

NN31545.1803

BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW

ICW nota 1803

september 1987



nota

— instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen —

ONDERZOEK IN WEST-DUISSLAND OP HET GEBIED VAN DE  
BODEMVERDICHTING

Verslag van een studiereis

ir. J.J.H. van den Akker



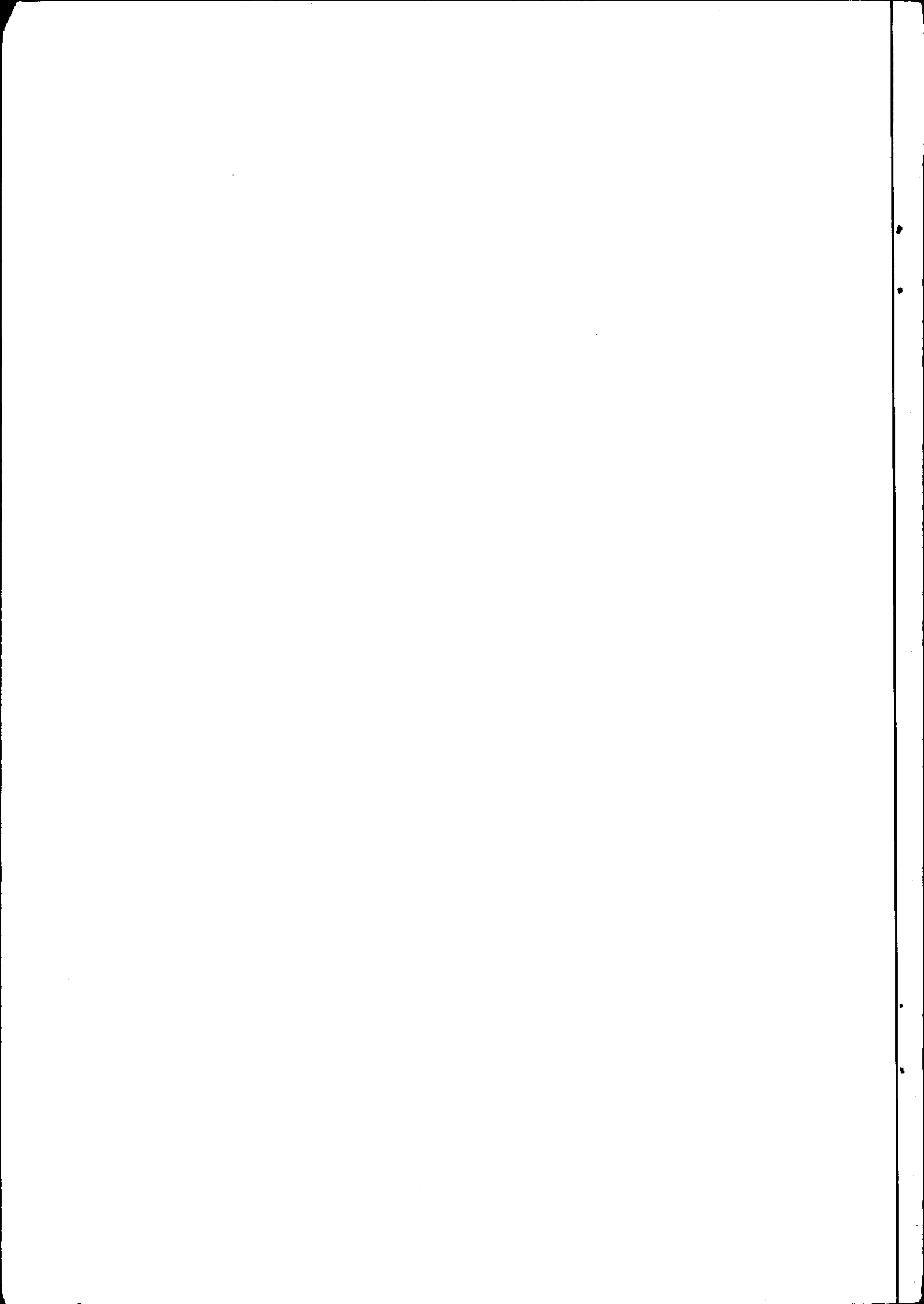
Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-  
middelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een  
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende  
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen  
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek  
nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut  
in aanmerking

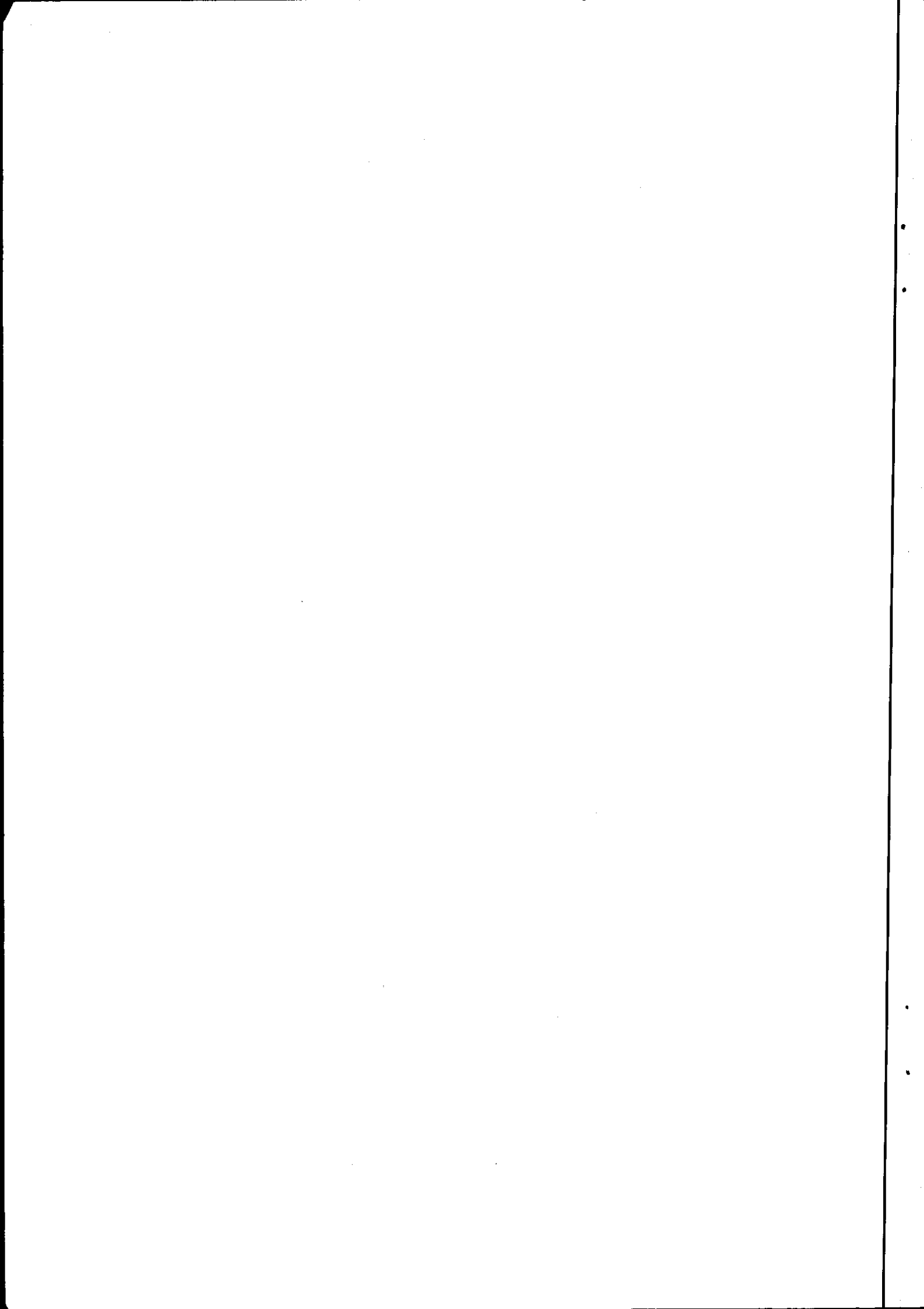
15.11.1987

8 SEP 1987



I N H O U D

	blz
1. INLEIDING	1
2. BEZOEK AAN DE "BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT BRAUNSCHWEIG-VÖLKENRODE (FAL)"	2
2.1. Algemeen	2
2.2. Bezoek aan het "Institut für Betriebs-technik"	3
2.3. Bezoek aan het "Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung"	5
3. BEZOEK AAN DE "ABTEILUNG BODENPHYSIK UNIVERSITÄT BAYREUTH"	8
3.1. Algemeen	8
3.2. Het onderzoek	8
4. BEZOEK AAN DE "LEHRSTUHL UND INSTITUT FÜR LANDMASCHINEN, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN"	11
4.1. Algemeen	11
4.2. Het onderzoek	11
5. BEZOEK AAN HET "BATTELLE-INSTITUT FRANKFURT"	17
5.1. Algemeen	17
5.2. Onderzoek bij de "Abteilung Fahrzeugtechnik"	17
6 CONCLUSIES	20
LITERATUUR	21
BIJLAGE: ADRESSENLIJST	23



## 1. INLEIDING

Van 30 maart tot en met 3 april 1987 is een studiereis door West-Duitsland gemaakt, waarbij de FAL te Braunschweig, de Universität Bayreuth, de Technische Universität München en het Battelle- Institut Frankfurt zijn bezocht. Op al de instellingen wordt onderzoek gedaan op het gebied van bodemverdichting. Doel van de reis was om meer inzicht te krijgen in het onderzoek en de onderzoeksmethoden bij deze instellingen. In het verslag wordt aan elke bezochte instelling een hoofdstuk gewijd. Het verslag wordt afgesloten met een hoofdstuk conclusies. Een adressenlijst waarop de bezochte personen en instellingen staan, is als bijlage in het verslag opgenomen.

2. BEZOEK AAN DE "BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT,  
BRAUNSCHWEIG - VÖLKENRODE (FAL)"

2.1. Algemeen

De FAL is onderverdeeld in een aantal instituten. Deze zijn aangegeven in fig.1

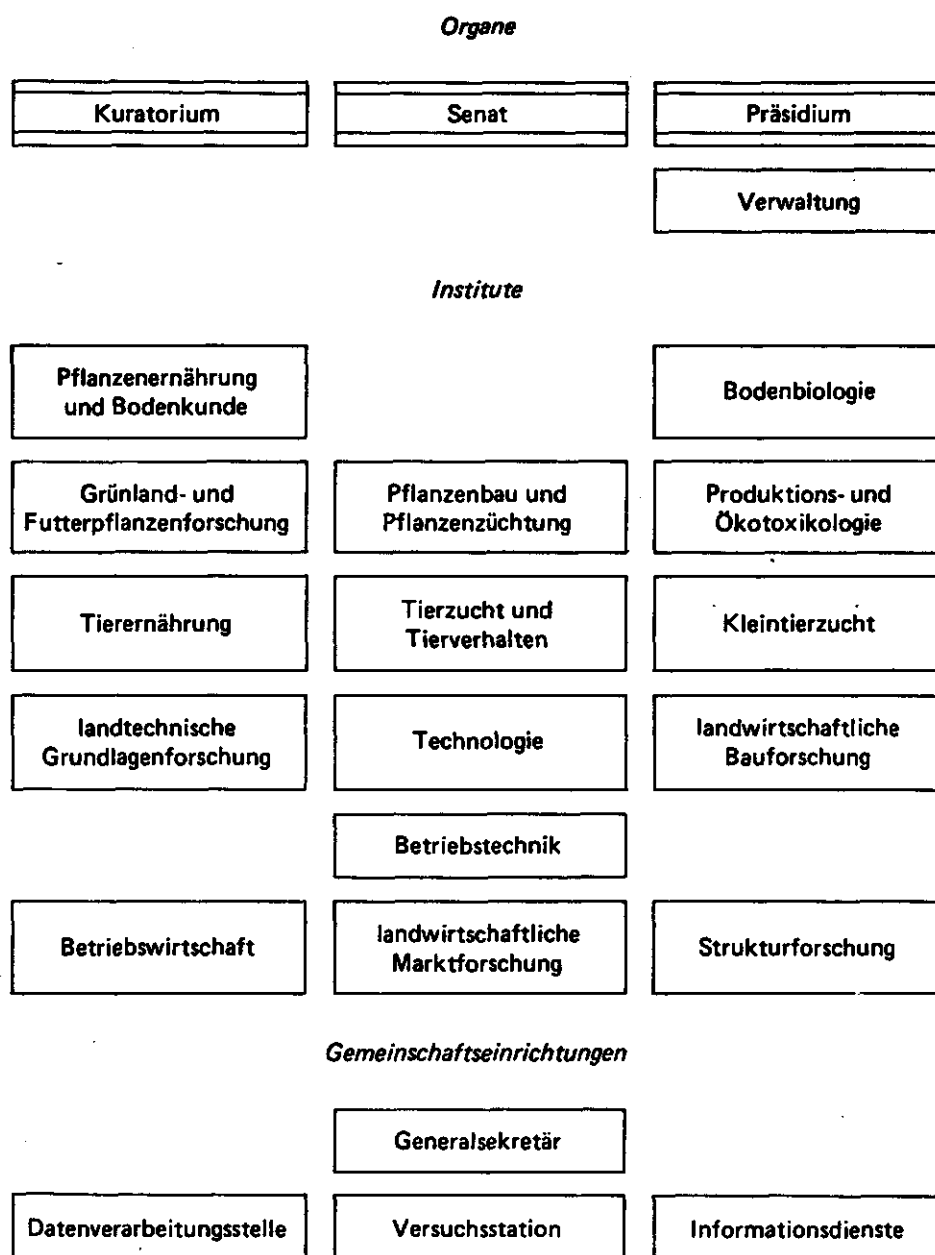


Fig. 1. Organisatie FAL

Het merendeel van de instituten is gevestigd op het FAL-terrein nabij Braunschweig. Dit gebied beslaat een oppervlakte van 442 ha, waarvan 170 ha bouwland, 180 ha bos en 41 ha proefvelden. De resterende 51 ha is bebouwing, tuinen en wegen. Het totale aantal medewerkers is 955. Het onderzoeksgebied van de instituten valt af te leiden van hun naamgeving. Een groot deel van de onderzoekscapaciteit wordt besteed aan onderzoekszwaartepunten, waarbij verschillende instituten samenwerken. Deze onderzoekszwaartepunten zijn:

- Energierelevant agrarisch onderzoek
- Humanisering van het werk in de landbouw
- Dierenbescherming in de landbouw
- Milieurelevant agrarisch onderzoek
- Agrarische grondstoffen - Producten en technologie.

Het onderzoek van de FAL beperkt zich niet tot een bepaalde bondsstaat, maar betreft de gehele Bondsrepubliek Duitsland. De FAL adviseert de Bondsregering.

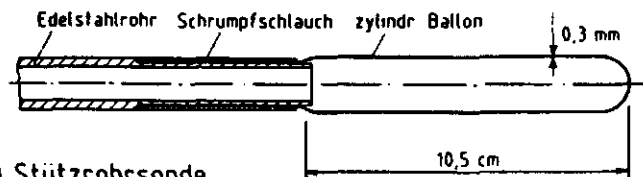
Bezocht zijn het "Institut für Betriebstechnik" en het "Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung."

## 2.2. Bezoek aan het "Institut für Betriebstechnik"

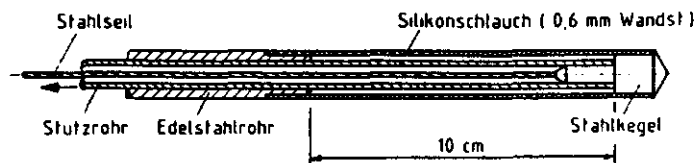
Dit instituut houdt zich bezig met de analyse, verbetering, beproeving en beoordeling van landbouwproductiemiddelen en manieren, waarbij de resultaten voor de praktijk worden vertaald. Directeur van het instituut is professor dr. H. Schön. Mijn gesprekspartner was dr. Heinrich Steinkampf. Tot voor kort hield deze zich bezig met onderzoek op het gebied van berijdbaarheid en het energieverbruik bij het berijden. Voor dit onderzoek zijn slipcurven gemaakt van ongeveer 2000 banden bij verschillende gronden, lasten en vochtgehalten. De laatste 3 jaren heeft het onderzoek zich meer verplaatst naar de vraag wat er met de grond gebeurt door het berijden. Eèn van de redenen hiervoor is het feit, dat door het verbod in Duitsland om over de vorst mest uit te rijden, de boeren direct na de vorstperiode in korte tijd zeer veel drijfmest op het land brengen. De gevolgen hiervan zijn diepe insporingen, versmering, verdichting en oppervlakteafvoer.

Eén van de toegepaste onderzoeksmethoden is het meten van drukken in de grond met de Bolling - sonde. Hierbij zijn twee soorten sonden gebruikt, zie figuur 2.

a) Ballonsonde



b) Stützrohrsonde



- a) Ballonsonde, vor jedem Versuch muß der Ballon im Boden ausgestülpt und befüllt werden  
 b) Stützrohrsonde, vor jedem Versuch muß das Stützrohr zurückgezogen werden

Fig. 2 Twee soorten Bolling - sonden

Een uitgebreide beschrijving van de sonden is gegeven in BOLLING (1984) en BOLLING (1986).

De sonden worden onder een hoek van  $20^\circ$  ingebracht op 20 en 40 cm diepte. Op 20 cm diepte dat wil zeggen in de bouwvoor, zijn de meetresultaten redelijk. De metingen in de ondergrond op 40 cm diepte zijn slecht. Het probleem is dat daar de drukken laag zijn, waardoor elke storing een grote invloed heeft op de meting. Het instrument is op zich wel zeer gevoelig, een kleine druk met de vinger geeft een duidelijke uitslag. Wat er precies wordt gemeten met de sonde is niet duidelijk. De meetresultaten worden gebruikt om verschillende soorten berijdingen, banden en grondsoorten met elkaar te vergelijken. Tot nu toe zijn slechts enkele proeven uitgevoerd. Vergeleken zijn een Terraband met een dubbelluchtopstelling. De Terraband met een banddruk van 1,2 bar de dubbellucht met 1,6 en 0,8 bar. De belasting was 5 ton. Het resultaat was dat in de bovengrond de Terraband de laagste drukken geeft. In de ondergrond waren de drukken ongeveer gelijk (0,1-0,2 bar), de spreiding in de meetresultaten was echter hoog. Er werd



herhaald bereiden, waardoor de gemeten drukken in het algemeen toenemen. Een aantal malen was echter het omgekeerde het geval, dan was bij de eerste maal berijden de druk erg hoog en nam deze bij de volgende berijdingen af. Het aantal metingen dat op één dag kon worden gedaan viel Steinkampf tegen. Op één dag werden met 6 man 8 tot 10 metingen verricht. Om Terraband, dubbellucht en een gewone band met elkaar te vergelijken zijn ook afdrukken gemaakt in zand met 5 ton belasting. De afdrukken werden volgegoten met een verhardend materiaal en met elkaar vergeleken. Onderzocht wordt of dubbellucht (bijna) even goed is als een Terraband. Dit in verband met het feit dat Terrabanden zeer duur zijn. Een nieuw groot project waarbij Steinkampf is betrokken, is een vergelijking tussen een middelgroot (50 ha) en een groot (150 ha) akkerbouwbedrijf op een leemhoudende, fijne zandgrond. Het verschil wordt aangebracht door wiellasten van maximaal respectievelijk 2 ton en 5 ton te gebruiken. Bij het ploegen wordt in de voor en boven over het land rijden met elkaar vergeleken. Er worden opbrengsbepalingen gedaan, het bodemleven wordt onderzocht en fysische metingen, waaronder drukmetingen, zullen worden uitgevoerd. Hierbij zullen plastic uitvoeringen van de druksonde worden gebruikt, die blijvend in de grond worden aangebracht. Het onderzoek van Steinkampf sluit goed aan bij de interesses van het ICW. Uit de te verwachten grote aantallen proeven met de Bollingsonden zal al snel blijken hoe bruikbaar deze methode is.

### 2.3. Bezoek aan het "Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung".

Het onderzoek van dit instituut is voor een belangrijk deel er op gericht om een compromis te vinden voor het spanningsveld tussen de economie en de ecologie in de landbouw. Directeur is professor dr. M. Dambroth. Mijn gesprekspartner was dr.ing. Claus Sommer. In het kader van de eerdergenoemde doelstelling van het Instituut wordt gestreefd naar de bevordering van de "Integrierten Pflanzenbau"

(geïntegreerde landbouw). Hiervoor is veel onderzoek gedaan naar "Konservierende Bodenbearbeitung" (behoudende, conserverende grondbewerking). Kenmerkend voor conserverende grondbewerking is dat de stoppelbewerking zo weinig mogelijk wordt toegepast. De afgestorven tussenvrucht en oogstresten worden op het land gelaten. Doel hiervan is om wind en watererosie geen kans te geven en om onkruidontwikkeling te onderdrukken. De grondbewerking wordt beperkt tot  $\pm 10$  cm diepte, waardoor de grond in de bovenste 30 cm dichter, maar ook sterker, blijft dan bij ploegen. Dit heeft tot gevolg dat de insporingsdiepten worden beperkt en de uiteindelijke dichtheid na berijden lager is dan bij het geploegde land. Volgens SOMMER (1985) verschillen de opbrengsten bij de "normale" en de conserverende grondbewerking niet significant. Bij een rondleiding over de proefvelden werden verschillende bodembedekkende tussenvruchten getoond. Sommer is ook betrokken bij de eerder vermelde proef, waarbij een middelgroot en een groot bedrijf met elkaar worden vergeleken. Hij zal daarbij de verdichting gaan meten met behulp van gammasonden. De ijking van de sonden gebeurt door ringmonsters te nemen waarvan het vochtgehalte en de dichtheid worden bepaald en vergeleken met de gammasondemeting. Het voordeel van de gammasondemeting is dat de dichtheid voor en na berijden op dezelfde plek kan worden gemeten. Nadelen zijn de veiligheidsaspecten en het feit dat de sonde steeds weer moet worden geijkt.

Bij het vergelijkingsproject worden ook de indringweerstand bepaald met een penetrometer zoals aangegeven in fig 3.

De penetrometer is een automatisering van een bestaande penetrograaf met een mechanische registratie. De indringweerstand wordt tegen de diepte uitgezet op een draagbare x-y-schrijver. De indringsnelheid wordt gelimiteerd tot  $v = 0,04$  m/s door middel van twee hydraulische cilinders. De indringdiepte is 40 cm. De gebruikte conus heeft een tophoek van  $30^\circ$  en een basisoppervlakte van  $100 \text{ mm}^2$ . Inclusief x-y schrijver weegt het totaal 17 kg. Een uitgebreide beschrijving is gegeven in SOMMER (1978). Sommer toonde ook een aantal potproeven waarmee de invloed van bodemverdichting en vocht op de wortelgroei wordt onderzocht. In de potten met een diameter van 39 cm zijn drie lagen aangebracht, waarbij de middelste wordt verdicht. Elke laag wordt bevochtigd met behulp van een soort tensiometercups en op een

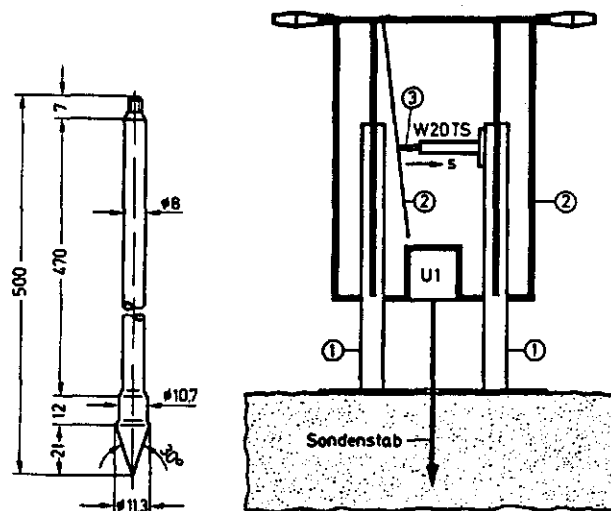


Fig. 3. De penetrometer van Sommer

bepaalde vochtspanning gehouden. De getoonde potten waren ingezaaid met klaver en vormden een proef-opstelling. Uitgebreide proeven zullen nog worden gedaan. De methode om de potten met behulp van tensiometer-cups te bevochtigen staat beschreven in SOMMER (1980) en SOMMER (1981). Het blijkt dat het onderzoek van Sommer goed aansluit op het bodemverdichtingsonderzoek van het ICW. Ditzelfde geldt voor het onderzoek van Steinkampf. Het lijkt nuttig het eenmaal gelegde contact te blijven onderhouden.

### 3. BEZOEK AAN DE "ABTEILUNG BODENPHYSIK, UNIVERSITÄT BAYREUTH".

#### 3.1. Algemeen

De Universität Bayreuth is een jonge universiteit die 12 jaar geleden is gesticht. De afdeling Bodenphysik is 5 jaar geleden opgericht en staat onder leiding van dr. R. Horn. De afdeling is vrij klein en bestaat momenteel uit drie mensen die promotieonderzoek doen, twee technisch medewerkers en een aantal studenten. De uitrusting van het goed opgezette laboratorium is uitstekend. Behalve de afdeling Bodenphysik is er nog een agrarische afdeling op de universiteit, de Abteilung Agrarhydraulic. Professor Horn was tijdens mijn bezoek werkzaam in Australië. Ik werd ontvangen door de heren M. Lebert en M. Burger.

#### 3.2. Het onderzoek

Het onderzoek op het gebied van de bodemverdichting staat in het kader van een Beiers overheidsproject, waarbij wordt getracht de verdichtingsgevoeligheid van verschillende Beierse landbouwgronden in kaart te brengen. Dit betreft vooral de zwaardere kleigronden en leemgronden. Zandlandbouwgronden heeft men in Beieren nauwelijks. Het onderzoek is gesplitst in een deel waarbij spanningen in de grond worden gemeten met behulp van drukdozen en een deel waarbij verschillende proeven worden gedaan op ringmonsters. Het eerste deel is het werk van Burger, het tweede deel van Lebert.

Een overzicht van het onderzoek wordt gegeven in figuur 4.

Bij berijdingsproeven in 't veld en bij proeven op monolietmonsters van 60x40x30 cm zijn drukdozen gebruikt. De drukdozen worden in de werkplaats van de universiteit gemaakt en hebben een diameter van 30 mm en een dikte van 6 mm. Zowel bij de veldproeven als bij de monolietmonsters worden de drukdozen aangebracht in een horizontaal rechthoekig gat, dat met behulp van een steekbus, die in de grond wordt geslagen, wordt gemaakt. De diepte van het gat is maximaal 40 cm. De

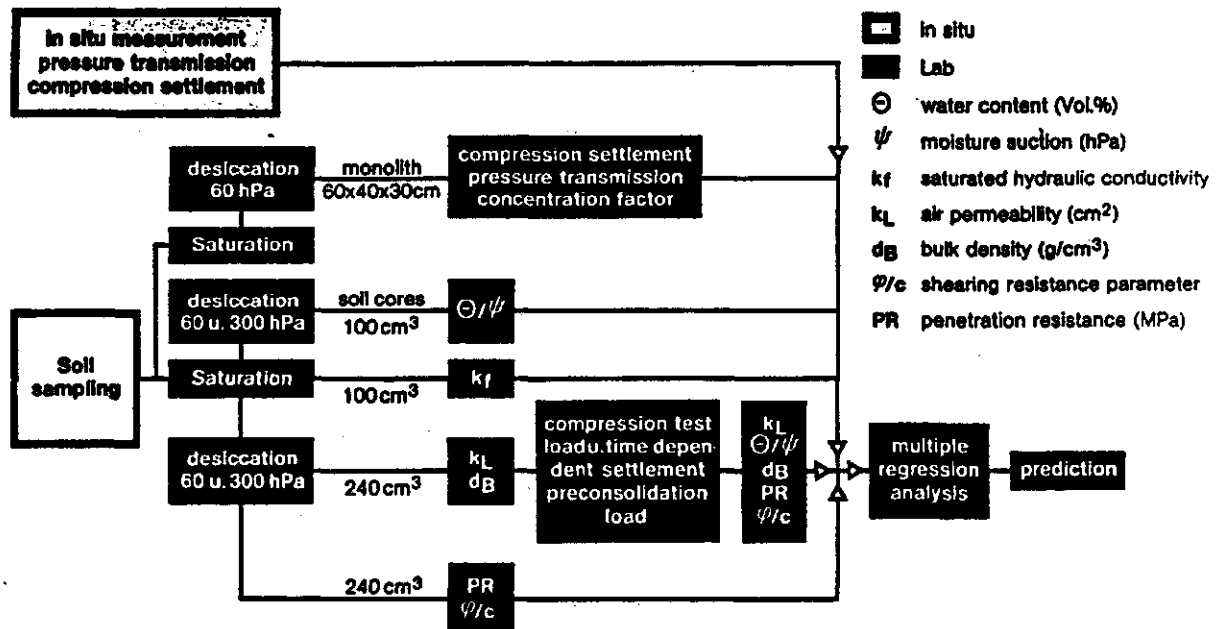


Fig 4. Overzicht van het onderzoek naar de verdichtbaarheid van Beierse landbouwgronden.

drukdozen kunnen ruim in het gat. Na het aanbrengen van de drukdozen wordt de ruimte boven en naast de drukdozen zorgvuldig aangevuld met zand om een goed contact met de grond te krijgen. Een groot nadeel van de inbrengmethode is dat bij het inslaan van de steekbuis de grond nogal wordt verstoord. Men probeert hier verbetering in te brengen door de wanddikte van de steekbuis zo dun mogelijk te maken, waarbij gebruik wordt gemaakt van hoogwaardig staal. De resultaten van een aantal veldproeven zijn gegeven in HORN (1987). Omdat de veldproeven erg arbeidsintensief zijn en de omstandigheden niet te standardiseren zijn, wordt voor het inventariseringsproject van de Beierse overheid gebruik gemaakt van ongestoorde grondmonolieten, die op vele plaatsen bij verschillende grondsoorten worden gestoken. Per proefplek wordt één monster van de ondergrond genomen. Dit gebeurt door een stalen bak zonder bodem met een breedte van 40 cm en een lengte van 60 cm ongeveer 30 cm in de grond te slaan. Duidelijk zal zijn dat het monster niet altijd even ongeroerd blijft. Na het inslaan wordt het monster uitgegraven en naar het laboratorium vervoerd. Daar wordt het monster

eerst volledig verzadigd en vervolgens ontwaterd tot een zuigspanning van -60 cm waterdruk. In de zijwand van de stalen bak zijn op drie verspringende hoogten rechthoekige gaten aangebracht waardoor de eerder genoemde steekbuis kan worden ingebracht om drukdozen aan te brengen. Vervolgens zijn de gronddrukken gemeten die het gevolg zijn van een belasting met een drukplaat rond 10 cm. Uit de metingen wordt de concentratiefactor berekend. Resultaten van de monolietproeven zijn gegeven in HORN (1987), HORN (1981), HORN (1983) en BURGER (1986). Uit fig 4 volgt dat m.b.v. 100 cm<sup>3</sup> grondmonsters de pF curven en de verzadigde waterdoorlatendheid van de grond wordt bepaald. Met 240 cm<sup>3</sup> grondmonsters wordt na verzadiging en ontwatering tot een zuigspanning van -60 en -300 cm waterdruk de luchtdoorlatendheid, volumegewicht, indringweerstand, cohesie en hoek van inwendige wrijving van de grond bepaald. Dit gebeurt in ongeroerde toestand en na uniaxiale belasting. De hoogte van deze monsters is relatief klein t.o.v. de diameter. De indringweerstand wordt bepaald met behulp van een penetrometer met een zeer kleine diameter en een tophoek van 120°. De hoek van inwendige wrijving  $\phi$  en de cohesie  $c$  wordt bepaald met een afschuifapparaat. Mijn conclusie over het inventarisatieproject is, dat het een goed, breed opgezet onderzoek is. Een groot probleem is echter dat door de omvangrijkheid en het tekort aan mensen de kwaliteit in gevaar komt. Zo is het mijns inzien noodzakelijk dat de monsterneming van de monolieten en het aanbrengen van de drukdozen wordt verbeterd. Het maken van horizontale gaten met behulp van een soort frees, zoals Lerink van de LUW dit doet, zou al een grote verbetering zijn. Ook zouden de monolietmonsters in ieder geval in duplo moeten worden genomen. Door het ontbreken van herhaalde metingen en metingen waarbij een bekende spanning wordt vergeleken met een gemeten spanning, is het moeilijk de kwaliteit van deze gronddrukmetingen met behulp van drukdozen te beoordelen. Desondanks verdient het onderzoek in Bayreuth zeker onze aandacht.

#### 4. BEZOEK AAN DE "LEHRSTUHL UND INSTITUT FÜR LANDMASCHINEN, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN".

##### 4.1. Algemeen

De leerstoel en het instituut staan onder leiding van prof.dr.ing. K.T.B. Renius. Hij is de opvolger van prof. W. Söhne, een bekende naam op het gebied van de bodemverdichting. Het instituut bestaat uit slechts enkele medewerkers en is de enige landbouwkundige studierichting op de TU-München. De leiding van het werk op gebied van terramechanica berust bij dr.ing. M. Schwanghart, hij houdt zich vooral bezig met trekkrachtslipcurven en ander onderzoek dat vooral betrekking heeft op banden. Zijn assistent was dipl.ing. I. Bolling, die zich vooral bezig hield met metingen en berekeningen van spanningen in de grond. Het lag in de bedoeling dat Bolling mijn gesprekspartner zou zijn. Helaas was hij echter kort na zijn promotie al vertrokken naar Kraus-Maffei. Mijn gesprekspartner werd zijn opvolger, dipl.ing. Neukam, iemand die onder leiding van Bolling pas was afgestudeerd en zodoende uitstekend geïnformeerd was over het werk van Bolling.

##### 4.2. Het onderzoek

Het onderzoek richt zich vooral op het gebruik van de Bolling-sonde (zie fig. 2, bezoek FAL). Een uitgebreide beschrijving is gegeven in BOLLING (1984) en BOLLING (1986). Omdat de TU München midden in de stad ligt, gaat bij het doen van veldproeven veel tijd aan reizen verloren. Daarom worden veel proeven gedaan in een grote grondbak in de kelder van de universiteit. De afmetingen van de bak zijn: L x B x D = 25.0 x 2.5 x 0.6 m. De bak is gevuld met leemhoudend zand en is uitgerust met een enkelwieltester. De maximale wiellast is 38 kN met een maximale slipkracht van 25 kN. Met behulp van een rotereg en een cultivator wordt de grond tot 40 cm diepte losgemaakt en op de juiste dichtheid gebracht met een 2,5 m brede rol. Doordat men veel ervaring heeft met het prepareren van deze grond zijn dichtheden en vochtgehalten goed reproduceerbaar. Een snelle controle of de dichtheid en het

vochtgehalte over de hele bak hetzelfde is, wordt uitgevoerd met een door Bolling ontwikkelde penetrometer. Het vochtgehalte wordt gecontroleerd door grondmonsters te nemen. Deze worden gedroogd in een magnetronoven, waardoor het resultaat binnen enkele minuten beschikbaar is. Bij de door Bolling ontwikkelde penetrometer worden conussen volgens de ASAE-standaard gebruikt. Er wordt met een bepaalde snelheid gesondeerd met behulp van een spindelconstructie. Zie fig. 5.

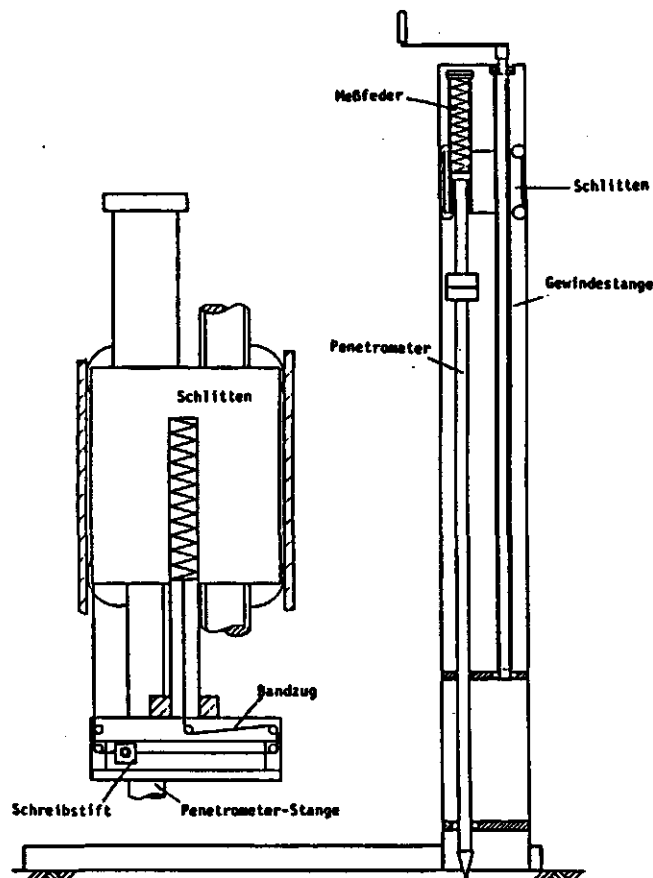


Fig 5. De penetrometer van Bolling.

De kracht wordt gemeten met een veer en op een rol papier gezet. De lengte van de grafiek is hierbij gelijk aan de indringdiepte. Het geheel weegt 25 kg en is draagbaar. Er kunnen snel veel sonderingen worden gedaan. Een nadeel is dat door het gebruik van lange rollen



papier de verdere verwerking van de sonderingen zeer tijdrovend is. Resultaten zijn gegeven in BOLLING (1987). De grondbak is door Bolling gebruikt om onder goed geconditioneerde omstandigheden drukken te meten met de sonde onder drukplaten en banden op 15 en 20 cm onder het grondoppervlak. Tijdens het berijden zijn continue de drukken midden onder en onder de rand van de band gemeten. Bij de proeven in het veld zijn alleen de piekdrukken gemeten. Hierbij was men voor de berijding afhankelijk van hetgeen de boer ter beschikking kon stellen. Dat op deze wijze geen systematisch onderzoek kon worden gedaan, werd als een gemis ervaren. Men hoopt dat andere instellingen (zoals de FAL), die enkele sonden hebben gekocht, deze leemte kunnen opvullen. Resultaten van de grondbakproeven en de veldproeven zijn onder andere gegeven in BOLLING (1986) en BOLLING (1987). Bolling stelt dat de druk die gemeten wordt met de sonde gelijk is aan het gemiddelde van de drie hoofdspansingen vermenigvuldigd met een constante  $k_s$ . Deze constante geeft de invloed van het verschil in stijfheid tussen de sonde en de omringende grond.

$$p_{so} = k_s \cdot \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (1)$$

Naar mijn mening wordt  $k_s$  niet alleen bepaald door het verschil in stijfheid maar misschien nog meer door het feit dat de vervorming van de sonde heel anders is dan de grond. Zie fig 6.

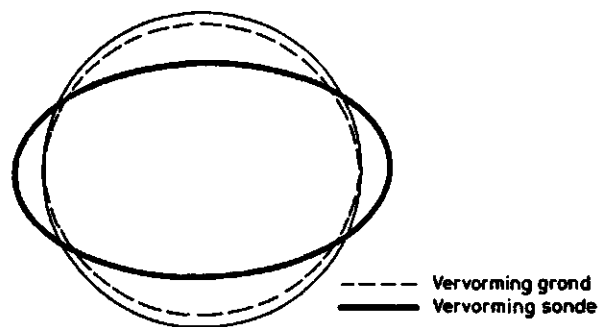


Fig 6. Vervorming grondcilinder versus vervorming Bollingsonde

Omdat de spanning in de sonde isotroop is, zal bij het aanbrengen van een verticale grondspanning de sondeddoorsnede platter worden. Hierdoor neemt de verticale grondspanning direct boven de sonde af en de horizontale grondspanning direct naast de sonde toe. De vervorming van de

sonde gaat door totdat een evenwicht is bereikt. De verticale en horizontale grondspanningen direct rondom de sonde zullen dan gelijk zijn aan de vloeistofspanning  $p_{SO}$  in de sonde. Hierbij is geen rekening gehouden met de buigstijfheid van de wand van de siliconenslang. Hierdoor zal namelijk de verticale grondspanning iets hoger zijn dan de horizontale grondspanning. Een en ander wordt verduidelijkt in fig. 7.

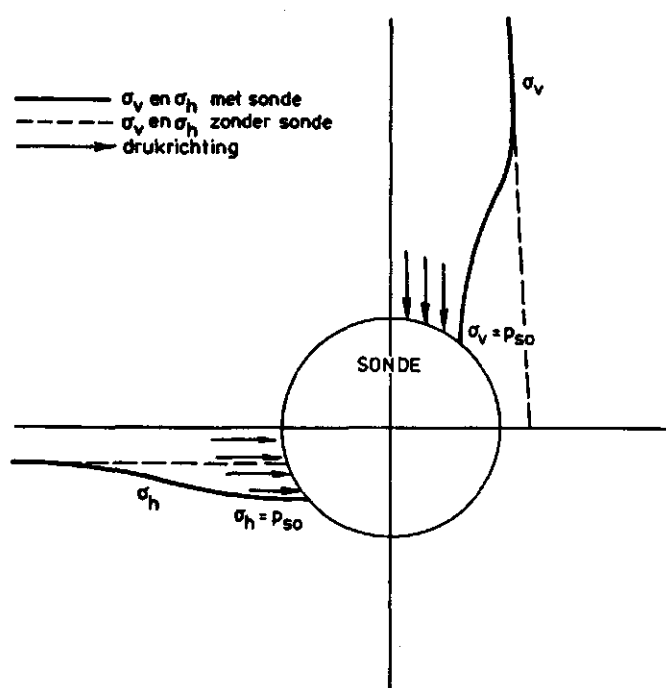


Fig 7. De spanningsverdeling rondom de Bollingensonde

Andere versturende acties zijn het inbrengen van de sonde en het enigzins voorspannen van de sonde door er een overdruk op te zetten. Door beide acties zal de grond wat worden opgespannen. In hoeverre dit de meting zal beïnvloeden is moeilijk te zeggen. Het is zelfs mogelijk dat door het opspannen de meting wordt verbeterd omdat daardoor de sondeddoorsnede niet zoveel hoeft te vervormen om een isotrope spanningsverdeling in de grond rondom de sonde te creëren. Door het opspannen wordt namelijk de horizontale spanning  $\sigma_{hor}$  voor de berijding al verhoogd. Voor de toename van  $\sigma_{hor}$  tot de sondedruk  $p_{SO}$  tijdens de

berijding is dan niet zoveel vervorming meer nodig. Om de eerder genoemde correctiefactor  $k_s$  te bepalen zijn proeven gedaan met een drukvat met een hoogte van 40 cm en een doorsnede van 39 cm. De wanden van het vat zijn bekleed met teflon om de wandwrijving te minimaliseren. Een probleem bij deze opstelling is dat men de horizontale druk slechts kan inschatten. Om hieraan tegemoet te komen zijn ook proeven in triaxiaalmonsters gedaan. Het voordeel hierbij is dat alle grondspanningen bekend zijn. Het goed aanbrengen van de sonde is echter moeilijk. Voor het meten van de verticale grondspanningen dicht onder de sonde is gebruik gemaakt van doosjes met keramische rekstrookjes en van een drukmat. Deze drukmat wordt o.a. in de orthopedie gebruikt om het drukverloop onder een voet te meten. De technische gegevens van de drukdoosjes en de drukmat zijn verkregen. Uit de proeven met drukvat en de triaxiaalproeven bleek dat de correctiefactor  $k_s$  sterk van 1,0 kan afwijken, tot  $k_s = 2.0$  toe. Uit de veldproeven en de proeven in de grondbak blijkt dat met de Bolling-sonde goed vergelijkend onderzoek kan worden gedaan. De grote variatie in de correctiefactor  $k_s$  laat echter zien dat het verband tussen de sondedruk  $p_{s0}$  en de gronddrukken niet zo eenvoudig is als in eerste instantie werd aangenomen. Bolling heeft zich ook bezig gehouden met de relatie spanning - verdichting. Hiervoor zijn triaxiaalproeven gedaan, zoals aangegeven in figuur 8. Tijdens de proeven blijft de verhouding  $c_p = 0,3, 0,5$  en  $0,7$ . Alleen met  $c_p = 0,3$  zit men op de grens van bezwijken/niet bezwijken van de beproefde monsters, die bestaan uit leemhoudend zand met verschillende dichtheden en vochtgehalten. Bij de proeven wordt alleen het belasten en niet het ontlasten van het monster beschouwd. Met het doen van triaxiaalproeven om de relatie tussen spanning en verdichting te vinden, zit de TU-München op dezelfde lijn als het ICW. Alleen wordt op het ICW wel het ontlasten van het monster nader beschouwd, omdat hierbij grote verdichtingen kunnen optreden. Ook wordt op het ICW veel meer de nadruk gelegd op de verdichting die het gevolg is van de grote vervormingen die bij bezwijken van de grond optreden. Concluderend kan worden gesteld, dat het bodemverdichtingsonderzoek op de TU-München en op het ICW vele raakpunten heeft. Een goed contact tussen beide instituten zal dan ook voor beide gunstig uitwerken.

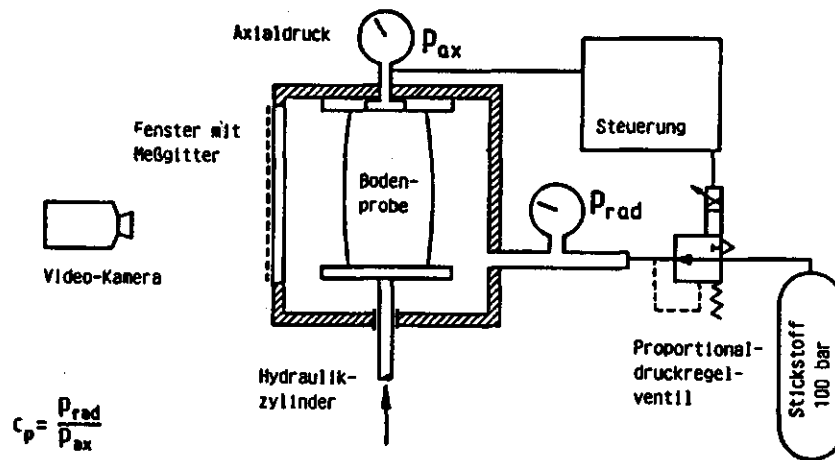


Fig 8. Schema van triaxiaalproeven op losse landbouwgrond, waarbij de axiaal- en de radiaaldrücken  $P_{ax}$  en  $P_{rad}$  evenredig toenemen

## 5. BEZOEK AAN HET BATTELLE-INSTITUT FRANKFURT.

### 5.1. Algemeen

Het Battelle-Instituut Frankfurt is één van de vijf Battellecentra in de wereld. Het is een organisatie met meer dan 7500 werknemers en de grootste particuliere onderzoeksorganisatie ter wereld. De doelstelling van Battelle is de ontwikkeling, gebruik en tot commerciële benutting brengen van nieuwe technologieën. De omzet van Battelle - Frankfurt bestaat voor 45% uit onderzoek voor de industrie en 55% uit overheidsonderzoek. Van het industriële onderzoek is ongeveer een kwart op het gebied van voertuigtechniek. Het overheidsonderzoek is voor 1/3 deel in opdracht van het Bundesministerium für Forschung und Technologie en voor 1/3 deel voor het Bundesministerium der Verteidigung. De Battelle Motor-und Fahrzeugtechnik GMBH is een sinds 1986 verzelfstandigd onderdeel van Battelle Frankfurt onder leiding van K.J. Melzer. De contacten met de diverse Battellecentra blijven echter sterk. Bij de afdeling voertuigtechniek van dit nieuwe onderzoeksbureau ben ik te gast geweest. Gesprekspartner was dipl.ing. W. Köppel, hoofd van de "Abteilung Fahrzeugtechnik"

### 5.2. Onderzoek bij de "Abteilung Fahrzeugtechnik"

Het onderzoek bij de afdeling voertuigtechniek is voor een belangrijk deel gericht op de berijdbaarheid van terrein. Omdat het onderzoek voornamelijk militair is, wordt onder berijdbaarheid iets anders verstaan dan bij de landbouw gebruikelijk is. Het gaat er om of het voertuig nog vooruit kan komen en hoe snel dat is. De schade aan het land is daarbij secundair.

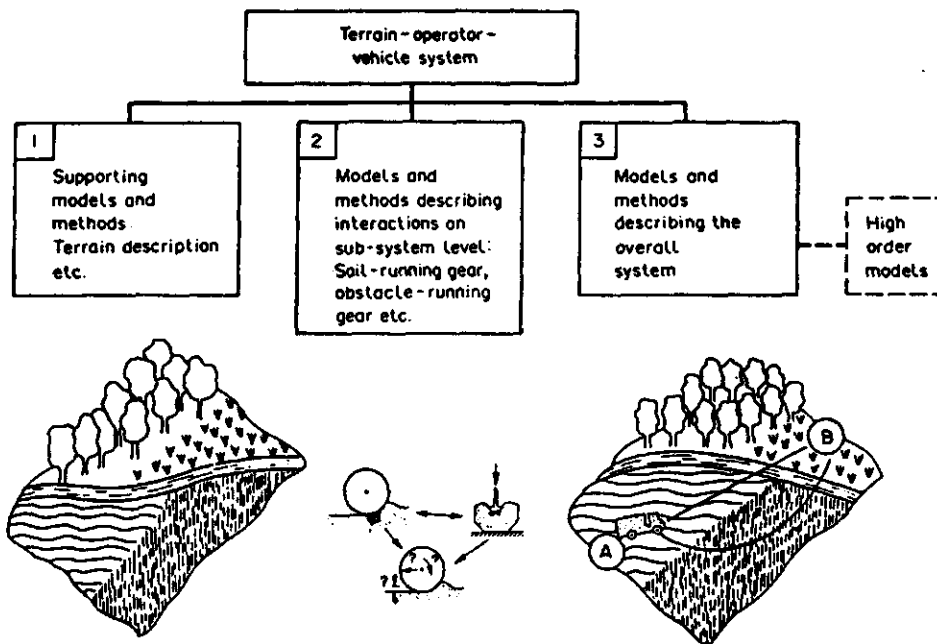


Fig. 9. Opzet van het onderzoek naar de berijdbaarheid van terreinen door de Abteilung Fahrzeugtechnik.

In figuur 9 is de opzet van het onderzoek aangegeven. Als men wil weten hoe snel een voertuig van A naar B kan komen, dan moeten de terreingegevens en de eigenschappen van het voertuig bekend zijn. Belangrijk terreinkenmerken zijn onder andere de begroeiing, soort grond, vochttoestand, hellingpercentages en de aanwezigheid van lijnelementen zoals wegen, sloten en rivieren. Met behulp van modellen probeert men in te schatten wat de invloeden van klimatologische omstandigheden zijn op de vochttoestand en de grondparameters. De terreininventarisatie bestaat uit het verzamelen van bekend kaartmateriaal, het maken en interpreteren van remote sensing opnamen en het meten van grondeigenschappen in het terrein m.b.v. de penetrometer en een mobiel afschuifapparaat. De interactie tussen grond en voertuig wordt als tweede punt onderzocht. Hierbij gaat het om spoordiepten, rolweerstand en de krachten en versnellingen op het voertuig. Als derde worden de terreinkenmerken gekoppeld aan de interacties grond-voertuig, zodat kan worden uitgerekend in hoeverre het mogelijk is en

hoe snel een bepaald voertuig over een bepaald terrein van A naar B kan komen.

Eén van de belangrijkste criteria voor de berijdbaarheid wordt gevonden met behulp van de penetrometer. Gesteld wordt dat de grond nog berijdbaar is dat als de conusindex (CI) groter of gelijk is aan de Vehicle Cone Index (VCI). Elk voertuig heeft een eigen VCI. Deze wordt berekend uit de Mobility Index (MI) en de Tire Deflection Factors (TDF). De MI is o.a. weer afhankelijk van de band-uitrusting, motorvermogen, soort voertuig en totaalgewicht. Köppel zei dat het CI en VCI-criterium in de praktijk zeer goed voldeed. Het meten van de grondparameters met een mobiel afschuifapparaat is nodig om een model te voeden waarmee de slijpkracht wordt berekend. Een beschrijving van dit model en een vergelijking tussen gemeten en berekend is gegeven in BALADI (1986). Het ontwikkelen van dergelijke modellen en het onderzoek betreffende de penetrometer wordt niet uitgevoerd bij Battelle, maar voornamelijk bij de WES (Waterways Experiment Station) te Vicksburg, USA. Daar wordt veel militaire research gepleegd. Een probleem is dan ook dat een deel van het onderzoek geheim is. Het is de taak van Battelle om het onderzoek voor de praktijk bruikbaar te maken. Concluderend kan worden gesteld dat, hoewel het onderzoek bij Battelle op zich wel interessant is, het slechts voor een deel aansluit op het werk van het ICW op het gebied van de bodemverdichting.

## 6. CONCLUSIES

Het onderzoek aan de Universität Bayreuth, de Technische Universität München en op de FAL vult het onderzoek op het ICW goed aan. Het onderzoek op het Battelle-Institut is minder belangrijk voor het ICW. De gesprekken met de onderzoekers waren buitengewoon hartelijk en open. Zij hadden ook veel belangstelling voor het onderzoek op het ICW en zijn daarom uitgenodigd voor een tegenbezoek. Het is mij gebleken dat een van de belangrijkste voordelen van een direct contact met een collega-onderzoeker is, dat veel dieper kan worden ingegegaan op de onderzoeksmethoden. Deze staan in de literatuur vaak slechts summier beschreven. Ook krijgt men veel meer en nieuwere onderzoeksresultaten te zien dan in een artikel kunnen worden beschreven. De contacten die in Duitsland zijn gelegd zijn het dan ook zeker waard om te worden onderhouden.



## LITERATUUR

- BALADI, G.Y. and R.W. MEIER 1986. Soil model for calculating tractive forces between the terrain and a given vehicle. Proceedings 2 nd Symposium on Terrain Vehicle Systems, Frankfurt, Battelle-Institut, June 1986
- BOLLING, I. 1984. Pressure Tests in Soil below Tires of Agricultural Vehicles. Proceedings of the 8 th. Int. Conf. ISTRO, Cambridge, England, Vol II, p 875-890
- , 1986. Beanspruchung des Bodens beim Schlepper- und Maschineneinsatz in: Bodenverdichtungen beim Schlepper- und Maschineneinsatz und Möglichkeiten zu ihrer Verminderung. KTBL-Schrift 308, p 49-73 -
- , 1987 Bodenverdichtung und Triebkraftverhalten bei Reifen -Neue Meß- und Rechenmethoden -. Dissertation. Lehrstuhl für Landmaschinen, TU-München.
- BURGER, M., M. LEBERT, R. HORN. 1987, Prediction of the Compressibility of Arable Land. Proceedings Ist. International Workshop on Soilphysics and Soilmechanics. 11th - 13th august 1986, Hannover, In press.
- HORN, R. 1981. Die Bedeutung der Agregierung von Böden für die mechanische Belastbarkeit-Schriftenreihe FB14 TU-Berlin H10
- , 1983. Die Bedeutung der Agregierung für die Druckfortpflanzung im Boden. Z.f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 24, p 238 - 243
- , M. BURGER, M. LEBERT und G. BADEWITZ 1987. Druckfortpflanzung in Böden unter langsam fahrenden Traktoren. Z.f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 28, p 94 - 102
- SOMMER, C. und K. ZIEMER. 1978. Zur meßtechnischen Erfassung der Eindringwiderstands von Böden. Meßtechnische Briefe 14 (1978), Heft 3, p 58 - 61
- , C. 1980. A method for investigating the influence of soil water potential on water consumption, development and yield of plants. Soil and Tillage Research, ,(1980/1981), pl63 - 172.

SOMMER, C. und O. TANASESSUI. 1981. Weiterentwicklung der Methode zur kontinuierlichen Wasserversorgung von Versuchsgefäßen nach dem Bodenwasserpotential. Landbauforschung Völkenrode, 31 Jahrgang (1981), Heft 1, p 59 - 61

———, C. 1985. Ursachen und Folgen von Bodenverdichtungen sowie Möglichkeiten zu ihrer Verminderung. Landtechnik 9/1985

## BIJLAGE

Adressenlijst studiereis West-Duitsland 30-3-87 t/m 3-4-'87

Dr.- Ing. C. Sommer  
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der FAL  
Bundesallee 50  
3300 Braunschweig  
tel.(0531) 5961

Dr.- Ing. H. Steinkampf  
Institut für Betriebstechnik der Fal  
Bundesallee 50  
3300 Braunschweig  
tel (0531) 596/491

Prof. Dr.- Ing R. Horn  
Dipl.- Ing. M. Burger  
Dipl.- Ing. M. Lebert  
Abt .- Bodenphysik  
Postfach 101251,  
8580 Bayreuth  
tel (0921) 55 - 2295 (Lebert)

Dipl.- Ing. M. Neukam  
Dr.- Ing. H. Schwanghart  
Lehrstuhl und Institut für Landmaschinen TU München  
Arcisstraße 21  
8000 München 2  
tel (089) 2105 - 2554 (Neukam) - 2556 (Schwanghart)

Dipl. Ing W. Köppel  
Battelle Motor - und Fahrzeugtechnik GmbH.  
Am Römerhof 35  
Postfach 900160  
6000 Frankfurt am Main 90  
tel (069) 7908 - 2206