

NN31545.1877

ICW nota 1877^I

juli 1988



— instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen —

**BODEMTECHNISCH ONDERZOEK NAAR DE EFFECTEN VAN BEZANDING
VAN BLOEMBOLLENGRONDEN EN SIMULATIE VAN BEZANDINGEN MET
HET NUMERIEK MODEL FLOWEX**

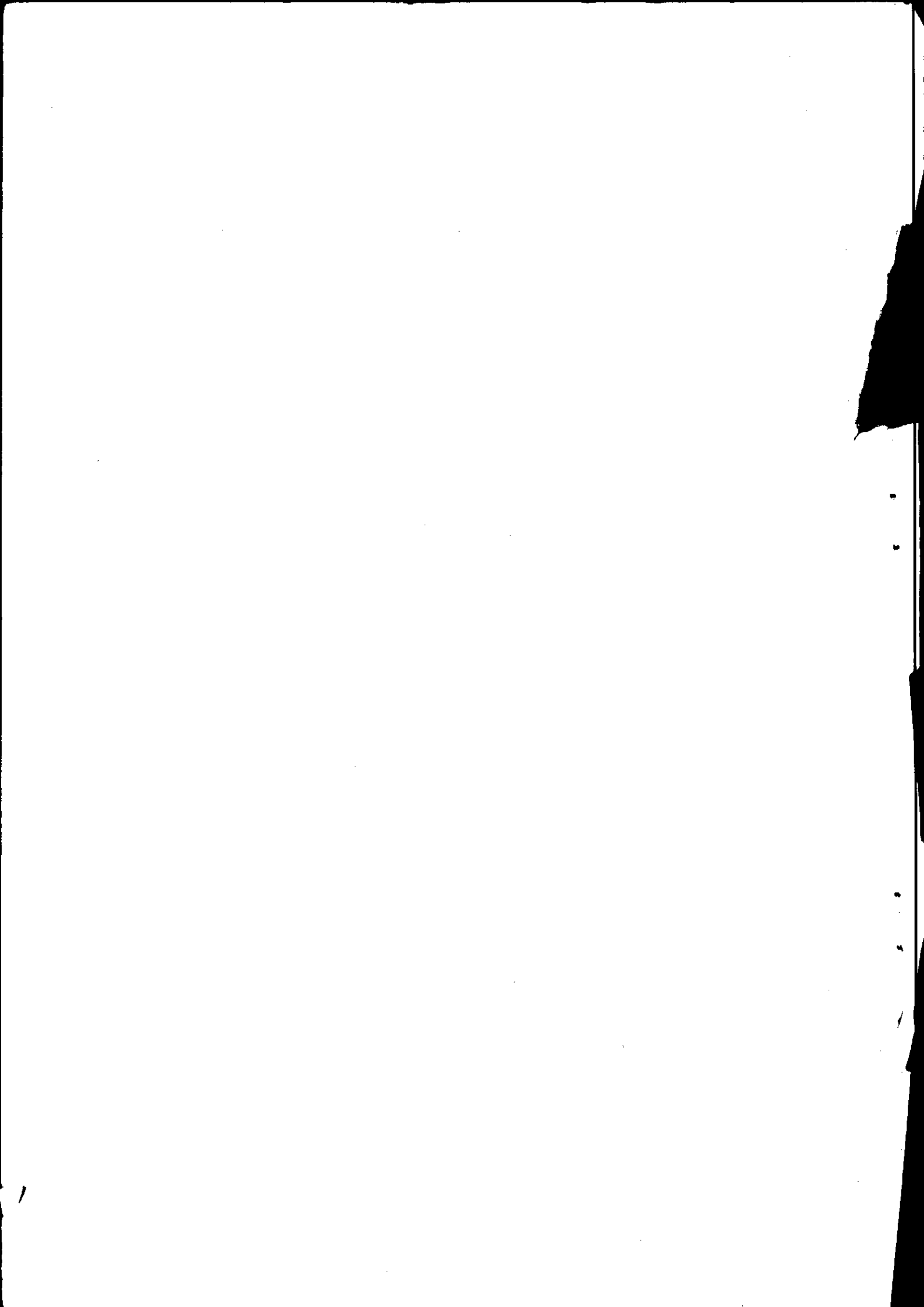
Gerrit Jan Carsjens

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



7 SEP. 1988

ISBN 291825*



INHOUD

	blz.
VOORWOORD	
ABSTRACT	
1. INLEIDING	1
1.1. Doel van het onderzoek	1
1.2. Overzicht van de te behandelen onderwerpen	2
2. VOORBEREIDEND ONDERZOEK VELDMONSTERS	3
2.1. Algemeen	3
2.2. Bepaling organische stofgehalte	3
2.3. Bepaling kalkgehalte	4
2.3.1. Opstelling en uitvoering	5
2.3.2. Resultaten	6
2.4. Bepaling granulaire samenstelling	6
2.4.1. Voorbehandeling van de monsters	6
2.4.2. De bepaling van de fractieverhoudingen	7
2.4.2.1. Onderverdeling van de grove fractie (>50 µm)	7
2.4.2.2. Onderverdeling van de fijne fractie (<50 µm)	8
2.4.3. Resultaten	9
3. BEPALING VAN DE VOCHTRETENTIE EN DE DOORLATENDHEID VOLGENS DE VERDAMPINGSMETHODE	12
3.1. Inleiding	12
3.2. Prepareren van de monsters	12
3.3. Opstelling van de proef	15
3.4. Uitvoering van de proef	16
3.5. Verwerking van de gegevens	16
3.5.1. Fase I in de verwerking	17
3.5.2. Fase II in de verwerking	17
3.5.3. Fase III in de verwerking	19
3.6. Aanvullende metingen	20
3.7. Resultaten van de verdampingsmethode	21

4. SIMULATIE MET HET NUMERIEK MODEL FLOWEX	24
4.1. Inleiding	24
4.2. Beschrijving van het model	24
4.3. Invoer van FLOWEX	25
4.4. Uitvoer van FLOWEX	27
4.5. Bespreking van de resultaten	28
5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR NADER ONDERZOEK	39
6. SAMENVATTING	41
LITERATUURLIJST	43
BIJLAGEN	45

VOORWOORD

Dit verslag is het resultaat van een driemaands leeronderzoek voor de vakgroep Cultuurtechniek aan de Landbouwniversiteit te Wageningen. Het onderzoek is uitgevoerd bij het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Wageningen, in samenwerking met het Laboratorium voor Bloembollenonderzoek te Lisse.

Ik wil hierbij iedereen bedanken die mij bij het onderzoek behulpzaam is geweest, met name de heren D. Boels en G.G.M. van der Valk die mij begeleid hebben, en dit verslag kritisch hebben doorgenomen.

Gerrit Jan Carsjens
Wageningen, 15 mei 1988.

ABSTRACT

In the last couple of years the production of bulbs has expanded to non-traditional soils. This is caused by the enlarged demand for bulbs and the great yields. The bulb production on these soils meets with a lot of difficulties, mainly hydrological problems, caused by different soil textures. It is tried to improve these soils with coarse sand, which is mixed with the upper soil layer. The results of these operations are unknown.

This research is done to investigate the relationship between the clay content in the upper soil and the soil hydrological properties. The soil hydrological properties of several samples of coarse sand, with different clay contents, are determined with an instantaneous profile method. At the I.C.W. an automatic system has been adapted for this method by Boels et al. (1978).

The effects of soil improvements on aircontents are simulated with the computermodel FLOWEX. The soil aircontent at 20 cm below the surface is calculated for a period of ten years. This has been done for soils that are classified as very suitable for flower bulb growth, moderate-unsuitable and for different artificial top soils overlaying clay, loam and sand subsoils. The drainage condition, i.e. drain spacing and depth, are varied from half the Dutch standard up to twice this standard.

The calculations show that the model FLOWEX can be used to investigate the effects of improvements of soils used for bulb production. A comparison of the results of the different soils shows a relation between the soil texture and the soil aircontent. The soil with the largest fine sand and clay content has the smallest aircontent. This soil will probably cause problems for the bulbs during wet periodes.

1. INLEIDING

De laatste jaren is een grote vraag ontstaan naar gronden die geschikt zijn voor de bloembollenteelt. Van oorsprong speelt de teelt van bloembollen zich voornamelijk af op duinvaaggronden. Ten gevolge van het beperkte areaal van deze vaaggronden heeft de bloembollenteelt zich uitgebreid naar andere, vaak minder geschikte gronden. Bij de teelt op deze minder geschikte gronden treden echter regelmatig problemen op met de waterhuishouding en de bewerkbaarheid. Deze problemen zijn veelal het gevolg van de slechtere textuur van de gronden; zo hebben fijnzandige gronden en gronden met een groter percentage afslibbaar (percentage $< 16 \mu\text{m}$) over het algemeen een minder goede luchthuishouding. Daardoor kan er in perioden met een neerslagoverschot een zuurstoftekort optreden, wat een daling in de opbrengst tot gevolg heeft.

Men probeert deze gronden te verbeteren door het opbrengen van een laag grof zeezand, die vervolgens met de bouwvoor wordt vermengd. Over de effecten van de bezandingen is echter nog weinig bekend.

1.1 Doel van het onderzoek

Om meer inzicht te verkrijgen in de effecten van het bezanden, en de rol die het percentage afslibbaar in de bovengrond hierbij speelt, worden in dit onderzoek een aantal metingen verricht aan omgespoten zandgrond met verschillende slibgehalten. De fysische eigenschappen van deze gronden (de pF-curve en de doorlatenheidskarakteristiek) worden bepaald met behulp van de verdampingsmethode. Om een vergelijking met de praktijk te kunnen maken, worden tevens de fysische eigenschappen van een als goed en een als slecht beoordeelde bloembollengrond bepaald. Het doel van deze bepalingen is een uitspraak te kunnen doen over het maximaal toelaatbare percentage slib in de bouwvoor.

De effecten van een bodemtechnische ingreep zijn in de praktijk pas na een aantal jaren te bepalen. Om op korte termijn toch een uitspraak te kunnen doen over de gevolgen van een ingreep zijn computermodellen ontwikkeld waarmee de praktijksituatie gesimuleerd kan worden. Een van deze modellen, FLOWEX (zie Buitendijk, 1984), zal in dit onderzoek gebruikt worden om de luchthuishouding

in de toplaag te bestuderen. Dit gebeurt voor opgebrachte zand-toplagen met verschillend slibgehalte en verschillende dichtheden. Tevens wordt de invloed van de ontwatering op de luchthuishouding bestudeerd. Als invoer voor het model worden de bodemfysische gegevens gebruikt die met de verdampingsmethode zijn bepaald.

1.2 Overzicht van de te behandelen onderwerpen

De onderwerpen die in dit verslag aan de orde komen zijn achtereenvolgens :

- a. hoofdstuk 2 : de voorbereidende metingen voor de verdampingsmethode.
- b. hoofdstuk 3 : de metingen met de verdampingsmethode.
- c. hoofdstuk 4 : het simulatiemodel FLOWEX.
- d. hoofdstuk 5 : conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek.

2. VOORBEREIDEND ONDERZOEK VELDMONSTERS

2.1 Algemeen

In dit hoofdstuk worden de voorbereidende handelingen en metingen voor de verdampingsmethode (zie hoofdstuk 3) besproken. Er zijn in dit onderzoek twee grondsoorten gebruikt als basismateriaal voor te prepareren monsters. In de eerste plaats is omgespoten zandgrond gebruikt, afkomstig van het laboratorium voor bloembollenonderzoek in Lisse. De zandgrond is afkomstig uit een in 1986 diepgedolven tuin, die nog niet in gebruik was genomen. Deze zandgrond is in vier verschillende verhoudingen gemengd met een rivierklei-grond, afkomstig uit de tuin van het ICW in Wageningen. Door het mengen zijn grondmonsters met verschillende slibgehaltenes verkregen, waaraan de effecten van het slibgehalte op de doorlatendheid zijn onderzocht. Om een vergelijking met de praktijk mogelijk te maken zijn in het onderzoek twee referentie-grondsoorten betrokken, te weten een als goed beoordeelde bloembollengrond (afkomstig uit de proeftuinen van het laboratorium voor bloembollenonderzoek in Lisse) en een als slecht beoordeelde bloembollengrond. De monsternamen voor deze laatste grond is in overleg met de heer Bregman, voorlichter van het Consulentenschap voor de Tuinbouw te Hoorn, geschiedt op een perceel aan de Middenweg, nabij de Stoomweg, te Breezand (Noord-Holland). Het betreffende perceel staat op de nominatie bezand te worden.

Van de vier grondsoorten zijn de bodemfysische eigenschappen bepaald. In paragraaf 2.2 worden de organisch stofgehaltenes van de verschillende grondsoorten behandeld, in paragraaf 2.3 de kalkgehaltenes, en in paragraaf 2.4 de granulaire samenstellingen.

2.2 Bepaling organische stof gehalte

De bepaling van het organisch stofgehalte is gebeurd door verbranding van het organische stof in een oven op 500 °C. Van iedere grondsoort werd in drievoud een hoeveelheid grond op een van te voren gewogen, porceleinen schaalpje gebracht. Deze schaalpjes met grond werden vervolgens in een droogstoof gedurende 24 uur bij 105 °C gedroogd om alle vocht aan de grond te onttrekken. Na droging werden de schaalpjes gewogen en in een oven op 500 °C

gezet. Na vijf uur werden de schaaltes uit de oven gehaald en in een droogstoof op 105 °C gezet om af te koelen. Na afkoelen werden de schaaltes opnieuw gewogen, waarna uit de gewichtsafname het organisch stofgehalte kon worden berekend. In tabel 2.1 zijn de gemiddelde resultaten per grondsoort weergegeven.

Tabel 2.1. Organische stofgehaltenes van de verwerkte grondsoorten.

omschrijving van de grond	org. stofgehalte (gew. %)
1. omgespoten zand	0.38 %
2. rivierklei	5.00 %
3. goede bloembollengrond	1.50 %
4. slechte bloembollengrond	1.74 %

2.3 Bepaling kalkgehalte

De bepaling van het kalkgehalte van de grondmonsters is gebeurd met de maatkolffjesmethode. Deze methode berust op het principe dat reactie van zoutzuur met de in het grondmonster aanwezige kalk, een gewichtsverlies tot gevolg heeft. Deze reactie gaat volgens de formule :



Een mol CaCO_3 weegt 100.09 gram, en een mol CO_2 weegt 44.01 gram. Een gram CO_2 komt dan overeen met $100.09/44.01 = 2.2743$ gram CaCO_3 . Het percentage CaCO_3 komt dan overeen met :

$$\frac{\text{gewichtsafname CO}_2}{\text{gew. stoofdroke grond}} \times 2.2743 \times 100 \text{ gew. \%}$$

De opstelling en uitvoering van de proef worden besproken in paragraaf 2.3.1. Van de resultaten van de metingen wordt in paragraaf 2.3.2 een

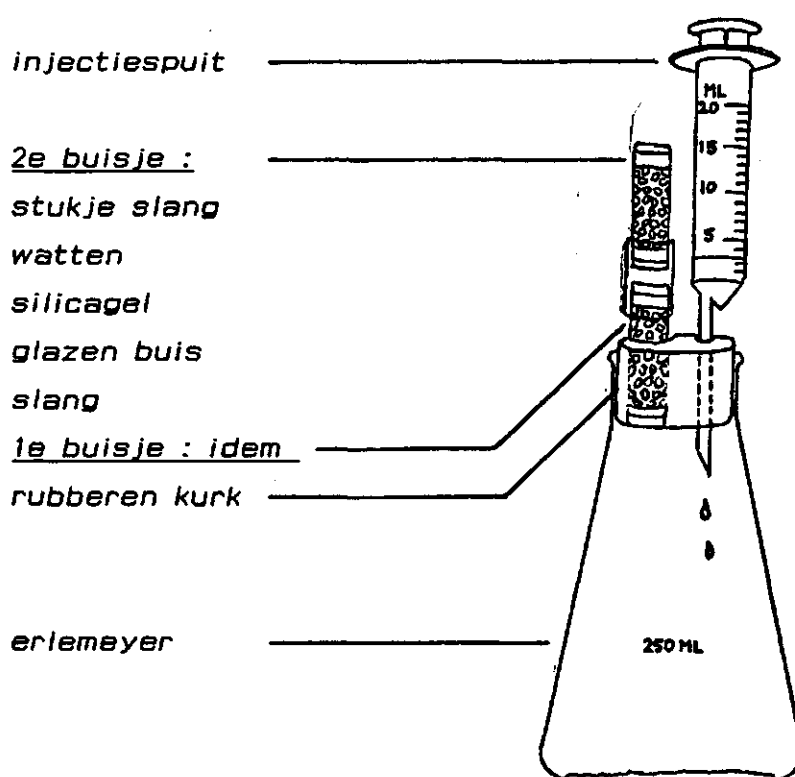
overzicht gegeven.

2.3.1 Opstelling en uitvoering

De opstelling van de proef is in figuur 2.1 weergegeven. De werkwijze bij deze bepaling is als volgt (Valk en Vermeer, 1986) :

- a. weeg de lege erlemeyer
- b. weeg de erlemeyer en ca. 5.000 gram stoofdroge grond, gemalen op 0.5 mm.
- c. weeg erlemeyer, stoofdroge grond en rubberen kurk (met het buisje silicagel en injectiespuit gevuld met 10 ml. 3n HCl). Het tweede buisje silicagel wordt niet meegewogen, omdat dit buisje vocht uit de omgeving opvangt. De buisjes met silicagel voorkomen gewichtsveranderingen anders dan ten gevolge van uittredend CO₂.
- d. voeg langzaam de 10 ml. 3n HCl aan de grond toe en zet het tweede buisje silicagel op het eerste buisje.
- e. erlemeyer regelmatig omzwenken en wegen (zonder het tweede buisje silicagel)

Ga hiermee door totdat de gewichtsafname door CO₂-verlies kleiner is dan 2 mg (gedurende enkele uren).



Figuur 2.1. Opstelling van de maatkolfjesmethode.

2.3.2 Resultaten

In tabel 2.2 zijn de resultaten van de hierboven beschreven bepaling weergegeven. De metingen zijn in tweevoud verricht. In de tabel zijn de gemiddelden van twee bepalingen vermeld.

Tabel 2.2. Kalkgehalten van de verwerkte grondsoorten.

omschrijving van de grond	kalkgehalte (in gew. %)
1. omgespoten zand	5.50 %
2. rivierklei	0.52 %
3. goede bloembollengrond	2.84 %
4. slechte bloembollengrond	0.35 %

2.4 Bepaling granulaire samenstelling

Het doel van de bepaling is de gewichtsverhoudingen van de bodembestanddelen van verschillende grootte-klassen vast te stellen. Het uiteindelijke doel is het bepalen van de fractie kleiner dan 16 μm (ook wel het percentage afslibbaar kleigehalte genoemd). Als dit percentage bekend is, kunnen door mengen van de omgespoten zandgrond en de rivierklei, gronden worden gemaakt met verschillende slibgehalten.

Als eerste zal de voorbehandeling van de monsters worden besproken (paragraaf 2.4.1), waarna de eigenlijke bepaling zal worden besproken (paragraaf 2.4.2). In paragraaf 2.4.3 zal een overzicht worden gegeven van de resultaten van de bepalingen.

2.4.1 Voorbehandeling van de monsters

Voor de eigenlijke bepaling kan worden uitgevoerd, moeten de grondmonsters eerst een voorbehandeling ondergaan. Van de zandmonsters wordt eerst een hoeveelheid van ca. 40.00 gram luchtdroge grond in een bekerglas afgewogen

(voor de rivierklei is dit 20.00 gram). De grond wordt geoxydeerd door toevoegen van geconcentreerd H_2O_2 . Deze behandeling heeft tot doel de kittende bestanddelen (organische stof) op te lossen, waardoor het optreden van bodemaggregaatjes wordt voorkomen. Na deze behandeling wordt de grond door toevoeging van HCl ontkalkt.

De grond wordt vervolgens gespoeld met gedemineraliseerd water. De bekerglazen worden weggezet om de grond te laten bezinken. Na het bezinken wordt de bovenstaande heldere vloeistof afgeheveld. Deze laatste handelingen worden tweemaal uitgevoerd. Na het spoelen wordt de grond gedroogd op 105 °C, waarna de grond in 4 decimalen nauwkeurig wordt gewogen.

De volgende stap is het peptiseren van de grond met $Na_4P_2O_7$, waardoor alle kleideeltjes los van elkaar in suspensie komen. Na deze behandeling wordt de grond over een 50 μm zeef gespoeld. De kleinere delen komen hierbij terecht in een slijbcilinder, de grovere delen worden uit de zeef gespoeld en gedroogd bij 105 °C, waarna deze fractie $>50 \mu m$ in 4 decimalen nauwkeurig wordt teruggewogen. De voorbehandelingen van de monsters zijn hiermee afgesloten.

2.4.2 De bepaling van de fractieverhoudingen

De eigenlijke bepaling van de granulaire samenstelling kan worden opgesplitst in de bepaling van de onderverdeling van de grove fractie ($>50 \mu m$) en in de bepaling van de onderverdeling van de fijne fractie ($<50 \mu m$). In de volgende twee paragrafen zullen beide bepalingen apart worden besproken.

2.4.2.1 Onderverdeling van de grove fractie ($>50 \mu m$) -

De grove fractie wordt nogmaals gewogen op luchtdrooggewicht, waarop naderhand gecorrigeerd zal worden. De onderverdeling van de grove fractie zal worden bepaald door middel van droog zeven. Hiervoor wordt de grond overgebracht op een zeefset met van boven naar beneden de volgende maaswijdten :

2000, 1000, 600, 300, 210, 150, 105, en 75 μm (en de bak)

De zeven worden op een schudder gebracht, waarna gedurende 15 minuten wordt gezeefd. Door de zeven voor en na het zeven te wegen, kan iedere fractie

worden bepaald met de formule :

$$\% \text{zoeffractie} = \text{gewicht op de zeef} / \text{uitgangsgewicht} * 100\%$$

2.4.2.2 Onderverdeling van de fijne fractie (<50 μm) -

De slijbcilinder met de fractie <50 μm wordt aangevuld tot de totale vloeistofinhoud 900 ml. bedraagt. Als de cilinder wordt opgeschud zullen, nadat de cilinderinhoud weer tot rust is gekomen, de deeltjes die zich in oplossing bevinden gaan bezinken. De snelheid waarmee dit gebeurt is afhankelijk van de korrelgrootte. Met behulp van de formule van Stokes¹ kan voor een bepaalde fractie worden berekend wat de insteekdiepte van de pipet moet zijn (afhankelijk van tijd en temperatuur), en is in tabellen weergegeven. Bij dit onderzoek ging dit om de fracties <35, <25, <16, <8, <4, <2, en <1 μm . De werkwijze bij de metingen is als volgt :

- a. na iedere pipettering de cilinder opschudden.
- b. 15 seconden voor het pipetteren de pipet op de vereiste diepte steken. Op de juiste tijd de kraan van de pipet opendraaien, en de pipet volzuigen. De inhoud van de pipet in een vooraf gewogen vochtdoosje laten lopen. Het vochtdoosje in een droogstoof plaatsen, en na indampen van de inhoud het vochtdoosje opnieuw terugwegen.
- c. het systeem na iedere pipettering schoonspoelen.

¹ Als de zwaartekracht de drijvende kracht is geldt voor bolvormige deeltjes bij niet te grote snelheid :

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\phi_d - \phi_l)g = 6\pi nrv \quad \text{of} \quad v = kr^2$$

met r = straal van het deeltje

ϕ_d = dichtheid van het deeltje

ϕ_l = dichtheid van de vloeistof

n = viscositeit

v = snelheid

k = constante

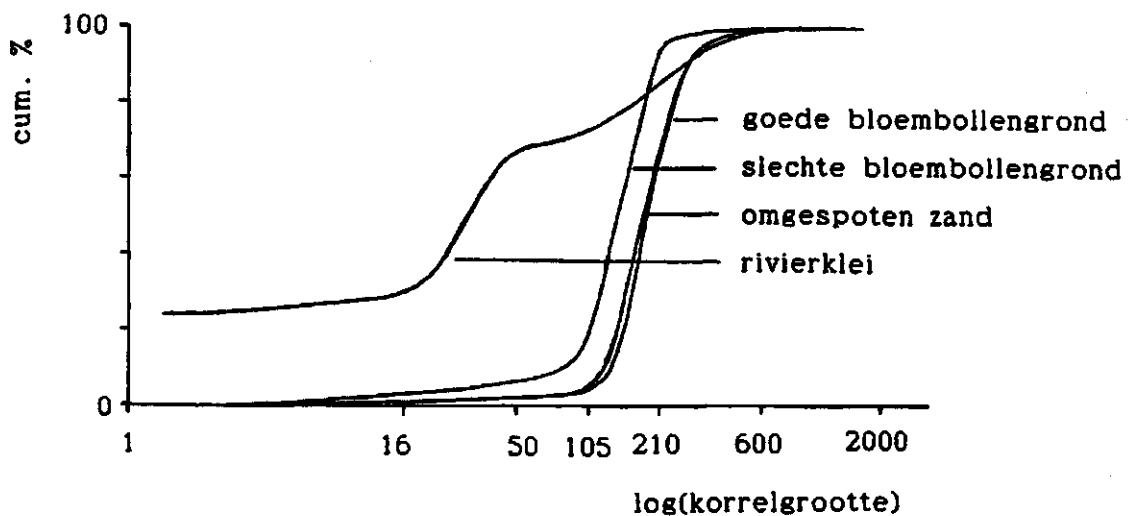
Het gewicht van de fractie in het vochtdoosje moet nog gecorrigeerd worden voor het in de slibcilinder aanwezige $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ en voor de opgeloste zouten. Deze correctiefactor kwam in dit onderzoek uit op 0.0135 gr. De totale inhoud van de slibcilinder is 900 ml. Een fractie kan dan worden berekend met de formule :

$$\text{gewicht na correctie} * \frac{900}{\text{inhoud pipet}} * \frac{100}{\text{uitgangsgew. grond}}$$

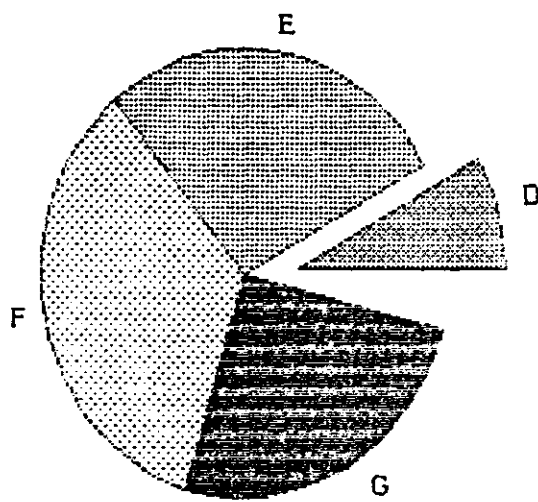
Het gewicht van bv. de fractie 35-50 μm is dan het verschil tussen de fracties totaal <50 en <35 μm . De resultaten zijn weergegeven in paragraaf 2.4.3.

2.4.3 Resultaten

Om een goed beeld te krijgen van de verschillen in granulaire samenstelling tussen de verschillende gronden, is in figuur 2.2 voor de vier monsters de cumulatieve korrelverdeling uitgezet tegen het logaritme van de korrelgrootte. De granulaire samenstellingen van de onderzochte grondmonsters zijn weergegeven in de figuren 2.3 t/m 2.6.

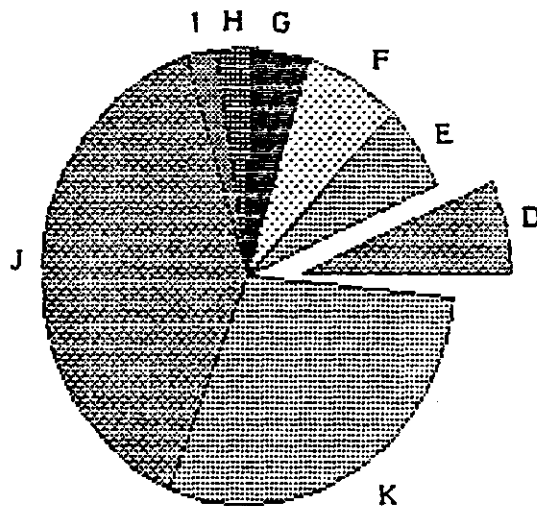


Figuur 2.2. Cumulatieve korrelverdeling van de onderzochte grondmonsters.



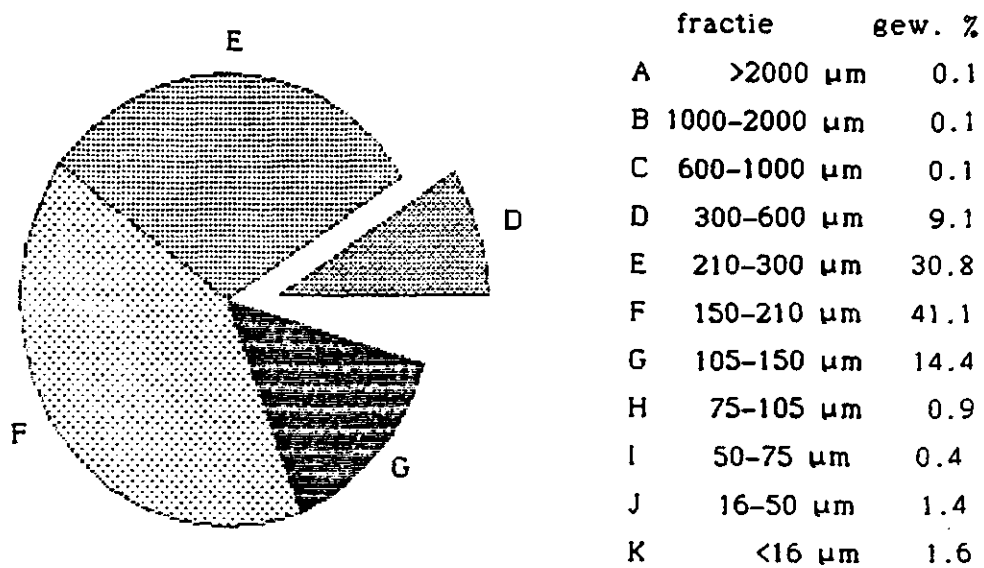
fractie	gew. %
A >2000 µm	0.0
B 1000-2000 µm	0.0
C 600-1000 µm	0.0
D 300-600 µm	8.2
E 210-300 µm	27.8
F 150-210 µm	34.4
G 105-150 µm	25.6
H 75-105 µm	1.2
I 50-75 µm	0.5
J 16-50 µm	1.1
K <16 µm	1.2

Figuur 2.3. Granulaire samenstelling van de omgespoten zandgrond.

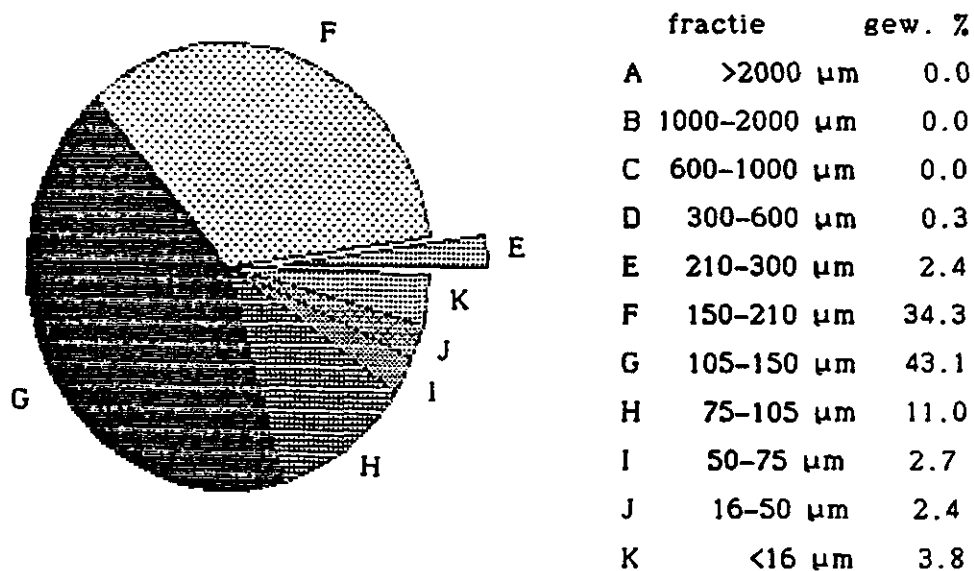


fractie	gew. %
A >2000 µm	0.0
B 1000-2000 µm	0.5
C 600-1000 µm	1.0
D 300-600 µm	6.5
E 210-300 µm	6.1
F 150-210 µm	7.5
G 105-150 µm	4.6
H 75-105 µm	2.9
I 50-75 µm	2.2
J 16-50 µm	39.0
K <16 µm	29.7

Figuur 2.4. Granulaire samenstelling van de rivierklei.



Figuur 2.5. Granulaire samenstelling van de goede bloembollengrond.



Figuur 2.6. Granulaire samenstelling van de slechte bloembollengrond.

3. BEPALING VAN DE VOCHTRETENTIE EN DE DOORLATENDHEID VOLGENS DE VERDAMPINGSMETHODE

3.1 Inleiding

Om een voorspelling te kunnen doen over de invloed van het slibgehalte op de gewasopbrengst, is het van groot belang de vochtretentie-curve en de doorlatendheids-karakteristiek van betreffende grond te kennen. Om deze bodemeigenschappen automatisch te kunnen bepalen, is door het ICW (BOELS et al., 1978) de verdampingsmethode ontwikkeld. Bij deze methode wordt het gewicht van een grondkolom gemeten tijdens verdamping aan de bovenkant van de kolom. Gelijktijdig wordt op verschillende hoogten in de grondkolom de vochtspanning gemeten met tensiometers. De gegevens worden automatisch opgeslagen op magneettape.

Als eerste zal het maken van de grondmonsters (paragraaf 3.2) worden behandeld. Hierna komen de opstelling en uitvoering van de proef (paragrafen 3.3 en 3.4) aan de orde. De verwerking van de gegevens zal in paragraaf 3.5 worden behandeld. Uit de verwerking is gebleken dat nog enkele aanvullende metingen verricht moesten worden, waarvan in paragraaf 3.6 verslag wordt gedaan. Ten slotte wordt in paragraaf 3.7 ingegaan op de resultaten van de metingen.

3.2 Prepareren van de monsters

Voor de verdampingsproef zijn grondmonsters gemaakt in cilinders met een hoogte van 8.0 cm en een binnendiameter van 10.3 cm (inhoud 666.6 cm³). Er is voor deze proef gekozen voor omgespoten zandgrond gemengd met rivierklei tot vier verschillende slibgehaltenes, te weten het oorspronkelijke zand (1.2% afslibbaar), 2%, 4% en 6% afslibbaar. Deze percentages zijn gekozen vanuit de veronderstelling dat het maximum toelaatbare slibpercentage onder de 6% ligt. Bovenstaande monsters zijn allen in duplo uitgevoerd. Naast deze monsters zijn twee referentie-monsters uitgekozen, te weten een als goed en een als slecht beoordeelde bloembollengrond. Deze laatste monsters zijn in enkelvoud uitgevoerd.

Ieder monster is in twee dichtheden gemaakt, te weten 1.45 en 1.55 gr/cm³. In eerste instantie was in plaats van 1.45 gr/cm³ gekozen voor een dichtheid van 1.35 gr/cm³ (deze dichtheid is ongeveer de dichtheid die veel bloembollengronden in de winter hebben). Het bleek echter dat de monsters van omgespoten zand na verzadigen inzakten, en de goede dichtheid dus niet konden behouden (in paragraaf 3.7 wordt hierop nog teruggekomen).

Met behulp van de resultaten van de voorbereidende proeven, zoals die besproken zijn in hoofdstuk 2, is berekend hoeveel rivierklei aan de omgepoten zandgrond toegevoegd moest worden om de beoogde slibgehalten te verkrijgen. Van de vochtige zandgrond is het droge-stofgehalte bepaald, waarna vervolgens een hoeveelheid stoofdroge en gemalen rivierklei is toegevoegd. Het geheel is goed gehomogeniseerd. De grond is met behulp van een samendrukkingsapparaat op de goede dichtheid gebracht (zie figuur 3.1). Iedere cilinder is gevuld in gedeeltes van 1/5 van het totale toe voegen gewicht aan grond. Elke hoeveelheid toegevoegde grond is gelijkmatig over de cilinder verdeeld. Na het toevoegen van een hoeveelheid grond is een cilinder in het samendrukkingsapparaat geplaatst, waarna de grond tot het juiste volume is samengeperst. In tabel 3.1 is van ieder grondmonster de uiteindelijke dichtheid en het slibgehalte weergegeven.

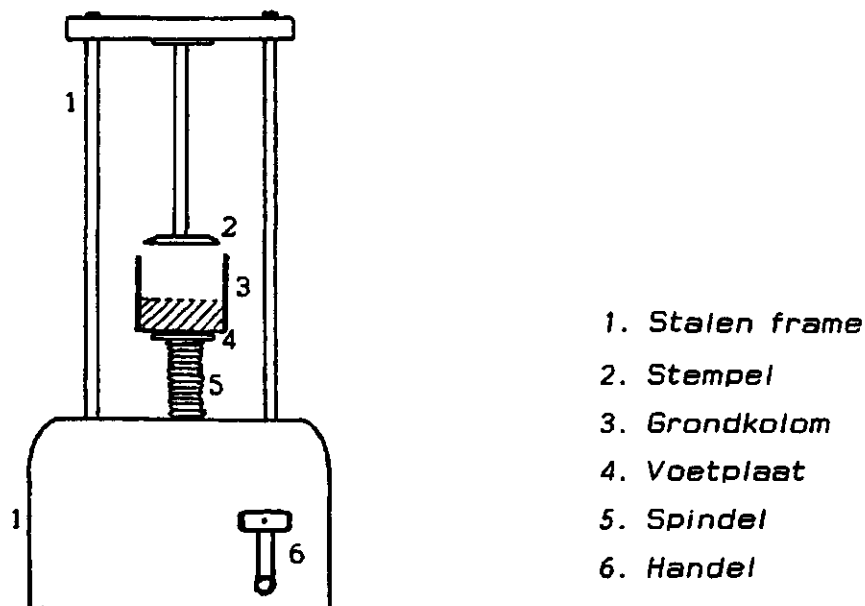
Tabel 3.1. Overzicht van de samenstellingen en dichtheden van de grondmonsters gebruikt bij de verdampingsproef.

monster	omschrijving	dichtheid (gr/cm ³)	% slib
1a	omgespoten zand	1.53	1.2
2a	omgespoten zand	1.54	1.2
3a	omgespoten zand	1.53	1.9
4a	omgespoten zand	1.54	1.9
5a	omgespoten zand	1.54	3.4
6a	omgespoten zand	1.54	3.4
7a	omgespoten zand	1.54	4.7
8a	omgespoten zand	1.54	4.7
9a	goede bloembollengrond	1.52	1.6
10a	slechte bloembollengrond	1.50	3.8

(vervolg tabel 3.1)

1b	omgespoten zand	1.45	1.2
2b	omgespoten zand	1.45	1.2
3b	omgespoten zand	1.45	2.0
4b	omgespoten zand	1.45	2.0
5b	omgespoten zand	1.45	4.0
6b	omgespoten zand	1.45	4.0
7b	omgespoten zand	1.45	6.0
8b	omgespoten zand	1.45	6.0
9b	goede bloembollengrond	1.45	1.6
10 b	slechte bloembollengrond	1.45	3.8

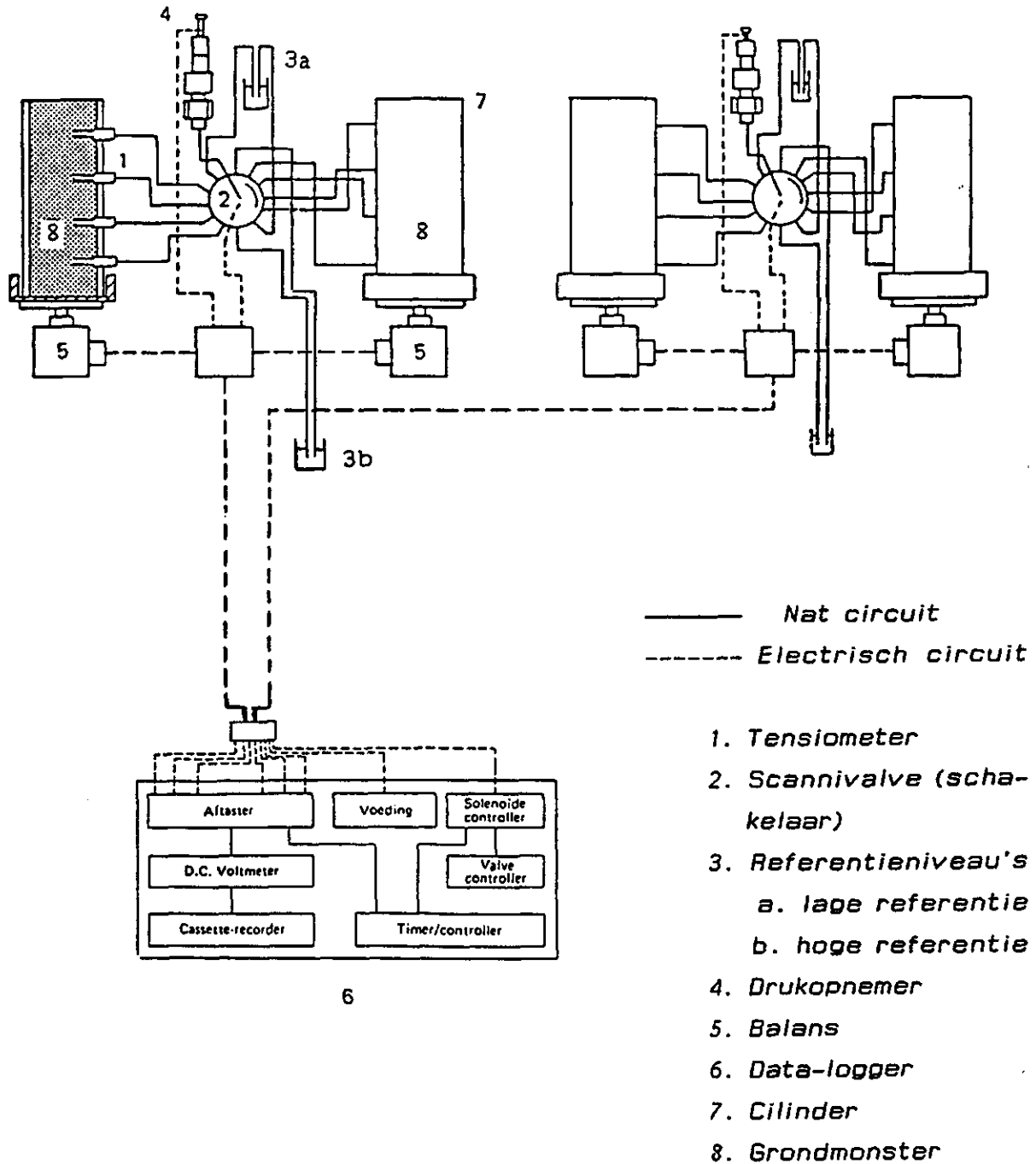
Uit tabel 3.1 blijkt dat de slibgehalten en de dichtheden in de eerste serie (a) niet geheel voldoen aan de eisen die vooraf gesteld zijn. Het prepareren van de grondmonsters vereist echter enige ervaring, die bij de eerste serie ontbrak. Aan de tweede serie grondmonsters (b) is te zien dat de doelstellingen hier wel goed benaderd zijn.



Figuur 3.1. Het samendrukkingsapparaat

3.3 Opstelling van de proef

In figuur 3.2 is de opstelling van de verdampingsproef schematisch weergegeven. Er kunnen maximaal tien monsters tegelijkertijd worden aangesloten. In de figuur is slechts een gedeelte van de totale opstelling weergegeven (twee aangesloten monsters).



Figuur 3.2. Opstelling van de verdampingsproef

3.4 Uitvoering van de proef

De geprepareerde monsters zijn allereerst voorzien van de tensiometers. Hiervoor zijn bij de ronde uitsparingen in de wanden van de cilinders gaten in grondmonsters geboord (met behulp van speciale grondboortjes), waarna de met ontlucht water verzadigde tensiometers in de monsters zijn gestoken. De monsters zijn hierna gedurende een dag in een waterbak geplaatst, om goed te kunnen verzadigen. De gehele opstelling is bij het aansluiten van de monsters doorgespoten met ontlucht water. Alle slangen in het systeem zijn voorzien van een buitenmantel, die eveneens met water is gevuld; deze mantel moet verdamping uit de slangen voorkomen.

Na alle monsters op het meetsysteem te hebben aangesloten, zijn de beginwaarden van de tensiometers en de drukdozen genoteerd. Het systeem is hierna opgestart. De gemeten waarden zijn bijna dagelijks gecontroleerd, en vergeleken met de waarden van voorgaande dagen; dit werd gedaan om eventuele onregelmatigheden in het verloop van proef tijdens het meten al te kunnen ontdekken. De proef heeft voor de meeste monsters ca. 3 weken geduurd. Nadat er lucht via een tensiometer was ingetreden (het zogenaamde doorslaan) werd het betreffende monster afgesloten, waarna het eindvochtgehalte werd bepaald.

De verdampingsproef is tweemaal uitgevoerd met tien monsters; de eerste serie (a) met een dichtheid van 1.55 gr/cm^3 en de tweede serie (b) met een dichtheid van 1.45 gr/cm^3 .

3.5 Verwerking van de gegevens

Voor de verwerking van de gegevens op magneettape is een pakket programmatuur ontwikkeld op de PDP-computer van het ICW. De gegevens zijn hiervoor eerst van tape naar de PDP gecopieerd.

De verwerking van de gegevens met de programmatuur kan in drie fasen worden opgesplitst, te weten :

- a. fase I : sorteren van de gegevens per grondmonster (paragraaf 3.5.1).
- b. fase II : controleren en opschonen van de gegevens (paragraaf 3.5.2).
- c. fase III : berekenen van de pF-curve en K-H relatie (paragraaf 3.5.3).

Na de eerste serie metingen te hebben verwerkt, bleken de waarden in de grafieken slechts een beperkt waarnemingsinterval te bestrijken. Om enkele aanvullende gegevens te verkrijgen is van een viertal monsters de verzadigde doorlatendheid bepaald. Hiervan zal in paragraaf 3.6 een overzicht worden gegeven.

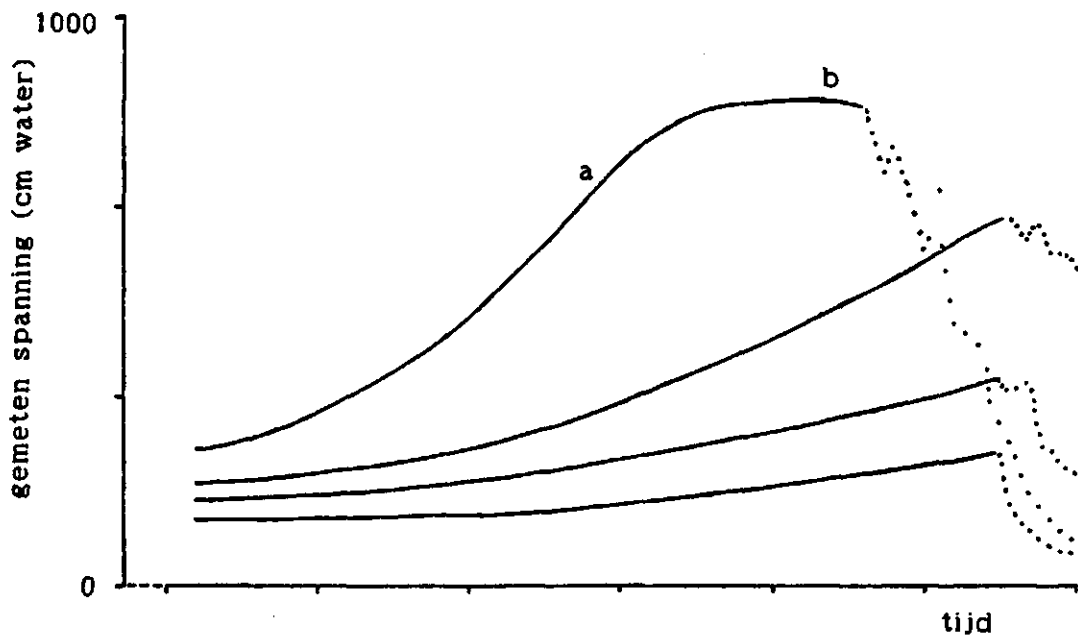
3.5.1 Fase I in de verwerking

De eerste fase van de verwerking bestaat uit het sorteren van de file met gegevens met behulp van het programma KHSORT. De gegevens zijn per balans in een aparte file opgeslagen. Deze opsplitsing heeft het voordeel dat ieder grondmonster afzonderlijk verwerkt kan worden, en dat de gegevens van ieder monster overzichtelijk in een file zijn weergegeven.

3.5.2 Fase II in de verwerking

Met behulp van het programma KHPLLOT kunnen de gegevens van de balans en de tensiometers in grafische vorm tegen de tijd worden weergegeven op het beeldscherm. Door de gegevens van iedere tensiometer afzonderlijk te bekijken, zijn afwijkende waarnemingen snel op te sporen. Deze afwijkende waarnemingen zijn vervolgens op eenvoudige wijze te verwijderen, waarna het programma de opengevallen plaatsen door middel van interpolatie opvult met nieuwe waarden.

Naast de controle op afwijkende waarden wordt het programma KHPLLOT gebruikt om de waarnemingsperiode vast te leggen. Tijdens het werken met het programma KHPLLOT moeten de eerste en de laatste tensiometer-waarneming worden aangegeven. Tevens moet worden opgegeven wat de laatste betrouwbare tensiometer-waarneming is. Het kiezen van de laatste betrouwbare waarde is een arbitraire zaak, waarbij een aantal aspecten een rol spelen. Om een idee te krijgen van het verloop van de tensiometer-gegevens met de tijd, is in figuur 3.3 een weergave gegeven van de tensiometer-gegevens rond de laatste betrouwbare tensiometer-waarneming. Als de bovenste lijn in de grafiek wordt bekeken (de bovenste tensiometer in het grondmonster) valt op dat de lijn na het punt (a) ombuigt naar beneden, en dat na het punt (b) de lijn geheel verstoord is. Dit verloop is het gevolg van een van de beperkingen van de verdampingsmethode. Als bij de gebruikte tensiometers de waarde van $pF = 3$ wordt benaderd, treedt lucht in de tensiometers in. Als lucht is ingetreden zijn de gemeten waterdrukken niet meer betrouwbaar: dit is het geval na punt (a) in de



(voor verklaring figuur : zie tekst)

Figuur 3.3. Verloop van de tensiometerwaarnemingen met de tijd.

grafiek. De overige tensiometers geven in het traject tussen punt (a) en punt (b) echter nog wel goede waarnemingen. Na punt (b) in de grafiek is er in het gehele systeem lucht aanwezig.

Bij de keuze van de laatste betrouwbare tensiometerwaarneming was in eerste instantie gekozen voor punt (b), omdat hiermee de extra waarnemingen werden verkregen uit het traject tussen punt (a) en punt (b). Dit bleek achteraf echter een grote spreiding in de resultaten te geven. Er is hierna voor de laatste betrouwbare tensiometerwaarneming consequent voor punt (a) gekozen.

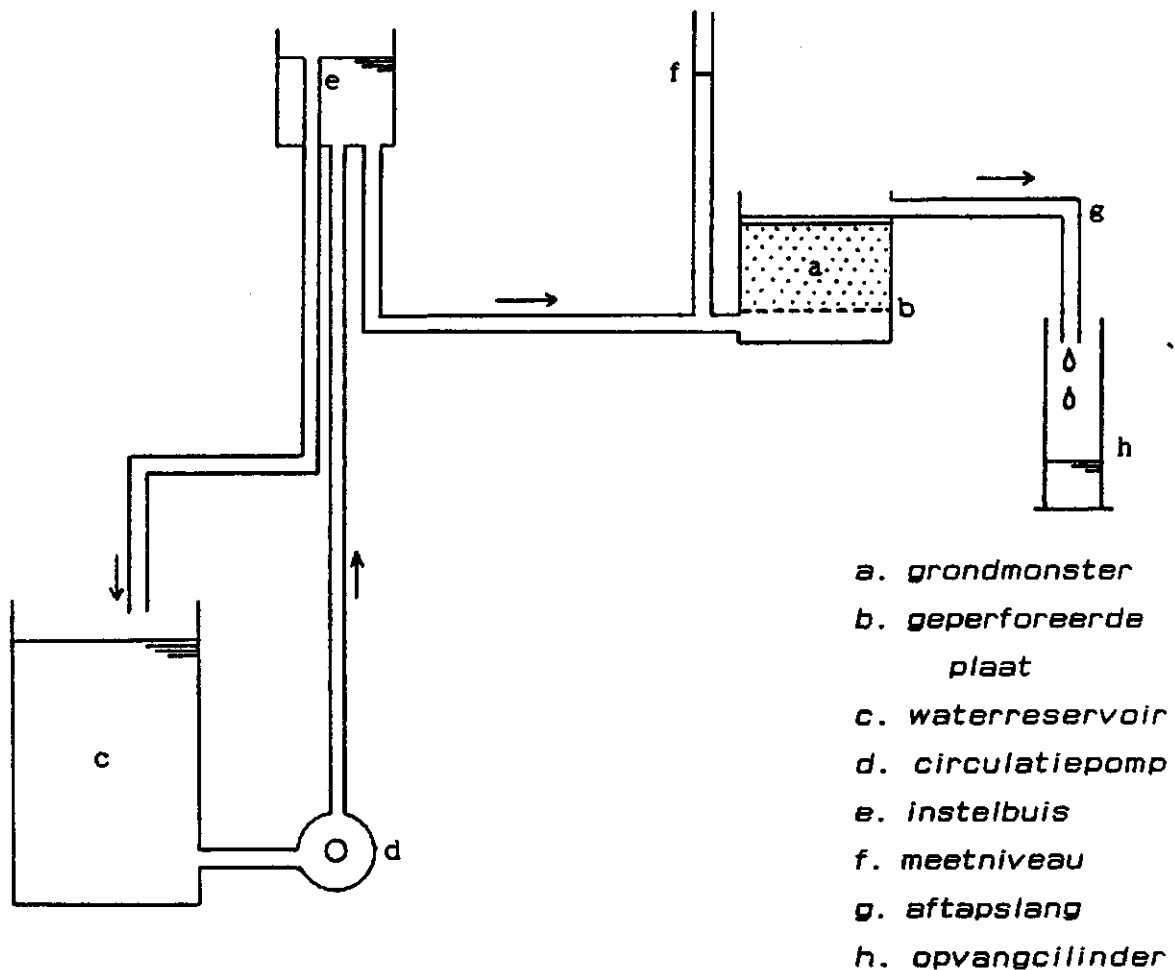
Na controle van de tensiometerwaarnemingen met het programma KHPLLOT, moeten de gegevens tussen de eerste tensiometerwaarneming en de laatste betrouwbare tensiometerwaarneming gecomprimeerd worden. Dit is noodzakelijk omdat in de verdere verwerking slechts met maximaal 300 waarnemingen gewerkt kan worden. Het verloop van het eerste deel van de tensiometergegevens is echter dermate vlak dat dit gedeelte zonder veel verliezen tot de vereiste grootte kan worden gecomprimeerd.

3.5.3 Fase III in de verwerking

Na fase I en II zijn de gegevens klaar voor de eigenlijke verwerking. Hiervoor is het programma HKCNTR beschikbaar dat als sturingsprogramma dienst doet, en gebruik maakt van andere programma's waarvan de belangrijkste zijn :

- KHWRC : voor het berekenen van de vochtretentiecurve en de grafische weergave van deze curve.
- KHTH : voor het berekenen van de onverzadigde doorlatendheid en de grafische weergave van de doorlatendheid tegen de drukhoogte en het vochtgehalte.

De berekende verbanden worden door het programma KHATAB in tabelvorm opgeslagen. Deze tabellen zijn bij het samenstellen van de invoerfiles voor het simulatieprogramma FLOWEX als basismateriaal gebruikt (zie hoofdstuk 4).



Figuur 3.4. Opstelling bij de bepaling van de verzadigde doorlatendheid.

3.6 Aanvullende metingen

Voor een zestal grondmonsters zijn aanvullende metingen verricht, die bestonden uit het bepalen van de verzadigde doorlatendheid van de betreffende monsters. De monsters waarvan de verzadigde doorlatendheid is bepaald, staan in tabel 3.2. In figuur 3.4 is de opstelling van de proef schematisch weergegeven.

De bepaling van de verzadigde doorlatendheid is als volgt geschiedt :

- a. De grondmonsters zijn op identieke wijze gemaakt als beschreven in paragraaf 3.2. De cilinders zijn voor deze proef op geperforeerde platen geplaatst. Deze platen zijn via een aantal slangen aangesloten op een pomp en een waterreservoir (zie figuur 3.4).
- b. Na de monsters te hebben aangesloten, zijn ze verzadigd door het water-niveau in de instelbuis op gelijke hoogte te brengen met het midden van het grondmonster. De volgende dag is de instelbuis omhoog gedraaid, waardoor water door de monsters in de opvangcilinders begon te lopen.
- c. De cilinders werden regelmatig vervangen en gewogen. De metingen werden gestopt als de opvangen hoeveelheid water gedurende een aantal meet-perioden constant bleef.

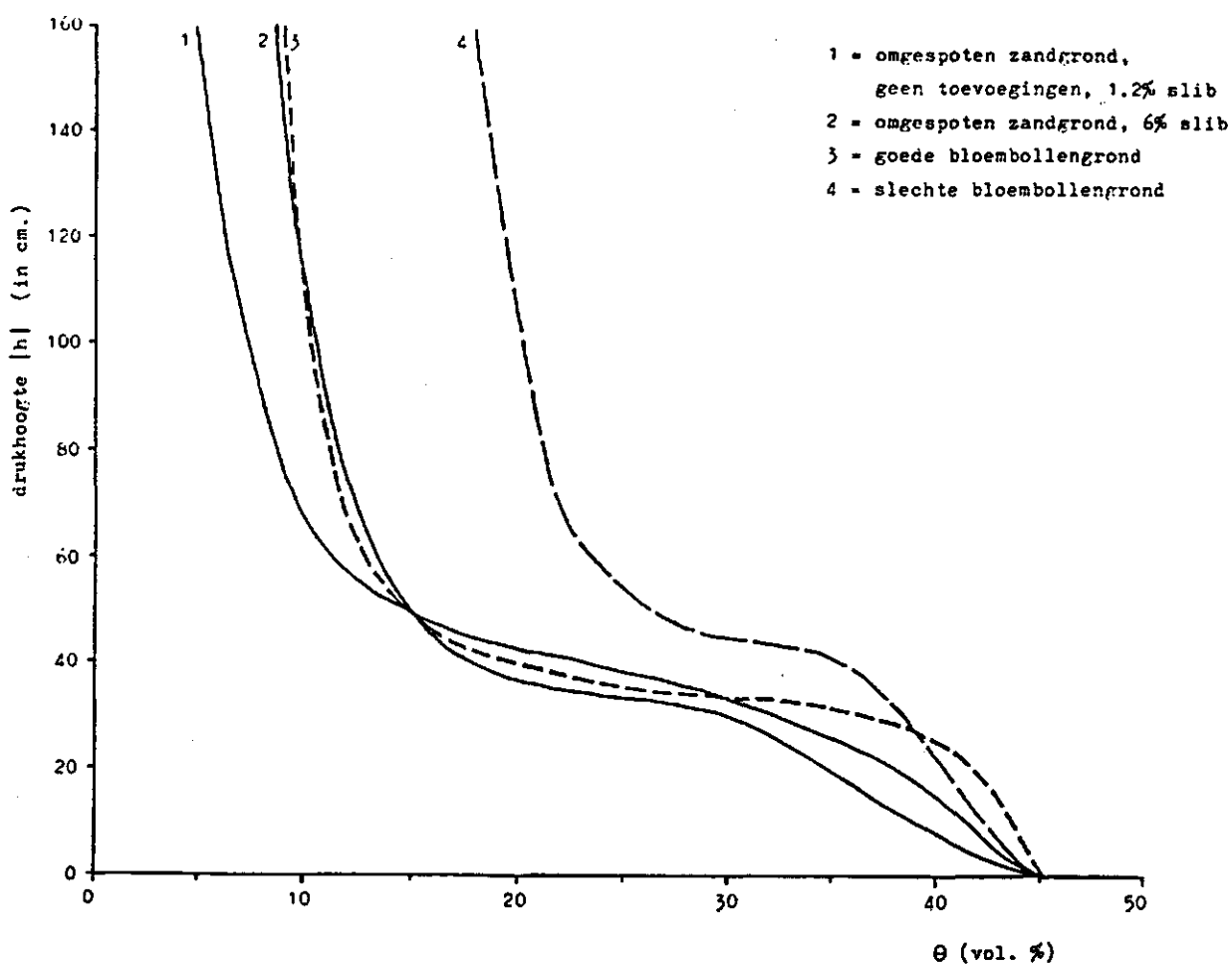
De resultaten van de metingen zijn weergegeven in tabel 3.2.

Tabel 3.2. Resultaten van de bepalingen van de verzadigde doorlatendheid.

omschrijving monster	dichtheid (gr/cm ³)	K ₀ (cm/dag)
zand (geen toevoegingen)	1.45	890
zand (geen toevoegingen)	1.55	575
goede bloembollengrond	1.45	270
goede bloembollengrond	1.55	195

3.7 Resultaten van de verdampingsmethode

In figuur 3.5 zijn de vochtretentiecurven van vier monsters bij een dichtheid van 1.45 gr/cm^3 weergegeven. Deze monsters zijn de goede (10b) en de slechte (9b) bloembollengrond, de omgespoten zandgrond zonder toevoeging (1b) en de omgespoten zandgrond met slibpercentage van 6.0 % (8b). Deze monsters zijn, samen met de omgespoten zandgronden met slibpercentages van 2.0 % en 4.0 % gekozen als invoer voor FLOWEX (zie hoofdstuk 4). De vochtretentiecurven van de laatste twee zandgronden vallen vrijwel samen met die van de omgespoten zandgrond zonder toevoeging, en zijn niet in figuur 3.5 opgenomen.



Figuur 3.5. Vochtretentiecurven van enkele monsters met een dichtheid van 1.45 gr/cm^3 .

De duplo-monsters van de in grafiek 3.5 weergegeven monsters geven vrijwel hetzelfde beeld als de gekozen monsters. Dit geeft enigszins aan dat, afgezien van systematische fouten, de resultaten redelijk betrouwbaar mogen worden verondersteld.

Als de vochtretentiecurven van de in figuur 3.5 weergegeven monsters worden bekeken valt op dat de curve van de slechte bloembollengrond sterk afwijkt van de overige curven, die vrij dicht bij elkaar liggen. Als een evenwichtssituatie wordt verondersteld bij een ontwateringsdiepte van 60 cm (bij $|h| = 60$ cm), blijkt dat alle monsters tot aan maaiveld meer dan 20 volumepercenten lucht bevatten. Als in een natte periode de drukhoogte terugloopt tot $|h| = 40$ cm, dan blijkt dat bij de slechte bloembollengrond het luchtgehalte terugloopt tot onder de 10 volumepercenten, terwijl dit de overige gronden ca. 20% is.

De slechte bloembollengrond blijkt niet veel meer slib te bevatten dan de goede bloembollengrond, en valt met een slibgehalte van 2.4% ook binnen de reeks zandgronden met slibgehaltenes van 1.2% tot 6%. Het lijkt op het eerste gezicht dus vreemd dat de slechte bloembollengrond een afwijkende pF-curve heeft in vergelijking met de andere monsters. Het grote verschil tussen de slechte bloembollengrond en de overige monsters zit echter in de fractie fijn zand, die bij de slechte bloembollengrond veel groter is. Uit eerdere proeven (Van Erpers Royaards, 1987) is gebleken dat de korrelgrootte-verdeling een rol speelt bij de poriënverdeling en dus ook bij de drukhoogte-vochtigheidsrelatie. In hoofdstuk 5 wordt hier nog op terug gekomen.

De K-h relaties van bovenstaande monsters zijn in tabel 3.3 weergegeven als een serie van drie $k_0 e^{\alpha h}$ -lijnstukken. Hiermee is de vorm van de K-h relatie goed te benaderen. Voor deze weergave is gekozen, omdat dit vereiste vorm van invoer voor FLOWEX is. Voor ieder lijnstuk is k_0 , α en het traject van drukhoogten gegeven.

De waarde van k_0 in tabel 3.3 blijkt in het eerste vochtspanningstraject voor alle gronden 50.00 cm/dag te bedragen. Deze waarde komt niet overeen met de verzadigde doorlatendheden uit tabel 3.2. Dat de waarde van k_0 kleiner is genomen dan de werkelijke waarde, is het gevolg van de manier waarop FLOWEX de tijdstap berekend waarover gesimuleerd wordt. Hoe groter k_0 , des te kleiner de gekozen tijdstap. Er is echter een minimum tijdstap; als de berekende tijdstap onder deze minimum-waarde komt wordt de rekentijd van FLOWEX ontoelaatbaar groot. Bij het draaien van FLOWEX met de eerste serie monsters bleek de tijdstap ver onder de minimum-waarde te komen, als gevolg van de grote verzadigde doorlatendheid. De tijdstap kan niet zonder meer worden vergroot, omdat dan systematische fouten optreden en de eindresultaten onbetrouwbaar

Tabel 3.3. K-h relaties van een aantal grondmonsters bij een dichtheid van 1.45 gr/cm³, weergegeven als een serie van drie k₀^{α_h}-lijnstukken. De nummers van de monsters zijn terug te vinden in tabel 3.1.

monster	nummer	drukhoogte-traject	lijn	k ₀ (cm/d)	α(cm ⁻¹)	
zandgrond (1.2% slib)	1b	-50.0 tot	0.0	1	50.00	0.0950
		-100.0 tot	-50.0	2	18.91	0.0756
		<	-100.0	3	0.31	0.0258
zandgrond (2.0% slib)	4b	-50.0 tot	0.0	1	50.00	0.1198
		-100.0 tot	-50.0	2	4.64	0.0723
		<	-100.0	3	0.01	0.0108
zandgrond (4.0% slib)	5b	-50.0 tot	0.0	1	50.00	0.1245
		-75.0 tot	-50.0	2	3.78	0.0729
		<	-75.0	3	0.04	0.0135
zandgrond (6.0% slib)	8b	-50.0 tot	0.0	1	50.00	0.1293
		-75.0 tot	-50.0	2	4.13	0.0794
		<	-75.0	3	0.04	0.0159
goede bloembollengrond	10b	-50.0 tot	0.0	1	50.00	0.1134
		-100.0 tot	-50.0	2	1.51	0.0434
		<	-100.0	3	0.11	0.0176
slechte bloembollengrond	9b	-75.0 tot	0.0	1	50.00	0.0855
		-150.0 tot	-75.0	2	0.55	0.0255
		<	-150.0	3	0.10	0.0141

worden. De enige manier om de tijdstap te verkleinen is de waarde van k₀ te verkleinen. Dit geeft bij FLOWEX geen problemen, omdat de maximale te verwerken hoeveelheid neerslag onder nederlandse omstandigheden zeker niet groter is dan 1 cm/dag. Een lagere, gekozen k₀ van 50 cm/dag zal dan zeker geen fouten in de resultaten introduceren. Voor meer informatie wordt verwezen naar hoofdstuk 4, waarin het programma FLOWEX wordt behandeld.

4. SIMULATIE MET HET NUMERIEK MODEL FLOWEX

4.1 Inleiding

Het is bij het bestuderen van verbeteringsmaatregelen zoals het bezanden van profielen en drainage, een grote vraag welke invloed genoemde ingrepen hebben op de water- en luchthuishouding van de bodem. Het klimaat speelt hierbij een niet ondergeschikt rol. Er zullen lange waarnemingsreeksen nodig zijn om betrouwbare resultaten te krijgen. Waarnemingsperioden over meerdere jaren hebben het nadeel dat het lang duurt voordat resultaten bekend zijn, en kosten over het algemeen veel geld.

Om deze problemen te ondervangen zijn computermodellen ontwikkelt die de praktijksituatie natuurgetrouw kunnen nabootsen, en in korte tijd een periode van meerdere jaren kunnen doorrekenen. Een van deze modellen is het model FLOWEX, dat de stroming van water door onverzadigde grond simuleert. FLOWEX is in dit onderzoek gebruikt voor het bestuderen van de luchthuishouding op 20 cm diepte beneden maaiveld (wortelzone van bloembollen). Er zijn een aantal profielen doorgerekend, waarbij de gegevens van de grondmonsters uit hoofdstuk 3 zijn gebruikt. Er is over een periode van 10 jaar gesimuleerd.

In de volgende paragraaf wordt een globale beschrijving van de het model gegeven. In paragraaf 4.3 wordt aandacht besteedt aan de invoer van het model. In paragraaf 4.4 wordt de uitvoer van FLOWEX behandeld. De resultaten van FLOWEX worden in paragraaf 4.5 behandeld. Hier wordt tevens een, zij het meer voorlopige, norm afgeleid waaraan de luchthuishouding dient te voldoen. Er wordt een overzicht gegeven van de voor dit onderzoek relevante profielen. Gezien de grote hoeveelheid uitvoer is het niet mogelijk van alle profielen de resultaten te behandelen.

4.2 Beschrijving van het model

Het model gaat uit van een onverzadigde stroming van water onder niet-stationaire omstandigheden. Voor de beschrijving van de onverzadigde verticale stroming van water wordt gebruik gemaakt van de stromingsvergelijking van Darcy en de continuïteitsvergelijking. Voor de volledige procedure van

berekening van de onverzadigde verticale stroming wordt verwezen naar de handleiding van FLOWEX (Buitendijk, 1984).

In het algemeen is FLOWEX te gebruiken voor zowel uniforme als gelaagde profielen; vooral dit laatste is van belang bij het onderzoeken van de effecten van bezanding.

De randvoorwaarde aan de bovenzijde wordt gegeven door de waterbalans :

$$\nabla S = (P - E) - R - v_0$$

met : S = oppervlakteberging
P = neerslag
E = potentiële verdamping
R = runoff
v₀ = flux door bodemoppervlak

De randvoorwaarde aan de onderzijde wordt gegeven door de drainage-afvoerfunctie van Hooghoudt en Ernst :

$$h_m - h_0 = -v_0 R_{vert} - v_0 (R_{hor} + R_{rad})$$

met : h_m = potentiaal op grondwaterstand-niveau (m)
h₀ = potentiaal op waterniveau van de drains (m)
v₀ = drainafvoer (cm/d)
R_{vert} = weerstand voor verticale stroming (d)
R_{hor} = weerstand voor horizontale stroming (d)
R_{rad} = weerstand voor radiale stroming (d)

4.3 Invoer van FLOWEX

De invoergegevens van het model bestaat in hoofdzaak uit :

- a. informatie over neerslag en verdamping : hiervoor zijn de gegevens gebruikt van De Bilt over de jaren 1970 t/m 1979.
- b. informatie over de bodemeigenschappen : van alle profiellagen moet de pF-curve en de doorlatendheidskarakteristiek ingevoerd worden. De pF-curve

moet in tabelvorm worden opgegeven in stappen van volumeprocenten. De doorlatendheidskarakteristiek moet worden opgegeven als een serie van maximaal drie $k_{oe}^{\alpha h}$ -lijnstukken. Voor elk lijnstuk moet de k_{o} , α en het traject van drukhoogten worden opgegeven. De gegevens van de doorlatendheidskarakteristieken van de bij dit onderzoek gebruikte monsters staan vermeld in tabel 3.3. In tabel 4.1 is een overzicht gegeven van de bestudeerde combinaties bovengrond-ondergrond. De bodemfysische gegevens van de bestudeerde ondergronden Z1 t/m Z3 zijn afkomstig van J. Beuving (1984), en staan vermeld in bijlage B. De in tabel 4.1 vermelde omgespoten zand bovengrond omvat de gehele groep van 1.2 tot 6.0% afslibbaar.

Tabel 4.1. Overzicht van de combinaties bovengrond-ondergrond die gebruikt zijn als invoer voor FLOWEX.

profielnummer	bovengrond	dichtheid	ondergrond	dichtheid
001 - 039	omgespoten zand	1.45	zavel (Z1)	1.44
041 - 079	omgespoten zand	1.45	lemig zand (Z2)	1.45
081 - 119	omgespoten zand	1.45	zand (Z3)	1.49
121 - 159	omgespoten zand	1.45	slechte bollengrond	1.45
171 - 179	slechte bollengrond	1.45	slechte bollengrond	1.45
301 - 339	omgespoten zand	1.54	zavel (Z1)	1.44
401 - 409	goede bollengrond	1.45	goede bollengrond	1.45

c. draindieptes en drainintensiteiten : bij dit onderzoek zijn drie draindieptes gebruikt (0.75, 1.00 en 1.25 m.) bij drie maatgevende drainafvoeren (3, 7 en 14 mm/d). Per bovengrond-ondergrond combinatie zijn dus negen verschillende drainage-situaties doorgerekend.

De keuze van de tijdstap Δt waarover gerekend gaat worden, wordt in FLOWEX berekend met een stabiliteitscriterium. Als de tijdstap Δt te groot wordt gekozen, gaan de rekenresultaten oscilleren. Berekening van het stabiliteitscriterium gebeurt aan de hand van het eerste stuk van de pF-curve en de doorlatendheidskarakteristiek voor zowel de boven- als de ondergrond. De

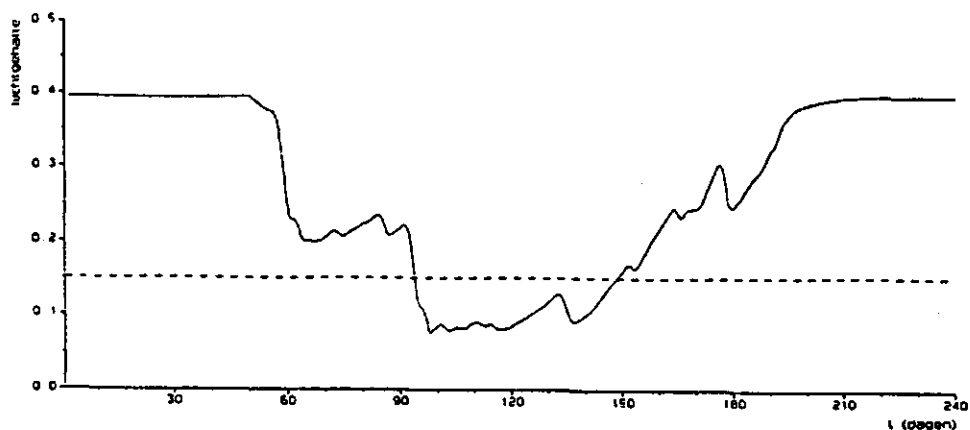
kleinste gevonden tijdstap wordt dan gebruikt.

Bij het werken met FLOWEX bleek door de zeer grote doorlatendheid van de profielen, en het hiermee samenhangende steile begin van de doorlatendheidskarakteristiek, de tijdstap Δt erg klein te worden (bij het eerste profiel was dit 0.0004 dag). Een zeer kleine tijdstap heeft echter tot gevolg dat de rekentijd van FLOWEX ontoelaatbaar groot wordt. Vergroting van de tijdstap is in verband met het stabiliteitscriterium niet zonder meer mogelijk, dus kan alleen een verandering in de doorlatendheidskarakteristiek een vergroting van Δt bewerkstelligen. Aangezien een doorlatendheid van enkele mm's per dag (onder nederlandse omstandigheden) in de meeste gevallen voldoende zal zijn om de gevallen neerslag snel te verwerken, zal het terugbrengen van de k_0 van het eerste lijnstuk tot 50 cm/dag geen grote gevolgen hebben voor het verdere verloop van de berekeningen. Hiermee is de tijdstap in het genoemde voorbeeld echter vergroot tot 0.0070 dag.

In bijlage A is een voorbeeld gegeven van een invoerfile zoals die bij FLOWEX gebruikt wordt. In de invoerfile is een extra regel ingevoerd (tussen de punten 13 en 14), waarop het porienvolume vermeld staat.

4.4 Uitvoer van FLOWEX

De uitvoer van FLOWEX kan aangepast worden aan de wensen van de gebruiker. Door het plaatsen van een WRITE-statement kan op elk gewenst moment uitvoer worden gekregen over vochtgehalte, doorlatendheid, drainafvoer, en andere grootheden. In dit onderzoek is het luchtgehalte op 20 cm -mv. als uitvoer gekozen. FLOWEX berekend standaard het verloop in vochtgehalte over het profiel. Door het vochtgehalte op 20 cm -mv. van het porienvolume af te trekken wordt het luchtgehalte verkregen. Het luchtgehalte wordt voor ieder 1/5 dagdeel in een uitvoerfile geplaatst. Door middeling van de luchtgehalten van vijf dagdelen is een gemiddeld luchtgehalte per dag verkregen. Het verloop van het luchtgehalte over de waarnemingsperiode (240 dagen vanaf 1 oktober) is met behulp van een plot-programma grafisch weergegeven. In figuur 4.1 is hiervan een voorbeeld gegeven. Op de horizontale as van de grafiek staat het aantal dagen weergegeven vanaf het begin van de waarnemingsperiode (1 oktober). Op de verticale as is het volumetrisch luchtgehalte op 20 cm -mv. weergegeven.



Figuur 4.1. Verloop van het luchtgehalte op 20 cm -mv. voor profiel 005 in het jaar 1975. De opbouw is :

- a. bovengrond : omgespoten zand (1.2%)
- b. ondergrond : zavelachtig (grond Z1, bijlage B)
- c. draandiepte : 1.00 m -mv.
- d. maatgevende afvoer : 7 mm/dag

Het profiel wat in de grafiek is weergegeven heeft een bovengrond van 30 cm dikte, bestaande uit omgespoten zandgrond (zonder toevoegingen). De ondergrond is een zavelige grond met 16.2% lutum. De draandiepte is 1.00 m -mv. bij een maatgevende afvoer van 7 mm/dag. Het weergegeven jaar, 1975, is een vrij droog jaar geweest. In de grafiek is als minimum-luchtgehalte 15 vol% weergegeven (hier wordt in paragraaf 4.5 nog op terug gekomen).

4.5 Bespreking van de resultaten

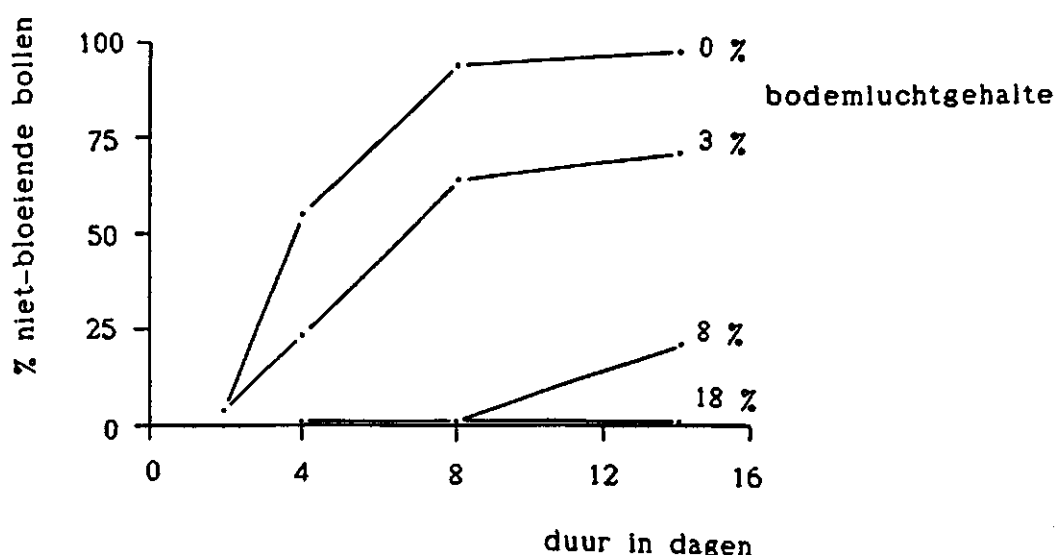
Er treden stoornissen op in de ontwikkeling van bolgewassen als het luchtgehalte gedurende enkele dagen beneden de 18 volumepercentages komt (Van der Valk, 1971). In figuur 4.2 is het percentage niet-bloeiende bollen uitgezet tegen het aantal dagen dat het luchtgehalte beneden een bepaald

percentage komt. De schade die een bol oploopt is echter ook afhankelijk van de temperatuur van de bodem. In tabel 4.2 is de invloed van de bodemtemperatuur op het aantal niet-bloeiende bollen na luchtgebrek weergegeven. Uit hetzelfde onderzoek van Van der Valk blijkt dat de schade die een bol van innudatie ondervindt afneemt naarmate de bollen langer in de grond zitten. Zo is 20 dagen na het planten de schade van een 8 tot 14 daagse innudatie maximaal (80% niet-bloeiende bollen), terwijl de schade 20% is bij 40 dagen en 5% bij 80 dagen na het planten. Dit is weergegeven in figuur 4.3.

Uit het onderzoek van Van der Valk blijkt duidelijk dat de grootte van de schade die een bolgewas oploopt ten gevolge van een periode van verminderde luchttoevoer, sterk afhankelijk is van de situatie waarin dit optreedt.

Bakker et al. (1987) definiëren voor de diffusie (D_m) van O_2 en CO_2 een minimum-waarde, D_{min} , waar beneden in landbouwgronden altijd aëratieproblemen te verwachten zijn, en een waarde D_{max} , waarboven problemen praktisch nooit te verwachten zijn. Bij een duinzandgrond treden D_{min} en D_{max} op bij een volumetrisch luchtgehalte van respectievelijk 9% en 21%. Boekel (1970) constateert dat bij gladiolen en tulpen een afname in de opbrengst optreedt, als bij $pF=2$ het luchtgehalte onder de 20 volume- procenten komt.

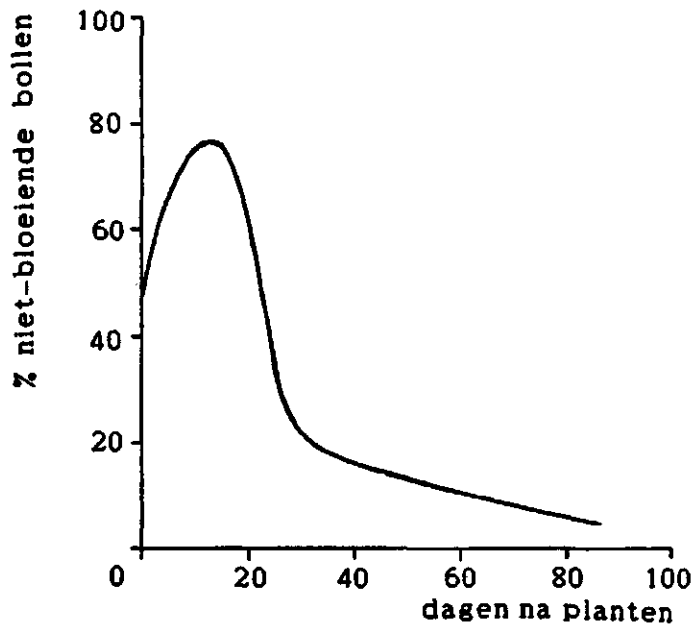
In dit onderzoek wordt als grens, op overigens arbitraire gronden, een luchtgehalte van 15% op 20 cm diepte aangehouden, waarbij geen schade wordt verwacht.



Figuur 4.2. Het effect van het bodemluchtgehalte (0 tot 18%) gedurende verschillende periode lengtes op het percentage niet-bloeiende bollen (Van der Valk, 1971).

Tabel 4.2. Invloed van de bodemtemperatuur op het percentage niet-bloeiende bollen bij een daling van het bodemluchtgehalte van 20% tot 3%, 45 dagen na planten, gedurende perioden van verschillende lengte (Van der Valk, 1971).

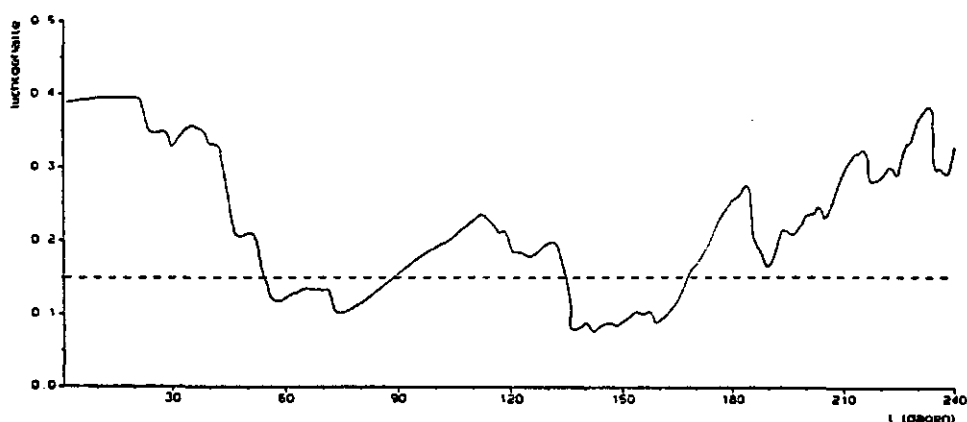
periode van vermindering van het luchtgehalte (in dagen)	bodemtemperatuur (°C)			
	2	4	10	16
2	0	0	0	0
4	0	0	25	13
8	0	0	37	13
14	0	13	63	100



Figuur 4.3. Invloed van de lengte van de periode na het planten op het percentage niet-bloeiende bollen, bij een 8 tot 14 daagse innudatie.

In de inleidende paragraaf van dit hoofdstuk is al gezegd dat niet alle profielen die met FLOWEX zijn doorgerekend besproken kunnen worden. Uit het totale aantal profielen zijn de profielen gekozen met de meest kenmerkende resultaten.

Uit figuur 4.1 kan worden afgeleid dat het verloop van het luchtgehalte gedurende de winterperiode, zoals dat door FLOWEX is berekend, aan de verwachtingen voldoet. Begin oktober benadert het luchtgehalte het porievolume (ca. 40 vol%), blijft tot eind november ongeveer constant, en neemt hierna af totdat begin januari het minimum van ca. 10 vol% wordt bereikt. Eind februari begint het luchtgehalte weer toe te nemen, totdat half april het maximum weer wordt bereikt. Het verloop van het luchtgehalte kan van jaar tot jaar nogal sterk variëren. In figuur 4.4 is voor hetzelfde profiel het verloop van het luchtgehalte in 1972 weergegeven. Hieruit blijkt dat 1972 een natter jaar is geweest, en dat de neerslag onregelmatiger is gevallen.



Figuur 4.4. Grafische weergave van het verloop van het luchtgehalte op 20 cm -mv. voor profiel 005 in het jaar 1972. De opbouw is :

- a. bovengrond : omgespoten zand (1.2%)
- b. ondergrond : zavelachtig (grond Z1, bijlage B)
- c. draandiepte : 1.00 m -mv.
- d. maatgevende afvoer : 7 mm/dag

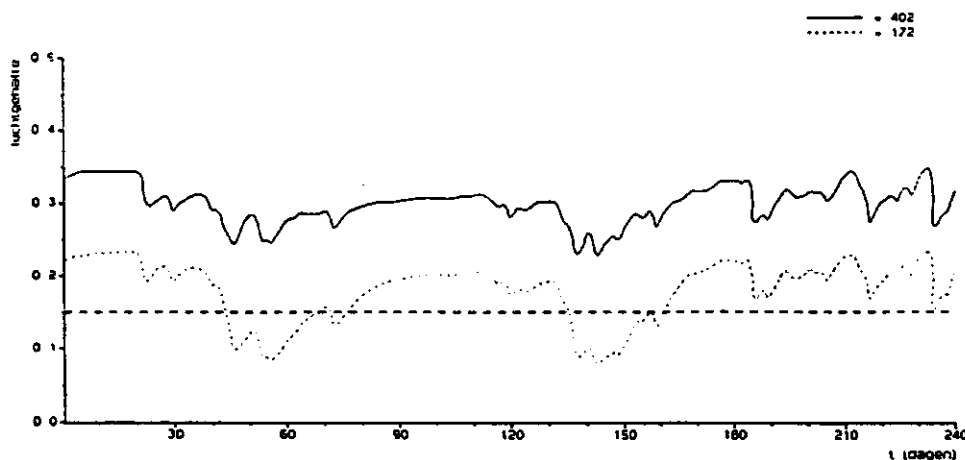
Aan de absolute waarden van de berekende luchtgehalten kunnen geen conclusies worden verbonden. Dit is pas mogelijk als praktijkwaarnemingen zijn uitgevoerd, die de gesimuleerde luchtgehalten kunnen verifiëren. Men moet er ook rekening mee houden dat de (noodzakelijk) gekozen dichtheid van 1.45 gr/cm³ een beperking in de praktische toepasbaarheid inhoud. Gronden die in gebruik worden genomen voor de teelt van bloembollen worden door middel van grondbewerkingen op een dichtheid gebracht die niet groter is dan 1.30 gr/cm³.

Een dichtheid van 1.45 gr/cm^3 wordt alleen aangetroffen aan het eind van het groeiseizoen.

Bij het bezanden van bloembollengronden wordt door middel van het mengen van het opgebrachte zand met de oude bouwvoor, en het toevoegen van stalmest getracht een goede bouwvoor te creëren. De bij dit onderzoek beschouwde profielen van omgespoten zand op een ondergrond zijn binnen de gangbare wijze van handelen dus niet erg toepasbare gronden.

Als de beperkingen van dit onderzoek buiten beschouwing worden gelaten, kan over de uitkomsten van FLOWEX relatief gezien wel een uitspraak worden gedaan, door de luchtgehaltenes van de profielen onderling met elkaar te vergelijken. De beschouwde profielen worden allen vergeleken met de goede en de slechte bloembollengrond, die een functie als referentie hebben.

Allereerst zijn in figuur 4.5 de luchtgehaltenes van de twee referentiegronden weergegeven. Hieruit blijkt duidelijk het grote verschil tussen de goede en de slechte bloembollengrond. Waar de goede bloembollengrond gedurende de wintermaanden totaal geen problemen kent met het luchtgehalte, zakt bij de slechte bloembollengrond het luchtgehalte tot een veel lager niveau.



Figuur 4.5. Verloop van het luchtgehalte op 20 cm -mv. voor de profielen 402 en 172 in het jaar 1972. De profielen hebben de volgende opbouw :

- a. bovengrond van profiel 402 : goede bloembollengrond
- bovengrond van profiel 172 : slechte bloembollengrond
- b. ondergrond : zelfde als bovengrond
- c. draandiepte : 0.75 m -mv.
- d. maatgevende afvoer : 7 mm/dag

Van beide referentie-profielen is met behulp van de figuren 4.2 en 4.3 een schade-factor uit te rekenen, waaraan de overige te behandelen profielen getoetst kunnen worden. Het berekenen van deze schade-factor gebeurt op de volgende manier :

- a. bepaal de perioden waarin het luchtgehalte beneden de 15%-grens daalt, en bereken van elke periode het gemiddeld aantal dagen sinds het planten van de bollen en het gemiddeld luchtgehalte gedurende een periode.
Als plantdatum van de bloembollen wordt bij dit onderzoek 15 november gekozen, wat voor tulpen een redelijk gemiddelde is, maar kan afwijken van plantdata van andere bollensoorten.
- b. met behulp van figuur 4.2 is (door interpolatie) voor elke periode het percentage niet-bloeiende bollen te bepalen. Het percentage niet-bloeiende bollen kan gezien worden als een schade-percentage.
- c. bij elk schadepercentage kan met behulp van figuur 4.3 een reductiefactor voor het aantal dagen na planten van de bollen worden berekend. Hierbij wordt de reductiefactor voor 15 dagen na het planten (waarbij de schade maximaal is) op 100% gesteld.
- d. de schadepercentages worden tot een totaal schadepercentage verwerkt.

In tabel 4.3 zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven.

Tabel 4.3. Schadepercentages aan bloembollen ten gevolge van innudatie, voor enkele kenmerkende bodemprofielen uit tabel 4.1.

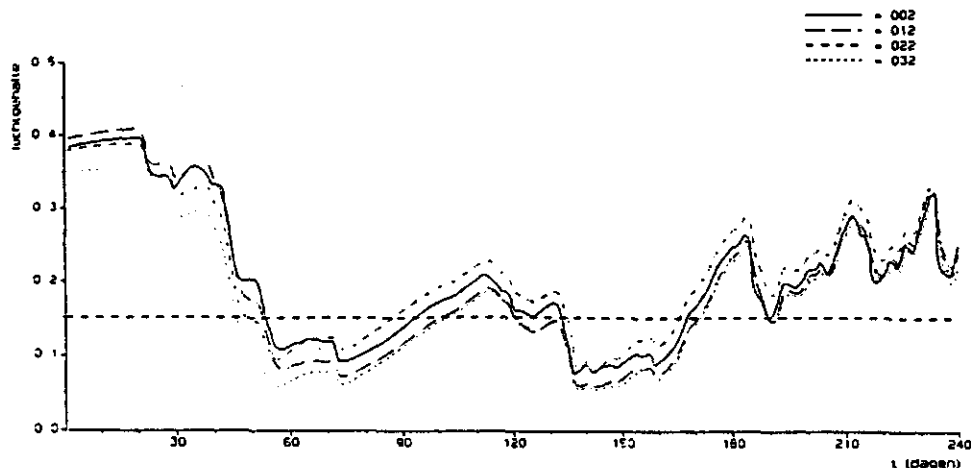
profielnummer	draindiepte (m)	afvoer (mm/dag)	schade (%)
012	0.75	7	100.0
018	1.25	7	52.5
052	0.75	7	0.0
092	0.75	7	0.0
132	0.75	7	0.0
172	0.75	7	42.8
312	0.75	7	100.0
402	0.75	7	0.0

Uit tabel 4.3 blijkt dat op de goede bloembollengrond (402) de bloembollen geen schade ondervinden door wateroverlast. Op de slechte bloembollengrond (172) blijkt 42.8 % opbrengst-schade te zijn opgetreden, wat aanzienlijk genoemd mag worden. Dezelfde slechte bloembollengrond blijkt bij een bezanding dusdanig te zijn verbeterd, dat er geen schade meer optreedt (132). Van de gekozen ondergronden geven de lemige (052) en zandige (092) ondergrond geen problemen. De zavel ondergrond (012) geeft een grote schade te zien (zie ook figuur 4.6), die bij diepe drainage wel afneemt (018) maar nog steeds aanzienlijk is. In de figuren 4.7 en 4.8 is het verloop van het luchtgehalte voor de profielen 052 en 092 weergegeven.

De invloed van de temperatuur op het totale schadepercentage is niet afzonderlijk bij de berekeningen betrokken. De inbreng van de temperatuur is echter al aanwezig in figuur 4.3. Uit tabel 4.2 blijkt dat de invloed van de temperatuur op de schade aan de bloembollen, bij lage temperaturen vrij klein is. De bodemtemperatuur, die gedurende de winterperiode laag is (zie tabel 4.4), zal dus weinig veranderen aan de berekende schade.

Tabel 4.4. Gemiddelde bodemtemperaturen op tien cm. diepte onder een korte grasmat (gemeten op een proeftuin van het laboratorium voor bloembollenonderzoek te Lisse, gedurende de periode 1971 t/m 1987).

maand	temperatuur		
	1e decade	2e decade	3e decade
oktober	12.0	10.1	8.9
november	7.7	6.1	5.6
december	4.7	4.2	3.8
januari	2.7	2.2	2.3
februari	2.0	1.7	1.9
maart	2.9	3.7	4.7
april	5.7	6.8	7.9

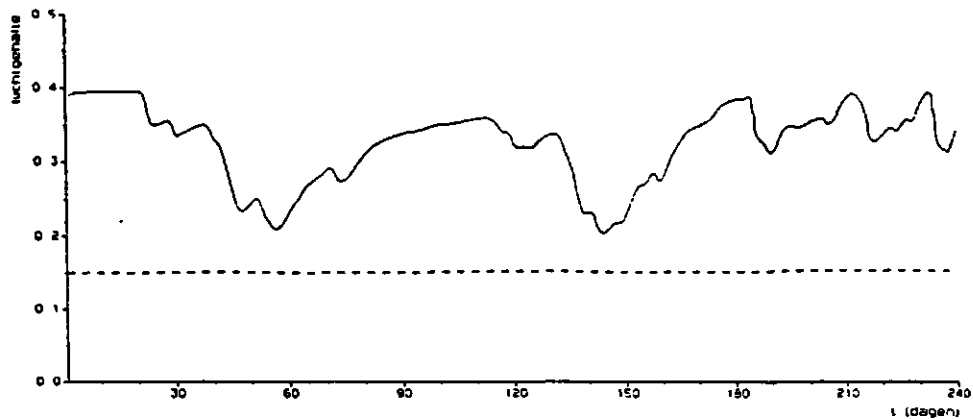


Figuur 4.6. Verloop van het luchtgehalte op 20 cm -mv. voor de profielen 002, 012, 022 en 032 in het jaar 1972. Deze profielen hebben de volgende opbouw :

- a. bovengrond van profiel 002 : omgespoten zandgrond (1.2% slib)
- bovengrond van profiel 012 : omgespoten zandgrond (2.0% slib)
- bovengrond van profiel 022 : omgespoten zandgrond (4.0% slib)
- bovengrond van profiel 032 : omgespoten zandgrond (6.0% slib)
- b. ondergrond : zavelachtig (grond Z1, bijlage B)
- c. draindiepte : 0.75 m -mv.
- d. maatgevende afvoer : 7 mm/dag

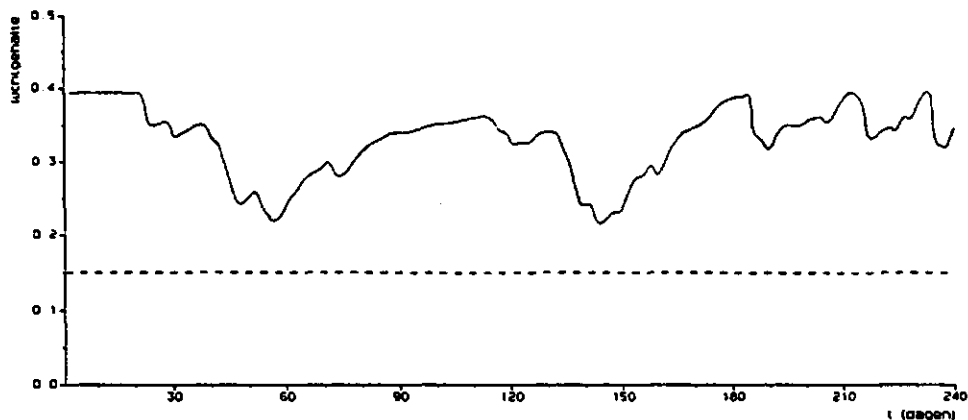
In zijn algemeenheid liggen alle vier de curven van figuur 4.6 op een gelijk niveau. Er is een zeker verloop tussen de curven, maar dat is te klein om van een significant verschil te kunnen spreken. In de volgende figuren is daarom voor de duidelijkheid slechts een curve weergegeven.

Met behulp van FLOWEX is heel goed de invloed van het drainagesysteem te onderzoeken. Een voorbeeld hiervan is gegeven in de figuren 4.9 t/m 4.11. In figuur 4.9 is een profiel weergegeven met een draindiepte van 75 cm en een maatgevende afvoer van 3 mm/dag. Bij deze situatie treden enige problemen met de waterhuishouding op. Als de maatgevende afvoer wordt vergroot tot 7 mm/dag, treedt een duidelijke verbetering op, en treedt er geen wateroverlast meer op. Deze situatie is weergegeven in figuur 4.10. Als in plaats van de maatgevende afvoer de draindiepte wordt vergroot tot 1.00 m -mv., treedt de situatie van figuur 4.11 op. Dit levert een nog grotere verbetering op als de vergroting van de maatgevende afvoer.



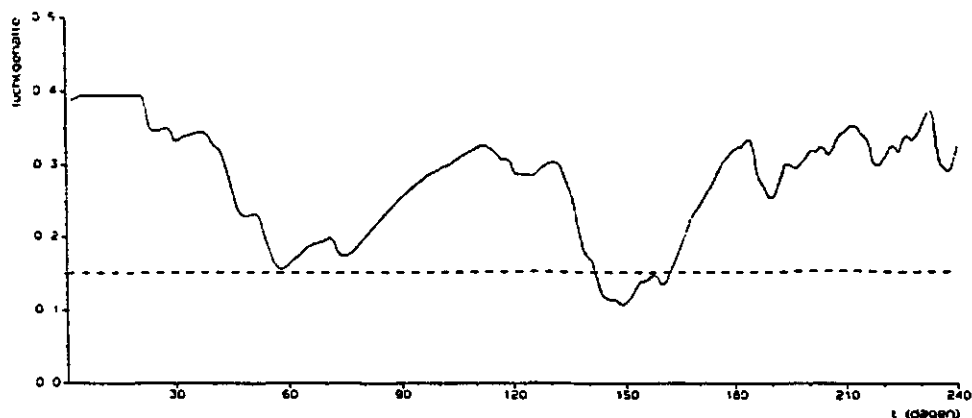
Figuur 4.7. Verloop van het luchtgehalte op 20 cm -mv. voor profiel 052 in het jaar 1972. Het profiel heeft de volgende opbouw :

- a. bovengrond : omgespoten zandgrond (2.0% slib)
- b. ondergrond : lemig zand (grond Z2, bijlage B)
- c. draandiepte : 0.75 m -mv.
- d. maatgevende afvoer : 7 mm/dag



Figuur 4.8. Verloop van het luchtgehalte op 20 cm -mv. voor profiel 092 in het jaar 1972. Het profiel heeft de volgende opbouw :

- a. bovengrond : omgespoten zandgrond (2.0% slib)
- b. ondergrond : zand (grond Z3, bijlage B)
- c. draandiepte : 0.75 m -mv.
- d. maatgevende afvoer : 7 mm/dag



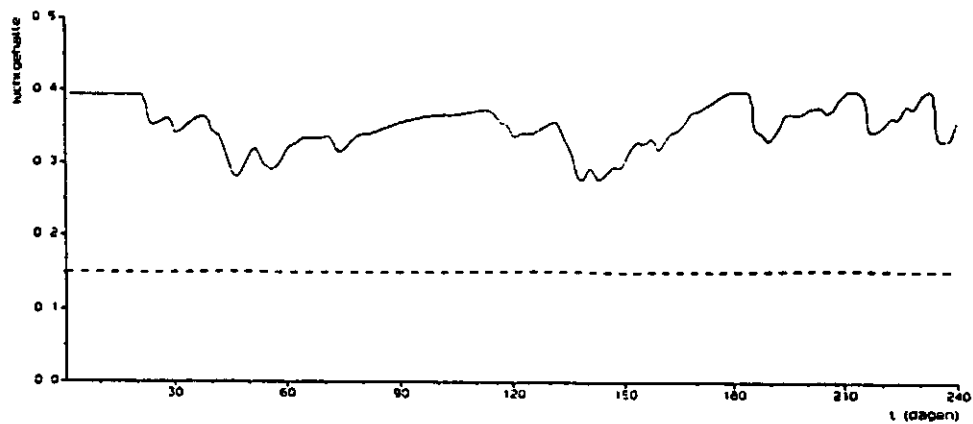
Figuur 4.9. Verloop van het luchtgehalte op 20 cm -mv. voor profiel 131 in het jaar 1972. Het profiel heeft de volgende opbouw :

- a. bovengrond : omgespoten zandgrond (2.0% slib)
- b. ondergrond : zavelachtig (grond Z1, bijlage B)
- c. draandiepte : 0.75 m -mv.
- d. maatgevende afvoer : 3 mm/dag



Figuur 4.10. Verloop van het luchtgehalte op 20 cm -mv. voor profiel 132 in het jaar 1972. Het profiel heeft de volgende opbouw :

- a. bovengrond : omgespoten zandgrond (2.0% slib)
- b. ondergrond : zavelachtig (grond Z1, bijlage B)
- c. draandiepte : 0.75 m -mv.
- d. maatgevende afvoer : 7 mm/dag



Figuur 4.11. Verloop van het luchtgehalte op 20 cm -mv. voor profiel 134 in het jaar 1972. Het profiel heeft de volgende opbouw :

- a. bovengrond : omgespoten zandgrond (2.0% slib)
- b. ondergrond : zavelachtig (grond Z1, bijlage B)
- c. draandiepte : 1.00 m -mv.
- d. maatgevende afvoer : 3 mm/dag

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR NADER ONDERZOEK

De resultaten van de verdampingsmethode uit hoofdstuk 3 geven een ruwe indicatie van de effecten van het percentage afslibbaar op de vochthuishouding. Er blijkt echter ook uit dat niet alleen het percentage afslibbaar invloed heeft op de waterhuishouding, maar dat de gehele granulaire samenstelling hierbij een rol speelt. Dit blijkt duidelijk als de resultaten van de slechte bloembollengrond worden vergeleken met de resultaten van de overige grondmonsters. De slechte bloembollengrond heeft een betrekkelijk gering percentage afslibbaar (3.8 %), maar een des te grotere fractie fijn zand (55.5 % in de klassen 105-210 μm). Juist hierdoor laat de slechte bloembollengrond een veel slechter beeld zien dan de overige monsters.

Het lijkt dat het classificeren van bloembollengronden niet in termen van slibgehalte (percentage < 16 μm) moet worden uitgevoerd, maar dat veeleer moet worden gelet op de gehele korrelgrootte-verdeling. Er zal speciaal moeten worden gelet op de gehele fijne fractie.

Het spreekt voor zich dat de grootste fracties niet over sterk uiteenlopende klassen verdeeld mogen zijn. Bij twee sterk afwijkende fracties vormt de grootste fractie een matrix, waarbij de kleinere fractie de aanwezige poriën gaat opvullen. Dit zal dan ten koste gaan van het poriënvolume en de doorlatendheid. Vooral bij het mengen van de oude bouwvoor met het opgebrachte zand moet in dit opzicht zeer voorzichtig te werk worden gegaan.

Het simulatiemodel FLOWEX kan bij een vervolgonderzoek een grote rol gaan spelen. Uit hoofdstuk 4 blijkt dat het model zeer goed toe te passen is op dit onderzoek, en reële resultaten te zien geeft.

De in dit onderzoek toegepaste vergelijkingsmethode is vrij algemeen toepasbaar, waardoor alle gronden waarvan de bodemfysische eigenschappen bekend zijn met FLOWEX getoetst kunnen worden. Dit opent dus de mogelijkheid de bloembollengronden waarvan de bodemfysische eigenschappen bekend zijn, met FLOWEX te onderzoeken en onderling te vergelijken. Er kan op deze manier een beter beeld worden gegeven van de verschillen in luchthuishouding tussen de diverse bloembollengronden. Tevens opent dit de mogelijkheid een bezanding van een slechte bloembollengrond (met de bestaande gegevens van deze grond) te simuleren en te vergelijken met de resultaten van de oorspronkelijke situatie. Dit onderzoek kan dan enig inzicht geven in de mate van verbetering ten

gevolge van een bezanding. Als dit systeem in de praktijk valt toe te passen, kunnen problemen ten gevolge van een bezanding vooraf al worden ontdekt, en kan potentiële schade hiermee worden voorkomen.

Uit de resultaten van hoofdstuk 4 blijkt ook dat de effecten van drainage met FLOWEX goed kunnen worden onderzocht. Het blijkt dat met een efficiënt drainage-systeem veel aeratieproblemen kunnen worden voorkomen. Ook voor de bloembollenteelt marginale gronden kunnen door een goede drainage verbeterd worden.

6. SAMENVATTING

De grote vraag naar bloembollengronden die de laatste jaren is ontstaan, heeft tot gevolg gehad dat de bloembollenteelt zich ging verplaatsen naar minder geschikte gronden. Hierbij doen zich problemen voor met de waterhuishouding, vooral op fijnzandige en slibhoudende gronden. Deze gronden tracht men te verbeteren door het opbrengen van een laag grof zeezand, die gedeeltelijk met de oude bouwvoor wordt vermengd. Dit onderzoek heeft tot doel de effecten van het bezanden te onderzoeken, en de rol die het slibgehalte hierbij speelt. De gronden die in het onderzoek zijn betrokken, zijn een als goed geclassificeerde bloembollengrond, een als slecht beoordeelde bloembollengrond, en enkele kunstmatige zandgronden met oplopend slibgehalte.

Van de te onderzoeken gronden zijn als eerste de bodemfysische gegevens bepaald. Het organisch stofgehalte is bepaald door verbranding in een oven op 500 °C. Het kalkgehalte is bepaald met de maatkolfjesmethode, waarbij de aanwezige kalk wordt opgelost in HCl, en het gewichtsverlies door ontsnappend CO₂ een maat is voor het kalkgehalte. De bepaling van de granulaire samenstelling is geschied door zeven van de grove fractie en bezinken van de fijne fractie.

De vochtretentie-curven en de doorlatendheidskarakteristieken van de betreffende gronden zijn bepaald met de verdampingsmethode. Bij deze methode wordt het gewicht van een grondkolom gedurende verdamping van het bodemvocht gemeten. Tegelijkertijd wordt op vier hoogten in de grondkolom de vochtspanning gemeten met behulp van tensiometers. Voor deze methode is op het I.C.W. een automatisch systeem ontwikkeld (Boels et al., 1978). De grondmonsters zijn voor twee dichtheden onderzocht, 1.45 en 1.55 gr/cm³. De resultaten laten zien dat de slechte bloembollengrond een duidelijk afwijkende pF-curve heeft van de overige monsters. Dit komt doordat bij de slechte bloembollengrond de korrelgrootte-samenstelling ten opzichte van de overige monsters is verschoven naar de fijne fracties.

Het bestuderen van de effecten van het bezanden in de praktijk kost veel tijd en geld. In dit onderzoek is daarom het numeriek model FLOWEX (Buitendijk, 1984) gebruikt om de effecten van het bezanden te simuleren. Met het model is de luchthuishouding op 20 cm -mv. gedurende een periode van 10

jaar voor verschillende profielen doorgerekend. Dit is gebeurd voor verschillende drainage-dichtheden en -intensiteiten. De gegevens van de verdampingsmethode zijn gecombineerd met enkele gegevens uit de literatuur (Beuvink, 1984). Hiermee zijn verschillende profielen samengesteld en doorgerekend. Er is een (voorlopige) minimumnorm van 15 vol% afgeleid waaraan de luchthuishouding dient te voldoen, en waarop de profielen zijn getest. Aan de hand van een vergelijkingscriterium zijn de resultaten van alle profielen met elkaar vergeleken. De goede en slechte bloembollengrond hebben hierbij als referentie dienst gedaan. Hoewel uit de absolute waarden van de uitkomsten geen conclusies mogen worden afgeleid, kunnen door de onderlinge vergelijking van de profielen relatief gezien wel enkele conclusies worden getrokken. Uit de resultaten blijkt heel duidelijk de invloed van de granulaire samenstelling op de luchthuishouding. Hierbij is niet alleen het slibgehalte van belang, maar de gehele korrelgrootteverdeling. De slechte bloembollengrond blijkt volgens de gehanteerde criteria veel last te hebben van wateroverlast (een schade van ruim 40% in 1972), maar bezanding blijkt het probleem grotendeels op te lossen. De invloed van de drainage op de luchthuishouding is met FLOWEX zeer goed te berekenen. Met FLOWEX kunnen alle mogelijke profielen doorgerekend worden, als de bodemfysische eigenschappen van de te onderzoeken gronden bekend zijn.

LITERATUURLIJST

- BAKKER, J.W., F.R. Boone en P. Boekel, 1987. Diffusie van gassen in grond en zuurstofdiffusiecoëfficiënten in Nederlandse akkerbouwgronden. ICW rapport 20 (nieuwe serie), Wageningen.
- BEUVING, J., 1984. Vocht- en doorlatendheidskarakteristieken, dichtheid en samenstelling van bodemprofielen in zand-, zavel-, klei- en veen-gronden. ICW rapport 10 (nieuwe serie), Wageningen.
- BOEKEL, P., 1970. Luchtgehalte in de grond in verband met de zuurstofvoorziening van de gewassen. Instituut voor bodemvruchtbaarheid (C7370), Haren.
- BOELS, D., J.B.H.M. van Gils, G.J. Veerman and K.E. Wit, 1978. Theory and system of automatic determination of soil moisture characteristics and unsaturated hydraulic conductivities. Soil science 126(4), pp 191-199.
- BUITENDIJK, J., 1984. FLOWEX: Een numeriek model voor simulatie van verticale stroming van water door onverzadigde grond. ICW nota 1494, Wageningen.
- ERPERS ROIJARDS, T van, 1987. Een onderzoek naar enige bodemtechnische factoren bij de bezanding van bloembollengronden in Noord-Holland. ICW nota 1808.
- KOOREVAAR, P. and C. Dirksen, 1983. Elements of soil physics, 2nd revised edition, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Agricultural University, Wageningen.
- VALK, G.G.M. van der, 1971. Influence of short periods of restricted soil aeration on development of tulips. Acta Hort 23 (1971), pp 333-337.
- VALK, en J.J Vermeer, 1986. Een verbeterde methode van de maatkolffjesmethode. ICW, Wageningen.

VERMEER, J.J., 1986. Voorschrift voor bepaling van de granulaire samenstelling op de minerale delen van grond. ICW, Wageningen.

WÖSTEN, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving, 1987. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland : De Staringreeks. ICW rapport 18 (nieuwe serie), Wageningen.

BIJLAGEN

Bijlage A : Voorbeeld van een invoerfile van het model FLOWEX.

Bijlage B : Bodemfysische gegevens van de ondergronden die bij FLOWEX als invoer zijn gebruikt.

Bijlage A : Voorbeeld van een invoerfile van FLOWEX.

```

-- COMMENTAAR LIJN ----- 00 --
Gegevens van profiel F/A, diepte 1, intensiteit 2. G. J. Carsjens
-- AANTAL TE BEREKENEN JAREN, DRAINDIEPTES, DRAININTENSITEITEN ----- 01 --
          10          1          3
-- BEGINDAG DRAINLAAG AANTAL PROF. AANTAL LAGEN IN ELK PROFIEL ----- 02 --
0.0          7          2 2 28
LAAGD.  LAAGNUMMER ----- 03 --
10.0    1
20.0    2
10.0    3
10.0    4
10.0    5
10.0    6
10.0    7
10.0    8
20.0    9
10.0   10
10.0   11
10.0   12
10.0   13
10.0   14
10.0   15
10.0   16
10.0   17
10.0   18
10.0   19
10.0   20
10.0   21
10.0   22
10.0   23
10.0   24
10.0   25
10.0   26
10.0   27
10.0   28
10.0   29
10.0   30
POOL    POOLMX  V(1)   BFACTOR ----- 04 --
0.0     -0.5   0.0    0.0003
DRAIND. INTENS. VCONST. ----- 05 --
-75.0   0.014  -0.01
VOCHTGEH. VOCHTSP. VAN DE pF-CURVE BOVENGROND ----- 06 --
.00     -8000.0
.01     -725.4
.015    -534.9
.02     -405.9
.025    -316.2
.03     -252.4
.035    -206.1
.04     -171.7
.05     -125.8
.06     -98.0
.07     -80.4
.08     -68.7
.09     -60.7
.10     -55.1
.12     -47.9
.13     -45.6
.14     -43.8
.15     -42.3
.17     -40.0

```

```

.19      -38.3
.21      -37.0
.23      -36.0
.25      -35.3
.27      -34.9
.31      -34.6
.33      -34.1
.35      -32.8
.36      -31.7
.37      -30.2
.38      -28.3
.39      -26.1
.40      -23.4
.41      -20.5
.42      -17.4
.453     -0.001
-1       -1
-- KO BOVENGROND ----- 07 --
50.0     4.64     0.00988
-- ALFA BOVENGROND ----- 08 --
0.1198   0.0723   0.0108
-- KNIKPUNTEN KOE-FUNCTIES ----- 09 --
-50.0    -100.0
VOCHTGEH. VOCHTSP. VAN DE pF-CURVE ONDERGROND----- 10 --
.276     -1000.0
.300     -794.0
.330     -562.0
.359     -316.0
.373     -177.0
.378     -100.0
.381     -56.2
.383     -31.6
.389     -10.0
.403     -3.16
.454     -0.001
-1       -1
- KO ONDERGROND ----- 11 --
38.02    11.76     0.1016
-- ALFA ONDERGROND ----- 12 --
0.8526   0.4814     0.006144
-- KNIKPUNTEN KOE-FUNCTIES ----- 13 --
-3.16    -10.0
-- PORIE-GEHALTE BOVENGROND ----- XX --
0.453
-- EERSTE INPUT FILE NAAM - ----- 14 --
R70.FLW
-- EERSTE OUTPUT FILE NAAM ----- 15 --
MFAZZ1.070
-- DELTAT BEREKENEN ? ----- 16 -
JA
-- DELTAT ----- 17 --
0.0040

```

Bijlage B : Bodemfysische gegevens van de bij FLOWEX gebruikte ondergronden.

profiel Z1 : zware zavel (profiel 8, hor. C₂₁(1); Beuving, 1984)

dichtheid : 1.44 gr/cm³
 percentage < 2 μm : 16.2 %

Vochtgehalte	Vochtspanning	Doorlatenheidskarakteristiek
0.276	-1000.0	
0.300	-794.0	$\alpha_1 = 0.8526$ $K_{01} = 38.02$
0.330	-562.0	$\alpha_2 = 0.4814$ $K_{02} = 11.76$
0.359	-316.0	$\alpha_3 = 0.0061$ $K_{03} = 0.10$
0.373	-177.0	
0.378	-100.0	$h_1 = -3.16$
0.381	-56.2	$h_2 = -10.0$
0.383	-31.6	
0.389	-10.0	
0.403	-3.16	
0.454	-0.001	

profiel Z2 : lemig zand (profiel 2, hor. C₂₂; Beuving, 1984)

dichtheid : 1.45 gr/cm³
 percentage < 2 μm : 9.8 %

Vochtgehalte	Vochtspanning	Doorlatenheidskarakteristiek
0.121	-1000.0	
0.129	-794.0	$\alpha_1 = 0.1377$ $K_{01} = 17.38$
0.144	-562.0	$\alpha_2 = 0.0320$ $K_{02} = 6.04$
0.178	-316.0	$\alpha_3 = 0.0081$ $K_{03} = 0.55$
0.220	-177.0	
0.320	-100.0	$h_1 = -10.0$
0.375	-56.2	$h_2 = -100.0$
0.382	-31.6	
0.395	-10.0	
0.414	-3.16	
0.454	-0.001	

profiel Z3 : zand (profiel 8, hor. C22; Beuving, 1984)

dichtheid : 1.49 gr/cm³

percentage < 2 μ m : 5.2 %

Vochtgehalte	Vochtspanning	Doorlatenheidskarakteristiek
0.138	-1000.0	
0.142	-794.0	$\alpha_1 = 0.0855$ $K_{01} = 64.57$
0.148	-562.0	$\alpha_2 = 0.0262$ $K_{02} = 9.91$
0.164	-316.0	$\alpha_3 = 0.0090$ $K_{03} = 1.79$
0.200	-177.0	
0.290	-100.0	$h_1 = -31.6$
0.345	-56.2	$h_2 = -100.0$
0.360	-31.6	
0.372	-10.0	
0.388	-3.16	
0.438	-0.001	