

GRONDKUNDIGE NAVORSING IN DIE HOËVELD-STREEK

Die Landbounavorsingsinstituut van die Hoëveldstreek te Potchefstroom is die sentrum van navorsing vir die Hoëveldstreek, een van die sewe ekologiese landbou-streke waarin die Republiek onderverdeel is. Met sy nagenoeg 11,500,000 morg boerdery-oppervlakte is dit die derde kleinste streek en beslaan dit slegs 11.1% van die totale oppervlakte van die Republiek. Die 4,389,881 morg grond onder bewerking verteenwoordig egter 51.8% van die totale bewerkte grond in die Republiek. Behalwe 'n klein gedeelte wat onder besproeiing is, word die grond aangewend vir droëland-boerdery. Dit beteken dat die sukses van die oeste in 'n groot mate afhanklik is van klimaatsomstandighede. Tot dusver het die mens nog nie daarin geslaag om die makro-klimaat in enige mate te beheer om daardeur risiko's in die boerdery uit te skakel nie. Die grondklimaat kan egter beheer word deur agronomiese praktyke soos bv. deur die daarstelling van 'n „grondkometers” om verdamping te beperk en om soveel as moontlik vog te bewaar vir plantegroei.

Die feit dat meer as die helfte van die akkerbougrond van die Republiek in die Hoëveldstreek geleë is maak dit vanselfsprekend dat besondere aandag aan grondkundige navorsing gegee sal word. 'n Mens kan alleen dan 'n grond aanwend tot maksimum voordeel as hy 'n deeglike kennis besit van die natuurlike vrugbaarheid as uitvloeisel van die grondvormende prosesse, soos gemanifesteer in die biologiese, fisiese en chemiese eienskappe.

Vir kultuurgewasse dien die grond as standplaas waarin die wortels kan binnedring en waaruit hulle plantvoedingstowwe, lug en water kan opneem. In 'n grondprofiel, wat waargeneem kan word aan die vertikale sykant van 'n uitgraving, kan lae en horisonte onderskei word. Sommige lae en horisonte het 'n gunstige invloed op plantegroei bv. deurdat dit baie plantvoedingstowwe

bevat, goed deurlatend is vir water en lug en tog voldoende vog kan vashou, ens. Andere mag weer ongunstige eienskappe hê waardeur plantegroei belemmer word. Prakties is geen twee grondprofiële identies nie. Profieë wat uit ooreenstemmende lae en horisonte opgebou is en gevolglik dieselfde invloed op plantegroei het, behoort tot een grondtipe. Dit is 'n grondkundige eenheid waarvan die grense in die veld vasgestel en op 'n kaart aangegee word.

Grondkundige navorsing in die Hoëveldstreek word uitsluitlik toegespits op die bestudering van die verskillende grondtipes as groeimedia vir kultuurgewasse. Dit is die natuurlike vrugbaarheid en word bepaal deur die fisiese, chemiese en biologiese eienskappe van die grond. Die vrugbaarheid is slegs 'n potensiële eienskap. Die meeste landbougewasse is produkte van veredeling deur die mens en sou hulle sonder hulp van die mens in 'n natuurlike omgewing nie kan handhaaf nie. Die mens streef na die daarstelling van 'n omgewing vir landbougewasse, wat hulle in staat sal stel om maksimum opbrengste te lewer. Die taak van die grondkundige is daarin geleë dat hy die feitekennis in verband met grond verkry deur waarneming en eksperimente, moet sistematiseer om te trag om wetmatighede vas te stel wat geldig is vir die prosesse in die grond. Verder moet hy deur die verworwe kennis in staat wees om tegnieke toe te pas of aan te beveel waardeur die grond as groeimedium vir plante verbeter kan word.

Om die gestelde doel te kan bereik word grondkundige navorsing in die Hoëveldstreek op verskillende spesialiteitsgebiede onderneem, waarvan die mineralogie, fisiese, organiese- en analitiese chemie, mikrobiologie en biochemie die vernaamste rigtings is. In hierdie beknopte oorsig sal nie alleen die omvang en belangrikheid van die navorsing op elke gebied aangedui word nie, maar 'n poging sal aangewend word om aan te toon hoe die verskillende fasette by mekaar inpas om die geheelbeeld van die dinamiese prosesse in die grond daar te stel.

GRONDVORMING

Die eerste feit wat in gedagte gehou moet word by die bestudering van grond is dat ons nie met 'n uniforme materiaal te doen het nie. 'n Verskeidenheid gronde ontstaan as gevolg van die groot variasie in samestelling van die moedermateriaal waaruit gronde gevorm word en die uiteenlopende aard en werking van meteorologiese, geologiese en biologiese kragte daarop. Met toenemende verwerking verkry die grond 'n heeltemal ander karakter as die materiaal waaruit die grondtipe ontwikkel het. Die moedermateriaal van 'n grond mag afkomstig wees van 'n verskeidenheid van bronne soos verweerde rots, alluviale en aeoliese afsettings. Die eerste taak by die evaluering van profielontwikkeling is die vasstelling van die graad van uniformiteit van die moedermateriaal.

Belangrike navorsing word in dié verband in die Hoëveldstreek onderneem. Die heterogeniteit van die moedermateriaal is kenmerkend van die gronde in die Hoëveldstreek. In die Lichtenburg-gebied bedek die sand 'n verskeidenheid van gesteentes soos graniet, lawa, kalksteen en dolomiet (Grobler en Van der Bank¹). Om die uniformiteit van die moedermateriaal vas te stel is dit nodig om vergelykende mineralogiese en petrografiese ondersoek in te stel. Harmse²) het ondersoek ingestel na oorsprong en uniformiteit van die sandbedekking in die noordwestelike Vrystaat. Hy het vasgestel dat die sand van die onderliggende Karoogesteentes geskei word deur 'n duidelike strukturele, litologiese en mineralogiese onreëlmatigheid. Uit die geografiese verspreiding van die sand sowel as die verspreiding van swaar mineraalassosiasies en gemiddelde korrelgrootte is afdoende vasgestel dat die sand van aeoliese oorsprong is. Die sandbedekking het 'n baie lae verweringspotensiaal, sodat daar weinig chemiese vrystelling van plantvoedingstowwe kan plaasvind. Aanduidings is gevind dat bymenging van grondvormende minerale plaasvind waar die sand bv. in die nabyligheid van stollingsgesteentes afgesit is.

DIE AKTIEWE FRAKSIE VAN DIE GROND

(1) *Kleinminerale*

Die mate van grondvorming uit die moedermateriaal word gemeet deur die vorming van sekondêre minerale uit die primêre minerale. Die tipe kleimineraal wat gevorm word hang nie slegs van die samestelling van die moedermateriaal af nie, maar word beïnvloed deur lokale hidrologiese toestande. Van der Merwe en Heystek³⁾⁴⁾⁵⁾ het die volgende kleiminerale geïdentifiseer in gronde van die Hoëveldstreek: 1. Gehidrateerde mikas. 2. Montmorilloniet. 3. Kaoliniet. Die kleiminerale is plaatvormige aluminiumsilikate met kolloïdale afmetings.

Die kristal-struktuur van die kleiminerale is verskillend. Die strukturele eenheid in montmorilloniet bestaan uit twee SiO_4 -tetra-edriese lae aan weerskante van 'n AlO_4 -oktaedriese laag, terwyl kaoliniet slegs uit een laag Si-tetraeders en een laag Al-oktaeders bestaan. Die plaatvormige silikate besit 'n oppervlaktelading as gevolg van isomorfe substitusie van Al^{3+} deur Mg^{2+} en van OH^- deur O^{2-} in die kristalrooster. Hierdie oorskot aan negatiewe lading word geneutraliseer deur adsorpsie van katione in die tussenlaagse ruimtes van die kleiminerale. Hierdie geadsorbeerde katione speel 'n belangrike rol by die voedselvoorsiening van plante. Die geadsorbeerde katione kan uitruil met katione in die grondoplossing, bv. waterstof van biologiese oorsprong, om sodoende vir die plant beskikbaar te kom.

Die uitruilingsreaksies in die sisteem grond-grondoplossing-plant is van fundamentele belang vir die evaluering van die grond as groeimedium vir kultuurgewasse. Grobler⁶⁾ het die invloed van geadsorbeerde katione op die ontwikkeling van die hipokotiel en die epikotiel by mieliesaaillinge bestudeer. Dit het geblyk dat waar die uitruilingskompleks nie die katione in 'n gebalanseerde verhouding bevat nie, dit 'n stremmende uitwerking op die ontwikkeling het. Sander⁷⁾ het verdere ondersoek ingestel na die moontlike uitruiling van katione tussen wortels en klei-suspensies. Dit is gevind dat wortelont-

wikkeling in kaliumversadigde kaoliensuspensies swakker was as in kaliumversadigde bentonietsuspensies. Aangesien die uitruilingskapasiteite van die twee tipes kleisuspensies gelyk was, moet die oorsake vir die verskille by die spesifieke eienskappe van die klei gesoek word.

Die adsorpsie-ewewigte tussen die katione in die grondoplossing en die katione in die vaste fase word deur die relatiewe voorkeur van die adsorpsie-kompleks vir die verskillende ione bepaal.

Vir homovalente uitruiling geld die volgende verband vir ionspesies 1 en 2:

$$\frac{\gamma_1^+}{\gamma_2^+} = K_{1-2} \frac{C_1^+}{C_2^+}$$

vir heterovalente uitruiling geld:

$$\frac{\gamma_1^+}{\gamma_2^{++}} = K_{1-2} \frac{C_1^+}{C_2^{++}}$$

waar γ die geadsorbeerde hoeveelheid van 'n bepaalde ioon per gram grond is en C die konsentrasie van die ioon in die ewewigsoplossing. Die voorkeurkonstante K_{1-2} word bepaal deur die ladingsdigtheid in mili-ekwivalente per vk. sm. grond, die waardigheid en grootte van die gehidrateerde ioon en spesifieke voorkeur vir bepaalde ione bv. illiet vir kalium. Verdere navorsing word dus toegespits op die karakterisering van die verskillende grondtipes met betrekking tot die voorkeurskonstantes vir verskillende ioon-spesies.

(2) *Humus*

Uitruilingsreaksies in die grond is nie beperk tot die kleimineraal nie. Die humusfraksie vertoon dieselfde eienskappe a.g.v. die teenwoordigheid van suur en basiese groepe in die struktuur. Humusmolekule ontstaan waarskynlik deur vinnige kondensasie en polimerisasie van

vrye radikale, wat ensiematies gevorm word in die mikrobiologiese afbreekproses van plantreste in die grond. As gevolg van die hoë reaktiwiteit van die gevormde produkte is dit moeilik om suiwer ekstrakte van die verskillende komponente binne die humifiseringsproses te verkry. Eloff⁸) het van nie-drastiese ekstraksiemetodes gebruik gemaak om humienverbindings in „ouer” en „jonger” fraksies te verdeel. Elektroforetiese fraksionering van verskillende ekstrakte het aangetoon dat die relatiewe verhouding van „jong” tot „ou” humienverbindings varieer van 4.5 in 'n grond waarop *Eragrostis curvula* tot 1.8 in 'n grond waarop mielies verbou is.

Die nuutgevormde humienverbindings besit meer reaktiewe groepe per gewigseenheid as die meer stabiele hoogs gepolimieriseerde humienverbindings. Bepaling van die adsorpsie-kapasiteit van humus word bemoelijk deurdat humiensure chelaat-komplekse met katione en anione vorm. Pauli⁹) het aangetoon dat humienverbindings van nie-humienverbindings soos sellulose en lignien, onderskei kan word deur die adsorpsie van fluoreserende kleurstowwe. Die ontbindingsproses van plantreste in die grond kan dus kwantitatief nagegaan word deur die adsorpsiekapasiteit van die grondhumus te bepaal (Pauli en Grobler¹⁰)). Die tipe humiensure wat gevorm word in verskillende grondtipes kan gekarakteriseer word deur hulle adsorpsiekapasiteit vir akriflavien (Grobler en Pauli¹¹)).

Behalwe die regulerende invloed wat humienstowwe op die ionuitruilingsreaksies het, dien dit ook as direkte bron van voedsel vir die plant. Deur mikrobiologiese omsettings word stikstof, swavel en fosfor vrygestel. Die vrystelling van stikstof sal afhang van die wyse waarop die stikstof in die molekule van die humienstowwe ingebou is. Aanduidings is gevind dat stikstof in die heterosikliese kern van humiensure aanwesig is en in die sykettings as amino-sure. Verdere navorsing word onderneem om meer kennis te verkry oor die rol wat stikstof speel in die stabilisering van humus onder die klimaatsomstandighede wat in die Hoëveldstreek heers.

DIE NIE-AKTIEWE FRAKSIE VAN DIE GROND

Die samestelling van die vloeibare fase in die grond word eerstens beïnvloed deur die aktiewe komponente klei en humus, hoofsaaklik deur kationuitruilingsewewigte. Die anioonkonsentrasie in die grondoplossing is afhanklik van die oplosbaarheidsewewigte tussen die vaste en vloeibare fase. Die nie-aktiewe fraksie van 'n grond bestaan hoofsaaklik uit die sand- en slikfraksies en onoplosbare of swak-oplosbare kristallyne tot amorfesoute en oksiede.

1. Fosfaatewewigte

In teenstelling met die geadsorbeerde katione en die oplosbare nitraat-ion kom fosfate in die grond meestal as onoplosbare verbindings van kalsium, aluminium en yster voor. Die oplosbaarheid van hierdie verbindings is 'n funksie van die pH van die grondoplossing. In die ysterryke gronde van die Hoëveldstreek is dit van belang om die fosfaatverbinding te karakteriseer. Die relatiewe verhoudings van yster, aluminium en kalsium sal die bindingsvermoë van fosforhoudende bemestingsstowwe en dus die konsentrasie fosfaat in die grondoplossing bepaal. Onderzoek het aangetoon dat die verhouding van aluminiumfosfaat tot kalsiumfosfaat 'n aanduiding gee van die bindingsvermoë van die grond vir oplosbare fosforverbindinge (Grobler¹²).

Uit die grondkundige oogpunt word die vrystelling van plantvoedingselemente beheer deur 'n kapasiteitsfaktor en 'n intensiteitsfaktor. Vir katione in die grond is die kapasiteitsfaktor gelyk aan die geadsorbeerde hoeveelhede. Vir 'n anioon soos PO_4^{3-} , wat as onoplosbare of swakoplosbare verbindings in die grond voorkom, is die kapasiteitsfaktor gelyk aan die totale P. Die intensiteitsfaktor is gelyk aan die konsentrasie in die grondoplossing.

2. Mikro-elemente

Mikro-elemente soos koper, sink, mangaan en molib-

deem beklee 'n intermediêre posisie omdat hulle geadsorbeer kan word en dus soos uitruilbare katione optree, en gedeeltelik kom hulle in onverweerde minerale of swakoplosbare verbindings voor. Om die kapasiteits- en intensiteitsfaktor in dié geval te bepaal moet ondersoek ingestel word na die vorms waarin die elemente in die grond voorkom. Grobler en Hugo¹³) het deur korrelasie-studies aangetoon dat die totale sinkinhoud van gronde in die Hoëveldstreek hoofsaaklik in die slikfraksie geleë is. Dit beteken dus dat die sink aanwesig is in die vaste fase in die vorm van primêre minerale en dat die konsentrasie in die grondoplossing laag is. Die hoeveelheid wat vir die plant beskikbaar sal kom is dus nou verbonde aan die verweringspotensiaal van die grond.

WISSELWERKING TUSSEN IONE

Die mate waartoe die beskikbaarheid van elemente deur die kapasiteits- en intensiteitsfaktor gereël word bepaal slegs die potensiële beskikbaarheid. Die werklike beskikbaarheid is afhanklik van die onderlinge wisselwerking tussen die elemente. Die wisselwerking mag in die grond of in die plant plaasvind. Waar die adsorpsie-kompleks versadig is met verskillende katione word die samestelling van die grondoplossing bepaal deur die voorkeurskonstante K_{1-2} soos hierbo aangetoon. 'n Oormaat magnesium op die adsorpsiekompleks kan bv. daartoe lei dat kalium uit die wortels onttrek word (Sander⁷)).

Byna alle ione in die grondoplossing het of 'n antagonistiese of 'n sinergistiese uitwerking op die opname van ander ione deur plante. Veral by mikro-elemente, wat as katalisatore in metaboliese reaksies optree, is konsentrasie, en verhoudingsgrense krities. Hugo¹⁴) het gevind dat klein hoeveelhede koper, sinkopname deur mielies stimuleer, terwyl hoër kopertoedienings 'n antagonistiese effek op sinkopname het. Die verskynsel dat hoë toedienings van fosfaatverbindinge aan gronde, sinkgebreksimptome induseer is deur Laker¹⁵) ondersoek. Dit is gevind

dat dit nie die gevolg van die versteuring van oplosbaarheidsewewigte in die grond is nie. Die verhoogde konsentrasie P in die grondoplossing mag egter 'n ongebalanseerde verhouding van P:Zn in die plant tot gevolg hê. Hierdie aspek word verder ondersoek deur die gebruik van radioaktiewe isotope van fosfor en sink.

BEWEGING VAN IONE EN WATER

Die intensiteit van voedselvoorsiening word deur adsorpsie-ewewigte en oplosbaarheidsewewigte geregleer. Die hoeveelheid van 'n ioon wat deur die wortel opgeneem word is egter eweredig met die konsentrasie van die ioon in die vloeibare fase in sy onmiddellike omgewing. Die opname van ione deur die plant geskied nie passief, deur onveranderde translokasie van die grondoplossing nie. Dit vertoon 'n hoë mate van selektiwiteit ten opsigte van verskillende ioonspesies (Grobler¹⁶). Die meganisme van wateropname verskil ook van die van ionopname.

1. *Hidroliese deurlaatbaarheid*

Indien die plant water opneem uit die onmiddellike omgewing van die wortels, sal die water van verder geleë grondvolumes moet beweeg na die wortelsone. Die beweging van water sal afhang van die porieë-geometrie van die grondsisteem, d.w.s. van die korrelgrootte-verdeling en hulle rangskikking t.o.v. mekaar. In versadigde media is die waterbeweging afhanklik van die hidroliese deurlaatbaarheid. Dit is 'n wrywingskonstante van die medium, wat ook die viskositeit van die vloeistof insluit. Die invloed van porieë-geometrie, temperatuur en die aard van opgeloste stowwe op die hidroliese deurlaatbaarheid is deur Grundlingh¹⁷) nagegaan. Verdere ondersoek word ingestel na die beweging van water en soute in onversadigde media.

2. *Beweging van ione*

Die plant kan sy voedingstowwe slegs uit oplossing

opneem. Indien 'n plantwortel 'n bepaalde ioon vinniger opneem as wat water opgeneem word, sal die toevoer van die ioon a.g.v. die beweging van water nie voldoende wees nie. Daar sal dus 'n konsentrasie-gradient in die vloeibare fase ontstaan. Die tekort by die worteloppervlak sal dan deur diffusie aangevul moet word. Die diffusiesnelhede van verskillende ione by verskillende vogspannings word verder ondersoek.

AGRONOMIESE PRAKTYKE

Die aktiewe fraksie, die nie-aktiewe fraksie, wisselwerking tussen voedingselemente en die beweging van ione en water is enkele van die belangrikste grondkundige faktore wat in elke grondtipe 'n deurslaggewende rol speel by die suksesvolle verbouing van kultuurgewasse. Dit is duidelik dat sukses alleen behaal kan word met bv. toegediende bemestingstowwe, besproeiingswater, ploeg, ens. indien die uitwerking daarvan op die grondoplossing, porieë-geometrie en meganiese weerstand in aanmerking geneem word. Optimum toestande vir gewasproduksie heers wanneer die verskillende faktore sodanig by mekaar inpas dat geen beperking voorkom nie. Die maatstaf wat hiervoor aangewend word is die opbrengs.

Op die verskillende grondtipes in die Hoëveldstreek word die wetmatighede wat deur die fundamente ondersoek vasgestel is, proefondervindelik getoets. Opbrengs integreer die invloede van fisiese, chemiese en biologiese grondeienskappe, wat selde onafhanklik optree. Navorsing wat gepaard gaan met die veldproewe is daarop toegespits om elke eienskap wat opbrengs affekteer te identifiseer. As dit nie gedoen word nie kan afleidings soms misleidend wees. So is bv. gevind dat toedienings van sink geen meetbare invloed op opbrengs het nie. Waar stikstof egter toegedien is, het die toediening van sink fenomenale vermeerderings in opbrengs van mielies teweeggebring op een bepaalde grondsoort.

Die invloed van individuele faktore op die groei van gewasse kan deur statistiese metodes bevredigend vasgestel word, slegs in die eenvoudigste sisteme waar 'n paar bekende faktore gevarieer word, soos waar 'n veldproef uitgevoer word op 'n uniforme grond.

ALGEMEEN

Die huidige produksie van akkerbou-gewasse in die Hoëveldstreek berus hoofsaaklik op enkele empiriese feite. Die werklike kennis aangaande die eienskappe en verspreiding van die gronde is baie min, en na mate meer kennis beskikbaar kom sal agronomiese praktyke ontwikkel kan word, waardeur nie alleen 'n bestendige opbrengs per morg gehandhaaf sal kan word, nieteenstaande klimaatswisselinge nie, maar sal ook 'n beter benutting van die grond moontlik wees. Die uiteindelijke doel is om elke grond te gebruik volgens sy vermoë en te behandel volgens sy behoeftes.

Die tyd het seker aangebreek dat meer toekomstige wetenskaplikes hulle kragte sal toewy aan hierdie belangrike wetenskap. Grond is die belangrikste natuurlike hulpbron van die Republiek van Suid-Afrika en verdien sekerlik meer aandag as wat tot dusver daaraan bestee is. Nie alleen behoort 'n sistematiese opname van die gronde as basis te dien vir landboukundige beplanning nie, maar om te voorkom dat stedelike uitbreiding belangrike akkerbougrond van die landbou onttrek moet 'n grondkaart as basis dien vir alle beplanning. Ook die bevolking en/of ontvolking van die platteland moet uiteindelik bepaal word deur die produksiepotensiaal van die grond en nie deur die oppervlakte van die plase nie.

J. H. Grobler.

Landbounavorsingsinstituut van die
Hoëveldstreek, Potchefstroom.

VERWYSINGS:

- 1) Grobler, J. H. en Van der Bank, W. J.: 1962. 'n Grondassosiasiekaart van die Lichtenburg-omgewing (ongepubliseerd).
- 2) Harmse, H. J. von M.: 1963. 'n Sediment-petrologiese studie van die sandbedekking van die Noordwes-Vrystaat. M.Sc.-verhandeling, P.U. vir C.H.O.
- 3) Van der Merwe, C. R. en Heystek, H.: 1952. Clay minerals of S.A. soil groups. I. Laterites. Soil Sci. 74.
- 4) 1956. III Desert soils. Soil Sci. 80.
- 5) 1956. IV Temperate soils. Soil Sci. 81.
- 6) Grobler, J. H.: 1956. Die invloed van geadsorbeerde katione op harpuisstowwe op die ontkieming en groei van mielies. M.Sc.-verhandeling, P.U. vir C.H.O.
- 7) Sander, C. L.: 1963. Kationuitruiling tussen mieliewortels en kleisuspensies. M.Sc.-verhandeling, P.U. vir C.H.O.
- 8) Eloff, J. N.: 1963. The extraction and electrophoretic fractionation of soil humic compounds. M.Sc.-verhandeling, P.U. vir C.H.O.
- 9) Pauli, F. W.: 1961. Fluorochrome adsorption studies on decomposing plant residues. I. Decomposition studies. S. Afr. J. Agric. Sci. 4, 123—134.
- 10) Pauli, F. W. en Grobler, J. H.: 1961. Characterization of soil humus by acriflavine adsorption. S. Afr. J. Agric. Sci. 4, 157—169.
- 11) Grobler, J. H. en Pauli, F. W.: 1964. Adsorption equilibria on humic substances. S. Afr. J. Agric. Sci. (in press).
- 12) Grobler, J. H.: 1963. Fosfaatbindingsvermoë en fosfaatfraksies in langtermyn bemestingsproewe (ongepubliseerd).
- 13) Grobler, J. H. en Hugo, P. H. J.: 1963. Die sinkstatus van die gronde van die Hoëveldstreek. Interne simposium oor sink, Potchefstroom.
- 14) Hugo, P. H. J.: 1963. Die invloed van koper en mangaan op die opname van sink deur mielies. Interne simposium oor sink, Potchefstroom.
- 15) Laker, M. C.: 1963. Die invloed van fosfaat op die sinkvoeding van mielies. Interne simposium oor sink, Potchefstroom.
- 16) Grobler, J. H.: 1959. Initial phase ion uptake and the interpretation of root potentials. Doktorstesis, Excelsior, 's Gravenhage.
- 17) Grundlingh, C. F.: 1963. Die invloed van deeltjiegrootte, temperatuur en osmotiesewaarde op voglobewing. (Ongepubliseerd).