de eerste plaats slechts opgeloste stoffen voor assimilatie in aanmerking kunnen komen, kan het verschijnsel van het „quantitative Wahlvermögen” (zie Pfeffer, 102) geen afbreuk doen aan de betekenis van het grondonderzoek.

³⁹⁾ Mayer, Leerboek 1901, I, 374, noot *.

⁴⁰⁾ Zie ook Pfeffer, 105. Es kann sich handeln um eine sehr lockere Verbindung, die möglicher Weise nur bei den in der Zelle gebotenen Mischungen und Bedingungen beständig ist.

7. Met welk zuur moet de bodem geëxtraheerd worden?

Mitscherlich stelt zich op het standpunt, dat bepaald moeten worden de in koolzuur-houdend water oplosbare stoffen, want het bodemwater bevat steeds koolzuur tengevolge van de ontleding van de humusstoffen. Ook de plantenwortels werken oplossend, maar zij scheiden hoofdzakelijk koolzuur uit. De bedenkingen tegen dit standpunt van Mitscherlich gaan uit van overwegingen van tweeërlei aard.

In de eerste plaats wordt de meening verkondigd, dat de wortels hoofdzakelijk andere zuren uitscheiden. In de tweede plaats kunnen sommigen, lettende op het groote opensluitingsvermogen van de plantenwortels, zich niet voorstellen, dat koolzuur de hoofdoorzaak van dit vermogen zou zijn ⁴¹⁾. Nu is echter de hoeveelheid stoffen, die in koolzuur-houdend water van 30° C. oplossen, aanzienlijk grooter dan wat de plant per jaar ongeveer van het land voert. Het komt er derhalve slechts op aan of de bodem steeds van eene voldoende hoeveelheid koolzuur voorzien is.

In eene publicatie van Stoklasa en Ernest ⁴²⁾ wordt besproken de oorsprong, de hoeveelheid en de beteekenis van het koolzuur in den bodem. De bron van de koolzuurontwikkeling in het algemeen is te zoeken in het ademhalingsproces der levende wezens. De in den bodem aanwezige onderscheidt Stoklasa in tweeën: bacteriën, schimmels, algen, enz. en de wortels der kultuurplanten. Nagegaan wordt hoe groot de hoeveelheid koolzuur is, die beide bronnen in een goeden bodem ontwikkelen kunnen ⁴³⁾. Om de beteekenis van deze hoeveelheid goed te begrijpen zij hier aangehaald eene opmerking van Beyerinck ⁴⁴⁾:

Daar het koolzuurgehalte van de lucht nagenoeg standvastig is en er geen reden bestaat om aan te nemen, dat eene aanvulling

⁴¹⁾ Untersuchungen über einige Ernährungsunterschiede der Leguminosen und Gramineen und ihre wahrscheinliche Ursache, von Otto Lemmerman; landw. Versuchsstationen 67, 218.

⁴²⁾ Ueber den Ursprung, die Menge und die Bedeutung des Kohlendioxyds im Boden von Julius Stoklasa und Adolf Ernest, naar Chem. Centr. Blatt, 1905, II, 850

⁴³⁾ Volgens Kobus en Marr mag men echter uit laboratoriumproeven geen conclusies afleiden betreffende de intensiteit der ontleding in den bouwgrond zelf. (Onderzoek van bodemlucht door J. D. Kobus en Th. Marr, Archief voor de Java-Suikerindustrie, 1906, 17).

In een der jongste publicaties deelt Stoklasa mede, dat gemiddeld 1 gram bacteriënmasa van de azotobakter in 24 uur 1,2729 gram koolzuur uitademt. Zentralblatt für Bakter. und Parasitenk., II, Abt. 21, 484—500 (Naar Ch. Zentralblatt, 1908, 2, blz 1696).

⁴⁴⁾ De invloed der mikroben op de vruchtbaarheid van den grond en op den groei der hoogere planten door M. W. Beyerinck; Landbouwkundig Tijdschrift, 1904, 225.

⁴⁵⁾ Dat is de terugvorming van het koolzuur uit het organische door het ademhalingsproces der levende wezens in het algemeen, door dat der mikroben in het bijzonder, waarbij tevens de stikstof, de fosfor, de zwavel, het kalium, het magnesium, het ijzer en het mangaan weer tot den mineralen toestand terugkeeren. Beyerinck, l. c. 227.

daarvan uit, of een verlies naar de wereldruimte mogelijk is, moet het koolzuur, dat door het mineralisatieproces ⁴⁵⁾ in een nooit onderbroken stroom, uit de aardoppervlakte in den dampkring vloeit, ongeveer in evenwicht zijn met de hoeveelheid, die gebonden wordt in de groene planten, want de overige koolzuurbronnen te zamen, zoo als de ademhaling van menschen en dieren en de verbranding van hout en steenkool op de vuurhaarden, leveren, volgens waarnemingen van Saussure en berekeningen van Schleiden, hoogstens $\frac{1}{10}$ gedeelte van het bedrag, in vrijheid gesteld door het genoemde proces."

Dit verschijnsel, dat de lucht van den bodem ruim van koolzuur voorzien is, (de bodemlucht bevat niet zelden 3 à 4 pCt. koolzuur) was sinds lang bekend. Men meende echter dat het bodemwater weinig van dit koolzuur kon opnemen. Bij Mulder ⁴⁶⁾ lezen we althans: „Uit die ruime hoeveelheid koolzuur, in de lucht van den bodem aanwezig, kan het schijnen, dat het bodemwater zeer rijkelijk met koolzuur bedeeld is; dit wordt bijna als met koolzuur verzadigd voorgesteld en daaruit door sommigen bij uitsluiting de oplossing van overigens onoplosbare bodembestanddeelen, voor de planten onmisbaar, verklaard." De Saussure had echter gevonden, dat het bodemwater slechts 2 volumepercenten koolzuur bevatte, dat is ongeveer $\frac{1}{50}$ gedeelte van wat water bevatten kan. Volgens Mulder zijn deze onderzoekingen van de Saussure onjuist, maar hij meent toch ook, dat het water in den bodem verre van met koolzuur verzadigd is; want, zegt Mulder, het is bekend, dat vaste lichamen het koolzuur uisdrijven: stort men zand in koolzuurwater, zoo ontwijkt er eene menigte gas.

Door verschillende onderzoekingen ⁴⁷⁾ bleek voor eenigen tijd, dat kolloidale oplossingen meer koolzuur kunnen absorbeeren dan met druk en temperatuur overeenkomt en het is derhalve zeer goed mogelijk, dat de hoeveelheid koolzuur in het bodemwater aanzienlijk hooger is dan Mulder aannam. Bovendien kan deze hoeveelheid elk oogenblik door het koolzuur uit de bodemlucht weer worden aangevuld.

Op grond van het bovenstaande komt het mij niet gewaagd voor met Mitscherlich mee te gaan, wanneer hij zegt, dat koolzuur de hoofdrol in het oplossingsproces van den bodem vervult.

Wat de andere bedenking betreft, het staat nog lang niet vast of andere zuren in aanmerkelijke hoeveelheid worden uitgescheiden. Men heeft dit wel willen aantonen door de korrodeerende

⁴⁶⁾ Mulder, II, 318, 319.

⁴⁷⁾ Zeitschrift für physikal. Chemie, 1904, 300 en 322. In verband hiermede moge het door Warrington (Jour. pr. Chem., 1868, 104, 316) waargenomen verschijnsel vermeld worden, dat de hydrogels van Al_2O_3 en Fe_2O_3 uit oplossingen van kalium- en ammoniumcarbonaat (sulfaat, nitraat, chloride) het koolzuur (zwavelzuur, salpeterzuur, zoutzuur) absorbeeren.

werking van plantenwortels op marmer ⁴⁸⁾ maar dit verschijnsel wordt evengoed verklaard door de aanname eener koolzuurontwikkeling ⁴⁹⁾.

Het aantal van hen, die beweren, dat de plantenwortels behalve koolzuur nog andere zuren secernereren is echter vrij groot ⁵⁰⁾. Opmerkelijk is het evenwel, dat nooit bepaald wordt, hoeveel zuur de wortel uitscheidt, maar steeds de totale hoeveelheid, die *in* den wortel aanwezig is. Reeds D i j e r ging aldus te werk: De van grond bevrijde en met water afgespoelde wortels worden tusschen vloeipapier gedroogd, met de schaar doorgeknipt en met gedestilleerd water uitgekookt; de vloeistof wordt afgefiltreerd, hetgeen achterblijft, in een mortier fijngewreven en deze wortelbrei nogmaals gekookt. Ook L e m m e r m a n ⁵¹⁾ volgde bij gebrek aan beter deze methode bij zijn onderzoek. Nu was het hem te doen om een onderscheid vast te stellen tusschen de door de wortels van leguminosen en gramineen uitgescheiden zuren en hij ging uit van de onderstelling dat er wel een verband zou bestaan tusschen de totale hoeveelheid der *in* de wortels aanwezige zuren en de hoeveelheid, die uitgescheiden wordt. Met deze redeneering kan men desnoods meegaan — maar over de werkelijk afgescheiden zuren leert de methode ons toch niets.

Resumé: Er bestaat geen twijfel of de plantenwortels nemen met behulp van de zuren, die ze afscheiden, actief deel aan het oplosbaar maken van de plantenvoedende stoffen in den bodem. Vast staat verder, dat alle plantenwortels koolzuur afscheiden; over den aard der overige worteluitscheidingen loopen de meeningen uiteen. Door de werking der microben wordt bovendien eene aanzienlijke hoeveelheid koolzuur in den bodem gebracht.

In aansluiting met het bovenstaande komt het mij voor, dat men mee moet gaan met het voorstel van Mitscherlich om

⁴⁸⁾ Zie Pfeffer, I, 153—155. Pfeffer vermeldt hier o. a. de onderzoekingen van Czapek, die het marmer verving door calciumphosphaat, aluminiumphosphaat, enz. De wortels bleken de platen van aluminiumphosphaat niet aan te tasten, „obgleich dieses, abgesehen von Kohlensäure, durch die üblichen anorganischen Säuren, ferner durch Oxalsäure, Ameisensäure, Weinsäure, Aepfelsäure, Citronensäure, Milchsäure, aber nicht durch Kohlensäure, Essigsäure, Propionsäure angegriffen wird.“

⁴⁹⁾ Kunze meent zelfs de korrodeerende werking van plantenwortels slechts aan den invloed van koolzuur te moeten toeschrijven. (Da Korrosionserscheinungen (auf Marmor, Wollastonit, Kalibleglas, nicht aber auf Feldspath beobachtet) auch auftraten, wenn die Versuchspflanzen kein merkliches saures Sekret ausschieden, so schliesst Vf, dass es sich dabei nur um eine Wirkung der CO₂ handelte. Ch. Zentralblatt, 1906, I, 1557).

⁵⁰⁾ Prianischnikow (Ch. Zentralblatt, 1904, I, 1656); Kunze (id., 1906, I, 1557); Lemmerman (Versuchsstationen, 67, 216). In verband hiermede zij hier gewezen op een der jongste publicaties van Stoklasa in de Ch. Zeitung, 1907, 1228: Alkoholische Gärung in den Pflanzen- und Tierzellen. In het protoplasma wordt door twee enzymen (zymase en lactacidase) glucose gesplitst in melkzuur, alcohol en koolzuur. Bij afwezigheid van zuurstof houdt het proces op en treden alle drie deze splitsingsproducten uit de cel. Kan zuurstof in voldoende hoeveelheid toetreden, dan heeft binnen de cel verbranding plaats en treedt alleen koolzuur uit.

⁵¹⁾ Ernährungsunterschiede der Leguminosen und Gramineen, von Otto Lemmerman; Die landw. Versuchsstationen, 67 (1907) 222.

alleen die stoffen in den bodem te bepalen, welke oplosbaar zijn in koolzuurhoudend water.

8. De methode Mitscherlich.

De oplosbaarheid der in koolzuurhoudend water oplosbare bodembestanddeelen is eene functie van den tijd, van het koolzuur-gehalte, van de hoeveelheid water en van de temperatuur.

De arbeid van Mitscherlich onderscheidt zich nu van anderen :

- 1°. *doordat systematisch de invloed dezer verschillende factoren is nagegaan.*
- 2°. *doordat steeds bij elk onderdeel der methode de graad van nauwkeurigheid is bepaald.*

In het kort gezegd wordt de methode als volgt uitgevoerd :

De grond wordt eens met de tienvoudige en eens met de vijf en twintigvoudige hoeveelheid met koolzuur verzadigd water geroerd, gedurende elf en een half uur bij eene temperatuur van 30° C., waarbij rekening wordt gehouden met het vochtgehalte van den luchtdrogen grond. Om bacteriologische invloeden te vermijden werd bij 2 L. water, waarmee geëxtraheerd werd nog 5 c.M³. chloroform gevoegd. Het filtreeren geschiedt eveneens bij 30° met behulp van poreuse kaarsen, ongeveer zooals die bij de Chamberlandfilters gebezigd worden. Voor de uitvoering der methode en vooral van het chemische gedeelte wordt hier verwezen naar het oorspronkelijke werk en naar het verslag mijner studiereis naar Duitschland ⁵²⁾. Daar wordt ook aangegeven welk eene graad van nauwkeurigheid door Mitscherlich is bereikt. Tot welke gewichtige beschouwingen een streng wetenschappelijk opgevat onderzoek als dat van Mitscherlich aanleiding kan geven, moge nog uit het volgende blijken. In de eerste plaats is het Mitscherlich gelukt eene vergelijking te geven, waardoor het mogelijk is, de hoeveelheid der stoffen te bepalen, welke zich in het bodemwater in opgelosten toestand bevinden, iets wat zich op geen andere wijze bepalen laat ⁵³⁾.

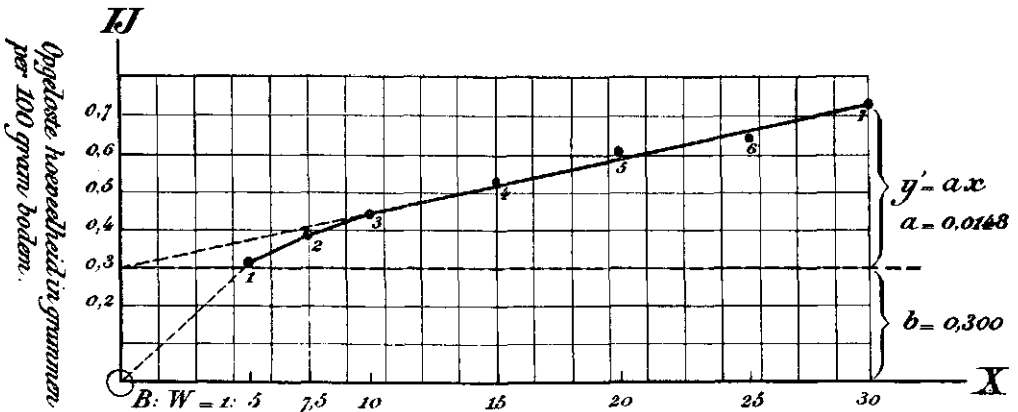
Verder werden de verschillen bepaald die men verkrijgt door verschillende hoeveelheden bodem met dezelfde hoeveelheid water te extraheeren, waarbij voor een bepaalden bodem de volgende uitkomsten verkregen werden :

⁵²⁾ Zie deze mededeelingen n°. VI, blz. 5 e. v.

⁵³⁾ Mitscherlich komt na eenige beschouwingen tot de vergelijking $y = a\sqrt{x} + b$, waarin y beteekent de hoeveelheid opgeloste stof per 100 gram bodem en x de verhouding $\frac{W}{B}$ (quotient van het aantal grammen water en het aantal grammen bodem, die op elkander inwerken). Dit is de vergelijking eener parabool. Het wil mij voorkomen, dat het beloop der oplossingslijn niet parabolisch zijn kan (zie eene volgende publicatie over het vastleggen van ammoniakstikstof door zeolitisch materiaal). De beschouwingen, waarvan Mitscherlich uitging, komen mij dan ook niet juist voor en onder deze omstandigheden mag Mitscherlich door interpolatie niet de waarden van y vinden voor $x = 0,2$ à $0,4$.

Verhouding grammen bodem tot grammen water ($B:W=1:$)	Per 100 gram bodem werd opgelost totaal (in grammen).
5	0,321
7,5	0,398
10	0,450
15	0,523
20	0,607
25	0,656
30	0,736

Deze uitkomsten kunnen graphisch worden voorgesteld door de waarden $\frac{W}{B}$ uit te zetten op de ordinaat ($O X$) en de opgeloste hoeveelheid zouten op de abscis ($O Y$).



Alle uitkomsten tusschen 10- en 30-voudige hoeveelheid water ($x = 10$ en $x = 30$) liggen nagenoeg op eene rechte lijn, die den absissenas ($O Y$) snijdt. De vergelijking dezer lijn is $y = ax + b$. Door deze lijn wordt de hoeveelheid zouten, die in oplossing gaat, in twee deelen verdeeld. Een gedeelte ($y^1 = ax$) is direct afhankelijk van de gebruikte hoeveelheid water en daarmede evenredig, zoodat de oplossing van deze zouten steeds dezelfde concentratie heeft en niettegenstaande de sterke verdunning verzadigd schijnt te zijn. De andere hoeveelheid zouten (b) is onafhankelijk van de hoeveelheid water en lost reeds in zeer weinig water op. Dit zijn volgens Mitscherlich de verbindingen, die ook in den grond dadelijk in oplossing gaan en bij zware regens gevaar loopen, weggespoeld te worden. Mitscherlich noemt ze de gemakkelijk oplosbare zouten. Hij construeerde nu dergelijke lijnen voor de verschillende plantenvoedingsstoffen en vond eene zeer bevredigende overeenstemming tusschen de door analyse vastgestelde cijfers en de door constructie gevondene.

De vergelijkingen voor den gebruikten bodem zijn (de waarden voor a en b werden berekend uit de waarnemingen voor $x = 10$ en $x = 30$):

	$a.$	$b.$
voor	kalk: $y = 0,00515$	$x + 0,0946$
„	phosphorus: $y = 0,000775$	$x + 0,0006$
„	kali: $y = 0,00058$	$x + 0,0048$
„	stikstof: $y = 0,00009$	$x + 0,00197.$

Hieruit volgt:

1. Het phosphorzuur is bijna geheel aanwezig in moeilijk oplosbaren vorm. Voor $x = 0$, wordt $y = 0,0006$. Reeds bij behandeling van 100 gram grond met 100 gram water ($x = 1$) lost meer moeilijk oplosbaar (0,000775 mgr.), dan makkelijk oplosbaar (0,0006) phosphorzuur op. Dit feit leidt tot een op het eerste gezicht zeer vreemd verschijnsel. Het is namelijk onverschillig, hoeveel bodem en hoeveel water men gebruikt, steeds is het procentische gehalte van het extract aan phosphorzuur hetzelfde.
2. De overige voedingsstoffen (kalk, kali en stikstof) zijn in den gebruikten humusrijken tuinbodem hoofdzakelijk in den gemakkelijk oplosbaren vorm aanwezig, zooals blijkt door vergelijking van de waarden voor a en b . Om evenveel moeilijk oplosbare als gemakkelijk oplosbare kalk in oplossing te brengen, moeten 100 gram bodem met 1837 gram water behandeld worden (voor $x = 18,37$, is $y = 0,00515 \times 18,37 + 0,0946 = 0,0946 + 0,0946$). Hiervoor is noodig bij kali de 8-voudige, bij stikstof zelfs de 22-voudige hoeveelheid water. Men kan derhalve zeggen, dat de stikstof slechts in den gemakkelijk oplosbaren vorm aanwezig is.

9. Toepassing der methode.

Mitscherlich geeft reeds enkele toepassingen zijner methode.

In de eerste plaats is het hem mogelijk kwantitatief na te gaan, welke omzettingen zich afspelen, wanneer de bodem indroogt. Reeds door Pfeiffer was er op gewezen, dat hierbij stikstofverliezen optreden.

In de tweede plaats heeft Mitscherlich zich de vraag gesteld of het mogelijk is met zijne methode de stoffen aan te toonen, die door de meststoffen in den bodem geraken ⁵⁴). Reeds het feit alleen, dat de foutengrenzen veel kleiner zijn dan de

⁵⁴) Nog onlangs hebben twee onderzoekers (Bloch en Hoffmann) getracht door een scheikundig bodemonderzoek de werking eener bemesting vast te stellen. De gebruikte methode veroorloofde het echter niet. (Mitteilungen, Breslau, 1907, IV, Heft I en II).

hoeveelheden mest, welke gegeven worden, ware voldoende om een bevestigend antwoord op bovengenoemde vraag te geven. Eenige orienteerende onderzoekingen op dit gebied zijn reeds verricht. Verschillende bodemsoorten werden met de gebruikelijke hoeveelheden stikstof, phosphorzuur, kali en kalk bemest en voor en na de bemesting op deze bestanddeelen onderzocht. Dit onderzoek leidde tot belangrijke gevolgtrekkingen. Zoo werd een gedeelte van het in den vorm van primair kaliumphosphaat in oplossing gegeven phosphorzuur direct in den bodem gebonden; maar daar tegenover stond, dat bij sommige bodems door de volledige bemesting een gedeelte van het bodemphosphorzuur in een voor de planten assimileerbaren vorm werd overgevoerd. Bij vijf bodemsoorten kon kwantitatief de gegeven stikstofbemesting (in den vorm van natriumnitraat) worden aangetoond. Bij veenbodem alleen bleek veel bodemstikstof tengevolge der volledige bemesting (met primair kaliumphosphaat, kaïniet en koolzure kalk) in oplosbaren vorm te zijn overgevoerd.

Het is derhalve mogelijk de chemische omzettingen in den bodem, tengevolge van de bemesting na te gaan. Brengt de methode alleen deze winst, dan is het resultaat reeds belangrijk genoeg.

Het verwijt is tot Mitscherlich gericht, dat de biologische kant van de Bodenkunde te veel door hem wordt verwaarloosd.

Van zijn kant beweert Mitscherlich, dat op eene enkele uitzondering na⁵⁵⁾, de onderzoekingen op het gebied der bodembacteriologie geen waarde voor de praktijk hebben. Ze bepalen slechts kwalitatief en niet kwantitatief de omzettingen in den bodem. Door de onderzoekingen van Pfeiffer⁵⁶⁾, Thiele, Ehrenberg, e. a. is aangetoond geworden, hoe moeilijk het is die omzettingen *kwantitatief* na te gaan. Mitscherlich meent dat het, voorloopig althans, onverschillig is, in welken vorm de plantenvoedingsstoffen in den bodem voorkomen, wanneer ze slechts voor de planten beschikbaar zijn, derhalve oplosbaar en diffundeerbaar. De praktijk stelt dan slechts deze twee vragen:

1. Hoeveel voedingsstoffen zijn voor de plant beschikbaar, en
2. hoe lang kan ze er mee toe.

De bodemkunde heeft verschillende kanten, o.a. eene scheikundige en eene biologische. De laatste wordt in den tegenwoordigen tijd door hare beoefenaren met groote voorliefde op den voorgrond geschoven. Dit was voor mij een prikkel om eene poging aan te wenden een juist licht op den vooral in den laatsten tijd

⁵⁵⁾ Zie „Unters. über die Stickstoffnahrung der Gramineen und Leguminosen” von H. Hellriegel und H. Wilfarth; Z. d. V. f. d. Rüben Zuckerindustrie, Beilage Nov. 1898, Berlin.

⁵⁶⁾ Zie Mitteilungen der landw. Institute der Universität Breslau. Berlin 1904, blz. 1006.

zoo veel gesmaden scheikundigen kant te werpen, in de hoop daardoor de aanhangers van beide richtingen voor overdrijving te behoeden. Dat daarbij eene voorname plaats werd ingeruimd aan de methode Mitscherlich komt niet alleen, omdat die methode uitgaat van het juiste principe: bepalen wat oplost in koolzuurhoudend water, maar vooral omdat door Mitscherlich het vraagstuk streng wetenschappelijk is opgevat en behandeld.

En al moge de uiting van Mitscherlich: ⁵⁷⁾

„Ich vermute, dass das Problem der chemischen Bodenanalyse, „welches unsere Fachgenossen schon seit den Zeiten von Justus „von Liebig beschäftigt, schon längst gelöst wäre, wenn einmal nur *die* Nährstoffe bestimmt worden wären, die in kohlen- „saurem Wasser löslich sind, und wenn ferner die Lösungsbedin- „gungen konstant gehalten worden wären“, niet vrij zijn van optimisme, ontegenzeggelijk zou men heel wat verder geweest zijn op dit gebied, had men gewerkt in zijnen geest.

Chemische Bodenanalyse. (Kurze Zusammenfassung obiger Ausführungen).

Als in der Mitte des vorigen Jahrhunderts die Naturwissenschaften und unter ihnen in erster Linie die Chemie zu einer hohen Entwicklung gelangten, fanden sie alsbald wichtige Anwendung im landwirtschaftlichen Betriebe, besonders was die Bodenkultur anbelangt. So zeigte die chemische Analyse der Ackererde das Vorhandensein derjenigen für das Pflanzenwachstum unentbehrlichen Substanzen, die auch im Dünger enthalten sind und in den Gewächsen immer als notwendige Bestandteile auftreten. Die Produktivität der Ackererde zeigte sich jedoch alsbald gar nicht von dem durch Bauschanalyse erhaltenen Gehalt an obenerwähnten Pflanzennährstoffen abhängig; es kam vielmehr auf die Art und Weise an, in welcher diese Nährstoffe im Boden gebunden waren. G. J. Mulder war einer der ersten, der diese wichtige Tatsache hervorhob. Er betrachtete die gelatinösen Alaunerde-, Eisenoxydul-, und Oxydsilikate als die wichtigsten Bestandteile der Ackererde, denn die Assimilationsfähigkeit der im Boden enthaltenen Nährstoffe hängt unmittelbar mit den in diesen Silikaten (absorptiv) gebundenen Quantitäten derselben (K_2O , P_2O_5 , CaO , Humussäuren, u.s.w.) zusammen.

Die chemische Bodenuntersuchung kann in erster Linie die Definition des Charakters einer Bodenart bezwecken; sie bewegt sich dann in der obengenannten von G. J. Mulder angegebenen Richtung. Besonders hat J. M. van Bemmelen sich mit derartigen Forschungen beschäftigt.

⁵⁷⁾ Zie t. a. p. blz. 349.

Die Praxis verlangt jedoch die Lösung der Frage, die Düngerbedürftigkeit des Bodens zu bestimmen, mit andern Worten, die Quantitäten Pflanzennährstoffe kennen zu lernen, welche von den Pflanzen assimiliert werden können.

Anfangs hat man zu diesem Zweck die Böden mit Säuren verschiedener Stärke extrahiert und in den Extrakten die gelösten Nährstoffe bestimmt. Dieses oft wenig anerkannte Verfahren gewinnt in der letzten Zeit wieder allgemeineres Vertrauen; durch grosse Reihen derartiger Analysen von Böden eines und desselben Typus wird man doch meistens zu einem Urteil über das Nährstoffbedürfniss und die anzuwendenden Düngemittel gelangen können. Verfasser hat dies z. B. gezeigt bei seinen Analysen von Deliböden.

Dass man immer wieder die chemische Methode der Bodenuntersuchung anwendet, bei welcher man die Ackererde mit starken Säuren extrahiert, findet seine Ursache darin, dass die von der Praxis gestellte Frage: „Welche Bestandteile sind dem Boden für die Vegetation einer bestimmten Pflanzenart zuzuführen?“, schwer in andrer Weise beantwortet werden kann. Die Mittel zur Lösung dieser Frage sind folgende:

1. Vegetations- und Düngungsversuche;
2. Die chemische Analyse der Pflanzen;
3. Chemische Bodenuntersuchung.

Vegetations- und Düngungsversuche sind sehr zeitraubend und umständlich und oft abhängig von vielen störenden Umständen.

Die Analyse der Pflanzen hat oft auch nur relativen Wert, weil die normale Zusammensetzung eines Gewächses meistens sehr grossen Schwankungen unterliegt.

Eben durch die vielen Schwierigkeiten, welche die Methoden 1^o. und 2^o. darbieten, lässt sich erklären, warum immer wieder Versuche angestellt werden, um mittelst der sub 3 genannten Methode eine befriedigende Antwort auf die oben erwähnte Frage zu finden. Seit dem Jahre 1894 wählte man jedoch einen andern Weg und stützte sich auf den Gedanken, dass starke Säuren nicht anzuwenden sind, weil diese zu grosse Quantitäten, teils nicht assimilierbare Nährstoffe in Lösung bringen. Man schritt deshalb zur Anwendung verdünnter Säuren und stützte sich dabei auf verschiedene Auffassungen und Meinungen über das Wesen der Nährstoffabsorption der Pflanzen. So entstanden eine Menge Extraktionsmethoden, welche jedoch wenig klare und meist unvergleichbare Data ergeben haben.

Im Jahre 1907 hat A. Mitscherlich in Königsberg (Preussen) eine neue von ihm ausgearbeitete Methode der Bodenanalyse mittelst mit Kohlensäure gesättigten Wassers veröffentlicht. Diese Methode (siehe das Original Landwirtsch. Jahrb. 1907), welche eine weitaus genauere Bestimmung der Pflanzennährstoffe ermöglicht als die älteren Methoden, gründet sich erstens auf die

