

ONTWIKKELING EN REKENARISERING VAN 'N GESKIKTE VLOEDBESPROEIING- ONTWERPPROSEDURE

VOLUME 2:

KRITIESE EVALUERING VAN VLOEDBESPROEIING-ONTWERPPROSEDURE

deur

GHJ KRUGER

Verslag aan die Waternavorsingskommissie deur
Rehab Consultation
en die
Departement Landbou-ingenieurswese,
Universiteit van Pretoria

November 1997

WNK Verslag No	290/2/98
ISBN	1 86845 370 7
ISBN STEL	1 86845 373 1

INHOUDSOPGAWE

Bladsy

VOORWOORD	vi
BESTUURSOPSOMMING	vii
BEDANKINGS	xii
AFKORTINGS & SIMBOLELYS	xiv
1 INLEIDING	1
1.1 AGTERGROND	1
1.2 PROBLEEMSTELLING	2
1.3 OMVANG VAN DIE NAVORSINGSPROJEK	3
1.3.1 Navorsingsdoelstellings	4
1.3.2 Uiteensetting van die navorsingsveld	4
2 LITERATUUROORSIG VAN PROSEDURES OM VLOED- BESPROEIINGSTELSELS TE ONTWERP	6
2.1 INLEIDING	6
2.2 VLOEDBESPROEIINGSONTWERP IN PERSPEKTIEF	6
2.2.1 Lesse uit die geskiedenis	6
2.2.2 Komplekse vakgebied van vloedbesproeiing	8
2.2.3 Standaard van ontwerp-tegnologie benodig	8
2.2.4 Ontwikkeling van ontwerp-tegnologie	10
2.2.5 Noodsaaklikheid van eietydse ontwerp-tegnologie	12
2.2.6 Historiese gebrek aan tegnologie vir die ontwerp van vloed- besproeiingstelsels in Suid-Afrika	13
2.3 'N OORSIG VAN INTERNASIONAAL-ERKENDE ONTWERP- PROSEDURES	15
2.3.1 Inleiding	15

2.3.2	Internasionale neigings ten opsigte van navorsing oor vloedbesproeiing	16
2.3.3	Ontwikkeling van hidrouliese beginsels betrokke by vloed- besproeiingsontwerp	20
2.3.4	Toepassing van hidrouliese beginsels	40
2.3.5	Toepassing van ontwerphandleidings	41
2.3.6	Bruikbaarheid van ontwerphandleidings	44
3	DIE AGTERGROND WAARTEEN VLOEDBESPROEIING IN SUID-AFIKA ONTWERP WORD	45
3.1	INLEIDING	45
3.2	DIE OMVANG VAN VLOEDBESPROEIING IN SUID-AFRIKA	45
3.3	VLOEDBESPROEIINGSTELSELS IN SUID-AFRIKA	46
3.4	PROSEDURES EN TEGNIEKE WAT VOOR 1990 IN DIE RSA VIR DIE ONTWERP VAN VLOEDBESPROEIINGSTELSELS TOEGEPAS IS	49
3.5	TOESTANDE IN SUID-AFRIKA	50
3.5.1	Faktore wat die stelselhidroulika indirek kan beïnvloed	51
3.5.2	Faktore wat 'n direkte invloed op stelselhidroulika het	56
3.5.3	Faktore wat die toepassing van stelselhidroulika in Suid-Afrika beïnvloed	69
3.6	VEREISTES WAT AAN 'N ONTWERPPROSEDURE VIR SUID-AFRIKAANSE TOESTANDE GESTEL WORD	73
4	DIE REKENARISEERBAARHEID VAN 'N ONTWERPPROSEDURE	76
4.1	INLEIDING	76
4.2	DIE ROL VAN DIE REKENAAR EN REKENAARPROGRAM	76
4.3	DIE ROL EN PROFIEL VAN DIE ONTWERPER AS BESLUITNEMER	76
4.4	PROGRAMMEERBAARHEID VAN BESLUITTE BY VLOEDBE- SPROEIINGSONTWERP	77

4.5	ONTWIKKELING VAN DIE RASIONELE BESLUITNEMINGSPROSES AS UITGANGSPUNT VIR 'N INTERAKTIEWE REKENARISEERBARE ONTWERPPROSEDURE	80
4.5.1	Die rasionele besluitnemingsproses	80
4.5.2	Gebruik van tegnieke in die ontwerpproses	81
4.5.3	Kernelement of objekgeoriënteerde rekenarisering	83
4.6	OPSOMMING VAN DIE VEREISTES VIR DIE REKENARISERING VAN 'N ONTWERPPROSEDURE	85
5	METODE GEVOLG EN NORME GEBRUIK IN DIE KRITIESE EVALUERINGSPROSES	87
5.1	INLEIDING	87
5.2	EIETDSE NORME VIR KRITIESE EVALUERING	88
5.2.1	Funksionele vereistes vir 'n ontwerp	88
5.2.2	Elemente betrokke by vloedbesproeiing	88
5.2.3	Vereistes vir 'n ontwerpprocedure	90
5.3	METODE WAT GEVOLG IS VIR KRITIESE EVALUERING MET BEHULP VAN DIE HUIDIGE NORME	91
6	EVALUERING VAN EMPIRIESE ONTWERPPROSEDURES	93
6.1	INLEIDING	93
6.2	DIE KRITIESE EVALUERINGSPROSES	93
6.2.1	Spesifieke Metodes	93
6.2.2	Ontwerpcedures wat geëvalueer is	94
6.3	KRITIESE EVALUERING VAN DIE ONTWERPMETODE VAN DIE AFDELING LANDBOU-INGENIEURSWESE	94
6.3.1	Die procedure	94
6.3.2	Teoretiese evaluering van die procedure	96
6.3.3	Koppeling van infiltrasietempo aan die klei-inhoud van die gronde ..	96

6.3.4	Koppeling van infiltrasie, helling en beddinglengte	97
6.3.5	Gevolgtrekking	101
6.4	KRITIESE EVALUERING VAN DIE ONTWERPMETODE VAN DIE METODE VAN DIE SUID-AFRIKAANSE SUIKERVERENIGING	102
6.4.1	Die prosedure	102
6.4.2	Gevolgtrekking	104
6.5	ALGEMENE BESPREKING EN GEVOLGTREKKINGS TEN OPSIGTE VAN EMPIRIESE ONTWERPPROSEDURES	104
7	KRITIESE EVALUERING VAN VOLUMEBALANS-ONTWERP- PROSEDURES	107
7.1	INLEIDING	107
7.2	DIE KRITIESE EVALUERINGSPROSES	107
7.2.1	Metodes wat vir evaluering gebruik is	107
7.2.2	Ontwerpprocedures wat evalueer is	108
7.3	EVALUERING VAN DIE SCS METODE VIR BEDDINGS	108
7.3.1	Die prosedure	109
7.3.2	Toepassing van die prosedure	117
7.3.3	Teoretiese evaluering van die prosedure	117
7.3.4	Gevolgtrekking	120
7.4	EVALUERING VAN DIE AFSNYKOëFFISIëNT-BENADERING	121
7.4.1	Teoretiese agtergrond	121
7.4.2	Toepassing van die Badenhorst-metode	124
7.4.3	Teoretiese evaluering van die procedures	126
7.4.4	Gevolgtrekking	144
7.5	EVALUERING VAN DIE "OPTIMERING VAN BEDDINGAFMETINGS" ...	145
7.5.1	Teoretiese agtergrond	145
7.5.2	Evaluering van die prosedure	146
7.5.3	Gevolgtrekking	153

7.6	ALGEMENE BESPREKING EN GEVOLGTREKKINGS TEN OPSIGTE VAN VOLUMEBALANSPROSEDURES	154
7.6.1	Teoretiese agtergrond	154
7.6.2	Gevolgtrekking	155
8	KRITIESE EVALUERING VAN HIDRODINAMIESE ONTWERP- PROSEDURES	156
8.1	INLEIDING	156
8.2	METODE WAT IN DIE KRITIESE EVALUERINGSPROSES GEVOLG WORD	157
8.2.1	Spesifieke Metodes	157
8.2.2	Ontwerpprosedures geëvalueer	157
8.3	KRITIESE EVALUERING VAN AFDROGINGSFRONTGRADIËNT- METODE VAN KRUGER	157
8.3.1	Die prosedure	157
8.3.2	Teoretiese evaluering van die prosedure	159
8.3.3	Gevolgtrekking	167
8.4	KRITIESE EVALUERING VAN DIE HIDRODINAMIESE ONTWERP- PROSEDURE	168
8.4.1	Die prosedure	168
8.4.2	Toepassing van die prosedure	170
8.4.3	Teoretiese evaluering van die prosedure	174
8.4.4	Evaluering van die prosedure met behulp van data	175
8.4.5	Gevolgtrekking	176
8.5	ALGEMENE BESPREKING EN GEVOLGTREKKINGS TEN OPSIGTE VAN HIDRODINAMIESE ONTWERPPROSEDURES	177
8.5.1	Teoretiese agtergrond	177
8.5.2	Gevolgtrekking	178

9	GEVOLGTREKKINGS EN AANBEVELINGS	179
9.1	GEVOLGTREKKINGS UIT DIE RESULTATE VAN DIE KRITIESE EVALUERING	179
9.2	AANBEVELING	179
	LITERATUURLYS	182

VOORWOORD

Die navorsingsprojek oor ontwerpprosedures vir vloedbesproeiing is van 'n omvangryke aard, en gevolglik word die dokumentering daarvan in vier volumes weergegee:

Volume 1: Ontwikkeling en rekenarisering van 'n geskikte vloedbesproeiing ontwerpprocedure: Samevattende verslag.

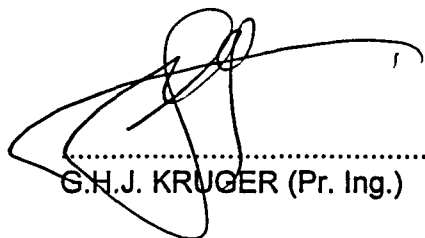
Volume 2: Kritiese evaluering van vloedbesproeiing-ontwerpprosedures.

Volume 3: Bevestiging van hidrodinamiese modelle en kenmerkende eienskappe geldig vir vloedbesproeiing in Suid-Afrika.

Volume 4: Ontwikkeling en rekenarisering van 'n toepaslike ontwerpprocedure vir vloedbesproeiing.

Die navorsingsprojek het tot die ontwikkeling van die Optivloed 2.2-rekenaarprogram vir die ontwerp van vloedbesproeiing gelei. **Volume 1** dien as programhandleiding vir die Optivloed 2.2-pakket.

Die Optivloed 2.2-rekenaarprogram is beskikbaar vanaf die skrywer via die Waternavorsingskommissie. ('n Rekenaar met 'n 386 verwerker en 'n kleurgrafiese kaart word benodig.)



.....
G.H.J. KRUGER (Pr. Ing.)

I Rehab
Posbus 5219
KOCKSPARK
2523

WATERNAVORSINGSKOMMISSIE
Posbus 824
PRETORIA
0001

BESTUURSOPSOMMING

1. AGTERGROND

Die Universiteit van Pretoria het in 1989 opdrag van die Waternavorsingskommissie ontvang om met die “vloedbesproeiingsnavorsingsprojek” te begin. Daar was voorsien dat die projek vir 'n termyn van drie jaar sou duur. Die projek het nie wesenlik gevorder gedurende die eerste helfte van die beplande tydskeule nie. In 1991 het die skrywer/navorsers die projek oorgeneem. Doelstellings is gewysig ten einde die projek uitvoerbaar te maak. Die navorsers het steeds 'n voltydse betrekking beklee, en die projek moes op 'n deeltydse grondslag afgehandel word. Dit het noodwendig tot 'n vertraging in die afhandeling van die projek gelei.

2. GEWYSIGDE DOELSTELLINGS

- Kritiese evaluering van bestaande ontwerpprosedures en aanbeveling van die mees geskikte prosedure vir rekenarisering.
- Ontwikkeling van die mees geskikte prosedure tot 'n rekenariseerbare vlak deur middel van hidrodinamiese modelstudies en eksperimentele data.
- (Om hierdie doelstelling te kon uitvoer, was dit noodsaaklik om eers die geldigheid van hidrodinamiese modelle onder Suid-Afrikaanse toestande, te bewys.)
- Rekenarisering en toets van die prosedure.

3. RESULTATE

3.1 BEVREDIGING VAN DOELSTELLINGS

Die gewysigde doelstellings is almal bevredig deur die resultate wat uit die projek verkry is. Vloedbesproeiingsprosedures is krities evalueer en die mees geskikte prosedure

is verder ontwikkel en gerekenariseer. Die eindresultaat is die Optivloed 2.2-ontwerpprogram.

3.2 MEEVALLENDE RESULTATE

Die vakgebied vloedbesproeiing is vir die eerste keer in Suid-Afrika gedokumenteer. Hierdie dokumentasie (**Volumes 2 tot 4**) behoort in die toekoms verdere navorsing op die gebied van vloedbesproeiing te fokus. Sodoende sal bondige, uitvoerbare, navorsingsprojekte beplan kan word, wat onder andere 'n bydrae sal lewer om die aanwending van die Optivloed 2.2-program te verbeter.

Die aanwendbaarheid van oorsese vloedbesproeiingsmodelle, waarmee simulering van 'n vloedbesproeiingsepisode gedoen kan word, moes vasgestel word aangesien die modelle aangewend moes word in die ontwikkeling van die Optivloed 2.2-program. Leemtes is vasgestel en aanbevelings vir die gebruik van die modelle is geformuleer (**Volume 3**, hoofstuk 5).

3.3 EVALUERING VAN RESULTATE VAN DIE VLOEDBESPROEIINGSPROJEK

Volume 2: Kritiese evaluering van vloedbesproeiing-ontwerpprosedures

Bestaande vloedbesproeiing-ontwerpprosedures is krities evalueer. Die uitgangspunte van verskillende navorsers word toegelig met historiese perspektiewe ten einde die ontwikkeling van ontwerptechnologie vir vloedbesproeiing, uit te beeld. In **Volume 2** word die voor- en nadele van empiriese-, volumebalans- en hidrodinamiese ontwerpprosedures teen 'n Suid-Afrikaanse agtergrond uitgewys. 'n Motivering vir die ontwikkeling van 'n geskikte ontwerpprosedure word beskryf. **Volume 1**, paragraaf 2.5.1, som die bevindinge op.

Volume 3: Bevestiging van hidrodinamiese modelle en kenmerkende eienskappe geldig vir vloedbesproeiing in Suid-Afrika

Weens die komplekse aard van vloedbesproeiing is die doelstellings gewysig sodat die

ontwikkeling van 'n gepaste ontwerpprocedure aan wiskundige modellering sowel as eksperimentele navorsing gekoppel kon word. Die gebruik van hidrodinamiese modelle moes, as 'n tussenstap, wetenskaplik onder Suid-Afrikaanse toestande verantwoord word alvorens die resultate van sodanige wiskundige modellering gebruik kon word in die projek.

Twee internasionale simuleringsmodelle is objektief met behulp van data evalueer. Data moes vir die doel ingesamel word op gronde met 'n ultrahoë infiltrasietempo. Verteenwoordigende data is verkry deur ook van die bestaande data uit 'n vorige projek van die Waternavorsingskommissie, asook projekte van die destydse Departement van Landbou, te herverwerk.

Die evaluering van die Sirmod-model (Walker 1989) het aan die lig gebring dat die voortjiebesproeiingsubroetine misleidende resultate tot gevolg kan hê wanneer dit onder Suid-Afrikaanse toestande objektief aangewend word. Die voorspellingswaarde van die resultate beloop tussen 1,6% tot 85%. Die metode van Kruger (1989) waar 'n voortjie as 'n klein bedding met eenheidswydte beskou word, lewer egter deurgaans goeie simulerings met gemete resultate. 'n Voorspellingswaarde wat tussen 78% tot 99% wissel is vir hierdie metode verkry. Laasgenoemde metode word dus in Suid-Afrika aanbeveel.

Beddingbesproeiing word oor die algemeen goed gesimuleer deur beide simuleringsmodelle met 'n voorspellingswaarde van 80% - 99% (Resultate in **Volume 3**, hoofstuk 5). Die Sirmod- model word egter aanbeveel weens die gemak waarmee oplossings bereik word.

'n Objektiewe metode om infiltrasie en vloe weerstand te bepaal moes ook ontwikkel word (**Volume 3** paragraaf). Die metode is geskik om 'n opvolgnavorsing tot 'n algemeen bruikbare tegniek vir ontwerpers ontwikkel te word.

Volume 4: Ontwikkeling en rekenarisering van die mees toepaslike ontwerpprocedure vir vloedbesproeiing

In **Volume 4** word kenmerkende eienskappe, wat op ontwerp in Suid-Afrika betrekking

het, uitgewys, bespreek en wiskundig ontleed. Tegnieke wat betrekking het op optimale besproeiing en wat in **Volume 2** uitgewys is, word tot 'n wiskundige ontwerpmodel ontwikkel. Die navorser het aanvanklik 'n sigblad-program geprogrammeer ten einde die werking van die model te toets. Die Optivloed 2.2-program is daarna op 'n objekgeoriënteerde wyse met behulp van die C++-rekenaartaal geprogrammeer. 'n Grafiese interaksie is ontwikkel deur die ontwerpberoeeninge grafies op die rekenaarskerm voor te stel.

Die ontwerper kan telkens sien hoedat 'n verandering in die ontwerpkeuses, die stelsel sal beïnvloed (Beskrywing in **Volume 4**, Hoofstuk6).

Die ontwerpprogram is ten volle tweetalig en sal met min insette in enige ander taal vertaal kan word. Die ontwerpprocedure is universeel, wetenskaplik gefundeerd en gebruikersvriendelik. As sulks beskik die procedure oor 'n wye aanwendbaarheid en aangesien dit tans enig in sy soort is, behoort daar ook 'n aanvraag vir die program buite Suid-Afrika te wees.

Die ontwerpprocedure is op beperkte skaal getoets soos in **Volume 4**, Hoofstuk 7, aangedui. Die wiskundige beredenering is korrek, en daar is in die programmering voorsiening gemaak vir die aanpassing van berekeninge soos wat meer inligting deur navorsing beskikbaar kom. In **Volume 4**, Hoofstuk 5, en ook in **Volume 1**, paragraaf 2.7, word aanbevelings oor die verbetering van die program in opvolgnavorsing gemaak.

3.4 POTENSIËLE BYDRAE WAT DIE PROJEKRESULTATE TOT DIE VLOEDBESPROEIINGSBEDRYF KAN MAAK

Vloedbesproeiing word steeds op sowat 40% van die totale besproeide oppervlak in Suid-Afrika toegepas. In **Volume 1**, paragraaf 2.6, word aangedui dat die resultate van die projek 'n potensiële bydrae op die volgende gebiede kan maak:

- Waterbesparing.
- Opleiding en tegnologie-oordrag.

- Ontwerp.
- Navorsing en ontwikkeling.
- Stelselbestuur.

3.5 AAANBEVELINGS TEN OPSIGTE VAN VERDERE NAVORSING WAT UIT DIE PROJEK KAN VOORTSPRUIT

In **Volume 1**, paragraaf 2.2, word breedvoerig aangedui watter verdere navorsing en ontwikkeling uit die projek mag voortspruit. Daar is drie vername aspekte wat aangespreek behoort te word, naamlik:

1) Verbetering van die Optivloed 2.2-program self

Bepaalde aspekte kon nie volledig in die huidige projek nagevors word nie (Kyk **Volume 1**, paragraaf 4.2.7.).

2) Standaard prosedures vir die bepaling van ontwerp insette

Tegnieke om infiltrasie en ander insette te bepaal is tans nie gestandaardiseer nie. Die toepassingswaarde van die Optivloed 2.2-program word tans daardeur benadeel.

3) Opleiding en ontwerphandleidings

Daar bestaan histories nie 'n praktiese ontwerphandleiding vir vloedbesproeiing in Suid-Afrika nie. So 'n ontwerpersgids moet beide teoretiese en praktiese aspekte behandel, soos dit in **Volume 2**, paragraaf 2.3.5, beskryf is.

Die ontwerpprocedure van die Optivloed 2.2-program berus op nuwe verbeterde teoretiese uitgangspunte, wat vir die meeste ontwerpers in die praktyk totaal vreemd is.

BEDANKINGS

Die skrywer van hierdie publikasie spreek graag sy dank en waardering uit aan die volgende instansies en persone:

1. Waternavorsingskommissie (WNK) vir die fondse en ondersteuning met hierdie projek.

Persone betrokke in die loodskomitees vanaf 1990:

Voorsitter: Mnr. D.S. Van der Merwe

Lede: Dr. G.R. Backeberg
Mnr A.D. Brink
Mev. M. de Lange
Prof. H.L.M. du Plessis
Mnr. D.J. du Rand
Mnr. J.H. Eckard
Mnr A.C. Fritz
Mnr. D.F.M. Korff
Mnr. F.P. Marais
Dr. P.C.M. Reid
Mnr. F.B. Reinders
Dr. D. Russell
Mnr. J.H. Smit
Mnr. H. Smith
Mnr. C.M. Stimie
Mnr. A. van Wyk
Prof. G. Venter

- 2) Die Departement Landbou. Afdeling Landbou-ingenieurswese vir die beskikbaarstelling van personeel, infrastruktuur, data en tyd. In besonder word die volgende persone bedank: (alfabetiese volgorde)
Mnre H.G.R. Coetzee, C.T. Crosby, J. Erasmus, H. Hamman, F. Hugo, P.A. le Roux en B. van Vuuren. Mev M. Liebenberg en E. Lourens.
- 3) Mnre W.I. du Plessis en A.S. Mabaso word bedank vir hulp met die insameling van data.
- 4) Die Universiteit van Pretoria, Departement Landbou-Ingenieurswese vir taalversorging en ander insette gelewer:

Prof. G. Venter en Prof. H.L.M. du Plessis en hul personeel.

- 5) Die volgende persone word bedank vir die beskikbaarstelling van data:
Mnre K. Meyer, T. Prinsloo, B. van Rensburg en Dr. D. Russell.
- 6) Die kantoorpersoneel van **REHAB** word bedank vir die tikwerk en ander insette:
Mevv. A.M. Hattingh, A. Kruger, K. Kruger en M. Redelinghuys.

AFKORTINGS & SIMBOLELYS

∂	Parsiële afgeleide/differensiaal
$\bar{A}$	'n Konstante
f	Funksie van / koëffisiënt
σ_2	Faktor waarmee die subprofiel/oppervlak gedefinieer word
α_3	Bestuursfaktor
I_{res}	Gemiddelde infiltrasietempo tydens die resessiefase
A	Area
bw	Beddingwydte
Cu/Uc	Verspreidingsdoeltreffendheid
E	Doeltreffendheid
E_a	Toedieningsdoeltreffendheid
E_s	Storingsdoeltreffendheid
E_u	Verspreidingsdoeltreffendheid
F	Froude-getal
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
F_n	Diepte van toediening
g	Swaartekragversnelling
ha	Hektaar
i	i-de inkrement
IF	Infiltrasie groep/inname-familie
I	Infiltrasie
k	Afsnykonstante
K	Kostiakov-infiltrasiekonstante
ℓ	Astand vanaf die vaste punt van die golfprofiel
L	Lengte/beddinglengte
n	Manningkonstante vir vloeiweerstand
Θ	Grondwaterinhoud
pf	Oppervlakstoring op oneweredige grondoppervlaktes
Q	Stroomgrootte/eenheidstroomgrootte
q	Vloeitempo / stroomgrootte
q_{inf}	Infiltrasie met vloeitempo

Q_o	Beginstroom
Q_u	Uitvloeistroom / eenheidstroomgrootte
R	Hidrouliese radius/straal
R_{off}	Afloop ("tail water runoff")
S	Beddinghelling
SA	Suid-Afrika
SCS	Soil Conservation Service
S_f	Energie/wrywingshelling
S_o	Grond-/kanaalhelling
S_w	Waterhelling
S_y	Vloediepte konstante
$\dot{t} / t^x$	Dimensielose tyd
T_{∞}	Afsnytyd
T_g	Gemiddelde bruto kontaktyd
T_k	Kontaktyd
T_L	Resessietyd
T_{LAG}	Wegdreinerings tyd
T_n	Netto infiltrasietyd
USDA	United States Department of Agriculture
v	Snelheid
x	Afstand
$\dot{x}$	Dimensielose vorderingsfunksie vir afstand
y	Vloediepte
Z	Bruto toediening / toediening
z^1	Vertikale hoogte

HOOFSTUK 1

INLEIDING

1.1 AGTERGROND

Suid-Afrika is 'n land met beperkte hulpbronne. Water is dié hulpbron wat deur periodieke droogtes beïnvloed word. Tekorte aan water kom dus periodiek voor. Die landbousektor is tans steeds die grootste enkele gebruiker van opgegaarde water. Druk word toenemend op die landbou uitgeoefen vir die beskikbaarstelling van groter volumes water aan munisipaliteite, nywerhede, elektrisiteitsvoorsiening ensovoorts. Daar kan dus verwag word dat watervoorsiening aan die landbousektor in die toekoms toenemend aan beperkings onderhewig gaan wees [Departement van Waterwese, 1986].

Bruwer (1987) het bevind dat sowat 50 persent van die 1,2 miljoen hektaar wat in Suid-Afrika besproei word, steeds onder vloedbesproeiing is. Die algemene doeltreffendheid van Suid-Afrikaanse vloedbesproeiingstelsels is egter, met die uitsondering van die Vaalhartskema, waarskynlik slegs ongeveer 50 persent (Du Rand & Kruger, 1991). Die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels speel 'n deurslaggewende rol by die effektiewe aanwending van besproeiingswater, en kan dus gebruik word om die doeltreffendheid van bestaande stelsels op te gradeer, en om nuwe stelsels van meet af meer doeltreffend te maak as wat die aanvaarde norme in die verlede was.

Kang (1972) beskryf hoe die antieke Mesopotamiese beskawings tussen die Tigris- en Eufraat-riviere weens ondoeltreffende vloedbesproeiing tot niet gegaan het. Du Rand en Kruger (1991) meen dat 'n nasionale strategie vir die opgradering van vloedbesproeiing in Suid-Afrika noodsaaklik is, en dat gesonde ontwerptechnologie as 'n voorvereiste daarvoor gesien moet word.

Verskeie skrywers het reeds in die verlede gewaarsku dat gebreke in die tegnologie van besproeiingsontwerp voorkom, veral vir Suid-Afrikaanse toestande (Wessels, 1973, Van der Ryst, 1980, Du Rand *et al*, 1985, Kruger 1986 en 1989 en Du Rand & Kruger, 1991). 'n Werkgroep van die Waternavorsingskommissie (Oktober 1983) het ook spesifiek die

behoefte aan 'n geskikte ontwerpprocedure vir vloedbesproeiing as 'n hoë navorsingsprioriteit geïdentifiseer.

Tydens 'n werksessie van die Wêreldbank het Petit (1988) aangedui dat navorsing op die gebied van vloedbesproeiing ernstige leemtes ten opsigte van beide hidroulika en bestuur het. Dit blyk dat veral ouer skemas lae toedieningsdoeltreffendhede het, en dat opgradering en herontwerp van sulke stelsels die toestande drasties kan verbeter. Daar bestaan dus ook op internasionale vlak steeds 'n behoefte aan verbeterde ontwerp-tegnologie.

In 'n ontwerp-gids van die FAO beskryf Walker (1989) onder andere hoe dat die belangrikste vooruitgang in vloedbesproeiingstechnologie eers in die vorige dekade (1979-1989) gemaak is. Hy verwys spesifiek na die gebruik van laser om grond voor te berei en die ontwikkeling van rekenaargesteunde sagteware wat onder andere ook op die gebied van stelselbestuur inslag gevind het. Daar is egter onduidelikhede oor die mate waartoe hierdie nuwe ontwikkeling ook die probleme met vloedbesproeiing in Suid-Afrika sou kon aanspreek en verbeter. Bogenoemde inligting bevestig dat, indien die ontwerp-tegnologie vir vloedbesproeiing verbeter kan word, dit besliste voordele op nasionale vlak kan inhou.

In Hoofstuk 2 van hierdie verslag word aangetoon dat ontwerp-tegnologie tred moet hou met die eise van die dag. Weer eens kan vrae rondom die toepaslikheid van bestaande ontwerp-tegnologie (byvoorbeeld: VSA-tegnologie) teen die Suid-Afrikaanse agtergrond en tydsgegewig gestel word.

1.2 PROBLEEMSTELLING

Die belangrikste probleme en vrae rondom die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels kan soos volg opgesom word, naamlik:

- Daar bestaan 'n historiese gebrek aan norme wat geskik is vir die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels, veral onder Suid-Afrikaanse toestande.

- Ontwerpprosedures kan mettertyd uit voeling raak met die behoeftes in die praktyk, en die volgende vrae kom telkens na vore, naamlik:
 - * Word daar goeie resultate met bestaande metodes behaal, gegewe die ervaringsvlak van die ontwerpers en met inagneming van die ontwerptyd wat daaraan verbonde is?
 - * Is rekenarisering moontlik?
 - * Kan dieselfde prosedures en tegnieke vir die ontwerp van nuwe, asook vir die opgradering van bestaande stelsels, gebruik word?
- Die toepaslikheid van oorsese ontwerpprosedures vir plaaslike toestande staan onder verdenking, en kan nie summier aanvaar word nie.

1.3 OMVANG VAN DIE NAVORSINGSPROJEK:

Die betrokke navorsing is onderneem om die probleme en vrae rondom die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels aan te spreek en, sover moontlik, ook op te klaar. Sodanige navorsing word as van nasionale belang beskou, en word as sulks deur die Waternavorsingskommissie ondersteun.

Ontwerp van vloedbesproeiingstelsels is 'n wye en komplekse vakgebied, en in Suid-Afrika is daar tot dusver nog min navorsing daarop gedoen. Die resultate van hierdie navorsingsprojek behoort dus van waarde te wees en behoort 'n bydrae te kan lewer om navorsingsvelde en fokusgebiede in die vakgebied van vloedbesproeiing te orden.

In hierdie afdeling van die navorsing is daar spesifiek aandag gegee aan 'n breë evaluering van bestaande ontwerpprosedures. Die toepaslikheid, wetenskaplike fundering, gemak van aanwending en die korrektheid van resultate, wat met bestaande ontwerpprosedures (met inagneming van die huidige ontwerpvereistes in Suid-Afrika) behaal is, was tot dusver redelik onbekend. 'n Kritiese evaluering van ontwerpprosedures behoort dus ook die rigtings aan te dui waarop verdere navorsing

toegesps kan word. Ontwerpers behoort ook in die praktyk baat te vind by die resultate van so 'n kritiese evaluering.

1.3.1 Navorsingsdoelstellings

In hierdie afdeling van die studie is hoofsaaklik op die volgende doelstellings gefokus, naamlik:

- Die ontwikkeling van eietydse norme waarteen ontwerpprosedures vir vloedbesproeiingstelsels in Suid-Afrikaanse toestande krities aan die hand van literatuur- en agtergrondstudies geëvalueer kan word.
- 'n Kritiese evaluering van ontwerpprosedures vir vloedbesproeiingstelsels wat voor 1990 in Suid-Afrika gebruik is, moes ook gedoen word.

1.3.2 Uiteensetting van die navorsingsveld

Die navorsing het onder andere die volgende fasette ingesluit, naamlik:

- Bestaande ontwerpprosedures en/of tegnieke wat in die verlede vir die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels aangewend is, is bestudeer met die doel om die mees geskikte metode vir rekenarisering te identifiseer.
- In Hoofstukke 2 tot 4 word, aan die hand van 'n literatuur- en agtergrond- studie, 'n breë perspektief oor die prosedures vir die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels van die verlede gestel, ten einde vertrekpunte vir die navorsing te formuleer.
- Dokumentering van hierdie breë perspektief is veral nodig geag weens die historiese gebrek aan ontwerp-tegnologie in Suid-Afrika.
- Hoofstuk 5 behandel die metodes wat vir die kritiese evaluering gevolg is. Hier word 'n eietydse norm vir kritiese evaluering daargestel, die

ontwerpprosedures wat bestudeer is, word geëvalueer en verwysingsbronne en/of rekenaarpakette word gespesifiseer.

- Hoofstuk 6 tot 8 lewer 'n kritiese evaluering van ontwerpprosedures in verskillende kategorieë. 'n Algemene bespreking van elke prosedure (of tegniek) word opgevolg met 'n kritiese evaluering daarvan teen die huidige norme.
- In Hoofstuk 9 word die resultate en bespreking van Hoofstukke 6 tot 8 opgesom en vergelyk. Gevolgtrekkings word gemaak en met aanbevelings afgesluit.

HOOFSTUK 2

LITERATUUROORSIG VAN PROSEDURES OM VLOEDBESPROEIINGSTELSELS TE ONTWERP

2.1 INLEIDING

Hierdie hoofstuk begin met 'n historiese perspektief oor die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels. Lesse uit die geskiedenis, redes vir die ontwikkeling van ontwerpprosedures, die noodsaaklikheid van eietydse tegnologie en die historiese gebrek aan ontwerptegnologie, veral in Suid-Afrika, word onder andere behandel.

Daarna volg 'n oorsig van internasionaal-erkende ontwerpprosedures. Die ontwikkelingsgang en bydraes van navorsers tot hidrouliese ontwerpbeginsels word opgesom. Die toepaslikheid en praktiese toepassing van die beginsels wat in ontwerphandleidings voorkom, word ook krities ontleed. Voorbeelde van ontwerphandleidings en die inhoud daarvan word ook kortliks aangehaal.

2.2 VLOEDBESPROEIINGSONTWERP IN PERSPEKTIEF

2.2.1 Lesse uit die geskiedenis

Vloedbesproeiing is die oudste besproeiingsmetode wat deur die mens gebruik word. Kang (1972) meld in 'n artikel oor Antieke Mesopotamië dat 'n vooruitstrewende beskawing sowat 6000 jaar gelede in die Tigris- en die Eufraat-valleie bestaan het. Met behulp van vloedbesproeiing was hierdie streek destyds in staat om voedsel aan sowat 25 miljoen mense te verskaf.

Volgens Kovda *et al.* (1973) toon belastingrekords uit Mesopotamië dat gars-opbrengste destyds sowat twee tot vier keer hoër was as die opbrengste wat tans in die gebied behaal word.

Dit is verder ook algemeen bekend dat hierdie antieke Mesopotamiese beskawings as gevolg van die verbraking van hul besproeiingsgebiede tot niet gegaan het. Dit word algemeen aanvaar (Kang, 1972) dat die verbraking deur swak besproeiingstegnieke en 'n gebrek aan dreineringsveroorsoek is.

Bogenoemde gebied stem ooreen met die gebied wat tans Irak is. Die bevolking van die gebied is sowat 14 miljoen en dit is ongeveer 56 persent van die destydse bevolking.

Sulke voorbeelde uit die geskiedenis beklemtoon weer die feit dat die suksesvolle ontwerp, ontwikkeling en bedryf van besproeiingstelsels van nasionale belang is, veral ten opsigte van langtermynbeplanning.

Aangesien hulpbronne vir toekomstige geslagte behoue behoort te bly, behoort ingrepe in die natuur (soos in die geval van besproeiing) deur wetenskaplike kundigheid gerugsteun te word. Mark- of behoeftegedrewe ontwikkeling vind egter telkens plaas sonder die betrokkenheid van wetenskaplikes. Hoewel "kort termyn voordele" (soos in die geval van die Antieke Mesopotamiese beskawing) die dryfveer mag wees vir skielike ontwikkeling en benutting van hulpbronne, behoort die wetenskaplike 'n holistiese benadering te volg waardeur voor- en nadele deeglik teen mekaar opgeweeg kan word, voordat so 'n ontwerp gefinaliseer en/of aanvaar mag word.

In Suid-Afrika kom daar ook sulke gevalle voor, soos byvoorbeeld die Golden Valley ('n pragtige vallei naby Cookhouse, in die Oostelike Provinsie) wat verbrak het vanweë sulke eensydige motiverings tydens die ontwikkelingsfase. Die fokus het hoofsaaklik op watervoorsiening, en nie op doeltreffende besproeiing en omgewingsimpak geval nie.

'n Wetenskaplikverantwoordbare ontwerpproses moet dus die ontwerper lei om die totale beeld of impak van sy ontwerp te kan voorsien.

2.2.2 Komplekse vakgebied van vloedbesproeiing

In die praktyk word vloedbesproeiing as 'n eenvoudige metode van besproeiing beskou. Dit kan heel aanskoulik wees om te sien hoedat 'n ervare operateur bedding na bedding natlei, en hoedat water vanaf die bopunt van die bedding egalig versprei totdat dit uiteindelik die volle area benat, waarna dit weer van bo na onder begin wegsyfer. Indien so 'n stelsel korrek ontwerp is, het die operateur 'n rustige en 'n redelike maklike taak.

Min mense besef egter dat die ontwerp van vloedbesproeiing 'n uiters komplekse vakgebied is (Wessels, 1973). Die meer suksesvolle vloedbesproeiingstelsels was tot dusver meestal die produk van 'n evolusionêre proses (Walker, 1989). Norme vir die betrokke stelsel is geleidelik verkry deur die toepassing van geordende "probeer-en-tref" prosesse wat hoofsaaklik uit meet- en evalueringstegnieke bestaan (Van der Ryst, 1980).

Daar is menige vloedbesproeiingsboere wat kan getuig hoedat periodieke opgradering nodig was om die doeltreffendheid van hulle stelsels te verbeter, of om dit by veranderde omstandighede of gewasse te laat aanpas. Empiriese ontwerpe het juis uit sulke waarnemings ontstaan deur voortdurend te soek na norme wat in die praktyk goed werk. Vanweë die komplekse aard van vloedbesproeiing was die empiriese norme nie noodwendig daarop gerig om optimale oplossings in die praktyk te verkry nie. Slegs 'n beperkte aantal moontlike variasies is so in ag geneem, en die klem het meer op "oplossings wat werk" as op 'n optimale ontwerp geval. Die boer moes gevolglik dikwels deur bestuur kompenseer vir die inherente probleme van 'n stelsel wat nie optimaal ontwerp is nie.

2.2.3 Standaard van ontwerp-tegnologie benodig

Daar is 'n verband tussen die noodsaaklikheid van die ontwerp, die standaard van die oplossing wat benodig word, en die bestuursdoelwitte wat vir die spesifieke boerderystelsel die beste resultate sal verseker. By 'n arbeidsintensiewe en/of bestaansboerdery-eenheid sal die klem byvoorbeeld meer op die beskikbaarheid van

water val, dit wil sê op die ontwerp van 'n koste-effektiewe wateraanvoerstelsel (pyplyne of kanale) as op die res.

Die volgende stelsels kan as tipiese voorbeelde aangehaal word, naamlik:

- Klein beddings of voortjies wat natgelei word vir die verbouing van groente, graan, ensovoorts. In sulke gevalle kan die bedding se lengte tussen 2 en 50 meter wissel. Water word normaalweg deur middel van klein leivore na die bopunt van beddings of voortjies aangevoer. Hierdie stelsels word tipies toegepas in dorpe met "lei-erwe", asook by besproeiingskemas vir kommunale kleinboere.
- Bogenoemde stelsels word ook op langer beddings van tussen 50 en 200 meter toegepas. Uit onderhoude wat die navorser met ouer boere gevoer het, blyk dit dat die stelsel algemeen toegepas word waar daar uit klein plaasdamme besproei word. Veral koring en voergewasse word op hierdie wyse besproei. 'n Variasie van hierdie stelsel word vandag nog algemeen in die Brits-omgewing toegepas.

'n Ander variasie van die stelsel word algemeen in die Potchefstroom-omgewing toegepas. Klein beddings word nie meer fisies gebou en/of voorberei nie, maar leiwatervat word slegs oor 'n klein onbegrenste oppervlak vanuit 'n leivoer versprei. Sodra die gewas 'n digte grondbedekking lewer, word water relatief egalig versprei weens die hoë vloeiweerstand.
- Boom- en/of bakbesproeiing wat in die Sondagsrivier-omgewing en elders toegepas word, is tipiese voorbeelde van variasies op die stelsels soos dit vandag toegepas word.
- Rys word in Indië, Pakistan en die Ooste in tipiese klein bakke ("Paddy basins") besproei (Walker & Skogerboe, 1987).

Die sukses van bogenoemde stelsels word tot 'n groot mate deur die vermoë van die operateur bepaal. Indien die operateur byvoorbeeld telkens daarin kan slaag om elke

klein bedding, voortjie of bak vir 'n eenvormige, korrekte tyd aan water bloot te stel, kan hoë doeltreffendhede behaal word. Die kans op nie-eenvormige toedienings is egter ewe groot. Walker (1989) groepeer al hierdie stelsels in die kategorie van onbeheerste vloedbesproeiing ("Uncontrolled flooding").

By hoogs gemeganiseerde, moderne boerderystelsels val die klem dikwels eerder op arbeids- en watergebruiksdooelreffendhede wat weer op optimale produksie gemik is. Die stelsel moet dus so ontwerp word dat 'n voorafbeplande hoeveelheid water op 'n bedding versprei word. Die verspreiding van water, ook genoem vloedbesproeiingsontwerp, is dus van kardinale belang by moderne, gemeganiseerde boerderystelsels.

Die volgende voorbeelde van bogenoemde stelsels word aangehaal, naamlik:

- Vloedbesproeiing in die Vaalharts-omgewing, waar koring byvoorbeeld op goedafgewerkte beddings besproei word (tipiese afmetings: 6 m x 80 m). Toedienings van 45 tot 55 mm water, met 'n doeltreffendheid van tot 95 persent en 'n verspreidingsdoeltreffendheid van meer as 90 persent kom algemeen voor. Die gemiddelde besproeiingsdoeltreffendheid van die totale skema word op sowat 75 persent beraam (Du Rand & Kruger, 1991).
- Besproeiing van lusern in die Visriviervallei, waar beddings van 15 x 500 m gebruik word.
- In Utah en Colorado in die VSA word besproeiingstelsels gebruik waar voortjies met laser afgewerk word. Lande kan soms tot 1500m lank wees (Du Rand, 1992). Outomatisering van die stelsels vind algemeen plaas.

2.2.4 Ontwikkeling van ontwerp-tegnologie

'n Belangrike beginsel word deur bogenoemde geïllustreer, naamlik dat die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels ontwikkel het as gevolg van die noodsaaklikheid van goeie verspreiding van water en spesifieke meganisasievereistes wat veral by groot landerye voorkom. Walker (1989) meld dat, hoewel vloedbesproeiing reeds duisende jare oud

is, die belangrikste vooruitgang eers gedurende die laaste dekade (1979-1989) gemaak is. Volgens laasgenoemde skrywer is afwerking van die grond deur lasertegnologie en die gebruik van die rekenaar van die interessante ontwikkelinge op die gebied van vloedsproeiing. Hierdie ontwikkeling was tot dusver egter beperk tot geïndustrialiseerde lande (waarskynlik hoofsaaklik die VSA).

Bogenoemde tegnologie word op beperkte skaal ook in Suid-Afrika toegepas (Du Rand & Kruger, 1991).

Dit is egter opmerklik dat hierdie nuwe ontwikkelinge nie in handleidings vervat word nie. In die VSA is empiriese ontwerpnorme, wat deur talle praktiese opnames gerugsteun word, steeds in gebruik. Volume-balans-prosedures word aanvullend tot bogenoemde ontwerp-prosedures gebruik (Walker, 1989).

Simuleringsmodelle word ook in enkele praktiese situasies aangewend. Die feit dat die meeste vloedsproeiingskemas in die verlede met behulp van empiriese metodes ontwerp en ontwikkel is, het waarskynlik tot 'n stagnering in tegnologie bygedra.

Volgens Walker (1989) is die behoefte aan tegnologie in die meeste ontwikkelende lande van minder belang, of dit word nie algemeen as toepasbaar beskou nie en gevolglik word dit waarskynlik oorbodig ge-ag. Die navorser stem nie noodwendig met hierdie siening van Walker saam nie. Daar bestaan goeie redes om te glo dat die uitgangspunt en agtergrond waarteen vloedsproeiingsontwerp en ontwikkeling in Suid-Afrika plaasvind, totaal verskil van die benadering wat in die VSA en Oosterse lande gevolg word. Du Rand en Kruger (1991) beskou die gebrek aan toepaslike ontwerp-tegnologie as 'n wesentlike probleem in Suid-Afrika.

Maheshwari *et al.* (1989) meld dat swak ontwerp en gebrek aan ontwerpnorme tot die relatiewe lae vloedsproeiingsdoeltreffendhede gelei het wat algemeen in Australië voorkom. Met inagneming van bogenoemde aspekte is die navorser die mening toegedaan dat plaaslike toestande, praktyke en bestuursoogmerke 'n oorheersende rol by die daarstelling van gepaste ontwerp-tegnologie speel. Hierdie siening is des te meer van toepassing op vloedsproeiing waar hidrouliese geleiers deur middel van plaaslike hulpbronne geskep en onderhou moet word.

2.2.5 Noodsaaklikheid vir eietydse ontwerp tegnologie

Huidige sosio-ekonomiese faktore plaas voortdurende druk op besproeiingsboere. Bestuursdoelwitte moet dus noodwendig by heersende omstandighede aangepas word. Die oogmerke en tegniese standaard van besproeiingsontwerpe moet insgelyks ook noodwendig hierby aanpas. Tydens 'n Wêreldbank-werksessie is daar byvoorbeeld deur beide Burt (1988) en Petit (1988) gemeld dat internasionale navorsing en aanpassing van ontwerpprosedures (navorsing ten opsigte van hidroulika en bestuur) noodsaaklik is indien in die toekoms aan die wêreld se toenemende vraag na voedsel en vesel voldoen moet word. Tydens dieselfde Wêreldbank-werksessie is ook tot die gevolgtrekking gekom dat 'n groot wêreldwye potensiaal vir die verbetering van besproeiingstelsels, veral by ouer besproeiingskemas, bestaan.

In Suid-Afrika is dit lank reeds bekend dat die beskikbaarheid van besproeiingswater toenemend beperk sal word (Von Robbroeck, 1983). Sedert 1974 het die koste van arbeid, toerusting en produksiemiddele vinniger toegeneem as die toename in die pryse van landbouprodukte (Uittreksel van Landbou Statistiek, 1990). Volgens Du Rand en Kruger (1991) word daar teen hierdie agtergrond twee kontrasterende doelwitte aan die Suid-Afrikaanse besproeiingsbedryf gestel: Eerstens moet kapitaalluitgawes en bedryfskoste so laag moontlik gehou word om beter winsmarges te verseker. Tweedens moet die doeltreffendheid in die aanwending van die beperkte hoeveelhede besproeiingswater verbeter word, 'n aksie wat normaalweg met kapitale investering gepaard gaan. Volgens die skrywers moet vloedbesproeiingstelsels dus relatief goedkoop en veral ekonomies lewensvatbaar wees.

Beide die Wêreldbank-sessie (Petit, 1988) en plaaslike navorsers (Du Rand & Kruger, 1991) is dit eens dat die fokus by toekomstige vloedbesproeiingsprojekte grotendeels op die opgradering van bestaande stelsels moet val. Du Rand en Kruger (1991) het beraam dat die algemene doeltreffendheid van Suid-Afrikaanse vloedbesproeiingstelsels sowat 50 persent is en die van die beste skema, naamlik Vaalharts, sowat 75 persent is. Hulle toon ook aan dat, indien die bestaande stelsels se doeltreffendheid na 70 persent verhoog kan word, dit groot voordele sal inhou ten opsigte van die kapitaalinsette wat reeds gemaak is. Die skrywers meld ook dat 'n

goeie en geloofwaardige strategie vir die herontwerp en opgradering van stelsels nodig is. Daar word veral klem gelê op prosedures wat daarop ingestel is om die bestuursaspekte rondom die vloedbesproeiingstelsels te vergemaklik.

Dit is dus duidelik dat die tegnologie vir vloedbesproeiingsontwerp 'n nuwe tydvak betree. 'n Reeks nuwe beginsels vir die ontwikkeling van ontwerptegnologie is dus noodsaaklik.

Vloedbesproeiingsresultate word beïnvloed deur die hidrouliese eienskappe wat tydens besproeiing heers. 'n Herevaluering van die hidroulika van die stelsel sal dus nodig wees. Die pulsbesproeiingskonsep wat deur Stringham en Keller (1979) voorgestel word is 'n sprekende bevestiging van die vorige stelling. Walker en Skogerboe (1987) beskryf hoe dat die gedagte aan outomatisering van voortjiebesproeiing gelei het tot 'n pulsende klepstelsel in plaas van die tradisionele terugsgny (cutback) van die toevoerstroom. Daar is waargeneem dat 'n verandering in die benattingsfront voorgekom het, waarna die hidroulika ondersoek en aangepas is. Die pulsbesproeiingskonsep het tot revolusionêre bestuursaanpasbaarheid van besproeiingstelsels in die Weste van die VSA gelei (op gronde waar dié beginsel toepasbaar was.)

Opsommend: Die ontwerptegnologie moet aangepas word om tred te hou met die behoeftes op die plaas. Klein veranderinge in die bestuur of meganisasie van die stelsel kan bestaande hidrouliese beginsels en verwante aanannames ongeldig maak, met die gevolg dat die ontwerp herevalueer behoort te word.

2.2.6 Historiese gebrek aan tegnologie vir die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels in Suid-Afrika

In Suid-Afrika is baie min oor die vakgebied van vloedbesproeiing gepubliseer. Wessels (1973) meld dat dit voorheen nie moontlik was om 'n vloedbesproeiingstelsel analities te ontwerp nie. Hy beklemtoon dat plaaslike toestande bestudeer moet word om data vir die empiriese ontwerp van vloedbesproeiingstelsels te verkry. Badenhorst (1973) het bevind dat die ontwerp van sulke stelsels tot in 1973 hoofsaaklik op probeeren-tref metodes gebaseer was. Hy publiseer 'n afsny-koëffisiënt benadering wat

grootliks met die Shockley *et al.* (1964) benadering ooreen stem. Die Badenhorst-metode het goeie byval onder Suid-Afrikaanse ontwerpers gevind, maar ten spyte hiervan het Van der Ryst (1980) gevind dat die uitlê van 'n goeie vloedbesproeiingstelsel kompleks van aard is, en meld hy dat kwantitatiewe analise steeds moeilik is.

Tydens skakeling wat in 1983 tussen die navorser en verskeie ontwerpers wat stelsels in die Visriviervallei volgens die Badenhorstmetode ontwerp het, het dit aan die lig gekom dat hul onseker was oor die resultate wat met die stelsel behaal is. Du Rand *et al.* (1985) kom tot die gevolgtrekking dat die Badenhorstmetode nie gebruik kan word om stelsels te ontwerp nie. Hulle bevinding was dat die stelsels met behulp van empiriese metodes uitgelê moes word.

Die Suid-Afrikaanse Suikervereniging het 'n empiriese riglyn vir voortjiebesproeiing gepubliseer. Navrae wat in 1980 aan die opsteller gerig is, het getoon dat daar geen wetenskaplike basis vir die opstel van die riglyn gebruik is nie.

Na uitgebreide studies publiseer Kruger (1986) 'n norm vir die ontwerp van voortjiebesproeiing. Hierdie norm is op die voorspelling van afdrogingsfronteienskappe gebaseer. Daar word egter aangedui dat dié norm ook sekere tekortkominge het.

Russel het in 1982 'n aantal waardevolle metings oor die interaksie tussen grondeienskappe en hidrouliese gedrag op beddings vir 'n aantal besproeiings gemaak en gedokumenteer.

Die navorser het gedurende 1982/83 verskeie gesprekke met 'n aantal ontwerpers van vloedbesproeiingstelsels gevoer: Mnr. Daan Olivier van Vaalharts (Departement van Landbou) was by ontwikkeling van verskeie skema's soos onder andere Loskop, Pongola en Vaalharts, betrokke. Volgens mnr. Olivier het die "ontwerper" 'n blok grond met waterlewering op 'n bepaalde punt vanaf die Departement van Waterwese geërf. 'n Aanvaarbare helling is deur middel van 'n probeer-en-tref prosedure bepaal, waarna die stelsel dan daarvolgens uitgelê is. Met verloop van tyd is lengtes gewysig en hellings verbeter deur die grond meer gelyk te sleep. Dit blyk dat praktiese ervaring die enigste norm was.

Moontlike redes vir die gebrek aan norme in Suid-Afrika:

- Besproeiingskemas is vanweë sosio-ekonomiese redes dikwels op politieke inisiatief ontwikkel. Norme vir die ontwerp van die stelsels was destyds ontoereikend, en probeer-en-tref tegnieke is genoodsaak deur druk om die stelsel vinnig te ontwikkel.
- Watervoorsiening aan die verbruiker/boer op 'n punt op sy plaas is as prioriteit gesien. Die ontwerp om water te versprei is afgeskeep.
- Bestaande inligting kon nie aangewend word nie, aangesien dit nie verteenwoordigend was nie.
- Probleme rondom die vestiging van boere, asook meganisasie- en produksietegnieke was van groter belang as die ontwerp van die besproeiingstelsel.
- Fondse, mannekrag en navorsingsprioriteite was, nadat skemas ontwikkel is, eerder op meer gesofistikeerde besproeiingstegnieke gerig.

2.3 'N OORSIG VAN INTERNASIONAAL-ERKENDE ONTWERPPROSEDURES

2.3.1 Inleiding

'n Deeglike literatuurstudie is uitgevoer met die doel om internasionale en plaaslike neigings ten opsigte van navorsing en ontwikkeling op die gebied van vloedbesproeiing vas te stel en met mekaar te vergelyk. Hierdie literatuurstudie word in twee gedeeltes beskryf, naamlik:

- (i) Die hidroulika van vloedbesproeiing word vir die doeleindes van die onlangse navorsing volledig in **volume 3** behandel. Die gebruik van hidrodinamiese modelle onder Suid-Afrikaanse toestande word ook behandel. Die hidroulika van

vloedbesproeiing word derhalwe in hierdie afdeling slegs oorsigtelik bespreek vir sover dit op ontwerpprosedures betrekking het.

- (ii) Die aanwending van hidrouliese beginsels in erkende ontwerpprosedures word bespreek. Melding word ook gemaak van die historiese verloop in die ontwikkeling van aanvaarde hidrouliese beginsels.

'n Beeld kan dus gevorm word van die vertrekpunte en bydraende redes wat tot die gebruik van bepaalde ontwerpprosedures lei. Die toepasbaarheid van die ontwerpprosedures word gevolg tot by die praktiese gebruik daarvan in die vorm van handleidings en rekenaarhulpmiddels. Daar word duidelik onderskei tussen tegnieke (soos byvoorbeeld simulerings) wat 'n bydrae tot die ontwerp kan lewer, en die ontwerpprosedures self (wat 'n reeks agtereenvolgende tegnieke behels wat dan uiteindelik tot 'n ontwerp kan lei).

2.3.2 Internasionale neigings ten opsigte van navorsing oor vloedbesproeiing

Dit is nodig om die denkrigting en uitgangspunte van internasionale navorsers te ondersoek om die waarde van nuwe prosedures vir die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels te bepaal. Huidige navorsing en -metodes weerspieël hierdie denkrigtings.

Navorsing op die gebied van vloedbesproeiing het eers in die laaste helfte van die twintigste eeu werklik momentum gekry. Verskeie redes kan hiervoor aangevoer word, soos onder andere:

- Die ontwikkeling van vloedbesproeiingstelsels was evolusionêr van aard. Arbeid was volop en gevolglik is daar waarskynlik minder klem op waterverspreiding gelê. Met genoeg hande om plante "nat te dra" het die klem waarskynlik eerder op die konstruksie van wateraanvoerstelsels geval. Volgens Walker (1991) val die klem in die Asiatiese lande vandag steeds op die konstruksie en bestuur van wateraanvoerstelsels. Daar is weinig sprake van die werklike ontwerp van die waterverspreidingstelsel - veral waar rysproduksie plaasvind.

- Na die industriële revolusie en wêreldoorloë het meganisasie van boerderystelsels groter inslag gevind, en het die “water lei” konsep geleidelik in die volksmond na “vloedbesproeiing” verander. Groter oppervlaktes is met minder operateurs besproei deur water op goed voorbereide grondoppervlaktes te laat “graviteer”.
- Metodes waar water deur moeitevolle arbeid oor die lande “gelei” is en waar die operateur die doeltreffende verspreiding van water met sy graaf of skoffelpik beheer het, is geleidelik deur meer gesofistikeerde leistelsels vervang. Hier is meer klem gelê op die benutting van die grond se eienskappe as natuurlike hidrouliese geleier. Begrippe soos “nie-konstante infiltrasie tempo”(Lewis & Milne, 1938) is geformuleer. ‘n Nuwe vakgebied en navorsingsveld het ontstaan. Hidrouliese beginsels en begrippe is aanvanklik aan die kanaalvloeiteorie (Saint Venant vloeivergelykings) ontleen en mettertyd aangepas.
- Sedert die depressie van 1933 het die ontwikkeling op sosio-ekonomiese gebied die behoefte aan ontwerpnorme in die Westerse wêreld beklemtoon.
- Ontwikkelingsdruk het waarskynlik twee kontrasterende behoeftes laat ontstaan, naamlik:
 - (i) Instansies, en dus ontwerpers, het taakopdragte ontvang om vloedbesproeiingskemas te ontwerp en te ontwikkel. Ontwerpnorme het nie bestaan nie. Onder druk van omstandighede moes stelsels dus op grond van ervaring en gevoel (plus meting en probeer-en-tref metodes) uitgelê word.
 - (ii) Voortspruitend uit die gebrek aan norme het ‘n behoefte vir navorsing daarvoor ontstaan. Die navorsing was egter mosterd na die maal omdat dit jare nadat die ontwikkeling voltooi is, eers gepubliseer is.

Genoemde situasie het twee denkrigtings na vore gebring, (Walker, 1991) naamlik:

- * 'n Meer praktiese skool wat die empiriese verband tussen faktore deur middel van metings probeer bepaal het.
- * 'n Meer teoretiese skool wat gekonsentreer het op die oplossing van die Saint Venant vloeivergelykings met behulp van die Lewis-Milne beginsel.

Beide groepe het hul mettertied teen die komplekse probleem van die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels vasgeloop. Literatuur toon dat kruisbestuiwing van idees plaasgevind het. In plaas daarvan om 'n prosedure vir die ontwerp daar te stel, het sommige navorsers hul doelwitte na die simulering of die oplos van veranderlikes vir 'n enkele besproeiingsepisode verskuif.

Die voorspelling, of meting, van vorderingsfront- en afdrogingsfrontkrommes vir 'n enkele besproeiing was aan die orde van die dag. Uit tabel 2.2 kan gesien word dat sommige prakties-georiënteerde navorsers 'n reeks empiriese vorderingsfunksies ontwikkel het, en sodoende afdroging vir die spesifieke toestande negeer het. Ander het die eienskappe van die vorderingsfront negeer en slegs op afdrogingsfronteienskappe gekonsentreer. Die meer teoretiese groep navorsers het wiskundige vereenvoudigings begin voorstel waarmee sogenaamde dinamiese oplossings met behulp van numeriese tegnieke verkry kon word.

Met die koms van rekenaar-tegnologie in die middel-sewentiger jare, was meer akkurate oplossings in sig. Weer eens het kruisbestuiwing plaasgevind sodat verskeie eenvoudige empiriese verbande as die begin van oplossingstegnieke gebruik is, en daarna met gesofistikeerde dinamiese wiskundige of numeriese oplossingstegnieke opgevolg is.

Die klem het verder na navorsing oor simuleringsmodelle verskuif. Oplossingstegnieke, randvoorwaardebepaling en gebruikersvriendelike rekenaar-tegnologie is nagevors. Op eksperimentele vlak is insette vir die simuleringsmodelle bestudeer.

Deurbrake is opgevolg met die vrystelling van verskeie simuleringsmodelle gedurende 1985 en 1989 in die VSA. 'n Enkele besproeiingsepisode kon nou gesimuleer word indien insette bekend was, in plaas van metings in die praktyk.

Nadat die simuleringsmodelle vrygestel is, is enkele navorsingstudies onderneem om die modelle prakties te bewys en as bestuurshulpmiddel bruikbaar te maak.

Navorsing oor die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels het sedert die middel van die sewentiger jare gestagneer deurdat die klem hoofsaaklik op die ontwikkeling van simuleringsmodelle geval het. Een van die redes spruit waarskynlik uit die stelling van Walker (1989) dat die behoefte aan ontwerp-tegnologie (metodes) in ontwikkelende lande van minder belang is en gevolglik waarskynlik ook oorbodig en ontoepaslik is. So is daar ook in ontwikkelde lande, (byvoorbeeld die VSA) waarskynlik 'n beperkte behoefte aan nuwe ontwerpe - die klem lê waarskynlik eerder op die opgradering en bestuur van bestaande stelsels. Simulerings-tegnieke vul in sulke gevalle leemtes in empiriese prosedures aan. Baie navorsers soos Walker, wat hul lewe aan die ontwikkeling van simuleringsmodelle gewy het, meen waarskynlik dat die belangrikste behoefte daardeur vervul is. Gesien teen die VSA se vloedbesproeiingsagtergrond, is die siening waarskynlik gegrond.

In volume 3, waarin simuleringsmodelle in diepte bespreek word, word beklemtoon dat simuleringsmodelle nie as 'n ontwerp-prosedure beskou moet word nie, maar eerder as 'n ontwerp-hulpmiddel of -tegniek.

In teenstelling met toestande in die VSA, dui navorsing in Australië (Maheshwari et al., 1989) en Suid-Afrika (Kruger, 1986, 1989 en Du Rand & Kruger 1991) egter duidelike leemtes ten opsigte van ontwerp-prosedures aan. Hierdie leemtes word egter nie aangespreek deur die beskikbaarheid van simuleringsmodelle as sulks nie. In paragraaf 2.4.2 word die eiesoortige toestande in Suid-Afrika vergelyk met tipiese toestande in die VSA. Hierdie verskille verklaar grootliks waarom die ontwerp-prosedures vir vloedbesproeiing in Suid-Afrika steeds 'n aktuele navorsingsveld is, ten spyte van die beskikbaarheid van oorsese simuleringsmodelle en ontwerp-handleidings.

Die internasionale neigings ten opsigte van navorsing op vloedbesproeiingsgebied kan in fases verdeel word. 'n Voorstelling soos in tabel 2.1 kan help om die ontwikkeling en toepaslikheid van hidrouliese beginsels te interpreteer, soos verder beskryf in paragrawe 2.3.3 en 2.3.4.

Tabel 2.1 Fases in die ontwikkeling en toepasbaarheid van hidrouliese beginsels.

FASE	TIPIESE STELSEL	ONTWERP-OOGMERK
Eerste	Arbeidsintensief	*Konsentrasie op aanvoerstelsel en beskikbaarheid van water.
Tweede	Meganisasie, groter oppervlak per operateur besproei.	*Konsentrasie op waterverspreiding. *Empiriese ontwerp en uitleg.
Derde	Doeltreffendheid van wateraanwending en -bestuur	*Bestuursaanpasbare optimale produksie. *Hidrodinamiese ontwerp tegnieke. *Automatisasie.

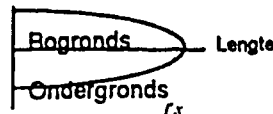
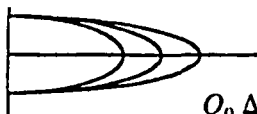
2.3.3 Ontwikkeling van hidrouliese beginsels betrokke by vloedbesproeiingsontwerp

Die klem val in hierdie afdeling op ontwerpprosedures. Baie van die hidrouliese beginsels wat in die literatuur beskryf word, het betrekking op die simulering van 'n enkele besproeiingsepisode, en is nie soseer toegespits op die ontwerp as sulks nie. Simuleringsmodelle word in **Volume 3** bespreek. Daar is egter raakvlakke tussen ontwerpprosedures en simuleringstudies. Soos in paragraaf 2.3.2 aangedui is, het VSA-navorsers die aanvanklike navorsingsdoelwit, naamlik die daarstelling van ontwerpnorme, mettertyd verskuif na simuleringstudies, vermoedelik as gevolg van die komplekse probleme rondom die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels. Om die hidrouliese beginsels in perspektief tot die ontwerpprobleem te plaas is dit nodig om die ontwikkelingsgang van hidrouliese beginsels van nader te bestudeer.

Die oogmerke vir die ontwerp, met inagneming van die betrokke basiese hidrouliese beginsels, word eerstens beskryf. Tweedens word 'n praktiese beeld geskep van die faktore wat by vloedbesproeiing betrokke is, maar wat deur die operateur en ontwerper gemanipuleer kan word om ontwerp-oogmerke te bevredig. Derdens word gestalte gegee aan die ontleedbare hidrouliese fases wat tydens die besproeiingsproses voorkom. Die uitgangspunte, relevante navorsing en bydrae van navorsers word oorsigtelik bespreek met die doel om die hidrouliese eienskappe met betrekking tot ontwerpprosedures toe te

lig. Die chronologiese verloop van die ontwikkeling van ontwerpprosedures word hieronder opsommend in tabel 2.2 aangedui.

Tabel 2.2 Opsomming van die verloop in die ontwikkeling van ontwerpprosedures.

TYDPERK	NAVORSERS	BYDRAE
Voor 1900	AJC Barre de Saint Venant (Chow, 1959).	Ontwikkeling van hidrodinamiese vloeivergelykings vir oop kanale. <u>Kontinuiteitsvergelyking</u> $\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + I = 0$ <u>Bewegingsvergelyking:</u> $\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f + \frac{I_x v}{2gA}$
1938	Lewis en Milne	Besef dat infiltrasietempo nie konstant is nie. Aanvaar dus infiltrasieprofiel in grond.  $Q_0 t = \bar{A} x + \int_0^x Z(t - t_s) ds$ Bogenoemde is die sogenaamde Lewis-Milne vergelyking
1956	Hall	Ontwikkel Lewis-Milne prinsiep met stelsel van gelyke oppervlakkrommes.  $\Delta x_1 = \frac{Q_0 \Delta t}{\sigma_y A_0 + \sigma_z Z_1 + pf}$
1959	Kiefer	Metings en Empiriese verbande. $y = \int \frac{K}{n+1} (t_1 - t_x)^{n+1} \frac{dL}{L_1}$
1960	Hall	Stel eerste grafiese ontwerpprosedure, gebaseer op berekening van vorderingskrommes voor.

1964	Shockley , <i>et al.</i>	Kwasi-rationale metode om op te los vir onbekendes- Ignoreer vorderingskrommes. $L = \frac{Q_v ET}{100F_n} - \frac{Q_v^{1.2} E n^{1.2}}{200 F_n S^{1.6}}$
1965	Fok en Bishop	Verbeter op navorsing van Kiefer deur beide empiriese infiltrasiefunksie en vorderingsfunksie daar te stel. $x = \alpha t^\beta$ $\bar{y}x = qt - \alpha_z Z_{0x}$
1964-1965	Phillip & Farrel	Analitiese infiltrasiefunksie en Laplace transformasie.
1965	Wilke & Smerdon	Ontwikkel dimensielose tegniek waarmee subprofiel-faktore by magsfunksie vorderingskromme-tegnieke, met infiltrasie-karakteristieke gekorrelleer kan word.
1968	Hart, Bassett & Strelkoff	Begin Kinematiese en Dinamiese analise. Beginsel van afnemende volumevloei met lengte as gevolg van oppervlaktestoring en infiltrasie. Dimensielose tegnieke vorderingsfunksie $x = ft$ subprofielfaktor (σ_z) neem die volgende waarde aan: $\sigma_z = \frac{1}{1 + a} \quad \text{waar } t^x \ll 1$ $\sigma_z = \frac{\pi a(1 - a)}{\sin \pi a} \quad \text{waar } t^x \gg 1$
1970	Chen	Kinematiese golfanalise waaruit 'n vloeivergelyking afgelei is. $L(t) = \frac{q_0}{pK} \left[1 - \left(1 - \frac{pKt}{h_0} \right)^N \right]$
1970	Wu & Bishop	Ontwikkel Kinematiese golfmetode van Chen tot: 1. Vorderingsfunksie : $x = M t_0^N$ 2. Resessiefunksie : $x_n = \alpha t \Gamma^\beta$ 3. Infiltrasie : $l = k t_0^n$ Die funksie word op 'n vierkwadrantsisteem gestip en grafies opgelos.
1971	Linderman & Stegman	Detailmetings van die effek wat variasie in hidrouliese parameters op toedieningsdoeltreffendheid in die praktyk het.
1972	Singh & Chauhan	Stel eksponensiële funksie vir vorderingskromme voor.

1972	Smith	Kinematiese golf-analise met navorsing van Woolhiser en Liggett (1967) asook Collins & Bassett (1964).
1973	Badenhorst	Kwasi-rasionele metode om inkeertyd te bereken (Shockley <i>et al.</i> (1964)-benadering word uitgebrei). $x = \frac{n^{1,2} L^{0,2} y_0^{0,2}}{S^{1,8} t_y^{1,2} 1084.68} \quad \text{met } X = k^{0,2} (1-k)$
1977	Strelkoff <i>et al.</i>	Stel sogenaamde "Zero Inertia" simuleringsmodel bekend. $\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial z}{\partial t} = 0$ $\frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_1$
1978	Clemmens	Toets "Zero Inertia" model aan die hand van praktiese data.
1978	Merriam	Praktiese metode met spesiale klem op afdrogingsfront-eienskappe.
1979	Frangmeier & Strelkoff	Demonstreer "Zero Inertia" simuleringsmodel aan die hand van SCS ontwerpnorme. Wys leemtes uit.
1981	Walker & Lee	Kinematiese golfanalise op pulsbesproeiing toegepas.
1981	Reddy & Clyma	Koppel ekonomiese maatstawwe aan optimale ontwerp en waterherwinning.
1982	Elliot, Walker & Skogerboe	Empiriese vorderingsfunksie.
1982	Russel	Infiltrasie en grondeienskappe by vloedsbesproeiing. Metings en empiriese verbande.
1983	Walker & Humpherys	Kinematiese golfteorie op voortjiebesproeiingsmodel.
1985	Strelkoff	"Borderflow" simuleringprogram vir beddingbesproeiing.
1986	Kruger	Afdrogingsfront-gradiënt teorie. Model waarmee voortjiebesproeiing ontwerp kan word. $\frac{dl}{dt} / l_i = \frac{-C_1 I_{RES,i}}{y_i^{1,426}} - C_2 y_i \sqrt{\frac{S F_1}{n}}$

1986	Burt	Gekontroleerde volume ontwerp tegniek.
1987	Rayej & Wallender	Kumulatiewe oplossing van volumebalans in plaas van 'n inkrementele oplossingstegniek.
1988	Eddebbbarh & Padmore	Gebruik hidrodinamiese model om bogrondse vorderingsfunksie te voorspel. Hiermee gekombineer 'n dinamiese infiltrasiefunksie gebaseer op die Richards-beginsel.
1987-1989	Walker	"Sirmod" simuleringprogram vir vloedbesproeiing
1989	Maheshwari, Mc Mahon & Turner	Evalueer ses hidrodinamiese modelle teen veldwaarnemings en vind Strelkoff die beste.
1990	Yu & Singh	Analitiese model vir voorbesproeiing waar paraboliese funksies vir vordering en infiltrasie gebruik word en Strelkoff vir afdroging.

2.3.3.1 Ontwerpoogmerk

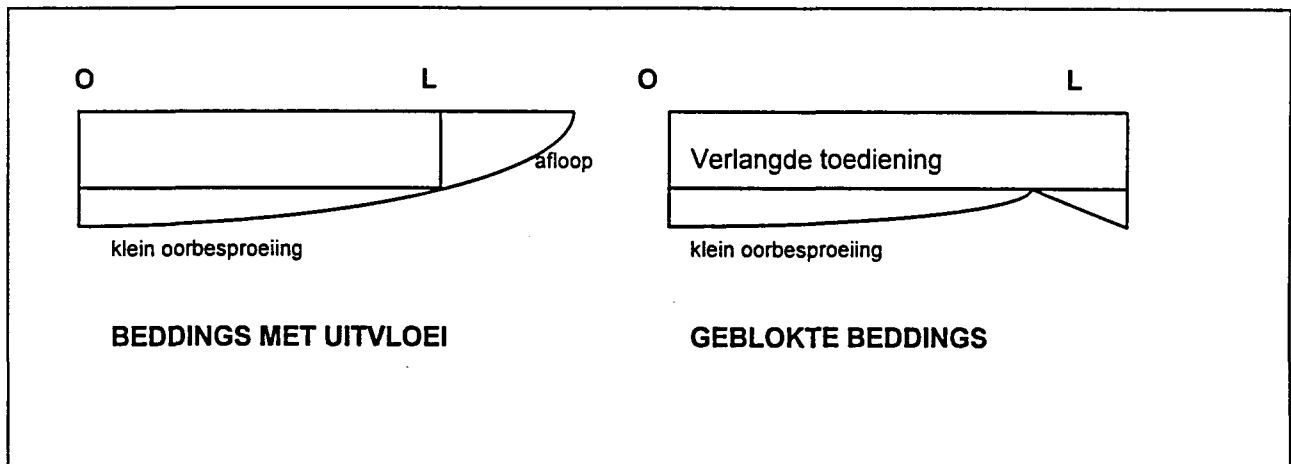
Dit blyk uit die literatuuroorsig dat eenstemmigheid aangaande die oogmerke vir ontwerp van vloedbesproeiingstelsels bestaan. Dit is soos volg:

- * **Toediening van genoeg besproeiingswater om die wortelsone van die plant oor die hele bedding tot 'n aanvaarde vlak aan te vul.** Die verlangde toediening ("desired application") sal uit die aard van die saak wissel. 'n Gewas met 'n vlak wortelstelsel sal byvoorbeeld 'n kleiner verlangde toediening hê as 'n gewas met 'n diep wortelstelsel. Net so mag bestuurspraktyke lei tot 'n kleiner verlangde toediening as wat teoreties moontlik is (deficit irrigation). Die wateraanvullingsvlak in die wortelsone word normaalweg met behulp van die aanvullingsdoeltreffendheid (Es "efficiency of storage") beskryf. Waardes van tussen 10 persent en 100 persent kom algemeen in die praktyk voor, en 'n waarde van tussen 98 persent en 100 persent is teoreties aanvaarbaar.
- * **Die verlangde toediening moet so doeltreffend moontlik geskied.** Verliese ontstaan gewoonlik as gevolg van te groot toedienings op plekke in 'n bedding

waar water dan verby die wortelsone sypel ("deep percolation"). 'n Ander groot bron van verlies kan die afloop aan die onderpunt van die bedding wees ("run-off"). Die verskil tussen die verlangde toediening en die werklike hoeveelheid water wat vir 'n besproeiing verbruik word (bekend as bruto toediening) staan bekend as die toedieningsdoeltreffendheid (E_a "efficiency of application"). Waardes van tussen 30 persent en 98 persent kom in die praktyk voor. Waar hergebruik van afloopwater plaasvind, is waardes van tussen 40 persent en 45 persent aanvaarbaar (SCS furrow irrigation 1983). Op Vaalharts kom waardes van tussen 85 persent en 95 persent algemeen voor.

- * **Die bruto besproeiingsaanvulling moet so egalig moontlik in die wortelsone, oor die totale lengte van die bedding versprei word.** (Let wel dat afloopverliese nie in berekening gebring word nie). Die verspreidingsdoeltreffendheid (U_c - "uniformity coefficient") word normaalweg as die afwyking van die gemiddelde toediening bereken. In die praktyk word waardes laer as 88 persent selde aangetref. Waardes van 94-96 persent is algemeen by die goeie vloedsbesproeiingstelsels van die Vaalhartskema.

Die ontwerp-oogmerk word skematies in Figuur 2.1 voorgestel:



Figuur 2.1 Skematiese voorstelling van die ontwerp-oogmerk.

2.3.3.2 Basiese hidrouliese beginsels en beheermeganismes betrokke in die praktyk

Die verspreiding van water op/in 'n grond word in teorie bepaal deur:

- (i) Die volume water: (MASSABEHOU).
- (ii) Die energie insette: (ENERGIEBEHOU).
Boggrondse energieverlies.
Ondergrondse energieverlies.

Die hele proses is onderhewig aan die universele beginsel van massa- en energiebehoud.

Die massabehoud of volumebalans beginsel word in Figuur 2.2 as die produk van stroomgrootte en tyd voorgestel. Die besproeiingsoperateur het direkte beheer oor die inkeer of afsnytyd van die stroom (voorgestel deur die horlosie). Die operateur kan normaalweg ook die stroomgrootte beheer deur die aantal beddings of voortjies te wissel of deur die wydte van beddings te verander (voorgestel deur die kraan).

Die prinsiep van energiebehoud is moeilik visualiseerbaar. In die volksmond praat boere van 'n "vinnige bedding" of 'n "stadige bedding". Die lande lei "stadig" wanneer groot toedienings gegee word en lei "vinnig" wanneer klein toedienings gegee word. Aangesien hierdie uitkoms of netto resultaat van die kombinasie van 'n aantal faktore in die praktyk belangrik is, meen die navorser dat 'n ewewigsskaal die mees gepaste voorstelling bied. Die begrippe "lae-" en "hoë netto-vloei-energie" is gedefinieer na aanleiding van die boerebenaming "stadige" en "vinnige" bedding respektiewelik. Wanneer 'n toestand van "lae netto-vloei-energie" heers sal die skaal in die guns van 'n groot toediening swaai. By so 'n bedding wat "stadig lei" is die netto resultaat van 'n kombinasie van faktore dus dat relatief min netto energie vir boggrondse vloei beskikbaar is as gevolg van 'n relatief groot energie-absorberende komponent tydens infiltrasie en boggrondse vloei. Die totale proses is dinamies en dus afhanklik van tyd.

2.3.3.3 Wiskundige verbande

Terwyl die begrippe “volumebalans” en “massabehoud” dus eenvoudig meetbaar en berekenbaar is, is die begrip “energiebehoud”, kompleks. Energiebehoud kan beskryf word aan die hand van ‘n komplekse, wiskundige verband wat die interafhanklikheid aandui tussen al die faktore wat by vloedbesproeiing betrokke is (genoem onder massa en energiebehoud in Figuur 2.2).

In die praktyk het die besproeiingsoperateur ‘n aantal meganismes waarmee ‘n besproeiing beheer kan word. In Figuur 2.2 word ‘n grafiese voorstelling van die meganismes getoon.

‘n Uitbreiding van die verband gebaseer op die Saint Venant-vloeivergelykings, word algemeen aanvaar as die wiskundige verband wat vloedbesproeiings-hidroulika beskryf (Chow, 1959; Jensen, 1980; Walker & Skogerboe, 1987).

Die verband word in tabel 2.2 as die Saint Venant vloeivergelykings aangetoon, en bestaan uit:

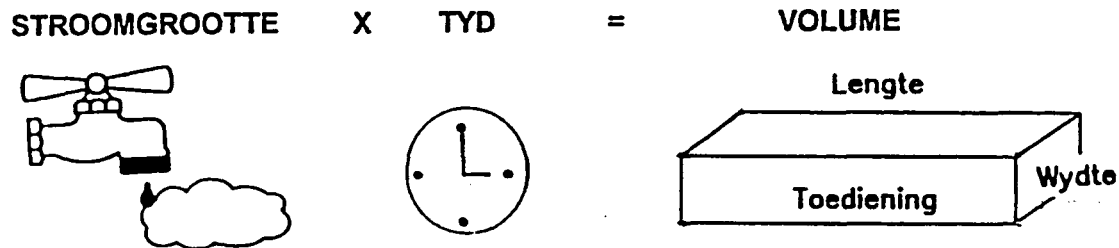
$$(i) \quad \text{'n Kontinuïteitsvergelyking:} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + I = 0$$

$$(ii) \quad \text{'n Bewegingsvergelyking:} \quad \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f + \frac{I_x V}{2gA}$$

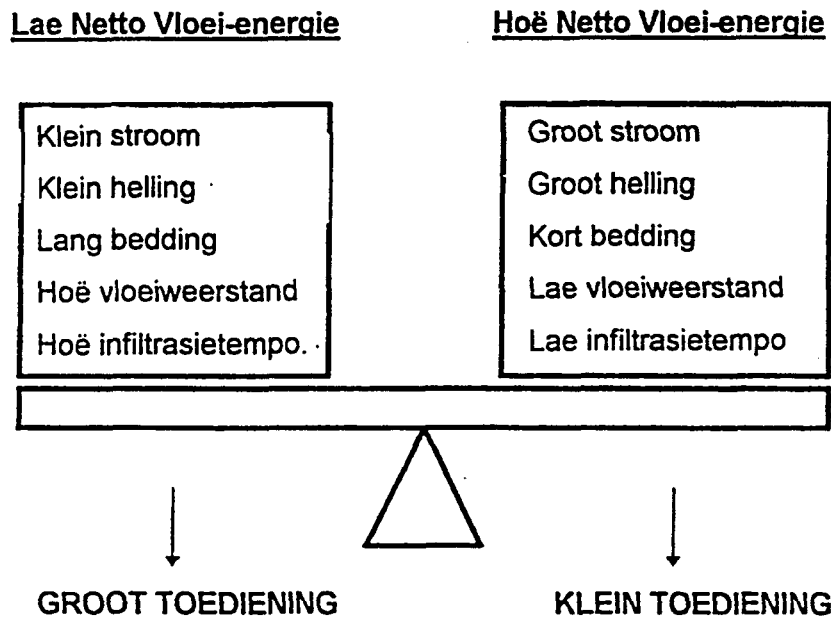
Hierdie Saint Venant-vergelykings is nie analities oplosbaar vir vloedbesproeiing nie. Dit was dus nie bruikbaar vir vroeëre navorsers nie, met die gevolg dat hulle na ander meetbare en uitkenbare eienskappe gesoek het om sodoende die onderlinge verband in die hidroulika van vloedbesproeiing te beskryf.

MEGANISMES OM VLOEDBESPROEING TE BEHEER

1. MASSABEHOUD



2. ENERGIEBEHOUD



Figuur 2.2 Grafiese voorstelling om vloedbesproeiing te beheer

2.3.3.4 Die invloed van die tipe stelsel en bestuur

Soos in paragraaf 2.2.5 aangedui, kan aanvaar word dat die ontwikkeling van ontwerp-tegnologie telkens tot 'n herwaardering van stelselhidroulika lei. Daar moet dus gewaak word teen veralgemening wanneer hidrouliese beginsels bespreek of ontleed word. Daar kan aanvaar word dat basiese massa- en energiebehoud-beginsels, soos

deur die Saint Venant-vergelykings beskryf, altyd geldig is. Die wyse waarop die beginsels toegepas word, sal van die spesifieke stelselontwerp afhang. So byvoorbeeld verskil die toepassing van die beginsels in die geval van bakbesproeiing heeltemal van dié vir beddingbesproeiing (sonder helling). In die geval waar beddings met 'n helling besproei word, verskil die beginsels weer van dié vir pulsbesproeiingsstelsels. Selfs bestuurstegnieke soos tydbeheerde afsnymetodes, verg 'n ander benadering as in die geval van oog/afstandbeheerde afsnymetodes.

Die belangrikste tipes vloedbesproeiing wat in Suid-Afrika toegepas word, word in paragraaf 2.4.1 bespreek. Beddingbesproeiing op hellings is verreweg die belangrikste tipe vloedbesproeiing in Suid-Afrika.

Verdere verduideliking van hidrouliese beginsels wat bespreek is, geld spesifiek vir besproeiing van beddings met hellings. Die beginsel vir voortjiebesproeiing is op enkele uitsonderings na, analoog aan dié vir beddings.

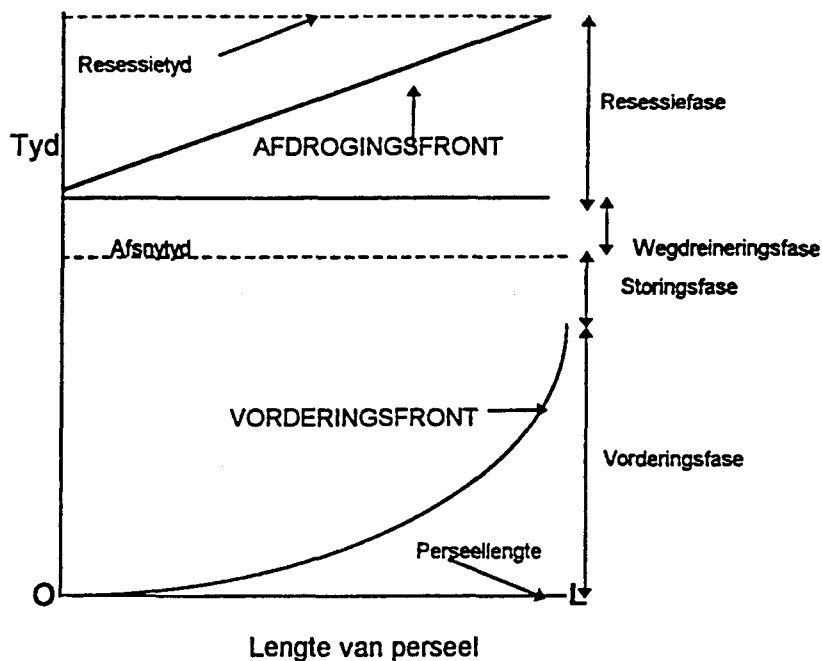
2.3.3.5 Meetbare fases tydens 'n besproeiingsperiode

Kenmerkende vorderings- en afdrogingsfrontkrommes kan maklik gemeet word. Indien die krommes voorspel kan word, sou dit moontlik wees om netto kontaktyd, en dus ook netto toediening wat verkry word, te voorspel (Lewis & Milne, 1938; Criddle & Davies, 1951). Die uitkoms of resultaat van 'n besproeiing sou dus voorspel kan word, sonder om al die faktore wat 'n rol speel op te los.

Figuur 2.3 toon die algemeen-aanvaarde tyd-afstand voorstelling waar verskillende fases van 'n vloedbesproeiingsepisode saam met vorderingsfront- en afdrogingsfrontkrommes voorgestel word (Jensen, 1980; Walker, 1989).

Hall (1956) verklaar dat die vorderingsfront, wat 'n funksie van tyd, rofheid, helling en stroomgrootte is, die belangrikste faktor in stelselontwerp is. Tweedens meen hy dat die totale volume water (by implikasie, afsnytydbeheer) voldoende moet wees om die volle bedding te besproei. Derdens verklaar hy dat afdrogingsfronteienskappe belangrik is in dié sin dat dit die eweredige verspreiding van water bepaal. Dit is belangrik om daarop te let dat die siening van Hall (1956), wat tot uitgebreide navorsing (wat vandag steeds in

ontwerphandleidings voorkom) gelei het, in hierdie navorsing as foutief bewys word. Die siening dat vorderingsfronteienskappe die belangrikste parameter is, is steeds te vind in handleidings soos SCS Furrow Irrigation (1983) en FAO 45 (Walker, 1989) asook verskeie rekenaarprogramme.



Figuur 2.3 Besproeiingsfases met vorderings- en afdrogingsfrontkrommes op 'n tyd-afstand-vlak voorgestel (Aangepas vanaf Walker 1989).

2.3.3.6 Bespreking van die verskillende besproeiingsfases

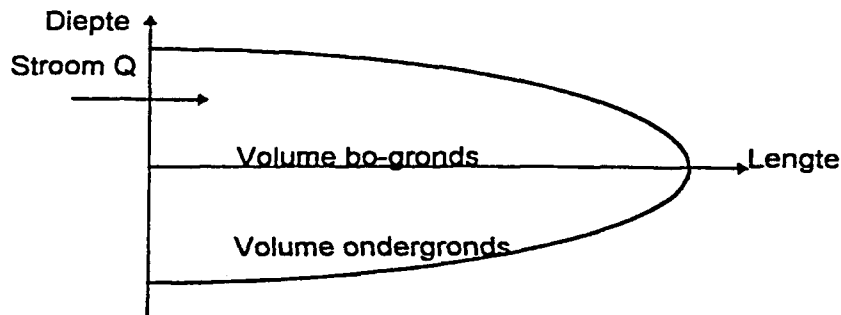
Hall (1956) en ander voorgangers soos Lewis & Milne (1938), asook Criddle en Davis (1951) het die begrip "vorderingsfase" gevestig. Daarna is dit in die VSA as 'n navorsingsprioriteit vir die voorspelling van vorderingsfrontkrommes gebruik.

2.3.3.6.1 Infiltrasiekrommes en vorderingsfronte tydens die vorderingsfase

Daar is waargeneem dat die infiltrasietempo nie konstant is nie, maar dat dit mettertyd afneem. 'n Eenvoudige magsfunksie kon die tendens beskryf, en staan vandag bekend as die Kostiakov infiltrasiefunksie (Kostiakov, 1932).

$$Z = kt^a$$

Bogenoemde benadering het Lewis & Milne (1938) in staat gestel om 'n volumebalansvergelyking daar te stel wat tydens die vorderingsfase geld.

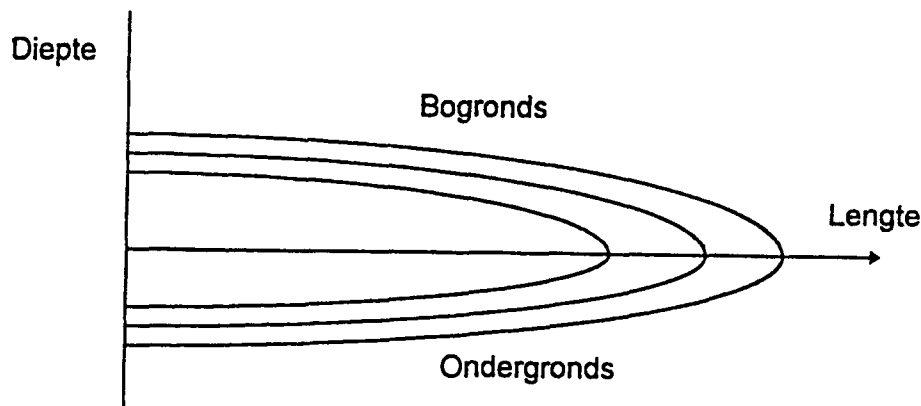


$$Q_{ot} = \bar{A}x + \int_0^x Z(t - t_s) ds$$

($Q + t = \text{Volume bogronds} + \text{volume ondergronds}$)

Figuur 2.4 'n Volumebalans vergelyking (Lewis & Milne, 1938).

Hall (1956) baan die weg tot latere simuleringsmodelle deur die Lewis-Milne-prinsiep te ontwikkel tot 'n stelsel met gelyke oppervlakte-krommes. Hiermee poog hy om 'n voorspelling van vorderingsfronte te maak.



Figuur 2.5 Voorspelling van vorderingsfronte deur middel van gelyke oppervlakte-krommes [Soos beskryf deur Hall (1956)].

Die metode van Hall word in die literatuur goed beskryf, maar is uiteraard verouderd, en word derhalwe nie hier herhaal nie. Die skematiese voorstelling soos hierbo gegee (Figuur 2.5) word egter steeds aangetref - beide in wiskundige afleidings en by grafiese voorstellings tydens simuleringe.

Soos in tabel 2.2 aangedui word, het heelwat navorsing gevolg, almal met die doel om vorderingsfrontkrommes te kan voorspel (Kiefer, 1959; Fok en Bishop, 1965; Wilke en Smerdon, 1965; Hart, Bassett en Strelkoff, 1968; Wu en Bishop, 1970; Chen, 1970; Smith, 1972; Walker en Lee, 1981; Elliott *et al.*, 1982 en Walker en Humpherys, 1983). Die metodes vir die bepaling van vorderingsfront-eienskappe word in detail deur Walker (1989) in FAO 45 behandel.

Strelkoff (1970) en Frangmeier en Strelkoff (1979) lê die grondslag vir rekenaargesteunde hidrodinamiese oplossing van vorderingsfront-eienskappe. Verskeie ander navorsers verbeter op hierdie oplossingstegnieke (Elliott *et al.*, 1982).

2.3.3.6.2 Storingsfase

Hierdie fase is hoofsaaklik van toepassing op beddings met uitvloei aan die onderpunt waar die afloopwater hergebruik word. Die ontleding is eenvoudig, maar in Suid-Afrika is die toepassing baie beperk. SCS Furrow Irrigation (1983) is grootliks op voorspelling van die vorderingsfront en 'n groot storingsfase met hergebruik van afloopwater, gebaseer.

2.3.3.6.3. Die wegdreineringsfase ("Depletion phase")

Die behoefte aan die ontleding van afdrogingsfront-eienskappe is ingesien. Shockley *et al.* (1964), wat saam met Criddle *et al.* (1956), 'n metode vir die evaluering van stelsels gepubliseer het, meen dat niemand nog resessie in ag geneem het nie. Shockley *et al.* (1964) vestig die aandag daarop dat die infiltrasietyd ("Intake opportunity time") beter ontleed kan word indien afdrogings-eienskappe ook bekend sou wees.

Shockley *et al.* (1964) publiseer 'n eenvoudige kwasi-rasionele analise waardeur die dinamika van die resessieproses negeer word. Hierdeur is 'n analitiese formule (reg of verkeerd) daargestel waarin al die elemente wat by die ontwerp betrokke is,

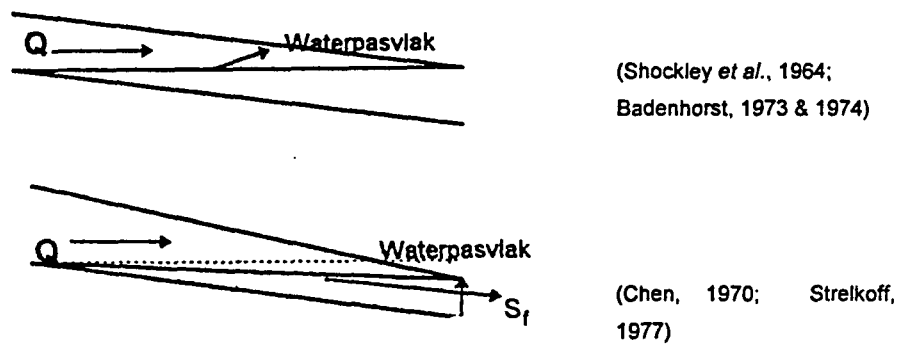
verteenwoordig word. Die formule vind algemeen byval by ontwerpers. Deur hul ervaring in die praktyk met die Shockley formule te kombineer is 'n funksionele beginsel verkry (reg of verkeerd). Die SCS Border Irrigation handboek (Hoofstuk 15, 1974a) is op die Shockley-formule, gekombineer met empiriese norme, gebaseer.

Uit navorsingsgeledere word die benadering van Shockley *et al.* (1964) egter totaal verwerp (Walker, 1991). Frangmeier en Strelkoff (1979) toon egter met behulp van 'n simuleringsmodel aan, dat die norme van SCS (1974a), Hoofstuk 15, Graded Border Design, "redelik" is. (Die vergelyking was uiteraard teoreties, wat beteken dat dinamiese effekte nie in die praktyk geëvalueer is nie. Dit word in hoofstuk 7 verder bespreek).

Shockley *et al.* (1964) se benadering lê egter 'n grondslag vir verdere ontleding van die sogenaamde wegdreineringsfase ("depletion phase") aan die bopunt van die bedding.

'n Ander belangrike ontwikkeling wat min of meer in dieselfde tyd voorgekom het, was die kinematiese-golf teorie. Die kinematiese-golf analise is ontleen aan die toepassing van Lighthill en Whitham (1955), en Woolhiser en Liggett (1967). Chen (1970) en Smith (1972) het die beginsel toe op oop beddings met helling en uitvloeitoegepas. Chen (1970) aanvaar dat wanneer die invloed van traagheid en momentum weglaatbaar klein is, daar van 'n uniforme vloeivergelyking gebruik gemaak kan word. Strelkoff en Katapodes (1977) beskryf dan ook hoedat hierdie beginsel tydens die wegdreineringsfase van oop beddings met hellings toegepas kan word. Die twee navorsers publiseer sodoende die eerste werkbare simuleringsmodel met behulp van die sogenaamde "Zero Inertia" (momentumlose) beginsel.

Vergelykings kan tussen die Shockley -benadering (1964) en dié van Chen (1970) en Strelkoff (1977) getref word deur 'n grafiese voorstelling van die wegdreinerings- en resessiefases te ontleed (Figuur 2.6).



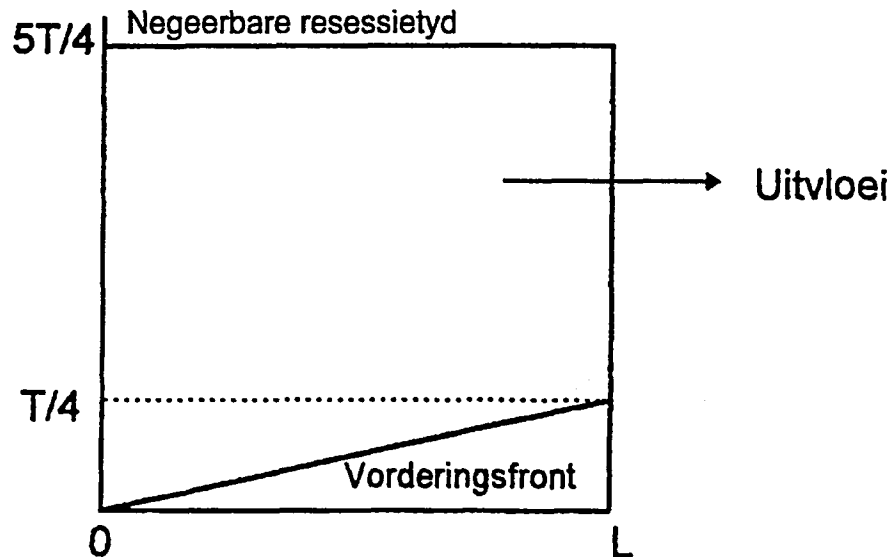
Figuur 2.6 Die wegdreineringsfase soos deur verskillende navorsers voorgestel

Waar navorsers soos Chen en Strelkoff ook die resessiefase in ag geneem het by die bepaling van die wegdreineringsfase, het Shockley *et al.* (1964), en later ook Badenhorst (1973; 1974) die wegdreineringsfase ("depletion phase") in isolasie ondersoek. Kritiek teen laasgenoemde benadering word in Hoofstuk 7 (paragraaf 7.3) in meer detail bespreek.

Figuur 2.6 toon dat, indien die Shockley-benadering gebruik word, die wegdreineringsfase beëindig word sodra die watervlak onder waterpas daal. By die ander, meer dinamiese benadering word die wegdreineringsfase eers beëindig indien die sogenaamde ewewigshelling (S_f) bereik word. Dit verklaar waarom Strelkoff & Katapodes (1977) bevind het dat die Shockley -metode konstant 'n korter wegdreineringsfase voorspel as wat hul bevindings getoon het.

2.3.3.6.4 Die resessiefase (afdrogingsfase)

Soos voorheen genoem, is navorsing oor die resessiefase aanvanklik nie as 'n prioriteit beskou nie. In baie gevalle, veral waar 'n groot storingsfase bestaan het, is resessie as negeerbaar beskou. SCS Furrow Irrigation (1983) gebruik steeds dié veronderstelling. Figuur 2.7 toon die tipiese toestand.



Figuur 2.7 Resessiefase volgens SCS Furrow Irrigation

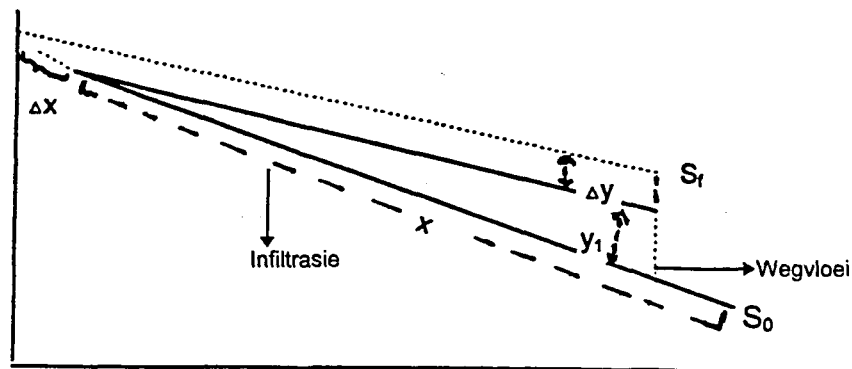
Merriam (1978) beklemtoon vir die eerste keer dat afdrogingsfront-eienskappe vir die ontwerpproses belangrik is. Hy is van mening dat die stroomgrootte sodanig gekies moet word dat die vorderings- en afdrogingsfronte parallel sal wees. Strelkoff (1977) gebruik die afdrogingsfrontdata uitsluitlik om die finale verspreidingsdoeltreffendheid te bereken.

Opnames wat in 1983 deur die navorser in die Vaalharts-gebied gedoen is, lei tot 'n deurbraak in terme van die belangrikheid van afdrogingsfrontkrommes. Hy het waargeneem dat daar 'n verwantskap tussen die lengte van die bedding, en die toediening wat by optimale doeltreffendhede vir 'n bepaalde besproeiingsepisode realiseer, bestaan.

Verdere ondersoeke wat gedurende 1983 gedoen is, het bevestig dat sommige boere by Vaalharts reeds die beginsel van variasie in beddinglengte toepas om toediening te beheer. Die navorsing is opgevolg met publikasies in 'n verslag getiteld OVH77 (Du Rand *et al.*, 1985). 'n "Afdrogingsfront gradiënt-model" vir voortjiebesproeiing is vervolgens deur Kruger (1986) beskryf.

2.3.3.6.5 Wiskundige ontleding van Afdrogingsfronte

Wu en Bishop (1970) ontwikkel 'n magsfunksie vir die resessiefase wat aan empiriesbepaalde konstantes gekoppel word. Strelkoff (1977) en Ley (1978) het deur die grafiese voorstelling van die resessiefase (Figuur 2.8) die grondslag gelê vir die wiskundige ontleding van afdrogingsfronte.



Figuur 2.8 Wiskundig ontleedbare resessiefase

Bassett *et al.*, (1980) en Walker en Skogerboe (1987) beskryf 'n tegniek waardeur die resessiefase van oop beddings met hellings deur 'n driehoekige profiel ontleed en beskryf word (Figuur 2.8). Die area wat benat word verklein namate daar langs die lengte van die bedding afbeweeg word deurdat infiltrasie en wegvloei van water voortdurend plaasvind. 'n Afdrogingsfrontkromme van afstand teenoor tyd kan met behulp van iterasie bereken word deur telkens net die vereenvoudigde Saint Venant-vloeivergelykings op te los.

Kruger (1986) gebruik die beginsel in sy "Afdrogingsfront gradiënt model". Die gemiddelde tempo van afdroging van 'n voortjie word voorspel en aangewend om 'n verband tussen lengte en toediening te voorspel. Kruger kon egter nie die vloeivergelykings oplos nie en maak van die hidrograaf-analise gebruik om die wrywingshelling (S_f in Figuur 2.8) te voorspel.

Die simuleringsmodelle van Strelkoff (1985) en Walker (1987), lewer volledige numeriese oplossings van die Saint Venant vloeivergelykings. Die afdrogingsfront kan vir 'n wye

reeks toestande redelik akkuraat opgelos en voorspel word. Oplossings vir geblokte beddings en pulsbesproeiing kan dus bepaal word.

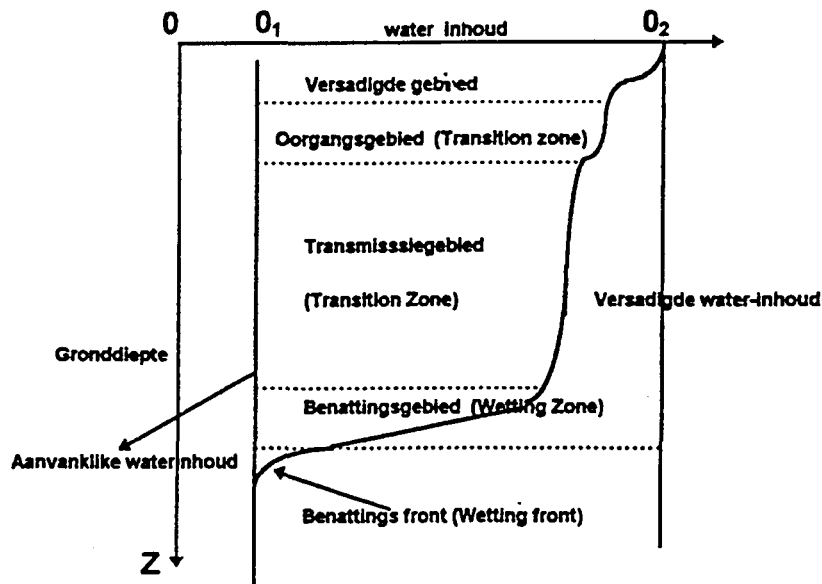
2.3.3.7 Infiltrasie-eienskappe

Die “netto-vloei-energie” word tot ‘n baie groot mate deur infiltrasie-eienskappe beïnvloed. Elliott *et al.* (1982) beskryf hoedat infiltrasie-eienskappe die volume water wat infiltreer, asook die tempo van die vorderingsfront beïnvloed. Die skrywers meen dat infiltrasie-eienskappe die mees kritiese faktor is wat ‘n invloed op vloedsbesproeiing het. Frangmeier en Strelkoff (1979) evalueer SCS norme vir die ontwerp van beddings met behulp van ‘n simuleringsproeflopie. Daar word bevind dat veranderinge in infiltrasie by gronde met ‘n lae infiltrasietempo ‘n groter invloed op die stelsel se doeltreffendheid het, as op gronde met ‘n hoë infiltrasietempo. Dit verklaar waarskynlik waarom so baie van die VSA se navorsing, oor die wiskundige beskrywing van infiltrasiefunksies, op gronde met ‘n lae infiltrasietempo gedoen is.

Bodman en Coleman (1943) beskryf vyf verskillende sones in die grond tydens infiltrasie, naamlik:

- (1) ‘n Versadigde sone.
- (2) ‘n Oorgangsone.
- (3) ‘n Transmissiesone.
- (4) ‘n Benattesone.
- (5) ‘n Benattingsfrontsone.

Die sones word skematies in Figuur 2.9 voorgestel.



Figuur 2.9 Sones tydens infiltrasie in grond. Aangepas vanaf Bodman & Coleman (1943).

Volgens Walker & Skogerboe(1987) is sone 3, die transmissiesone, van groot belang. Die sone het 'n relatief konstante hidrouliese geleiding (Hansen, 1955), asook 'n eenvormige hidrouliese gradiënt (Miller en Richard, 1952). Volgens Slack (1980) is die waterinhoud in die sone naby 'n versadigingspunt van tussen 80 persent en 90 persent. Navorsing in die VSA het getoon dat tipiese infiltrasieformules wat op magsfunksies gebaseer is [soos die Kostiakov-formule (Kostiakov, 1932)], nie die invloed van infiltrasie met betrekking tot die transmissiesone korrek beskryf nie. Volgens Philip (1957a) lyk die Kostiakov- formule soos volg:

$$I = ak\tau^{a-1}$$

met I = Infiltrasie

a en k = empiriese parameters verkry vanaf infiltrasietoetse op 'n gegewe grond.

τ = tyd vir inname

Philip (1957b) stel dus voor dat 'n konstante term (f_0) by die Kostiakov-formule gevoeg word. Sodoende word vir variasies van die aanvanklike waterinhoud in die grondprofiel

voorsiening gemaak. Die (f_o)-waarde beskryf dan die finale infiltrasietempo wat in die transmissiesone by lang infiltrasietye heers.

$$I = ak\tau^{a-1} + f_o$$

Philip (1957a) stel ook 'n infiltrasievergelyking (Z =kummulatiewe infiltrasie diepte) voor waar die sogenaamde sponseffek ("sorptivity") (S) en transmissie (A) in ag geneem word:

$$Z = S\tau^{0.5} + A\tau$$

Die sponseffek ("sorptivity;") word volgens die aanvanklike waterinhoud van die grond aangepas na: $S\alpha(\theta_i - \theta_s)$

waar θ_i = versadigde vog inhoud en θ_s = aanvanklike vog inhoud.

In Suid-Afrika het die meeste gronde wat vloedsproei word 'n relatiewe hoë infiltrasietempo (paragraaf 3.4.2). Vanuit praktiese ervaring is die navorser van mening dat die gebruik van die finale infiltrasietempo (f_o) in bostaande formule, oor die algemeen onder Suid-Afrikaanse toestande nie noodsaaklik is nie. Hier is die sponseffek van veel groter belang omdat tipiese kontaktye van tussen 10 tot 60 minute in Suid-Afrika voorkom.

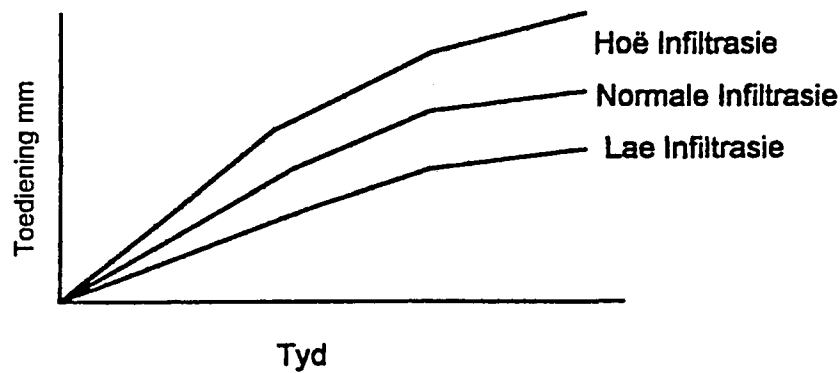
Die invloed van swellende klei en koagulasie van kleikolloïdes is oorheersend op swaarder gronde in Suid-Afrika. Die benadering van Kruger (1989) berus ook op die Kostiakov-vergelyking en is daarop gemik om 'n aantal magsfunksies vir infiltrasie te gebruik:

$$Z = aT^b$$

(Z =kummulatiewe infiltrasie diepte; a & b = konstantes; T =tyd)

'n Minimum van drie funksies word normaalweg gebruik om 'n potensiële gebied waarbinne die infiltrasie telkens mag wissel, te beskryf. 'n "Hoë-", "normale-" of "lae-infiltrasietempo" word sodoende tydens ontwerp in ag geneem. Die wisseling in die potensiële infiltrasietempo wat mag voorkom word dus voorsien in die ontwerp en bestuur van die stelsel.

Die infiltrasiefunksies kan grafies soos in Figuur 2.10 voorgestel word:



Figuur 2.10 Voorstelling van infiltrasiefunksies

2.3.4 Toepassing van hidrouliese beginsels

Wanneer die toepassing van hidrouliese beginsels krities beoordeel word, moet die volgende faktore in gedagte gehou word:

- * Die ontwikkelingsvlak van die hidrouliese teorie tydens die opstel van die ontwerpprocedure:**

Soos in paragraaf 2.2.4 beskryf, het ontwerp-tegnologie oor 'n lang periode ontwikkel. Vroeëre ontwerp-prosedures was noodwendig empiries van aard, terwyl die moontlikheid vandag bestaan om gesofistikeerde hidrodinamiese teorieë in ontwerp-prosedures te gebruik.

- * Praktiese toepassing van die teoretiese beginsels waarmee 'n ontwerp gedoen word.**

Deur die jare is teoretiese beginsels en hulpmiddels soos simuleringstegnieke ontwikkel. Die metodes van byvoorbeeld Hall (1960), Fok en Bishop (1965), Strelkoff en Katapodes (1977) en Strelkoff (1979) was teoreties bruikbaar, maar uit 'n praktiese oogpunt langdradig en dus nie toegepas nie. Die metode van Shockley *et al.* (1964) was teoreties minder aanvaarbaar, maar prakties berekenbaar en toepasbaar en is gevolglik wyd gebruik.

- * **Geskiktheid van hidrouliese beginsels wat ten opsigte van die ontwerpdoelwit gebruik is.**

Wanneer 'n groot eenvormige skema ontwerp moet word, sou die ontwerper normaalweg meer tyd aan die meet en die opstel van 'n empiriese norm gee, ongeag daarvan dat gesofistikeerde ontwerpprosedures tot sy beskikking is. In teenstelling hiermee kan die ontwerper normaalweg nie veel tyd afstaan aan die metings vir die besproeiingsontwerp van slegs een plaas nie. Om so 'n ontwerpproses koste-effektief te kan afhandel, word meer gesofistikeerde ontwerpprosedures benodig.

- * **Toepassing van 'n standaard ontwerpteorie vir 'n spesifieke situasie.**

Vloedbesproeiing is 'n dinamiese proses. Soos in paragraaf 2.3.2 aangedui, is hidrouliese beginsels oorspronklik van die kanaalvloeiteorie ontleen. Mettertyd is begrippe aangepas om infiltrasie, gewasweerstand, en so meer in te sluit. Die beheer van die besproeiingswater is egter in die hande van die operateur. Dwarsoor die wêreld het hierdie operateurs hul eie styl en kuns van besproeiing ontwikkel. Daarmee is die spesifieke situasie waarbinne hul moes opereer, gehanteer. Pogings om hidrouliese beginsels toe te pas, het dus allereers gelei na 'n kategorisering of standaardisering van besproeiingstegnieke. Hiervolgens is hidrouliese beginsels aangepas en tot 'n praktiese vlak herontwikkel. So kan voorbeelde gevind word soos die SCS Furrow Irrigation Procedure (1983), wat spesifiek geld vir voortjiebesproeiing op gronde met 'n lae infiltrasietempo en lang kontaktye. Uitvloeï aan die onderpunt, asook hersirkulasie van afloopwater vind plaas. In dié besproeiings-kategorie word slegs die meetbare fases (verwys paragraaf 2.3.3.5), wat tydens besproeiing onder die spesifieke toestande geldig is, teoreties beskryf. Klem word geplaas op die vorderings- en die storingsfase terwyl die wegdreinerings- en afdrogingfase totaal negeer word. Die metodiek, beginsels en resultate is nie ekstrapoleerbaar of aanvaarbaar vir toestande buite die "gekatégoriseerde standaard" nie.

2.3.5 Toepassing in ontwerphandleidings

Oorsese ontwerphandleidings is normaalweg opgestel om te dien as inligtingstukke, opleidingsmateriaal en werkdokumente waarmee indiensopleiding aan onervare

ontwerpers verskaf kan word. Hierdie handleidings dek meestal onderwerpe soos:

- * Definisies.
- * Voor- en nadele van vloedbesproeiingsmetodes.
- * Konstruksie- en grondvoorbereidingstegnieke.
- * Waterhouvermoë van die grond en plantwaterbehoefte (waterbalans).
- * Meting, aanvoer- en verspreiding van water.
- * Tegnieke om infiltrasie te meet (plus voorbeelde van waardes), vloeiweerstandswaardes, bereikbare doeltreffendhede, ens.
- * Stelsel-hidroulika. Dit sluit eenvoudige formules en grafiese metodes in waarmee volumebalanstegnieke toegepas en moontlike voorspellings van vorderingsfronte gedoen kan word. Deesdae word 'n simuleringsmodel as rekenaarpakket soms ingesluit.
- * Skedules en tegnieke om stelsels mee te evalueer.

Hoewel lywige dokumente soms beskikbaar is, word die teoretiese basis meestal in 'n vereenvoudigde vorm aangebied. Klem is meestal daarop geplaas om onervare persone op te lei om, onder toesig van ervare ontwerpers (wat praktiese omstandighede ken en weet wat sal wat werk en wat nie), herhaalbare ontwerpe te doen.

In Tabel 2.3 word 'n aantal voorbeelde van sulke handleidings gegee. Die hidrouliese beginsels waarop aanbevelings gegrond is, word ook aangedui.

Tabel 2.3 toon dat ontwerphandleidings steeds nie hidrodinamiese ontwerp-prosedures in ag neem nie. Die hidrouliese beginsels wat in die mees onlangse ontwerphandleidings toegepas is (byvoorbeeld FAO 45, Walker, 1989), bestaan uit volume-balansprosedures. 'n Dinamiese verband word met behulp van empiriese vorderingsfunksies bepaal.

Hidrodinamiese ontwerp-prosedures soos dié wat deur Kruger (1989) en Du Rand en Kruger (1991) gebruik word, was tot voor die opstel van hierdie verslag steeds nie ten volle gedokumenteer nie. Dié prosedures, waarin simuleringstegnieke gebruik word, kan dus nog nie algemeen deur ontwerpers aangewend word nie.

Tabel 2.3 Voorbeelde van Ontwerphandleidings

Prosedures: Kategorie A-Empiries; Kategorie B-Volumebalans; Kategorie C-Hidrodinamies

Jaar	Handleiding	Teoretiese Basis	A	B	C	Opmerkings
1959	Irrigation on Western Farms USDA SCS Agricultural Information Bulletin no. 199	Hidroulika: Geen Infiltrasie: Geen aanduiding Doeltreffendheid: 55 tot 80%	x			Handleiding gerig op tegnologie-oordrag.
1974a	SCS National Engineering Handbook: Section: 15; Chapter 4: Border Irrigation.	Hidroulika: Volumebalanstegnieke met Shockley <i>et al.</i> (1964) se kwasi-rasionele benadering.	x	x		Handleiding gerig op standaard gekategoriseerde ontwerpe van homogene aard, in opvolging van uitgebreide veldondersoeke waaruit empiriese riglyne saamgestel was. Volumebalansvergelyking word ge-eik d.m.v. empiriese bruto toedienings.
1974b	Irrigation Guide to New Mexico	Infiltrasie "Intake families" empiries bepaal. Doeltreffendheid: Geen	x	x		
1974c	Colorado Irrigation Guide	Empiries bepaalde gemiddelde waardes.	x	x		
1977	Irrigation on Sugarcane. SA Suikervereniging	Hidroulika: Empiriese tabel Infiltrasie: tekstuur en grondtipe (Empiries) Doeltreffendheid onbekend	x			Handleiding gerig op tegnologie-oordrag. Enkele veldondersoeke waaruit empiriese riglyne geformuleer is d.m.v. ekstrapolasie-prosesse.
1983	Furrow Irrigation SCS Chapter 5	Hidroulika: Empiriese vorderingskrommes "Intake Families" empiries bepaal: $Q = \frac{\text{Volume}}{T_{\infty}}$	x			Handleiding is gerig op standaard homogene voortjebesproeiingstelsels op lae infiltrasiegronde met uitvloeë en hergebruikte afloopwater. Empiriese vorderingskrommes, bepaal uit jarelange veldondersoeke byvoorbeeld deur die magsfunksie van Fok en Bishop (1965). Afdrogingstyd negeerbaar. Vordering binne 'n kwart van verlangde benattingstyd.
1987	Vloedbesproeiings ontwerp: Die optimering van Beddingafmetings (van Heerden)			x		Gerekenariseerde weergawe van Shockley <i>et al.</i> (1964) en Badenhurst (1974) beginsel. Herhalende berekeninge word m.b.v. 'n rekenaar uitgevoer ten einde vir die ontwerper 'n groot aantal hellings en lengtekombinasies te kwantifiseer. Beter en swakker kombinasies word in rang-orde weergegee. Van Heerden, (Toesig-houer oor ontwerp-tegnici in die veld) vestig die beginsel dat 'n optimale ontwerpgebied geselekteer behoort te word deur te sorg dat wye reekse kombinasies ondersoek word.
1989	Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems (WR Walker) FAO Irrigation and drainage paper 45.	Hidroulika: Volumebalans en empiriese vorderingsfunksie (Bishop-metode). Infiltrasie: dinamies bepaal. Doeltreffendheid: Bereken. (Simuleringsmodelle kan saam met die tegniek gebruik word). Rekenaar-program is beskikbaar.		x	x	Die handleiding help onervare vloedbesproeiingsontwerpers met basiese beginsels van wateraanvoer en -verspreiding, ontwerp en stelsel-evaluering. Hidroulise teorie word m.b.v. volumebalans-beginsels toegelig en studente doen self berekeninge. Die tipiese Bishop-metode is aangevul met die Sirmod-simuleringsmodel, 'n gerekenariseerde "Surface" program. Optimering val buite die bestek van die handleiding.

2.3.6 Bruikbaarheid van ontwerphandleidings

Die gebruik van ontwerphandleidings en die tegnieke word bepaal deur die kundigheid, ervaring en persepsie van ontwerpers. Uit tabel 2.3, asook uit die voorafgaande beskrywing in hoofstuk 2, blyk dit dat uiteenlopende denkrigtings en tegnieke vir die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels bestaan. Dit kan in die praktyk tot persepsieprobleme, by veral onervare ontwerpers, aanleiding gee. Die navorser het verskeie sulke persepsieprobleme in die veld teëgekom. In 'n poging om perspektiewe te verbreed word 'n meer gedetailleerde agtergrondbeskrywing dus vir Suid-Afrikaanse toestande in hoofstuk 3 gegee.

HOOFSTUK 3

DIE AGTERGROND WAARTEEN VLOEDBESPROEING IN SUID-AFRIKA ONTWERP WORD

3.1 INLEIDING

Hierdie hoofstuk word hoofsaaklik gewy aan die agtergrond waarteen vloedbesproeiing in Suid-Afrika ontwerp word. Die omvang van vloed-besproeiing, tipe stelsels, plaaslike toestande en persepsies van persone wat by vloedbesproeiingstelsels betrokke is, word bespreek. Die noodsaaklikheid om die doeltreffendheid van waterverbruik in Suid-Afrika te verbeter, en die implikasie wat die agtergrondstudie op ontwerp kan hê, word behandel.

3.2 DIE OMVANG VAN VLOEDBESPROEING IN SUID-AFRIKA

Gedurende 1990 het die totale oppervlakte onder besproeiing in Suid-Afrika op tussen 1,1 en 1,2 miljoen hektaar te staan gekom (eksakte areas is onbekend). Vloedbesproeiing is in dié stadium op ongeveer 0,339 tot 0,482 miljoen hektaar toegepas (Nasionale voedselstrategie, 1990). Hoewel eksakte syfers nie beskikbaar is nie, kan met redelike sekerheid aanvaar word dat ongeveer 40 persent van die totale oppervlakte wat besproei word, steeds met behulp van een of ander vorm van vloedbesproeiing benat word.

Tabel 3.1 toon die totale oppervlakte onder besproeiing, asook die totale oppervlakte onder vloedbesproeiing vir die verskillende streke van die destydse Departement van Landbou. Syfers wat vir die Nasionale Voedselstrategie gebruik is, is aangepas met inligting wat in 1992 vanaf die betrokke Strekingenieurs verkry is. In die meeste streke bestaan daar 'n groot mate van onsekerheid oor die hoeveelheid "geleentheidsbesproeiing" wat dalk mag voorkom. Hierdie onsekerheid is die oorsaak van die wisseling in oppervlakte wat by die raming daarvan voorgekom het.

Tabel 3.1 Oppervlakte onder besproeiing in die RSA (soos verwerk en aangepas vanuit Nasionale Voedselstrategie, 1990).

STREEK (Dept. Landbou)	TOTALE AREA BESPROEI (*1000 ha)	AREA ONDER VLOEDBESPROEIING (*1000 ha)	VLOED %
Vrystaat	167-177	90-111	51-66
Karoo	154	118	77
Natal	75-161	11-84	14-52
Winterreën	208-258	10-59	5-23
Oos-Kaap	75	31	41
Hoëveld	81	11,3	14
Transvaal	333	68	20

Die persentasie vloedbesproeiing verskil van streek tot streek (tabel 3.1). In die Vrystaatstreek is daar byvoorbeeld tussen 51 en 60 persent van die totale oppervlakte wat besproei word, onder vloedbesproeiing. Daarteenoor word in die Hoëveldstreek slegs sowat 14 persent vloedbesproeiing aangetref. Hierdie verskille kan waarskynlik toegeskryf word aan verskille in topografie, grondtipe en gewaskeuse. Die meeste van die ouer ontwikkelings (voor 1960) is steeds onder vloedbesproeiing, terwyl meer onlangse ontwikkeling 'n balans tussen vloed-, sprinkel-, spilpunt-, mikro- en drupbesproeiing toon. 'n Faktor soos bestuursgerief speel 'n toenemende rol in die keuse van besproeiingstelsels by nuwe ontwikkelings, asook by die opgradering van bestaande stelsels.

3.3 VLOEDBESPROEIINGSTELSELS IN SUID-AFRIKA

Verskeie vloedbesproeiingstelsels word in Suid-Afrika gebruik. Tabel 3.2 toon 'n skatting van die oppervlakte en persentasie van bepaalde tipes vloedbesproeiing vir die onderskeie streke van die destydse Departement van Landbou.

**Tabel 3.2 Geskatte oppervlakte en persentasies van verskillende
vloedbesproeiingstelsels**

STREEK (Dept. van Landbou)	BEDDING 1000 ha (%)	** POTCH- STELSEL 1000 ha(%)	VOORTJIE 1000 ha (%)	BOOM EN BAK 1000 ha (%)	SAAIDAM 1000 ha (%)
Vrystaat	79 (79%)	1 (1%)	10 (10%)	5 (5%)	1 (1%)
Karoo	64,9 (55%)	11,8 (10%)	5,9 (5%)	11,8 (10%)	23,6 (20%)
Natal	6,4 (30%)	2,1 (10%)	4,3 (20%)	8,3 (39%)	0,2 (20%)
Winterreën	15,5 (45%)	0,7 (2%)	6,9 (20%)	6,9 (20%)	3,5 (10%)
Oos-Kaap	27,2 (40%)	2,7 (4%)	10,2 (15%)	27,2 (40%)	0,7 (1%)
Hoëveld	2,3 (20%)	6,8 (60%)	1,1 (10%)	1,1 (10%)	-
Transvaal	0,9 (10%)	3,7 (40%)	0,9 (10%)	3,7 (40%)	-
Totale oppervl.	196	28,7	39,3	64	29
% van oppervl.	46,6%	8%	11%	12,5%	8%

NIE GEKLASSIFISEERDE STELSLS IS NIE IN BEREKENING GEBRING NIE.

**** Die Potch-stelsel:** Onbegrensde vakke word uit 'n voortjie natgelei. Die voortjies is op bepaalde afstande op 'n land, bykans soos vir beddingwalle, teen 'n helling uitgelê.

In die Vrystaatstreek is beddingbesproeiing die oorheersende vloed-besproeiingstelsel (na raming sowat 79 persent). Gebiede soos Vaalharts, Rietrivier en die laer Oranjerivier (Douglas tot Augrabies) leen hulself by uitstek tot beddingbesproeiing as gevolg van die aard van die omgewing en die tipe gewasse wat daar verbou word.

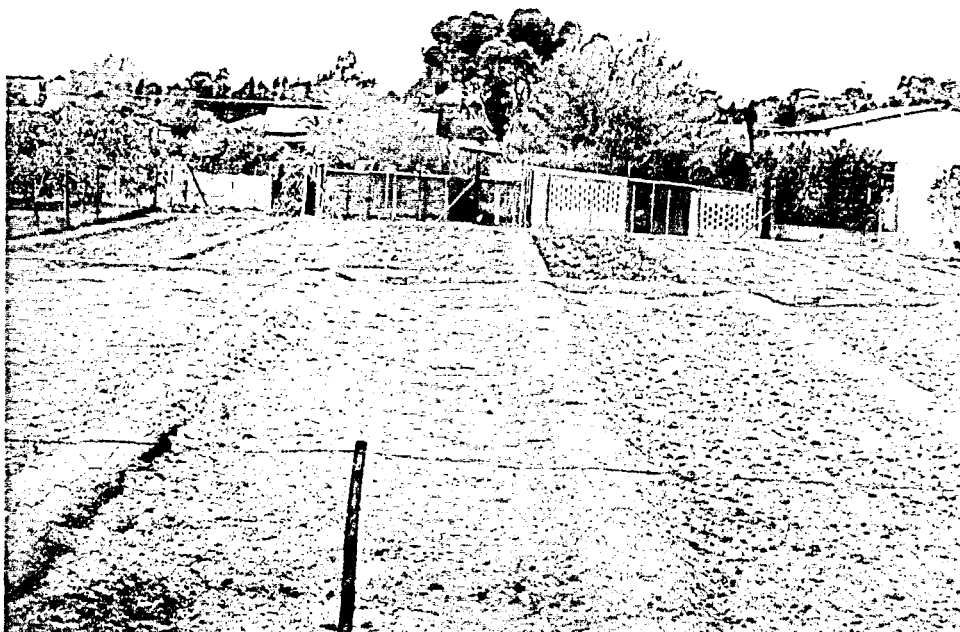
In die Karoostreek vind sowat 20 persent van die vloedbesproeiing egter weer deur middel van saaidamme plaas. Die Karoo is een van die min gebiede in Suid-Afrika waar groot gelyk areas met gronde met 'n lae infiltrasietempo voorkom en waarop saaidam- of bakbesproeiing ("basin irrigation") suksesvol toegepas kan word.

In Natal word voortjiebesproeiing redelik algemeen op suikerrietlande aangetref (20 persent). Op die onegalige skuins gronde van daardie gebied is dié stelsels die enigste vorm van vloedbesproeiing wat suksesvol toegepas kan word.

In beide die Hoëveld- en die Transvaalstreek kom vlak gronde met 'n hoë infiltrasie algemeen voor. Die hellings is meestal steil en die oppervlakte onegalig, met die gevolg dat beddingbesproeiing onprakties raak. (Op baie van die gronde word klein vakkies vanuit 'n toevoervoortjie besproei.) Die vakke wat besproei word is nie noodwendig begrens nie en word volgens die oordeel van die operateur benat. Onegalige areas word selfs met 'n graaf nagespat om aanvanklike ontkieming van saad te verbeter. Namate die plantegroei verhoog, verhoog die vloe weerstand en dus ook vloeddiepte. Sodoende word daar dan minder arbeid vereis om die grond te benat. Die stelsels is totaal van die vermoë van die operateurs afhanklik en die resultate wat met die metode verkry word wissel dus omdat dit in 'n groot mate bepaal word deur die toewyding van die operateur.

'n Verskeidenheid ander vloedbesproeiingsmetodes word ook op 'n klein skaal dwarsoor Suid-Afrika toegepas. Hierdie metode wissel van leivore waarin of waarnaas gewasse (byvoorbeeld bome) geplant is, tot kort voortjies en beddings waarin groente en groenvoer verbou word. Verskeie voorbeelde van hierdie stelsels word aangetref waar groente in klein beddings in dorpe of op plase verbou word soos in Figuur 3.1 aangedui word.

Beddingbesproeiing word op ongeveer 47 persent van alle vloedbesproeide gronde in Suid-Afrika toegepas. Dit is dus verreweg die belangrikste metode van vloedbesproeiing. Voortjiebesproeiing (11 persent) en boom- en bakbesproeiing (12,5 persent) is ook relatief belangrik. Voortjiebesproeiing hou waarskynlik groot moontlikhede vir verdere ontwikkeling in aangesien dit by gemeganiseerde boerderypraktyke, sowel as by die kleinboer of kommunale besproeiingsprojekte, aangepas kan word.



Figuur 3.1 Voorbeeld van besproeiing in klein beddings

Dit kan ook suksesvol op vlakker gronde teen skuinste toegepas word, en kan dus in die toekoms die ongeveer 8 persent van die vloedsproeiingstelsels wat op die Potch-stelsel gebaseer is, vervang.

Die volgende prioriteite geld dus by die opstel van gerekenariseerde ontwerpprosedures, naamlik:

- i) prioriteit 1: Beddingbesproeiing.
- ii) prioriteit 2: Voortjiebesproeiing.
- iii) prioriteit 3: Boom- en bakbesproeiing.
- iv) prioriteit 4: Saaidamstelsels.

3.4 PROSEDURES EN TEGNIEKE WAT VOOR 1990 IN DIE RSA VIR DIE ONTWERP VAN VLOEDBESPROEIINGSTELSELS TOEGEPAS IS.

In Tabel 3.3 word die verskillende ontwerpprosedures wat voor 1990 by vloedsproeiingstelsels in Suid-Afrika toegepas is, weergegee.

In Tabel 3.3 word die verskillende ontwerpprosedures wat voor 1990 by vloedbesproeiingstelsels in Suid-Afrika toegepas is, weergegee.

Tabel 3.3 Ontwerpprosedures en -tegnieke wat voor 1990 in die RSA vir vloedbesproeiing toegepas is.

	TIPE BESPROEIING	EMPIRIES	VOLUME- BALANS	HIDRO- DINAMIES
WATERVER- SPREIDINGS- ONTWERP	Bedding	vd Ryst (1980)	Shockley <i>et al.</i> (1964) Badenhorst (1973) *van Heerden (1987)	Kruger (1989) m.b.v. Simulerings- modelle *Borderflow (Strelkoff, 1985)
	Voortjie- besproeiing	SA Suiker Vereniging SCS Furrow *Furrow EXE	-	-
	Boom & Bak	-	-	-
	Bak	-	-	-
	Potch stelsel	-	-	-
WATER- AANVOER- ONTWERP	"Wild flooding" klein waterpas beddings en vore (byvoorbeeld kort vore)	-	-	-

*Gerekenariseerde prosedures

3.5 TOESTANDE IN SUID-AFRIKA

Paragraaf 2.3.4 verwys spesifiek na die kategorisering van besproeiingspraktyke soos dit op grondvlak deur operateurs in hul eie styl bedryf word, asook die ontwerpteorieë wat by die verskillende kategorieë betrokke mag wees. In Suid-Afrika kom 'n hele aantal plaaslike faktore voor wat 'n invloed op die stelselhidroulika mag hê. 'n Deeglike kennis van sulke faktore is 'n voorvereiste wanneer 'n waardebeoordeling van ontwerpprosedures onder plaaslike toestande gemaak moet word.

3.5.1 Faktore wat die stelselhidroulika indirek kan beïnvloed

Die volgende faktore kan 'n indirekte invloed op die stelselhidroulika hê, naamlik:

i) Prioritisering van water as 'n skaars hulpbron in Suid-Afrika

Aangesien Suid-Afrika 'n semi-arië gebied is, word toenemend hoër eise ten opsigte van die doeltreffendhede van besproeiingstelsels gestel. Die bestuur van vloedbesproeiingswater geskied toenemend met inagneming van die lokale "waterdood" van 'n gebied:

- Op Vaalharts (waar die water-kwota en -voorsiening uiters beperk was) plaas boere 'n hoë premie op die doeltreffende aanwending van hul besproeiingswater. Geslote beddings word gebruik en afloop uit beddings word normaalweg nie toegelaat nie. Die wateraanvulling per besproeiing is normaalweg ook aansienlik laer as die aanvaarde toelaatbare onttrekkingsyfer vir die gronde. Onderbesproeiing of "Deficit irrigation" vind dus gedurig plaas. Reënval word dus beter benut, en die wateraanvraagstelsel kan beter binne die skeduleringsprogram geakkommodeer word. As gevolg van die wisseling in grondvogspanning wat tydens opeenvolgende besproeiings voorkom, lei die beddings "stadiger" of "vinniger" vanweë 'n laer of hoër netto energievloei in die sisteem. Uit 'n ontwerpoogpunt gesien moet voorsiening gemaak word vir variasies in beide die infiltrasietempo en die toediening self. Uit 'n bestuursoogpunt gesien is die afsnytyd dus nie konstant nie, en sal 'n tydbeheerde afsnystelsel dus onprakties wees. Die afsny-afstand sal ook wissel en daar moet dus op die operateur staat gemaak word om die korrekte afsnypunt van die stroom te bepaal.

- Geleentheidsbesproeiing kom in verskeie droër gebiede in Suid-Afrika voor. Normaalweg word 'n opgaardam of uitkeerstruktuur gebruik om reën of vloedwaters op te gaar of uit te keer. Vloedbesproeide groenvoer (byvoorbeeld lusern of hawer) word as strategiese reserve voer verbou om voertekorte tydens droë tydperke te oorbrug. Die doeltreffendheid van besproeiing is belangrik, maar is sekondêr tydens die benutting van geleentheidswater wat andersins vir die betrokke boer verlore sou gaan. Die ontwerp van die stelsel wentel rondom die strategiese lewensvatbaarheid van die stelsel. Swakker gronde en afwerking van die besproeiingsoppervlak met laer doeltreffendheid, mag aangewese oplossings bied om kostes laag te hou.
- Ontwikkelingsprogramme waar voedselverskaffing en werkskepping voorrang geniet, mag prioriteite in 'n streek domineer. Kommunale of kleinboerbesproeiingsprojekte kan as tipiese voorbeelde onderskei word. Die doeltreffendheid van die besproeiingstelsel ten opsigte van die benutting van water, arbeid, meganisasie en produksie raak dan sekondêr. Daar word dus terugbeweeg na watervoorsiening as 'n hoogste prioriteit. By sulke stelsels raak die werklike ontwerp van waterverspreidingstelsels in 'n groot mate irrelevant vanweë die klein bakke, beddings of vore wat besproei word. Die klem val hier meer daarop dat die doeltreffendheid deur middel van bestuur en opleiding beheer word. Sulke programme is sosiaal-wetenskaplik gerig, en streef na doelwitte wat buite die vloedbesproeiingswetenskap val.

ii) Toerusting en logistieke vermoë

- **Waterbeheer:** Toerusting vir wateraanvoer en -verspreiding is nie algemeen in Suid-Afrika te koop nie. Een van die redes is dat relatief groot stroomgroottes gebruik word wat die koste van sulke toerusting buitensporig hoog maak (byvoorbeeld, groot sluispype). Hoewel sommige boere self toerusting vervaardig of laat vervaardig, is ontwerpe van vloedbesproeiingstelsels in Suid-Afrika meestal beperk tot arbeidsintensiewe waterbeheermetodes. Die ontwerper moet dus rekening hou met die tempo waarteen die operateur die water kan beheer. Dit is van uiterste belang dat die ontwerp hidroulies aangepas moet word, veral in die geval van gronde met 'n hoë infiltrasie, waar daar met groot stroomgroottes en kort afsny-tye gewerk word.

- **Konstruksievermoë:** In teenstelling met sprinkelbesproeiingsisteme, waar voorafvervaardigde tegnologie in die handel beskikbaar is, skep boere hul eie hidrouliese geleiers vir 'n vloedbesproeiingstelsel. Die vermoë van die boer om sodanige konstruksie volgens spesifikasie te bou en te onderhou word in 'n groot mate deur sy logistieke vermoë bepaal. Die koste vir die konstruksie en onderhoud van so 'n stelsel hou direk verband met die graad van afwerking (van die watergeleiers) wat verlang word.

Dit is belangrik dat die ontwerper van 'n vloedbesproeiingstelsel by magte sal wees om die invloed wat afwykings (in die spesifikasies van vloedbesproeiingskonstruksie) op die stelsel se prestasie mag hê in terme van potensiële verliese, te kan kwantifiseer. Hierdie "feitelike kennis" behoort die ontwerper en die boer in staat te stel om sinvolle spesifikasies op te stel en te onderhou.

- * **Meganisasie:** By vloedbesproeiing het die meganiese werktuie, anders as by sprinkelbesproeiing, meestal 'n direkte invloed op die stelsel-hidroulika.

By beddingbesproeiing moet implemente en die beddings se wydtes by mekaar aanpas. Indien die grond bewerk word verander die infiltrasietempo direk as gevolg van bewerking. Die effek kan voor- of nadelig wees.

By voortjiebesproeiing word die wydte, spasiëring en profiel van voortjies direk deur die trekker en werktuie beïnvloed. Figuur 3.2 toon 'n tipiese voortjie-uitleg en gepaardgaande werktuie.

Die infiltrasietempo kan op verskeie maniere gemanipuleer word deur die voortjies byvoorbeeld te kompakteer of los te maak. Sodoende kan beter horisontale of vertikale waterverspreiding verkry word. Figuur 3.3 toon sommige van die toestande wat mag voorkom.

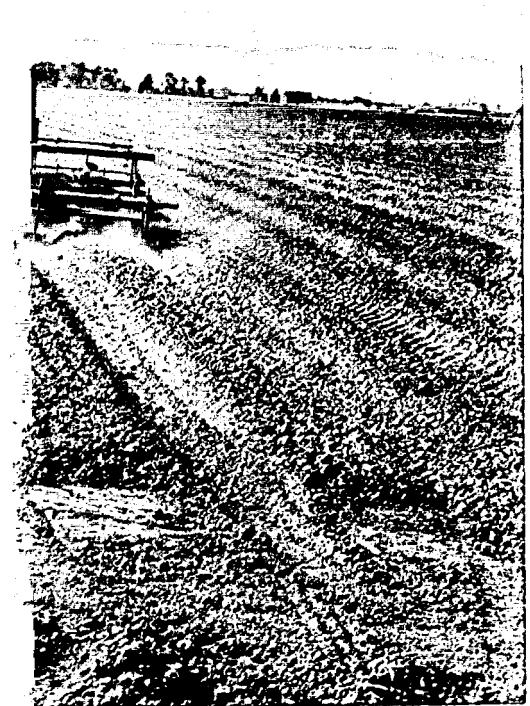
In Suid-Afrika is daar 'n algemene gebrek aan geskikte toerusting wat spesifiek vir vloedbesproeiing ontwikkel of ontwerp is. Daar bestaan byvoorbeeld nie, soos in die VSA, spesiale planters en werktuie vir byvoorbeeld voortjiebesproeiing nie. Die toepassing van bepaalde ontwerpprosedures word direk hierdeur geraak.

- * **Bestuur:** By boom- en bakstelsels (byvoorbeeld sitrusboorde) moet daar goeie sinchronisasie tussen gemeganiseerde spuitprogramme en besproeiing bestaan.

Waar trekkers en werktuie oor watergeleiers en pasbesproeide areas moet beweeg, veroorsaak dit dikwels sulke ernstige bestuursprobleme dat boere liever na ander besproeiingstelsels oorskakel. Die ontwerper behoort dus hiervoor voorsiening te maak deur tydens beplanning reeds vir toegangsroetes, spuitbane en afloopwater te voorsien.

Die ontwerpleeftyd van 'n vloedbesproeiingstelsel is waarskynlik tussen tien en vyftig jaar. Gedurende hierdie tydperk mag gewaskeuses vanweë eksterne mark- en ander faktore verander. Die ontwerper moet dus 'n spektrum van potensiële gewasse kies en dit dan ten opsigte van hul invloed op die hidrouliese stelsel se prestasie ondersoek en evalueer.

Daar behoort ook voorsiening gemaak te word vir moontlike toekomstige opgradering van waterbeheerstelsels, ens.



iingsuitleg met

VOGBEWEGING	BESPROEI
swak sywaarts Sterk sywaarts sukkel met vogindringing	

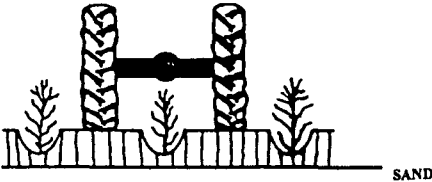
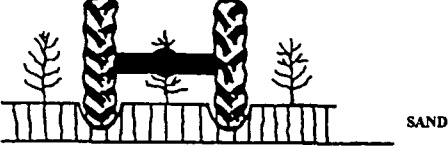
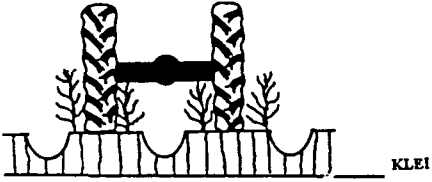
Figuur 3.3

Tipiese interaksieposisie en implementasie

Leibeurtstelsels stel soms e verskillende besproeiingske vloedbesproeiingskemas het stroomgrootte nie 'n groot invloed (3). Op sommige ander, min oorheersende rol.

3.5.2 Faktore wat 'n direkte invloed op die besproeiing het

In paragraaf 2.3.3.2 is die faktore die beheer van 'n vloedbesproeiing in 'n meerdere of mindere mate in alle verbande en numeriese tegnieke normaalweg slegs binne bepaald

VOGBEWEGING	BESPROEI / IMPLEMENT POSISIE
swak sywaarts	
Sterk sywaarts sukkel met vogindringing	
	

Figuur 3.3 Tipiese interaksie tussen infiltrasie (vogbeweging), besproeiingsposisie en implementverkeer by voortjebesproeiing

Leibeurtstelsels stel soms eiesoortige eise ten opsigte van stelselbestuur op verskillende besproeiingskemas. Die meer suksesvolle Suid-Afrikaanse vloedbesproeiingskemas het evolusionêr sodanig ontwikkel dat variasies in die stroomgrootte nie 'n groot invloed op die stelselprestasie het nie (Verwys na Volume 3). Op sommige ander, minder suksesvolle skemas, speel stroomgrootte egter 'n oorheersende rol.

3.5.2 Faktore wat 'n direkte invloed op stelselhidroulika het

In paragraaf 2.3.3.2 is die faktore wat 'n direkte invloed op die hidroulika, en dus ook op die beheer van 'n vloedbesproeiingstelsel het, genoem. Hierdie faktore word tot 'n meerdere of mindere mate in alle ontwerpe vir vloedbesproeiing gebruik. Wiskundige verbande en numeriese tegnieke wat vir ontwerp-prosedures gebruik word, geld normaalweg slegs binne bepaalde limiete. Hierdie limiete is tyd- en plekgebonde en



Figuur 3.2 'n Tipiese voortjiebesproeiingsuitleg met
gepaardgaande werktuie

geld dus nie noodwendig algemeen onder Suid-Afrikaanse toestande nie. Die belangrikste verskille tussen toestande in Suid-Afrika, en dié in die VSA, word vervolgens toegelig.

i) Infiltrasie-eienskappe:

Suid-Afrika het 'n droë en warm klimaat. Daarom verskil die geologie en grondvormingsprosesse hier van dié in die VSA. Die volgende grondeienskappe kom redelik algemeen in Suid-Afrika voor:

- * Hoë growwe kwartsfraksies.
- * Swellende kleie wat kraak, en ook porieus is.

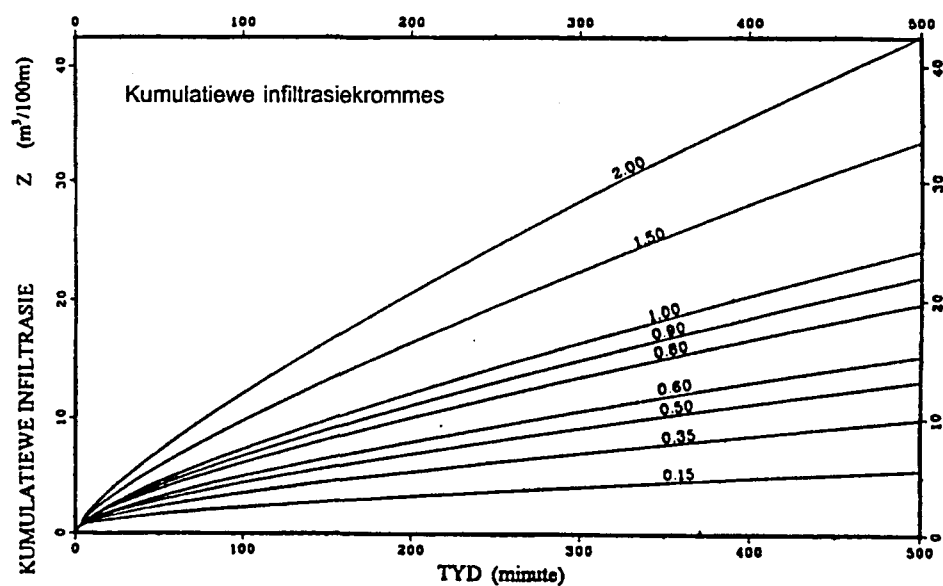
Tabel 3.4 en Figuur 3.4 toon tipiese VSA infiltrasiegegevens waarvoor die meeste oorsese ontwerpprosedures geskik is.

Tabel 3.5 en Figuur 3.5 toon infiltrasiegegevens vir tipiese Suid-Afrikaanse toestande wat deur die navorser self versamel is.

Die infiltrasietempo van Suid-Afrikaanse gronde is oor die algemeen baie hoër as dié van die VSA.

Tabel 3.4 Tipiese infiltrasies wat in die VSA gevind word

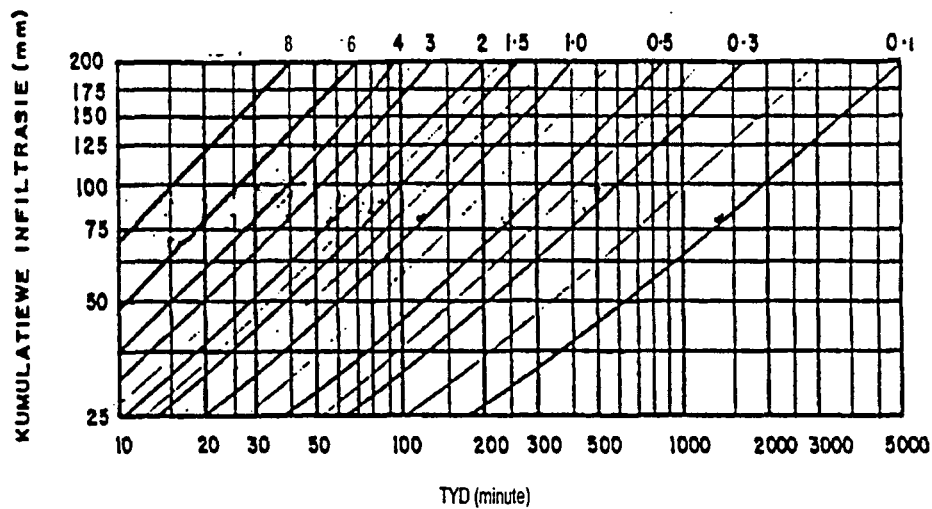
Kromme Nommer	K m/min	a	f m/min	Gemiddelde 6-uur inname tempo	Grond Tipe
0.05	0.00426	0.258	0.000022	2	Klei
0.1	0.00383	0.317	0.000035	4	Klei
0.15	0.00360	0.357	0.000046	5	Klei
0.20	0.00346	0.388	0.000057	6	Kleileem
0.25	0.00337	0.415	0.000068	7	Kleileem
0.30	0.00330	0.437	0.000078	8	Kleileem
0.35	0.00326	0.457	0.000088	9	Kleileem
0.40	0.00323	0.474	0.000098	10	Kleileem
0.45	0.00321	0.490	0.000107	12	Slik-leem
0.50	0.00320	0.504	0.000117	13	Slik-leem
0.60	0.00320	0.529	0.000136	15	Slik-leem
0.70	0.00321	0.550	0.000155	17	Slik-leem
0.80	0.00324	0.568	0.000174	20	Slik-leem
0.90	0.00328	0.584	0.000193	22	
1.00	0.00332	0.598	0.000212	25	
1.50	0.00361	0.642	0.000280	35	
2.00	0.00393	0.672	0.000339	45	



Figuur 3.4 Tipiese infiltrasies wat in die VSA gevind word

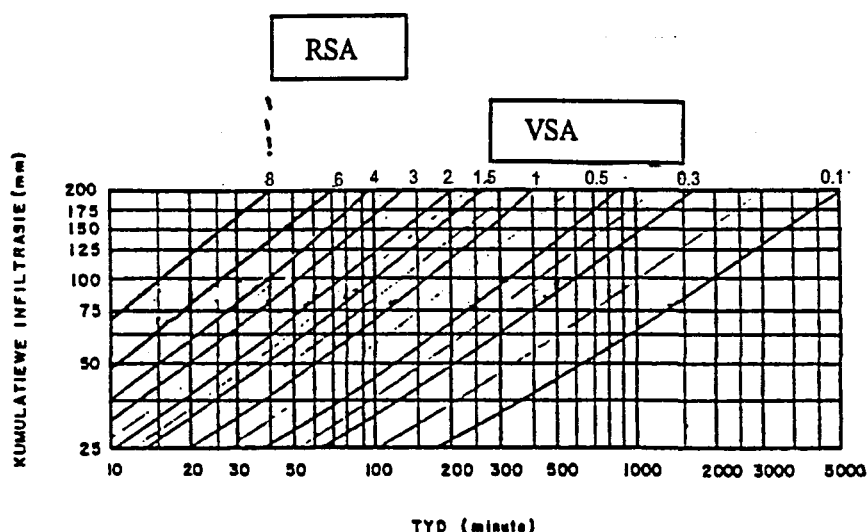
Tabel 3.5 Tipiese infiltrasies wat in die RSA gevind word

INFILTRASIEGROEP (IF)								
KLASSIFIKASIE	0.1	0.3	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0
Sterkspruit								
Wesleigh								
Longlands								
Shortlands								
Valsrivier								
Arcadia								
Cartef								
Kroonstad								
Bonheim								
Swartland								
Glenrosa								
Mayo								
Hutton								
Oakleave								
Avalon								
Clovelly								
Fernwood								



Figuur 3.5 Tipiese infiltrasies wat in die RSA gevind word

Die implikasie hiervan is dat daar in Suid-Afrika van baie korter afsnytye en groter stroomgroottes gebruik gemaak word as in die VSA. Die hidroulika wat vir stelsel-ontwerp in Suid-Afrika gebruik kan word, en derhalwe die bruikbare ontwerpprosedures, word hierdeur dikteer. Dit beïnvloed ook die wateraanvoerstelsels, bestuur en outomatiseerbaarheid van sulke stelsels. Bogenoemde word in meer detail in volumes 3 en 4 bespreek waar simulering modelle, tendense en die ontwikkeling van optimeringstegnieke behandel word.



Figuur 3.6 Gesamentlike infiltrasies van die RSA en die VSA

Suid-Afrika het waarskynlik min potensiaal vir die pulsbesproeiingskonsep, aangesien die vereiste kenmerkende veranderinge in infiltrasietempo by herhaalde benatting tot dusver nog nie hier waargeneem kon word nie.

ii) Stroomgrootte:

Tipiese stroomgroottes in Suid-Afrika wissel tussen $50 \text{ m}^3/\text{h}$ tot $300 \text{ m}^3/\text{h}$. Die mees algemene stroomgrootte, wat op vloedbesproeiingskemas aangetref word, is $100\text{--}150 \text{ m}^3/\text{h}$ (byvoorbeeld Vaalharts).

Tipiese eenheid-stroomgroottes in Suid-Afrika wissel van $10 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$ tot $70 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$. Die mees algemene stroomgrootte-eenheid is $25 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$ (byvoorbeeld op Vaalharts).

Die beskikbare stroomgroottes word deur bestuurstyl soos byvoorbeeld wateraanvraagstelsels beïnvloed. Stoordamfasiliteite word algemeen aangewend om nagwater te stoor, hoewel baie boere steeds van hul operateurs verwag om deur die nag te besproei.

Stoordamme word ook aangewend om water te stoor sodat groter leistrome vir vloedbesproeiing beskikbaar kan wees.

Leistrome is oor die algemeen nie konstant nie. Op Vaalharts wissel dit byvoorbeeld tussen 90 en 200 m³/h, terwyl 150 m³/h verlang word. Op die meeste vloedbesproeiingskemas word skommeling in stroomgroottes deur faktore soos swak stelselonderhoud, stelselbestuur en oneerlikheid veroorsaak. Dit word betwyfel of die wisseling in stroomgrootte ooit op 'n skema uitgeskakel sal kan word. Die besproeiingsoperateurs verstel meestal self die leistrome om by die "tempo" waarteen hul lei, aan te pas.

Volgens Du Rand *et al.* (1985) het die boerderygemeenskap te Vaalharts nie die pogings wat in die verlede aangewend is om die stroomgrootte konstant te hou, deur van drukbeheerde kleppe gebruik te maak, as suksesvol ervaar nie.

Die implikasie van wisselende leistrome (soos ook met wisseling in infiltrasietempo's), is dat die ontwerper in staat moet wees om die effek te kwantifiseer en sodoende die ontwerp te kan aanpas. In **Volumes 3 en 4** word meer aandag aan hierdie aspek gegee.

Die effek van stroomgrootte op die erodeerbaarheid van Suid-Afrikaanse gronde is nog nie vasgestel nie.

iii) Lengtes van beddings en voortjies.

Die beddinglengtes wat algemeen in Suid-Afrika vir vloedbesproeiing aangewend word, wissel tussen 50m en 1000m. Op Vaalharts word byvoorbeeld van 80m beddinglengtes gebruik vir koring, grondbone en lusern, terwyl 120 tot 160m beddinglengtes vir katoen en mielies gebruik word. (Beddingwydtes is dan ongeveer

6m).

In die Visriviervallei word, waar moontlik, beddinglengtes van tussen 400m en 600m gebruik. Korter beddings word egter ook gebruik om die onegalige kleiner besproeibare oppervlaktes te benut. Om uniforme toedienings te verkry word die korter beddings verbreed of platter gemaak en met kleiner eenheidstrome natgelei.

Die implikasie van bogenoemde wisseling in beddinglengtes (wat spontaan deur boere toegepas word) is weer eens dat die hidroulika daarvan deur die ontwerper gekwantifiseer sal word (Verwys weer na **Volumes 3 en 4**).

iv) Helling van beddings en voortjies.

Daar is altyd twee hellings by vloedbesproeiing ter sprake, naamlik lengte- en dwarshellings.

Terrassering word normaalweg toegepas waar groot dwarshellings voorkom, mits gronddieptes dit toelaat soos byvoorbeeld in die Visrivierskema.

Terraswydtes wissel tussen 2,5m en 50m en word deur die gronddiepte en die gewas wat verbou word bepaal. Spesiale wateraanvoer-, afloop- en toegangsfasiliteite moet normaalweg geskep word.

Lengtehellings van Suid-Afrikaanse besproeiingsgronde wissel tipies vanaf 1:100 (1 persent) tot 1:1000 (0,1 persent). Steiler hellings kom wel by voortjiebesproeiing voor, veral op stabiele gronde met ultrahoë infiltrasietempo's.

Gronde wat geskik is vir geen of klein lengtehellings, kom baie selde voor, maar sulke hellings word wel by kort vore, of by klein beddings, wat met groente beplant word, aangetref.

Op Vaalharts is hellings van tussen 1:200 tot 1:300 algemeen.

Hellings wat steiler is as 1:150 lewer gewoonlik probleme met waterverspreiding en erosie.

Plat hellings, kleiner as 1:800, vereis spesiale afwerking (byvoorbeeld laser beheerde skrapers). Hidrouliese berekeninge by baie plat hellings (en dus ook lae infiltrasietempo's) is normaalweg meer kompleks as by steil hellings.

v) Oop of geslote beddings.

In Suid-Afrika word daar, op enkele uitsonderings na, hoofsaaklik van geslote beddings gebruik gemaak.

Die rede hiervoor lê hoofsaaklik daarin dat die hergebruik van afloopwater (tailwater recovery) normaalweg nie lewensvatbaar is nie as gevolg van die hoë infiltrasietempo's, kort besproeiingstye en logistiese beperkings wat in die praktyk voorkom.

Oop beddings en voortjies bied egter unieke skeduleringsvoordele wanneer afloopwater hersirkuleer word. Sulke stelsels sal waarskynlik op sitrusproduksie in die Oos-Kaap toegepas kan word. Gedeeltelike benatting van die gronde, met droë stroke vir meganiese toerusting, kan die bestaande boom- en bakstelsels vervang. Sodoende kan die bestuursprobleme wat tans nog ten opsigte van gemeganiseerde spuitprogramme ondervind word, waarskynlik opgelos word.

vi) Vloeiweerstand

In Suid-Afrika is, met die uitsondering van hierdie onlangse navorsing, weinig ander navorsing gedoen om riglyne ten opsigte van vloeiweerstand neer te lê.

Die volgende riglyne, wat op waarnemings in die praktyk gebaseer is, word deur die navorser voorgestel, naamlik:

- Vloeiweerstand kom voor as gevolg van die vloei van water oor die grond, maar dit word ook beïnvloed deur die weerstand wat gewasse teen die vloei

van die water bied. Vloeiweerstandswaardes kan wissel vanaf $n=0.02$ op kaalgrond tot $n=0.35$ vir digbegroeide sooigewasse.

- Gewasweerstand word deur die stand en groei-geaardheid van die gewas bepaal, en is dus aan opbrengs gekoppel. 'n Tipiese waarde vir koring op Vaalharts is byvoorbeeld: Gewasweerstand=0,15 vir 'n opbrengs van ongeveer 4 ton, met ongeveer 500 halms/m² grondoppervlakte.

Boere by Vaalharts manipuleer die gewasweerstand deur byvoorbeeld in lyn met die besproeiingsrigting, of dwars daarmee, te plant. Sodoende kan die toediening by skeduleringspraktyke aangepas word. Die toediening tydens vloedbesproeiing word bepaal deur die tydsverloop wat tussen die vorderings- en afdrogingsfront voorkom. Verhoogde gewasweerstand veroorsaak 'n vertraging in beide die vorderings- en die afdrogingsfront, met die gevolg dat die resulterende afsnytyd, en dus ook die kontaktyd, verhoog word. Gevolglik word 'n verhoogde toediening verkry. Hierdie waarneming wat deur die navorser op Vaalharts gedoen is, stem ooreen met die gesimuleerde resultate van Frangmeier en Strelkoff (1979), asook gemete resultate van Linderman en Stegman (1971).

Dit blyk dus asof gewasweerstand 'n manupileerbare faktor is. Die effek wat wisselende gewasweerstand op die besproeiing kan hê, moet dus deur die ontwerper gekwantifiseer word.

Tipiese waardes vir vloeiweerstand wissel vanaf 0,03 vir fyn gladde grond tot 0,25 vir diggroeende sooigewasse.

vii) Toediening wat verlang word.

In paragraaf 2.3.3.1 word aangedui dat die ontwerpooigmerk met 'n effektiewe vloedbesproeiingsstelsel, direk gekoppel kan word aan die verlangde watertoediening, asook aan die doeltreffendheid waarmee hierdie toediening geskied. Die verlangde toediening ("desired application") kan van die maksimum potensiële besproeiingstoediening afwyk, omdat dit deur die waterhuishouding in 'n bepaalde grond/plant/klimaat-sisteem bepaal word.

Die waterhouvermoë van 'n grond bepaal die maksimum hoeveelheid water wat 'n plant kan onttrek. Maksimum toelaatbare wateronttrekking word op hierdie beginsel gegrond. Die toediening wat tydens 'n bepaalde besproeiing verkry word, is die resultaat van 'n kombinasie van al die meganismes waarmee vloedsproeiing beheer kan word (soos gedefinieer in paragraaf 2.3.3.2).

Die maksimum toelaatbare wateronttrekking wissel tussen 30mm vir sandgronde tot 200mm vir kleileemgronde. Teoreties moet hierdie toelaatbare vogonttrekking telkens tydens die groeiperiode van die plant deur middel van besproeiing aangevul word. Hierdie oogmerk is met tradisionele sprinkelbesproeiingstelsels haalbaar. Weens die komplekse aard van massa- en energiebehoudbeginsels kan hierdie oogmerk egter nie sondermeer tydens vloedsproeiing bereik word nie. Die kompleksiteit van 'n vloedsproeiingsontwerp wentel rondom die onbekende toediening wat telkens in die praktyk sal realiseer. Om dit te illustreer word die volgende voorbeelde uit die praktyk aangehaal:

Op Vaalharts word van die tradisionele norm vir die aanvulling van toelaatbare wateronttrekking afgewyk deurdát heelwat kleiner toedienings gegee word as wat teoreties benodig word. Toedienings van tussen 45 en 50mm word byvoorbeeld op koring gegee, terwyl die toelaatbare wateronttrekking tussen 70 en 100mm is. Op mielies word toedienings van 30 tot 35mm gegee, terwyl die toelaatbare vogonttrekking waarskynlik ook in die orde van tussen 70 en 90mm is. (Die effek hiervan op stelseldoeltreffendheid word in **Volumes 3 en 4** bespreek).

Die volgende tipiese toedienings kom algemeen in ander gebiede voor, naamlik:

- * In die Visriviervallei word 100 tot 150mm op lusernlande toegedien teenoor slegs 50 tot 60mm op mielies (laasgenoemde kom voor as gevolg van die variasie in die vloeiweerstand). Die teoretiese besproeiingsaanvulling wissel tussen 100 en 150mm vir beide gewasse. Hierdie ontwerp lewer dus die korrekte toediening vir lusern, maar nie vir mielies nie.
- * In die laer Oranjeriviergebied wissel toedienings op lusern tussen 150 en 250mm as gevolg van 'n oneffektiewe afsnysisteen. Die teoretiese

besproeiingsaanvulling vir lusern onder hierdie omstandighede is ongeveer 150mm . Oorbesproeiing vind plaas deurdat die operateur nie betyds besef dat die water afgesny moet word nie, aangesien die vorderingsfront op daardie tydstip baie stadig beweeg. Op raaigras word toedienings van 150mm gegee (as gevolg van te lang beddings). Die teoretiese besproeiingsaanvulling wissel tussen ongeveer 35 en 50mm. Oorbesproeiing vind plaas omdat die water te lank neem om die onderpunt van die bedding te bereik, te laat afgesny word en dus te lank in kontak met die grond is. Op dieselfde bedding sou 'n gewas soos lusern, waarvoor die stelsel aanvanklik ontwerp is, die groter toediening effektief kon benut.

- * By die Rietrivierskema word 70 tot 120mm op koring toegedien. Hierdie toediening word deur die grondbewerkingstelsel bepaal. Die teoretiese besproeiingsaanvulling is ongeveer 80mm. As gevolg van diep grondbewerking word die porositeit, waterhouvermoë, grondwaterspanning en infiltrasie-eienskappe van die grond tydelik verander. Tydens die eerste paar besproeiings vind groot toedienings met gepaardgaande oorbesproeiing plaas. Later in die seisoen, wanneer die gewas in 'n piek waterbehoefte het, is die grond normaalweg in so 'n mate gekonsolideer dat laer toedienings as wat teoreties verlang word, algemeen voorkom. Daar kan gevolglik nie op hierdie stadium effektief aan die plant se waterbehoefte voldoen word nie.

Uit bogenoemde voorbeelde is dit duidelik dat die toediening wat in die praktyk gedoen word, verskil van die teoreties beplande toediening. Die besproeiingsoperateur het dus in die praktyk min, indien enige, beheer oor die toediening wat uiteindelik verkry word. Die ontwerper van die stelsel moet dus sorg dra dat die beginsels van massa- en energiebehoud so gekwantifiseer word, dat die toediening in die praktyk binne praktiese aanvaarbare grense sal geskied.

viii) Afsnytyd:

In Suid-Afrika word die afsnystadium van bykans alle vloed-besproeiingstelsels bepaal deur die afstand wat die vorderingsfront voltooi het.

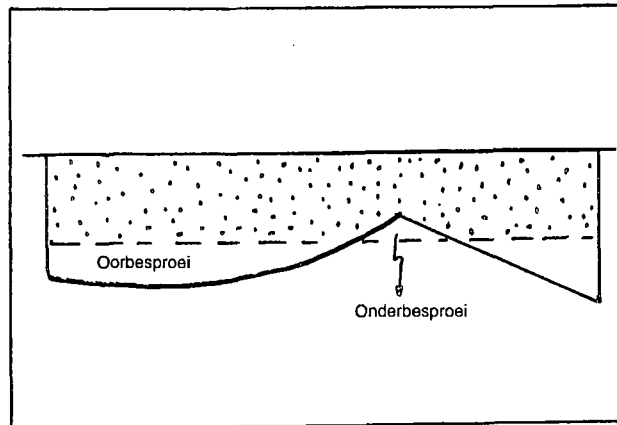
Die hele vloedbesproeiingsbedryf, op enkele uitsonderings na, is arbeidsintensief. Die operateurs het oor die jare hul eie kuns ontwikkel om water te lei. Aangesien dit onnodig of onprakties was om die afsnytyd as bestuursmaatreël te gebruik, word die teoretiesbepaalde afsnytyd nie gebruik nie. Wanneer die watertoevoer met behulp van grondvore, grawe of hewelpype beheer word, is dit in elk geval moeilik om die afsnytyd met behulp van 'n horlosie te beheer omdat dit van 'n half minuut tot 2 minute kan neem om die stroom fisies af te sny.

Die afsnytye wat algemeen in Suid-Afrika gebruik word, wissel tussen 9 en 50 minute. Dit staan in skrilte kontras met die afsnytye van tot 36 uur wat algemeen op gronde met 'n lae infiltrasietempo in die VSA voorkom. In die VSA word die afsnystadium van die watertoevoer soms ge-outomatiseer. Dit word gedoen omdat relatief klein (100 tot 150mm deursnit) pype, toegerus met plastiese of metaalsluisies (20 tot 50mm deursnit), gebruik word om water na die beddings of vore aan te voer. Die outomatisering van watertoevoer met behulp van tydskakelaars en sluispype behoort nie as sulks in Suid-Afrika 'n probleem te wees nie. Vanweë die groot stroomgroottes word groot pype (300 tot 400mm deursnit) met groot sluise (100 tot 200mm deursnit) egter benodig. Hierdeur word daar egter logistieke, asook kosteprobleme veroorsaak en pogings om hierdie praktyk in Suid-Afrika te implementeer was tot dusver nog onsuksesvol. Die behoefte aan kwantifiseerbare ontwerpinsigting word weer eens beklemtoon.

ix) Doeltreffendhede:

a) **Doeltreffendheid van verspreiding:**

By vloedbesproeiing is die verspreidingsdoeltreffendhede normaalweg naby 90 persent vir goed voorbereide individuele beddings. Op Vaalharts, waar sommige beddings met 'n geslote onderpunt op hellings van tussen 1/100 en 1/200 besproei word, kom onderbesproeiing tipies op tussen 50 persent en 90 persent van die beddinglengte voor. Hierdie toestand word in Figuur 3.7 getoon.



Figuur 3.7 Tipiese onderbesproeiing op beddings met geslote onderpunte

Die totale verspreidingsdoeltreffendheid vir 'n groot aantal beddings by Vaalharts mag, vanweë die uniforme toestande wat daar verkry word, in die omgewing van 85 persent tot 90 persent wees.

In die Potchefstroom omgewing, waar onbegrenste vakke uit 'n voortjie natgelei word, is verspreidingsdoeltreffendhede van tussen 50 en 90 persent waargeneem. Figuur 3.8 toon 'n tipiese swak verspreidings- doeltreffendheid waar 'n wins op die gewasverbouing kwalik realiseerbaar is.



Figuur 3.8 Swak verspreidingsdoeltreffendheid as gevolg van onbeheerste vloedbesproeiingstegnieke

b) Doeltreffendheid van aanvulling:

'n Teoretiese aanvullingsdoeltreffendheid van minstens 98 tot 100 persent word vereis wanneer verskillende ontwerpe met mekaar vergelyk moet word (sien beredenerings in **Volume 3**).

Op Vaalharts word aanvullingsdoeltreffendhede van tussen 30 en 100 persent in die praktyk verkry. Tydens projek OVH-77 van die destydse Departement van Landbou, was daar in slegs 55 persent van die gevalle 'n gemiddelde aanvullingsdoeltreffendheid van meer as 80 persent gemeet (Du Rand et al. 1985).

In die laer Oranjeriviergebied is gevalle gemeet wat totaal oorbesproei is vanweë 'n ontwerp/bestuursprobleem soos dit onder paragraaf 3.5.2 (*vii Toediening verlang*) bespreek is. In die geval van oorbesproeiing is die aanvullingsdoeltreffendheid meer as 100 persent indien die verspreidingdoeltreffendheid hoog is.

c) Doeltreffendheid van toediening:

By Vaalharts wissel tipiese toedieningsdoeltreffendhede op individuele beddings tussen 40 persent en 100 persent. Lae toedieningsdoeltreffendhede word verkry indien die verlangde toediening redelik klein is (byvoorbeeld 20mm), terwyl in die praktyk 'n veel groter toediening realiseer (byvoorbeeld 45mm). Sulke toestande word tipies aan die begin van 'n seisoen ervaar wanneer die gewas gereelde ligte besproeiings vir goeie vestiging benodig. Aangesien daar oor die algemeen op Vaalharts onderbesproei word, word al die water normaalweg binne die wortelsone geplaas. Vaalharts se stelseldoeltreffendheid vir watertoediening word deur Du Rand en Kruger (1991) op ongeveer 70 persent geraam. Dieselfde outeurs beraam dat, vir die res van Suid-Afrika, 'n stelseldoeltreffendheid vir watertoediening van ongeveer 55 persent geld.

3.5.3 Faktore wat die toepassing van stelselhidroulika in Suid-Afrika beïnvloed

i) Gebrekkige vakkundige kennis:

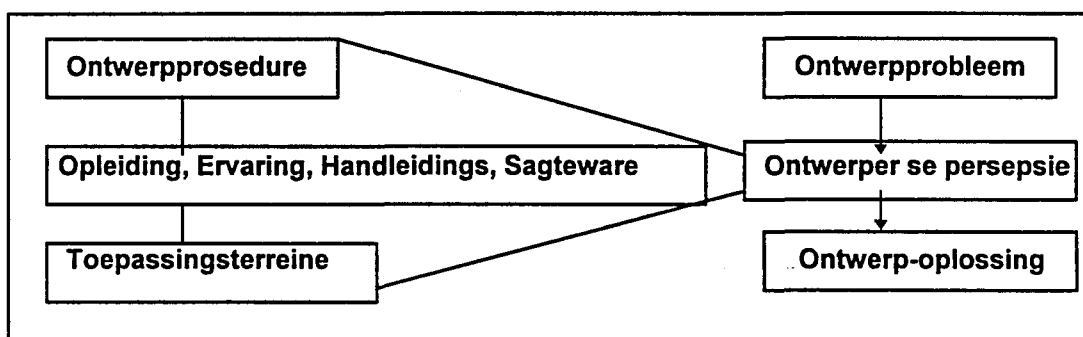
Daar is 'n verband tussen die opleiding, beskikbare ontwerpinligting, die ervaring van die ontwerper, en die wyse waarop die ontwerpprobleme ervaar en opgelos word.

Tegnologie wat vir vloedbesproeiingsontwerp aangewend word, is aan die een kant

duisende jare oud, en andersyds 'n nuwe ontdekkingservaring vir navorsers wat by hierdie besproeiingsmetode betrokke is. Ontwerpprosedures wat tot onlangs as wetenskaplik korrek beskou was byvoorbeeld Shockley *et al.* (1964) of Badenhorst (1973) is met behulp van simuleringsstudies verkeerd bewys en die status daarvan het dus verlaag tot die vlak van foutiewe toepassing van die wetenskap.

In Suid-Afrika word 'n gebrek aan vakkundige kennis op die gebied van vloedbesproeiing algemeen ondervind. Hoewel simuleringsmodelle tans algemeen beskikbaar is, is daar slegs enkele persone wat daarby baat vind. Onsekerheid oor die bepaling van modelinsette, en dus die geloofwaardigheid van antwoorde, word in die praktyk ervaar. Sommige beamptes glo weer dat enige "antwoord" van die simuleringsmodel wat hul praktiese ervaring "bevestig", goed genoeg is vir 'n ontwerp. Hulle kleef onbewustelik steeds aan empiriese ontwerpvoorskrifte soos dit deur Van der Ryst (1980) beskryf is.

In Figuur 3.9 word die verband tussen die ontwerpprosedures wat gevolg word, die ontwerp (en ontwerpprobleem) en die ontwerperspersepsies skematies voorgestel. Volgens hierdie skematiese voorstelling is die persepsie van die ontwerper altyd beperk tot sy opleiding, ervaring en die beskikbare ontwerphulpmiddels. Die implikasie hiervan is dat 'n ontwerper in die praktyk doelbewus heropgelei moet word om 'n verandering in tegnologie (soos in die geval van vloedbesproeiing) as wetenskaplik en geloofwaardig te aanvaar. So word 'n nuwe persepsie gevorm. Hierdie nuwe persepsie vorm dan die platform vanwaar die ontwerpprobleem nuut ervaar en opgelos word. Volume 4 brei verder op hierdie aspek uit.



Figuur 3.9 Skematiese voorstelling van die rol van ontwerper se persepsie in die oplossing van 'n ontwerpprobleem

ii) Ontwerpkoste van vloedsproeiingstelsels.

In Suid-Afrika is daar relatief min eenvormige groot "blokke" grond wat geskik is vir vloedsproeiing. In die meeste gevalle word nuwe ontwerpe op klein landjies met wisselende grondtipes gedoen. Dit is dus onmoontlik om uitgebreide ontwerpondersoeke ter plaatse te onderneem om 'n ontwerp te doen.

TABEL 3.6 Tipiese gemiddelde ontwerpkoste (1993/94) vir vloedsproeiingstelsels

STELSELOPPERVLAK	R/5ha	R/20ha	R/80ha
Reis en verblyf	500	1000	2000
ONTWERP:			
Onderhoud: boer	200	250	300
Infiltrasiemetings	480	720	1440
Opmeting	360	960	1920
Ontwerp en optimering	600	960	1920
Planne en spesifikasie	500	800	1200
Uitlê van stelsel	360	500	1000
Nasorg	360	720	1000
TOTALE KOSTE (RAND)	3360	5910	10780
TOTALE KOSTE (Rand per hektaar)	672	296	135

Tabel 3.6 toon tipiese gemiddelde ontwerpkostes van vloedsproeiings-stelsels in die RSA soos dit in 1993/94 deur die navorser bereken is.

Die tipiese stelselgroottes mag tussen 5ha en 100ha wissel, met 'n gemiddeld van ongeveer 20ha. Indien 'n ontwerper R250 per dag aan reis en verblyf sou bestee en teen heersende uurlikse tariewe van ongeveer R120/h (8 uur per dag) werk, kan die ontwerpkoste soos in Tabel 3.6 weergegee, gekwantifiseer word.

Uit Tabel 3.6 is dit duidelik dat die heersende tegniek om stelsels van 20ha en kleiner te ontwerp, onekonomiese hoë ontwerpkoste weerspieël. (Meer as 10 persent van die stelselkoste). Om ontwerpkoste in toom te hou word 'n analitiese ontwerpproses benodig. Hierdie proses moet toegepas kan word deur slegs enkele praktiese metings te doen om die fisiese insette vir die ontwerpproses te bepaal (opmeting en

infiltrasie). Bestuursgekoppelde insette kan deur onderhoudvoering met die boer bepaal word. Bogenoemde insette kan ter plaatse in 'n gerekenariseerde ontwerpprogram ingelees word. 'n Geskikte ontwerp kan in die teenwoordigheid van die boer geselekteer word (na bespreking) en uitgedruk word op 'n gestandaardiseerde ontwerpverslag wat verkieslik ook van die nodige bestuursriglyne voorsien moet word. Die uitleg van die stelsel kan onmiddellik hierna gedoen word, waarna die boer met die konstruksie kan begin.

Dieselfde redenasie geld ook wanneer bestaande besproeiingstelsels opgegradeer word. Ontwerpkoste moet beperk word deur praktiese stelsevaluering aan te vul met 'n analitiese optimering van die stelsel wat herontwerp moet word.

Hoe kleiner die stelsel is wat ontwerp word, hoe noodsaakliker raak die "een-stop-diens" konsep. 'n Ontwerper wat toegerus is met die nodige meetapparaat en 'n mobiele rekenaar/drukker met 'n optimeringsagteware- pakket, behoort 'n 5ha stelsel binne een dag te kan afhandel. Sodoende kan die ontwerpkoste tot ongeveer R225/ha beperk word.

iii) Geloofwaardigheid van die ontwerpresultate.

'n Ongeloofwaardige ontwerpprocedure sal beperkte toepassing in die praktyk vind. 'n Tipiese voorbeeld van so 'n procedure is die toepassing van die resultate van 'n simuleringsmodel as ontwerp hulpmiddel. Daar is tans geen gestandariseerde metode waarop die insette vir simuleringsmodelle bepaal word of waarop die simuleringsmodel vir ontwerpdoeleindes aangewend word nie. Gevolglik kan verskillende ontwerpers by verskillende stelselontwerpe uitkom sonder dat daar enige verklaarbare verskille in hul uitgangspunte ten opsigte van ontwerp is. (Die redes hiervoor word in **Volume 3** breedvoerig bespreek.)

Hoewel simuleringsmodelle binne 'n bepaalde foutlimiet 'n korrekte oplossing van die hidrouliese verband tussen die betrokke faktore lewer, word die vertolking van die resultaat nie voorgeskryf nie. So is dit moontlik dat dieselfde ontwerp wat deur verskillende ontwerpers gedoen is, nie noodwendig met mekaar ooreen sal stem nie, tensy die ontwerpers genoeg simulerings doen om 'n statistiese verband tussen die

onderhewige faktore te kan bepaal, deur byvoorbeeld 'n spektrum van moontlike oplossings te optimeer.

Ontwerpers in die Departement van Landbou, wat simuleringsmodelle as hulpmiddel gebruik, is dus nog steeds onseker oor die korrektheid van die ontwerp wat verkry word. Die "ontwerpprosedure" is dus ongeloofwaardig en lei daartoe dat dit slegs op 'n baie beperkte skaal toegepas word. Gevolglik word 'n goeie hulpmiddel waarmee stelselhidroulika gekwantifiseer kan word, nie algemeen toegepas nie.

3.6 VEREISTES WAT AAN 'N ONTWERPPROSEDURE VIR SUID-AFRIKAANSE TOESTANDE GESTEL WORD

Die voorafgaande agtergrondstelling, literatuurverwysings en -beredenering kan saamgevat word deur die volgende vereistes vir 'n ontwerpprosedure vir Suid-Afrikaanse toestande daar te stel, naamlik:

- **Kliënt se vereiste:**

Die kliënt se vereiste sentreer rondom die verband tussen die ekonomiese en tegniese prestasie van die stelsel. Die besproeiingstelsel is vir die kliënt slegs 'n produksiehulpbron. Die koste van die stelsel (kapitaal en bedryfskoste - waarby ontwerp-koste ingesluit is) moet te alle tye teen die resultate wat die kliënt verlang opgeweeg word ten einde winsgewend te kan produseer.

Bestuur- en bedryfsrisiko's moet op 'n aanvaarbare vlak wees. Die operateur (waterleier) moet ook die stelsel binne die voorafbeplande limiete kan laat presteer met die vlak van tegnologie wat beskikbaar is.

- **Ontwerpersvereiste:**

Die ontwerper se vereiste aan 'n geskikte ontwerpprosedure sentreer rondom die verband tussen ontwerp-koste en die dilemma van aanspreeklikheid.

Die ontwerp moet koste-effektief afgehandel kan word. Die ontwerpprosedure moet dus gebruikersvriendelik wees en, soos hierbo genoem, aanpasbaar wees by verskillende stelselgroottes.

Die ontwerper moet die nodige vertroue by sy kliënt skep dat die stelsel, indien dit korrek bestuur sou word, met redelike waarskynlikheid binne voorafbepaalde limiete sal kan presteer. Die ontwerpprosedure moet dus wetenskaplik fundeer wees.

Vereistes wat aan 'n wetenskaplik fundeerbare ontwerpprosedure gestel word:

'n Wetenskaplik fundeerbare ontwerpprosedure is 'n prosedure wat uit 'n aantal tegnieke bestaan wat op 'n voorafbepaalde wyse benut word (Odendaal (red.), 1991).

Die volgende kenmerke kan geïdentifiseer word wanneer bostaande tegnieke op die probleem van vloedbesproeiingsontwerp toegepas word:

- * Daar moet gestandaardiseerde meettegnieke wees waarmee ontwerpinsette in die veld of elders bepaal kan word.

Hierdie insette behels die volgende:

- i) Infiltrasie-eienskappe
 - ii) Helling
 - iii) Lengte
 - iv) Beddingwydte
 - v) Beskikbare stroomgrootte
 - vi) Vloeiweerstandswaardes vir moontlike gewasse in verskillende groeistadiums
 - vii) Invloed van meganisasie op infiltrasie en stelseluitleg
 - viii) Waterbeheer
 - ix) Moontlike stelselbestuur en -voorkeure
- * Gestandaardiseerde prosedures waarmee die optimale verband/e tussen die faktore wat by vloedbesproeiing betrokke is, bepaal kan word.
 - * Herhaalbaarheid van resultate, waardeur dieselfde antwoorde deur meer as een ontwerper met behulp van die gestandaardiseerde prosedures verkry kan word.

- * Slegs kwantifiseerbare of meetbare ervaring kan dien as aanvulling tot die gestandaardiseerde ontwerpprocedure.
- * Soos in **Hoofstuk 2; gedeelte 2.2** en veral paragraaf 2.2.1 beredeneer is, moet die resultaat van die ontwerpte stelsel in beide teorie en praktyk met wetenskaplik-aanvaarbare, etiese verantwoordbare en volhoubare benutting van hulpbronne strook.
- * **Hoofstuk 5** word die vereistes wat hier genoem word tot 'n eietydse norm verwerk. Daarmee kan 'n kritiese evaluering van ontwerpprosedures vir vloedbesproeiing plaasvind.

HOOFSTUK 4

DIE REKENARISEERBAARHEID VAN 'N ONTWERPPROSEDURE

4.1 INLEIDING

Die hoofdoel van hierdie navorsingsprojek was om bestaande ontwerpprosedures vir vloedbesproeiing krities te evalueer met die oog op die rekenarisering van 'n geskikte ontwerpprocedure. Norme moes dus ondersoek word om die rekenariseerbaarheid van 'n prosedure te kon beoordeel. Die interaksie tussen die ontwerper as besluitnemer en die rekenaarprogram as besluitnemingshulpmiddel, word in **Hoofstuk 4** meer volledig beredeneer en bespreek.

4.2 DIE ROL VAN DIE REKENAAR EN REKENAARPROGRAM

'n Rekenaar beskik oor geen magiese kragte nie. Die rekenaar is volgens Van Reenen en Davel (1986) slegs 'n funksionele hulpmiddel soos 'n stroper. Dit is 'n tydbespaarder en gerieflik om te gebruik. Die outeurs van hierdie verslag sien 'n rekenaarprogram slegs as 'n resep waarvolgens die rekenaar bepaalde opdragte moet uitvoer. Die program bepaal die prosedure waarvolgens die eindproduk gelewer sal word (Van Reenen en Davel, 1986).

4.3 DIE ROL EN PROFIEL VAN DIE ONTWERPER AS BESLUITNEMER

Indien aanvaar word dat 'n rekenaarprogram slegs 'n resep is waarvolgens bepaalde berekenings en opdragte tydens 'n ontwerpproses uitgevoer word, is dit nodig om die ontwerper se rol as besluitnemer te beklemtoon. Uit die vorige hoofstukke blyk dit duidelik dat ontwerpers van vloedbesproeiingstelsels in die verlede tot 'n groot mate op hul eie ervaring en aanvoeling moes staatmaak omdat analitiese ontwerpe op daardie stadiums nog nie moontlik was nie. Weens die komplekse aard van 'n vloedbesproeiingsontwerp kan aanvaar word dat die besluitnemingsrol van die ontwerper steeds belangrik sal bly. Wanneer die rekenariseerbaarheid van 'n bepaalde

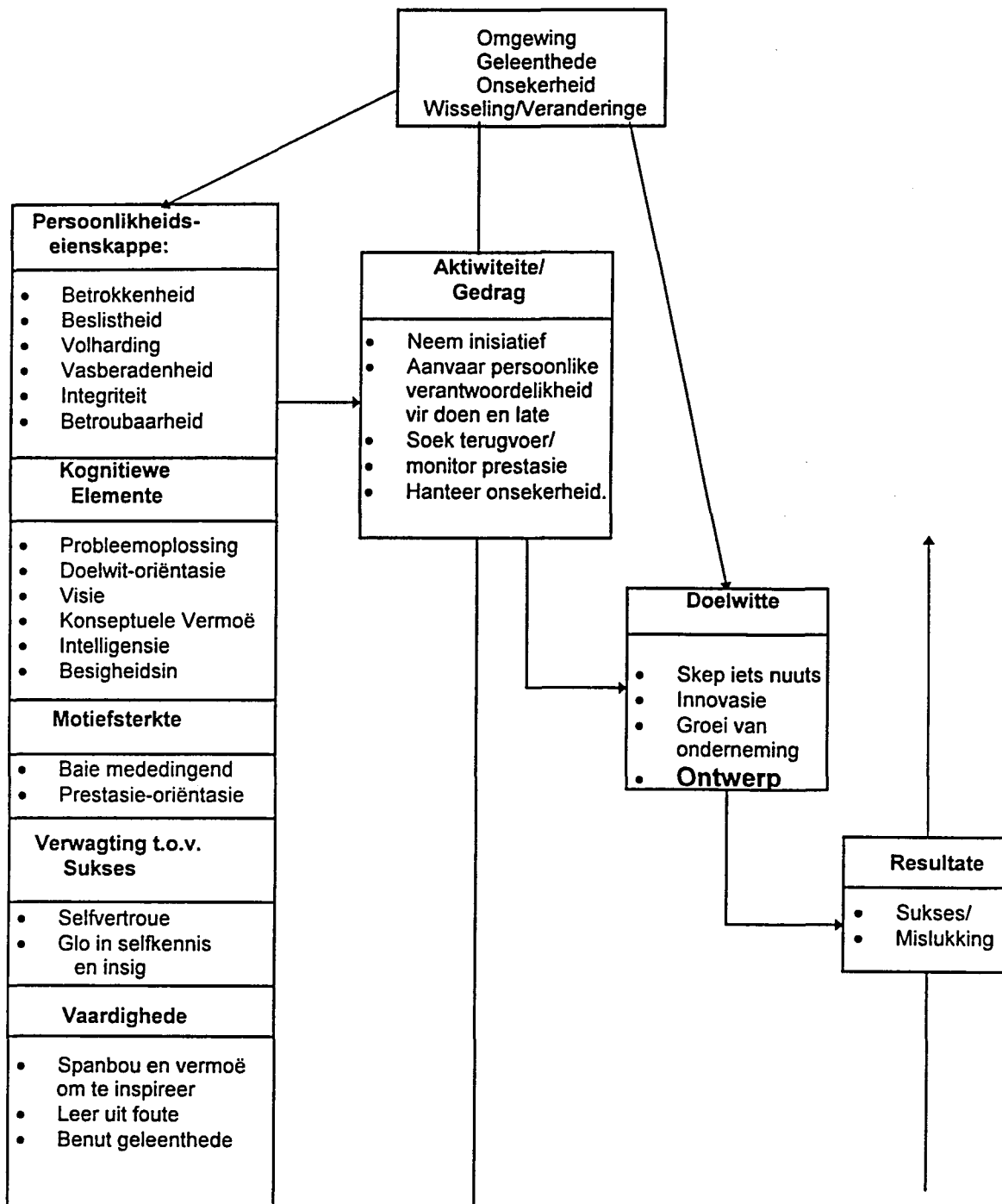
ontwerpprosedure dus krities ge-evalueer word, moet die besluitnemingsprosesse waaraan die ontwerper blootgestel word, van naderby beskou word.

By die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels is dit aanvaarde beleid dat die ontwerp op 'n reeks besluite, wat op grond van berekende risiko's geneem moet word, sal steun. Die ontwerper skep dus 'n nuwe besproeiingstelsel deur innovasie, ervaring en ingenieurskundige kennis aktief op 'n bepaalde ontwerpprobleem te fokus. Die ontwerper voldoen dus by uitstek aan die beskrywing van die basiese psigologiese eienskappe van 'n entrepreneur soos weergegee deur Coetsee (1992), wat skematies in Figuur 4.1 voorgestel word.

4.4 PROGRAMMEERBAARHEID VAN BESLUIE BY VLOEDBESPROEIINGS-ONTWERP

Die ontwerper is by uitstek 'n besluitnemer. In Hoofstuk 2 paragraaf 2.2.1 is aangedui hoe dat behoefte-gedrewe ontwikkeling telkens in die verlede in die geval van vloedbesproeiing plaasgevind het. Vloedbesproeiingstelsels is ontwerp en ontwikkel ten spyte daarvan dat dit 'n uiters komplekse besproeiingsmetode is, (paragraaf 2.2.2), en dat daar 'n historiese gebrek aan ontwerpnorme in Suid-Afrika was (paragraaf 2.2.6).

Ontwerpers van vloedbesproeiingstelsels is in wese risiko-besluitnemers. Die graad van risiko-neming of risiko-vermyding hang van die persoonlikheidseienskappe, omgewing, aktiewe gedrag en doelwitte van die spesifieke ontwerper af. Sommige ontwerpers sal waarskynlik die kliënt aanraai om 'n alternatiewe besproeiingstelsel te laat installeer, eerder as om risiko's met 'n vloedbesproeiingstelsel te hanteer.



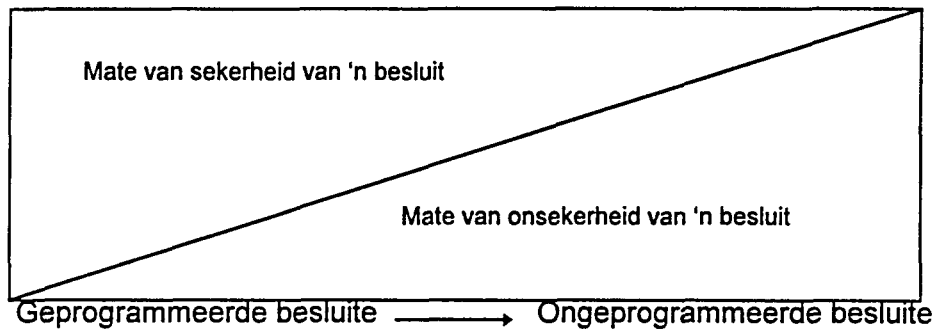
Figuur 4.1 Die psigologiese eienskappe van ontwerpers (gewysig uit Coetsee, 1992).

'n Rekenaarprogram is slegs, soos hierbo genoem, 'n resep of hulpmiddel.

Daar bestaan dus die gevaar dat 'n gerekenariseerde ontwerpprocedure op 'n onprogrammeerbare besluitnemingsgebied (soos die ontwerp van

vloedbesproeiing in Suid-Afrika in die verlede was), afgedwing kan word. Hierdeur kan dit gebeur dat die ontwerper van sy individuele besluitnemingsvermoë, waarmee risiko's op die gebied van vloedbesproeiing hanteer kan word, gestroop word.

Die verwantskap tussen die mate waartoe sekerheid oor besluitneming verkry kan word, en die programmeerbaarheid van so 'n besluit, word in Figuur 4.2 aangetoon (Van Niekerk, 1987).



Figuur 4.2 Die programmeerbaarheid van besluitneming (Van Niekerk, 1987).

Indien geprogrammeerde besluite op die probleem van vloedbesproeiing toegepas word, kan dit soos volg gedefinieer word:

- * Geprogrammeerde besluite word op grond van 'n sistematiese wetenskaplik gefundeerde prosedure geneem.
- * Ongeprogrammeerde besluite word uniek en ongestruktureerd op grond van ervaring, ingenieurskundige kennis en berekende risiko geneem.

Hoofstuk 2 se beredenering toon onteenseglik dat daar in die verlede tydens die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels sterk op ongeprogrammeerde besluit-nemings gesteun moes word om voorsiening te maak vir wisselende toestande wat tydens die ontwerp van 'n stelsel kon voorkom. Met die gepaardgaande onsekerheid oor die hidrouliese analise van 'n vloedbesproeiingsontwerp, word die mate waartoe dit nodig was om ongeprogrammeerde besluite te neem, nog meer beklemtoon.

In die praktyk handhaaf die meer ervare ontwerpers tereg 'n persepsie dat 'n gerekenariseerde ontwerpprocedure vir vloedbesproeiing weinig voordele bied.

4.5 ONTWIKKELING VAN DIE RASIONELE BESLUITNEMINGSPROSES AS UITGANGSPUNT VIR 'N INTERAKTIEWE REKENARISEERBARE ONTWERP-PROSEDURE

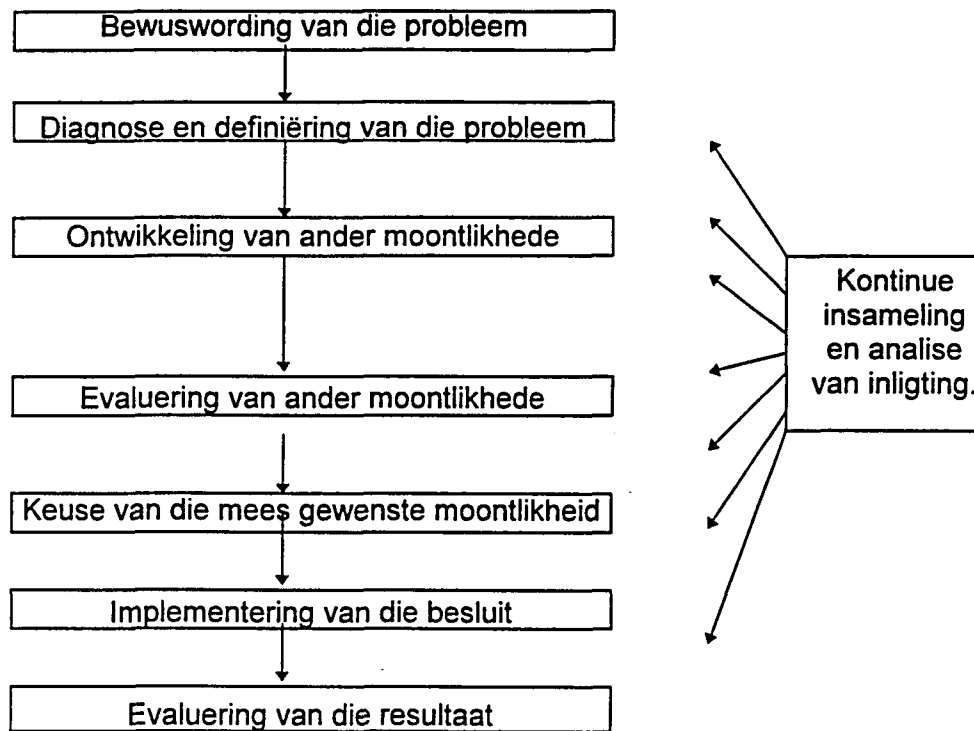
Die programmering van besluitneming tydens die ontwerp van 'n vloedbesproeiingstelsel kan sowel voordele as nadele inhou soos reeds in Hoofstuk 4 paragrawe 4.2, 4.3 en 4.4 aangetoon is. Die gevolgtrekking wat hieruit gemaak kan word is dat programmering omsigtig benader moet word sodat die besluitnemingsrol van die ontwerper slegs deur die rekenaarprogram ondersteun word. Die rekenaarprogram moet sodanig geprogrammeer word, dat die ontwerper op 'n kwantitatiewe wyse (paragraaf 3.4.2) gelei word om self besluite te neem.

Die situasie moet dus vermy word waar die rol van die ontwerper tot die intik van data beperk word, terwyl die rekenaar die "antwoorde uitspoeg". Deur die rasonale besluitnemingsproses as vertrekpunt vir rekenarisering te gebruik, kan interaksie steeds tussen die ontwerper en die rekenaarprogram bewerkstellig word.

4.5.1 Die rasonale besluitnemingsproses

Rasonale besluite vorm die basis vir die ontwerp van enige vloedbesproeiingstelsel. Die rekenariseerbaarheid van 'n ontwerpprocedure kan dus slegs beoordeel word deur die rasonale besluitnemingsproses te

ondersoek. Figuur 4.3 toon die besluitnemingsproses soos beskryf deur Van Niekerk (1987).



Figuur 4.3 Stappe in die rasionele besluitnemingsproses tydens ontwerp.

4.5.2 Gebruik van tegnieke in die ontwerpproses

Soos in paragraaf 4.2.2 vermeld, word daar tydens die ontwerp 'n aantal rasionele besluite geneem. Ontwerpprobleme word gediagnoseer en gedefinieer. Inligting word ingesamel en verwerk sodat verskeie moontlikhede ondersoek kan word. Verskeie tegnieke word gebruik om 'n verskeidenheid van potensiële oplossings te onderskei.

Simuleringsstudies is 'n tipiese voorbeeld van so 'n tegniek. Net so kan die toepassing van 'n wiskundig-analitiese formule ook as 'n tegniek beskou word.

In wese bestaan 'n ontwerpprocedure dus uit 'n aantal losstaande tegnieke wat op 'n bepaalde wyse of procedure ingespan word om die ontwerper in staat te stel om die ontwerp sistematies uit te voer. Dit is dus nodig om die bepaalde procedure te standaardiseer indien 'n ontwerpprocedure gerekenariseer word.

Beide die ontwerp-tegnieke asook procedure waarvolgens die tegnieke toegepas word moet dus bestudeer word. Hieruit kan die afleiding dus gemaak word dat alle potensiële

invloede op die ontwerp ondersoek, beskryf en met mekaar in verband gebring moet kan word, voordat 'n rekenariseerbare vlak bereik word.

Indien die rasionele besluitnemingsproses as basis geneem word, kan die volgende lys van aksies, besluite en tegnieke as voorbeeld gestel word:

ONTWERPOPDRAAG

<u>Definiëring:</u>	* Kliëntbehoefte: Wins uit lusernproduksie Wisselbou met mielies
----------------------------	---

<u>Ontwikkelingsmoontlikhede:</u>	* Produksietegnieke * Meganisasie en konstruksie * Arbeid en bestuur
--	--

<u>Evalueringsmoontlikhede:</u>	* Prioriteitstelling * Hulpbronne: Grondtipe Gronddiepte Infiltrasie Erosie Topografie Waterpunte * Bedryfsvereistes * Omgewingsimpak
--	--

<u>Keuse van gewenste moontlikhede:</u>	* Kwantifisering * Prioriteitstelling * Uitvoerbaarheid * Lewensvatbaarheid
--	--

<u>Ontwerp opdrag gefokus op die beste kombinasies</u>

<u>Gefokuste ontwerp-opdrag</u>
--

<u>Definiëring: Beddingbesproeiingsontwerp</u>	Gewas 1 + 2
---	-------------

<u>Ontwikkelmoohtlikhede:</u>	*	Insetbepaling
	*	Bestuurskriteria
	*	Meganisasie/konstruksie
	*	Hidrouliese ontwerp
	*	Planne en spesifikasies

<u>Evalueringsmoohtlikhede:</u>	*	Meting
	*	Wiskundige analise
	*	Simulering

<u>Keuse van gewenste moohtlikhede:</u>	*	Optimering
---	---	------------

<u>Ontwerpspesifikasies</u>

<u>Konstruksie</u>

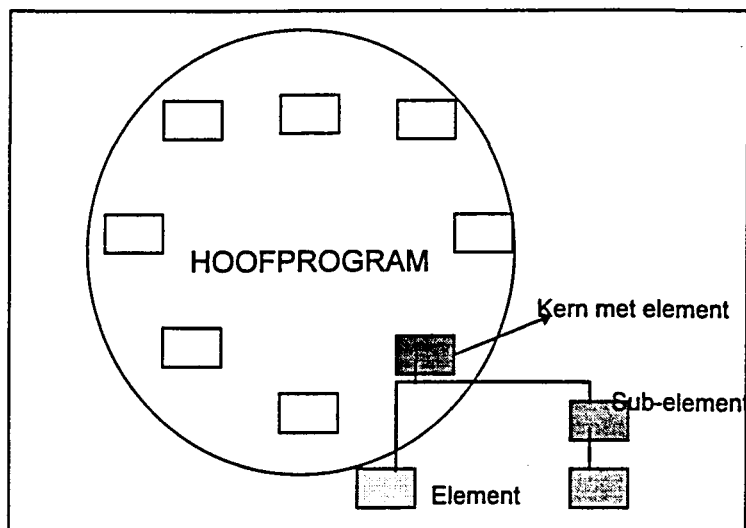
<u>Stelsevaluering in praktyk</u>

Elk van bogenoemde aksies, besluite en tegnieke kan weer eens verder in kleiner komponente verdeel word. In beginsel word die prosesse en tegnieke afgebreek totdat die kleinste element wat 'n invloed op die stelselprestasie sal hê, onderskei kan word.

Hoe meer geprogrammeerde die besluitnemingsproses is, hoe kleiner moet die elemente wees.

4.5.3 Kernelement of objek-georiënteerde rekenarisering

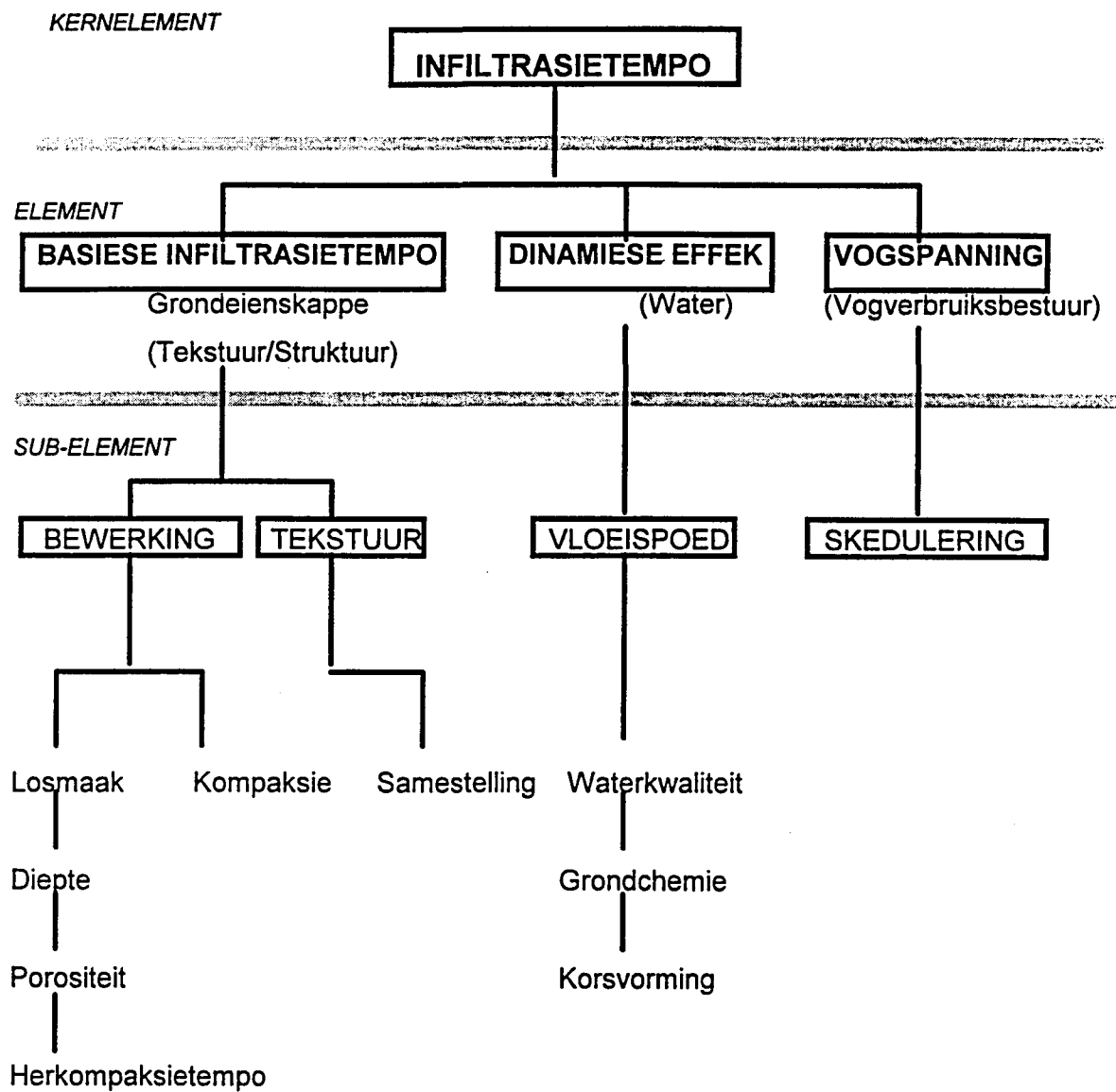
Indien beide geprogrammeerde en ongeprogrammeerde besluitnemings prosesse in 'n ontwerpprocedure ge-akkomodeer moet word, moet daar 'n onbelemmerde toegang tot bepaalde kernelemente tydens die ontwerpproses kan plaasvind.



Figuur 4.4 Kernelement-georiënteerde rekenarisering

Volgens hierdie metode kan die meer ervare ontwerper slegs kernelemente vir sy ontwerp aanwend, terwyl die minder ervare ontwerper die ontwerp stapsgewys uit die kleinste elemente "opbou".

Die infiltrasietempo tydens vloedbesproeiing kan as 'n voorbeeld van die kernelement benadering geneem word (Figuur 4.5).



Figuur 4.5 Infiltrasietempo tydens vloedbesproeiing

4.6 OPSOMMING VAN DIE VEREISTES VIR DIE REKENARISERING VAN 'N ONTWERPPROSEDURE

Die volgende vereistes kan dus aan 'n rekenariseerbare ontwerpprocedure vir vloedbesproeiing gestel word, naamlik:

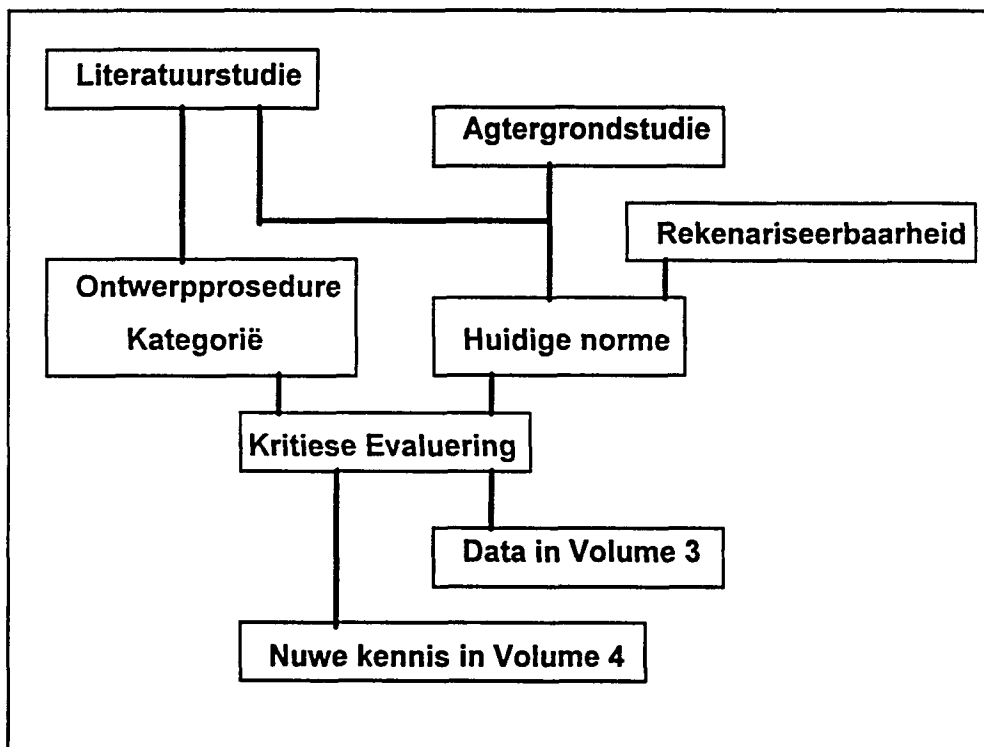
- 1) Die prosedure moet voorsiening maak vir beide geprogrammeerde en ongeprogrammeerde besluitneming.
- 2) In die geval van geprogrammeerde besluitneming moet elke stap in die prosedure duidelik geformuleer en wiskundig beskryfbaar wees. Daar moet duidelike riglyne oor die bepaling van insette en gebruikslimiete van die program bestaan.
- 3) In die geval van ongeprogrammeerde besluite moet die nodige interaksie tussen die ontwerper en rekenaar bestaan, sodat die ontwerper sy ervaring, ingenieurskundige kennis en innovasievermoë kan aanwend om die ontwerpprobleem op te los. Die rekenaarprogram moet dus komplementêr tot die ontwerper se eie vermoëns wees.
- 4) Die rekenaar moet dus nie besluite namens die ontwerper neem nie, maar moet slegs as ondersteuner in die besluitnemingsproses dien. Dit kan bereik word deur die ontwerper stapsgewys te lei om die ontwerp af te handel deur:
 - * Keuses en besluite telkens aan die ontwerper self oor te laat.
 - * Voorstelle in die program te laat (byvoorbeeld deur beginwaardes of hulptabelle) sodat die minder ervare ontwerper gelei kan word.
 - * Interaksie te bewerkstellig deur telkens die ontwerperskeuse waar moontlik te kwantifiseer.

HOOFSTUK 5

METODE GEVOLG EN NORME GEBRUIK IN DIE KRITIESE EVALUERINGSPROSES

5.1 INLEIDING

Die doelwit van die navorsing was om eietydse norme daar te stel waarvolgens 'n kritiese evaluering van bestaande ontwerpprosedures gedoen kon word. Die huidige norme is uit 'n breë literatuurstudie (Hoofstuk 2) 'n agtergrondstudie (Hoofstuk 3) en 'n studie van die rekenariseerbaarheid van 'n tipiese ontwerpprosedure (Hoofstuk 4), ontwikkel. Hierdie norme word in Hoofstuk 5 opgesom. Die wyse waarop hierdie norme aangewend word vir kritiese evaluering word ook oorsigtelik in hierdie hoofstuk behandel. (Figuur 5.1)



Figuur 5.1 Skematiese voorstelling van die studieveld wat gedek is

5.2 EIETYDSE NORME VIR KRITIESE EVALUERING

Die norme wat vir die evaluering van ontwerpprosedures daargestel is, moet eers geformuleer word sodat ontwerpprosedures teen die heersende vloedbesproeiingsagtergrond in Suid-Afrika beoordeel kan word. Soos in **Hoofstuk 2**, paragraaf 2.2.1 aangedui word, behoort die ontwerper 'n holistiese benadering te volg deur voorsiening te maak vir die volle impak van sy ontwerp.

'n Kombinasie van **Hoofstukke 2, 3 en 4** lewer 'n breë reeks norme waarteen 'n kritiese evaluering van ontwerpprosedures gedoen kan word. Hierdie norme vervat drie kern-aspekte naamlik:

1. Funksionele vereistes vir 'n ontwerp
2. Elemente betrokke by vloedbesproeiing
3. Vereistes waaraan 'n ontwerpprocedure behoort te voldoen.

5.2.1 Funksionele vereistes vir 'n ontwerp

'n Opsomming van die funksionele vereistes wat aan 'n vloedbesproeiingsontwerp gestel word, word in Tabel 5.1 weergegee.

5.2.2 Elemente betrokke by vloedbesproeiing

Soos in **Hoofstuk 3** (paragraaf 3.2.4) verduidelik word, is 'n kernelement- georiënteerde ontwerpprosedures voorsien om rekenarisering te kan doen. Hierdie kernelemente moet stelselmatig ontleed en as hoof- en gewone elemente geïdentifiseer word. Hierdie element-beskrywing of ontleding word aangewend vir kritiese evaluering in simuleringstudies (**Volume 2**), en vir die rekenarisering soos gebruik in **Volume 3**.

Tabel 5.1 Opsomming van die funksionele vereistes waaraan 'n vloedbesproeiingsontwerp moet voldoen

KRUISVER WYSING	FUNKSIONELE VEREISTE
2.2.3	Aangepas by die tipe boerdery: Bestaande stelsels; meganisasie.
2.2.5	Aangepas by hidroulika; geldig in die praktyk
2.3.3.1	Bevredig ontwerpooigmerke soos: * Toediening verlang * Toedieningsdoeltreffendheid * Storingsdoeltreffendheid * Verspreidingsdoeltreffendheid
2.3.2.2	* Beheerbaar deur die besproeiingsoperateur met beskikbare meganismes in die praktyk * Voldoen aan massa- en energiebehoud vereistes * Meetbare besproeiingsfases moet identifiseerbaar wees. * Die hidrouliese verband tussen faktore moet kwantifiseerbaar wees
2.4.3.1	Aangepas by Suid-Afrikaanse toestande: * Premie op hoë waterverbruiksdoeltreffendheid * Aangepas by toerusting en logistieke vermoëns van die boer: - Waterbeheer - Konstruksievermoë - Meganisasie - Bestuur * Geldig vir tipiese Suid-Afrikaanse infiltrasietempo's * Geldig vir tipiese S.A. stroomgroottes, lengtes en hellings * Veral gerig op geslote beddings * Vloeiweerstandsvariasie moet ge-akkommodeer word * Toedienings geskik vir tipiese grond/gewas/klimaat in S A * Voorsiening vir onderbesproeiing ("Deficit Irrigation") * Afsnymetode moet sensitief wees
2.4.6	Wetenskaplikgefundeerde prosedures moet in die ontwerp gebruik word ten einde 'n rekenariseerbare vlak te bereik.

In Tabel 5.2 word die element-ontleding en beskrywing aangetoon.

Tabel 5.2 KERNELEMENTE vir die doel van rekenarisering

GEWASSE
GRONDTIPE
INFILTRASIE
WATERVOORSIENING
FISIESE AFMETINGS
MEGANISASIE
BESTUURSTYL
TOEDIENING

5.2.3 Vereistes vir 'n ontwerpprocedure

Tabel 5.3 gee 'n opsomming van die vereistes wat aan 'n ontwerpprocedure, wat vir Suid-Afrikaanse toestande geskik sal wees, gestel word.

Tabel 5.3 Vereistes gestel aan 'n ontwerpprocedure

- | | |
|----|---|
| 1) | Die ontwerpprocedure moet 'n ontwerp volgens Tabel 5.1 se funksionele vereistes kan lewer. |
| 2) | Die ontwerpprocedure moet deur middel van gestandaardiseerde wetenskaplike prosedures en tegnieke: <ul style="list-style-type: none"> * Korrekte insette kan bepaal. * Die hidrouliese verband tussen faktore korrek kan oplos. * Die optimale ontwerp kombinasies kan uitwys. |
| 3) | Die ontwerpprocedure moet die kliënt se vereistes bevredig. |
| 4) | Die ontwerpprocedure moet die ontwerper se vereistes bevredig. |
| 5) | Die ontwerpprocedure moet: <ul style="list-style-type: none"> * Rekenariseerbaar wees. * Rationele besluitnemingsprosesse hê. * Geprogrammeerde sowel as ongeprogrammeerde besluitneming toelaat. * Uit ontleedbare elemente bestaan. |

5.3 METODE WAT GEVOLG IS VIR KRITIESE EVALUERING MET BEHULP VAN DIE HUIDIGE NORME.

Ontwerpprosedures wat voor 1990 vir vloedbesproeiing in Suid-Afrika aangewend was, is uiteenlopend van aard. Die meeste van die prosedures bevredig slegs enkele elemente van die huidige norme. Indien 'n prosedure summier afgewys sou word as gevolg hiervan, sou dit nie tot 'n wetenskaplike waardering van so 'n ontwerpprosedure of element daarvan lei nie. Gevolglik word die huidige norme slegs aangewend om op 'n vergelykende wyse 'n waarde ten opsigte van die bepaalde prosedure te kan bepaal.

Waar dit van toepassing is, word data gebruik om aan te dui of die bepaalde tegniek of prosedure goeie resultate lewer. Teoretiese beredenering van bepaalde beginselaannames word ook so ver moontlik met data gestaaf. Die data wat in hierdie volume gebruik word, is van die bronne wat in **Volume 3** beskryf word, afkomstig.

Bronne word telkens verskaf om aan te dui of die data eksperimenteel bepaal is en of dit met behulp van die modelle (Soos in **Volume 3** bespreek) gesimuleer is. In enkele gevalle word tendense, wat uit bestaande ontwerpprosedures voortvloei, ook met behulp van teoretiese beredenerings (**Volume 4**) toegelig.

Hierdie ongewone kruisverwysing word gebruik om perspektief op die terrein van vloedbesproeiingsontwerp te verbreed. Soos in **Hoofstuk 2** (paragraaf 2.3.2) aangedui, het navorsing op die gebied van prosedures en norme vir vloedbesproeiingsontwerp vir bykans twintig jaar internasionaal gestagneer. Die huidige navorsing oor die voorspelling van tendense vir optimeringsdoeleindes (**Volume 4**) werp nuwe lig op 'n aantal eeue-oue empiriese verbande. Kritiese evaluering kan dus nie volledig uitgevoer word sonder om na die nuwe kennis te verwys nie.

In Hoofstukke 6,7 en 8 word die verskillende ontwerpprosedures krities onder die volgende punte geëvalueer, naamlik:

1 Die Prosedure

- 'n Beskrywing van die ontwerpprosedure, 'n evaluering daarvan, of 'n verwysing na

so 'n beskrywing.

- Opmerkings ten opsigte van die toepassing van die prosedure (indien van toepassing).

2 Teoretiese evaluering

- Teoretiese evaluering van die prosedure.
- Verwysing na spesifieke belangrike uitgangspunte.
- Verwysing na gemete of gesimuleerde data (waar moontlik en waar van toepassing).

3 Gevolgtrekking

- Verwysing na die mate waarin die prosedure aan die huidige norme wat gestel word, voldoen.
- 'n Algemene bespreking en gevolgtrekkings oor bepaalde prosedures (voor- en nadele van elke prosedure asook die beantwoording van kritiese vrae).

HOOFSTUK 6

EVALUERING VAN EMPIRIESE ONTWERPPROSEDURES

6.1 INLEIDING

Empiriese ontwerpprocedures word gekategoriseer met inagneming dat sodanige procedures ontstaan het en beredeneer word volgens die verband tussen voorspelde en waargenome of gemete data. Tegnieke wat vir hierdie empiriese ontwerpprocedures gebruik word, is dus nie op aanvaarde analitiese teorieë gebaseer nie.

Die ontstaan en gebruik van empiriese ontwerpprocedures dui gewoonlik daarop dat daar wel 'n verband tussen faktore bestaan, maar dat die verband nie analities verklaar kan word nie. In die geval van die ontwerp van 'n vloedbesproeiingstelsel word met behulp van empiriese metodes aangedui dat daar waarskynlik optimale verhoudings tussen die faktore wat tydens die ontwerpproses 'n rol speel, voorkom. Daar is dus 'n gevaar verbonde aan die gebruik van sulke empiriese verhoudings deurdat dit tot growwe veralgemenings mag lei. Die oogmerk met kritiese evaluering is egter om die voor- en nadele van empiriese ontwerpprocedures met inagneming van die huidige norme wat in hoofstuk 5 neergelê is, uit te wys.

6.2 DIE KRITIESE EVALUERINGSPROSES

6.2.1 Spesifieke Metodes

- Die kritiese evaluering geskied teen die huidige norm wat in hoofstuk 5 voorgestel word.
- Ontbrekende inligting word as “onbekend” aangedui en moontlike grenswaardes wat gebruik is word daarby aangetoon.

6.2.2 Ontwerpprosedures wat geëvalueer is:

6.2.2.1 Afdeling Landbou-Ingenieurswese se metode [Van der Ryst (1980)]

Die metode wat deur die Afdeling Landbou-Ingenieurswese gevolg is, is aan die hand van die beskrywing deur Van der Ryst (1980), asook 'n anonieme interne verslag, getiteld "Evaluering van Vloedbesproeiingsstelsels - resultate te Brits en Vaalharts" (datum onbekend, waarskynlik 1974), geëvalueer.

6.2.2.2 Die Suid-Afrikaanse Suikervereniging se metode

Hierdie metode is in die vereniging se amptelike tydskrif, "Irrigation of sugarcane Bulletin No 17" beskryf, en is volgens die beskrywing toegepas en op grond van addisionele inligting wat in 1979 tydens 'n onderhoud met die ontwerpers van die vereniging verkry is, geëvalueer.

6.3 KRITIESE EVALUERING VAN DIE ONTWERPMETODE VAN DIE AFDELING LANDBOU-INGENIEURSWESE

6.3.1 Die prosedure:

Die Afdeling Landbou-Ingenieurswese se ontwerpprosedure het bestaan uit:

- 1) 'n Aanvanklike uitleg van 'n bedding wat met behulp van empiries bepaalde riglyne (Tabel 6.1) gemaak is.
- 2) Die proefbedding word hierna sistematies geëvalueer deur dit met wisselende stroomgroottes te besproei. Vordering en afdrogingskrommes word bepaal, of die kontaktyd word op minstens drie plekke bepaal.

Tabel 6.1. Empiriese riglyne (Van der Ryst, 1980).

GRONDTIPE	INFILTRASIE- TEMPO (mm/h)	HELLING	LENGTE (Meter)
Leem	+/- 200	1:200	100
Klei	80 - 150	1:300 - 1:600	150 -200
Swaar Klei	30 - 50	1:600 - 1:1,500	250 -1,500

Indien enige boer sy beddings binne hierdie perke uitlê, kan hy, deur die stroomsterkte te manipuleer, baie goeie resultate met sy besproeiing verkry.

Erosiegevaar: Maksimum eenheidstroomgrootte $q = 0,63 S^{-0.75}$ (m^3/h)/m

Dit word beklemtoon dat die oogmerk van die ontwerp, naamlik egalige aanvulling van die verlangde toediening, wel bereik word. Deur die toepassing van 'n sistematiese evalueringsproses word 'n empiriese norm vir die spesifieke bedding dan geformuleer.

Indien dit nodig blyk te wees, word die helling en lengte van die bedding aangepas.

'n Eenheidstroomgrootte wat vir 'n bepaalde lengte, helling en infiltrasietempo geld, word uiteindelik vasgestel. Die beddingwydte word dan by die beskikbare stroomgrootte op die plaas aangepas.

- 3) Met behulp van hierdie norm word die res van die stelsel se uitleg dan afgehandel.
- 4) Nadat die gewas gevestig is word die stelsel weer geëvalueer. Stroomgrootte en afsnytyd word weer eens aangepas om by die veranderde vloeiweerstand te pas. Indien nodig word die beddingwydte ook aangepas.
- 5) Kort beddings en "probleemkolle" word geïdentifiseer en mettertyd in besproeibare beddings ontwikkel.

- 6) Bestuur word aangepas om die "gegewe" uitleg optimaal te bedryf.

6.3.2 Teoretiese evaluering van die prosedure

Die oplossing van die hidrouliese verband tussen faktore is onvolledig, en die leemtes word in Tabel 6.2 aangetoon.

Tabel 6.2. Leemtes in die hidrouliese verband van die Afdeling Landbou-Ingenieurswese se metode

	Sand	Leem	Kleileem	Klei
% Klei-inhoud	5 - 15	15 -25	25 -40	40+
Lengte (m)	70 - 100	100 - 200	250 - 400	500 - 1000
Helling	1:200 - 1:300	1:200 - 1:300	1:400 - 1:600	1:600 -
Stroomsterkte[(m ³ /h)/m]	25	35	50	1:1,000 70
Infiltrasietempo (Bepaal met infiltrasiemetings)	> 200mm/h	200 mm/h	80 -150 mm/h	30 -50 mm/h
Gewasweerstand (Manning n)	Onbekend: Geen riglyne			
Toediening	Onbekend - -waarskynlik tussen 50 mm en 150 mm			
Doeltreffendheid	Onbekend- word volgens ervaring gekies - waarskynlik tussen 55% en 75%			
Afsnytyd	Onbekend - moet op land bepaal word			

6.3.3 Koppeling van infiltrasietempo met die klei-inhoud van gronde

Data wat in die praktyk versamel is (Tabelle 6.3 en 6.4) toon dat daar in sommige gevalle 'n verband bestaan tussen die klei-inhoud en die infiltrasietempo. In ander gevalle kan so 'n verband weer misleidend wees.

Tabelle 6.3 en 6.4. Verband tussen klei-inhoud en infiltrasietempo
[VOORBEELDE UIT DIE PRAKTYK]

1. Volgens Empiriese riglyne

ULTRA-HOë INFILTRASIE 8,0 IF	HOë INFILTRASIE 4,0 IF	LAE INFILTRASIE 0,1 IF	BAIE LAE INFILTRASIE 0,03 IF
	* Vaalharts (Fyn sand) * Vredendal (Growwe sand) * Frankfort (Fyn sand) * Ventersdorp (Fyn Sand)	* Visrivier	

2. Afwykings van Empiriese riglyne

* Verkocht (Sandklei) * Loskop (Sandklei)	* Potchefstroom (Klei)	* Alice (Fyn Sand)	
--	--	--	--

Die element-ontleding van Tabel 6.5 toon ook aan dat verskillende elemente by die infiltrasieproses betrokke is. Afwykings van 'n eenvoudige teksturgekoppelde verband is dus te wagte.

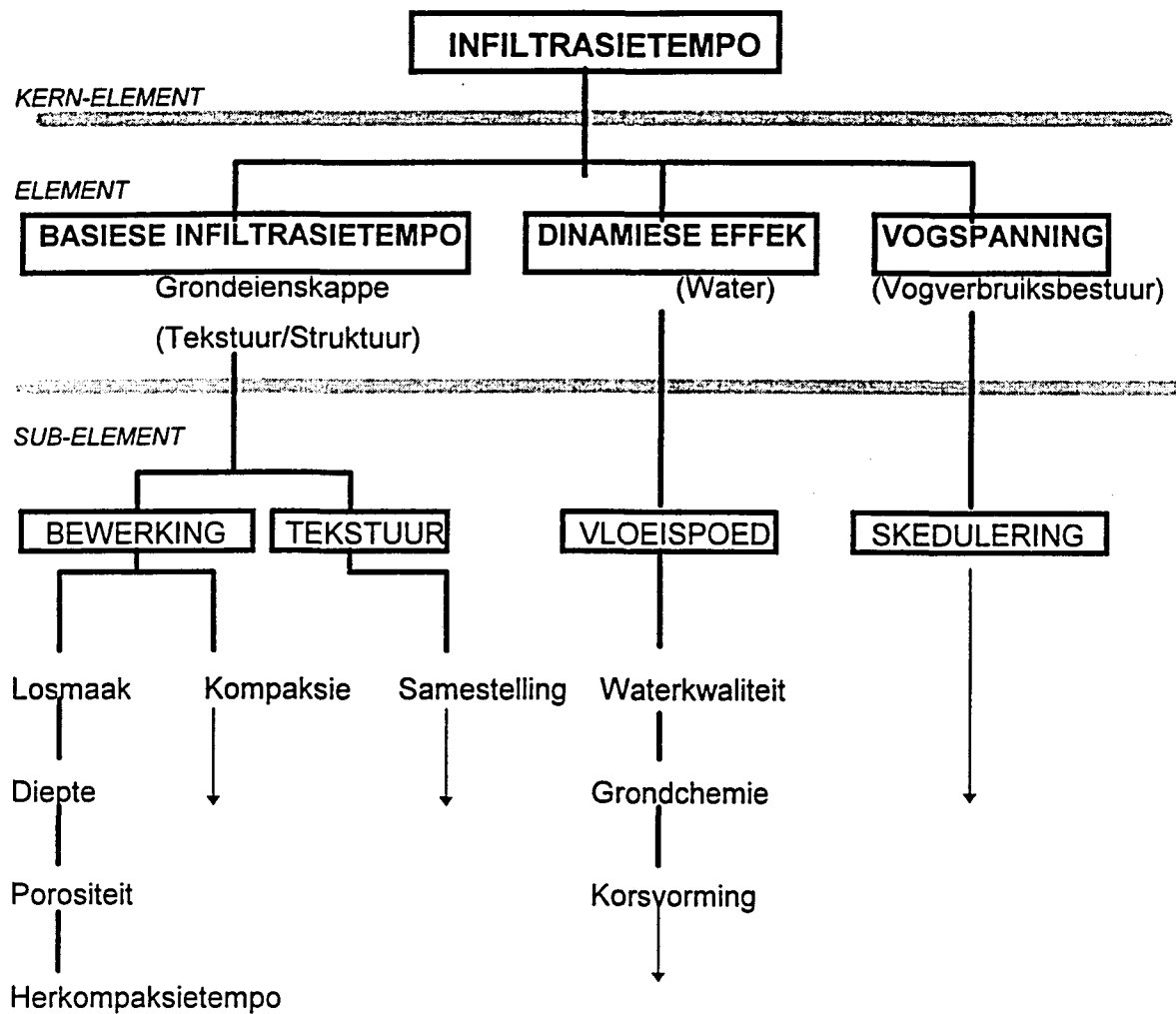
6.3.4 Koppeling van infiltrasie, helling en beddinglengte

Die empiriese riglyn soos deur Van der Ryst (1980) beskryf impliseer dat 'n optimale verband bestaan tussen:

- Grondtipe (dit wil sê infiltrasie-eienskappe; waterhouvermoë)
- Beddinghelling en
- Beddinglengte.

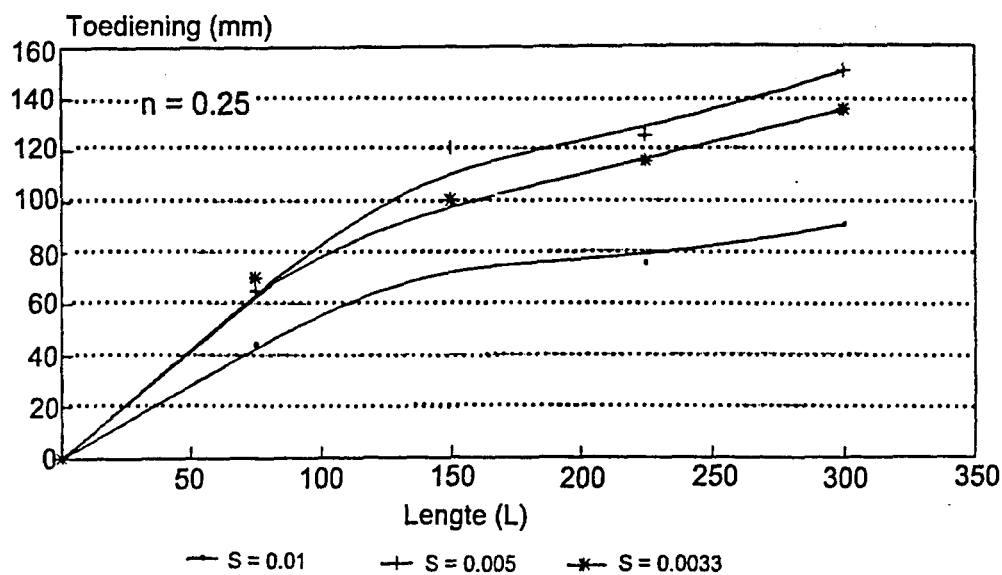
Hierdie optimale verband dikteer dan die fisiese afmetings (uitleg) van die bedding.

Tabel 6.5. Verskillende elemente betrokke by die infiltrasieproses



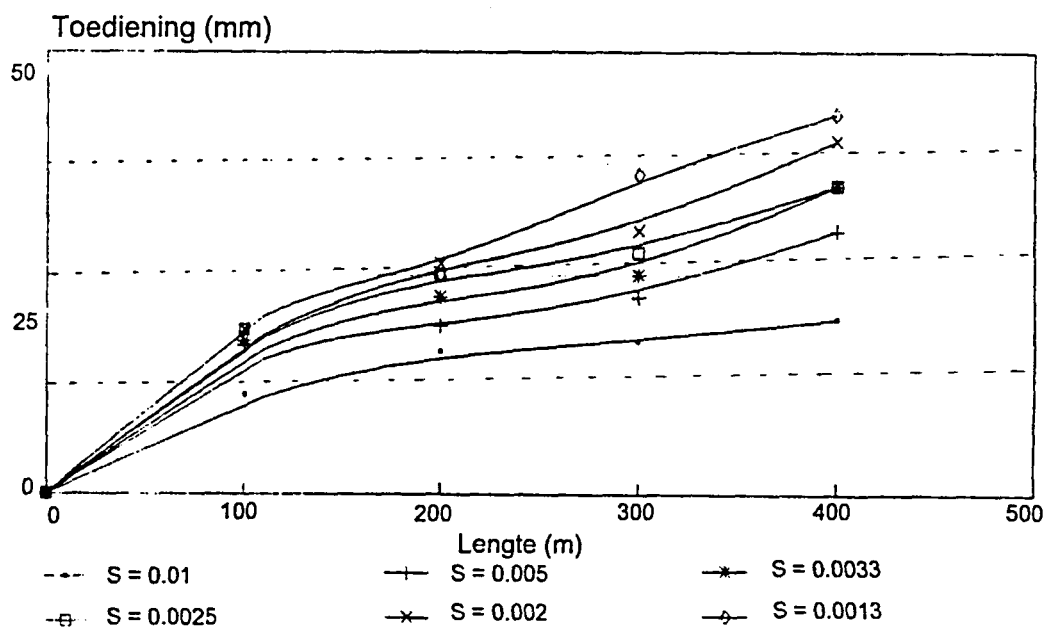
In **Volume 4** van hierdie studie word tendense met behulp van simuleringsstudies ontleed. Die tendense word teoreties verantwoord. Indien die resultate gebruik word kan die empiriese verbande beter na waarde geskat word.

Figuur 6.1 toon die gesimuleerde waardes van die optimale verband tussen lengte, helling en toediening vir 'n grond met 'n infiltrasie van $IF = 4.0$ (Byvoorbeeld Vaalharts gronde) aan.



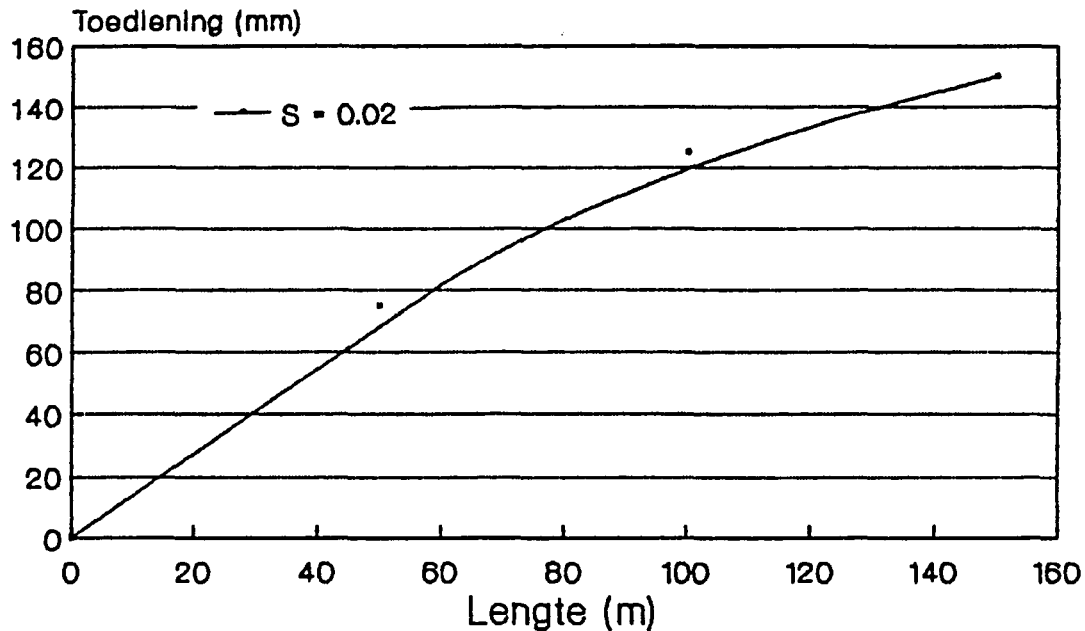
Figuur 6.1 Gesimuleerde data vir lengte, helling en toediening vir gronde met $IF = 4,0$

Figuur 6.2 toon dieselfde verband vir 'n grond met 'n infiltrasie van $IF=1.0$ (Visrivier: lae infiltrasie).



Figuur 6.2 Gesimuleerde data vir lengte, helling en toediening vir gronde met 'n infiltrasie van $IF=1.0$

Figuur 6.3 toon dieselfde verband vir 'n infiltrasie van IF=8,0 (Hutton Loskop/Natal).



Figuur 6.3 Gesimuleerde data vir lengte, helling en toediening vir gronde met 'n infiltrasie van IF=8,0

Indien al die data vergelyk word, kan 'n tabel (Tabel 6.6) saamgestel word waar toedienings by verskillende beddinglengtes vir 'n bepaalde helling aangetoon word. (Vloeiweerstand word deurentyd konstant gehou op $n = 0,15$. Aangesien die waardes ge-optimeer is, word stroomgrootte en afsnytye nie getoon nie).

Die volgende tendens kan waargeneem word, nl. hoe hoër die infiltrasietempo (byvoorbeeld IF=8.0) hoe korter is die lengte en hoe steiler is die helling van die bedding wat nodig is om 'n praktiese toediening te kan gee. Die teenoorgestelde redenasie geld ook, naamlik dat 'n langer, minder steil (kleiner helling) bedding by gronde met 'n lae infiltrasie (byvoorbeeld IF=0.3) vereis word.

Teoreties kan hierdie tendens beskryf word deur die volgende formule: (verwys **Volume 4**):

$$L = (\text{Konstant}) \times Z + (\text{Konstant}) \times Z^{1/b} \times S_0^{0.5}$$

Ook die resultate wat van die ge-optimeerde rekenaarsimulerings verkry is, toon dat 'n verband wel bestaan. Hierdie verband word deur die norme in Tabel 6.1 geïmpliseer. Die tabel gee egter nie al die waardes weer nie en kan dus nie algemeen toegepas word nie.

In **Volume 4** word 'n verbeterde norm aan die hand van die teoretiese afleiding behandel.

Tabel 6.6 Ge-optimeerde toedienings (Kruger, 1989).

[Toedienings soos deur rekenaaroperateurs ge-optimeer.]

Helling	8.0 IF			4.0 IF				1.0 IF		
S	L=50	L=100	L=150	L=75	L=150	L=225	L=300	L=100	L=200	L=300
0,02 (1:50)	75	125	150							
0,01 (1:100)				33,02	71,88	66,04	86,36	20,23	30,48	30,48
0,005 (1:200)				48,26	71,76	99,09	125	25,4	33,02	45,72
0,0033 (1:300)				54,61	75,0	92,71	100	27,94	45,72	48,26
0,0025 (1:400)				58,42	72,39			33,02	45,72	50,0
0,0002 (1:500)				73,66	81,28			43,18	45,72	48,26
0,00013 (1:770)								45,72	58,42	60,96

6.3.5 Gevolgtrekking

Die metode van die Afdeling Landbou-Ingenieurswese (Van der Ryst, 1980) voldoen nie aan die huidige norme nie, aangesien:

- 1) Die funksionele vereistes van Tabel 5.1 nie deur die prosedure bevredig word nie. Dit hang gevolglik van die ontwerper se ervaring af of die vereistes nagekom sal word al dan nie.

- 2) Hidrouliese verbande word onvolledig weergegee. Kernelemente word nie in die norm aangespreek nie. Die prosedure beklemtoon egter die belang van praktiese stelsevaluering. Indien die riglyne toegepas word, kan 'n goeie stelsel evolusionêr ontwikkel word. Optimering vind egter nie noodwendig plaas nie.
- 3) Indien die ontwerpprocedure korrek uitgevoer word, kan hierdie prosedure tot 'n stelsel met goeie prestasie lei. Die prosedure is egter omslagtig en duur. Dus word die kliënt se behoeftes teen 'n hoë koste bevredig.
- 4) Die ontwerpprocedure is omslagtig en stel dus nie die ontwerper in staat om die ontwerp teen 'n lae koste uit te voer nie. Indien groot stelsels uitgelê word (80ha en groter) kan die eenheidskoste van die ontwerp binne perke gehou word (Tabel 3.6). Die prosedure bevredig dus slegs die vereistes van groot projekte.
- 5) Die ontwerpprocedure vereis ongeprogrammeerde besluitneming. 'n Hoë vlak van ervaring en ingenieurskundige insette word dus vereis. Daar is weinig ontleedbare elemente in die ontwerpproses. Rekenarisering is dus onwenslik omdat dit die ervare ontwerper aan bande sal lê, terwyl die onervare ontwerper 'n oorvereenvoudigde "resep" ontvang.

6.4 KRITIESE EVALUERING VAN DIE METODE VAN DIE SUID-AFRIKAANSE SUIKERVERENIGING

6.4.1 Die Prosedure

Die Suid-Afrikaanse Suikervereniging het in 1977 'n tentatiewe riglyn gepubliseer wat op empiriese data gebaseer was en wat soos volg daar uitsien (Tabel 6.7):

Tabel 6.7 Riglyne vir voortjiebesproeiing (SA Suikervereniging 1977)

Grondtipe	Helling (%)	Stroomgrootte		Lengte (m)	Toediening
		(m ³ /h)/m	l/s		
Grys sandgronde en leem	0,2 - 0,4	37 - 54	10 - 15	60 - 90	100 mm
	0,4 - 0,6	34 - 37	9 - 10	60 - 90	100 mm
	0,6 - 1,0	20 - 30	6 - 8	60 - 90	100 mm
Rooi struktuurlose leem en klei	0,2 - 0,4	20 - 27	5,6 - 7,4	90 - 180	130 - 150
	0,4 - 0,6	13 - 23	3,7 - 8,5	90 - 180	160 - 150
	0,6 - 1,0	7 - 13	1,9 - 3,7	90	130 - 150
Rooi gestruktureerde klei	0,2 - 0,4	10 - 13	2,8 - 3,7	90 - 180	150 - 180
	0,4 - 0,6	7 - 10	1,9 - 2,8	90 - 180	150 - 180
	0,6 - 1,0	3 - 7	1,0 - 1,9	300	150 - 180
Swart turf	0,2 - 0,6	7 - 13	1,9 - 3,7	> 370	180 - 200

Die navorser was gedurende 1979 in verbinding met mnr. G.D. Thompson, die persoon wat die Suid-Afrikaanse Suikervereniging se norm opgestel het (Thompson, 1979).

Die norm in Tabel 6.7 word op 'n soortgelyke wyse as die metode van die Afdeling Landbou-Ingenieurswese toegepas.

Opmerkings ten opsigte van toepassing:

- As gevolg van die variasie gedurende die seisoen en verskillende gronde se infiltrasietempo's, word 'n reglynige verband tussen infiltrasie-eienskappe en grondtekstuur vir ontwerp-doeleindes aanvaar.
- Die ontwerptabelle word slegs vir die aanvanklike uitleg benut, waarna die stelsel in die praktyk evalueer en verstel word.
- Langer vore word teen groter hellings gebruik.
- Vore is meestal oop aan die onderpunt sodat reënwater kan wegdreineer.

- Daar word aanbeveel dat die stroom teruggesny word (Cutback) om die toediening te beheer nadat die uitleg gemaak is.
- Groot strome word normaalweg met die eerste besproeiing gebruik.

Daar is 'n onderlinge verband tussen grondtekstuur, helling, voortjielengte en toediening. Grondtekstuur word indirek aan die gemiddelde infiltrasietempo van die grond gekoppel.

Hierdie riglyn strook met die bevinding van Kruger (1986) dat toediening gedomineer word deur:

- * Infiltrasietempo
- * Helling
- * Vloeiweerstand
- * Voortjielengte

(met voortjie-besproeiing van suikerriet is vloeiweerstand 'n gegewe faktor).

Paragraaf 6.3.3 bevestig die tendens uit 'n teoretiese oogpunt, asook uit gesimuleerde data.

6.4.2 Gevolgtrekking

Dieselfde gevolgtrekkings as dié wat in paragraaf 6.3.5 aangedui word, geld ook vir die metode van die Suid-Afrikaanse Suikervereniging.

6.5 ALGEMENE BESPREEKING EN GEVOLGTREKKINGS TEN OPSIGTE VAN EMPIRIESE ONTWERPPROSEDURES

Verreweg die meeste vloedbesproeiingskemas in die RSA (Vaalharts, Benede Oranje, Pongola, Loskop, ens) is uitgelê deur ervaring te kombineer met enkele metings op die grond. Daar is eerstens gekonsentreer om water aan die boer te voorsien en dan later

op 'n georganiseerde "probeer-en-tref" metode 'n geskikte uitleg te maak. Soos in paragraaf 2.2.1 aangedui, was ontwikkelingsdruk die dryfveer agter die empiriese ontwerpmetode wat gevolg is.

Empiriese verbande wat hieruit ontwikkel het, is redelik algemeen toegepas en word selfs vandag nog gebruik.

Hierdie empiriese verbande kan nie as 'n volledige ontwerpprocedure beskou word nie omdat daar geen standaard tegniek beskryf kan word waarmee die insette bepaal, of oplossings gegenereer kan word nie.

Waar hierdie riglyne met die nodige omsigtigheid in kombinasie met 'n aantal praktiese waarnemings toegepas is, is betreklik goeie resultate verkry. Uiteraard swak resultate is egter ook in sommige gevalle verkry.

Voordele:

- Die ontwerper word gedwing om 'n aantal metings en evaluerings uit te voer voordat die ontwerp uitgevoer kan word. 'n Mate van akkuraatheid word verkry deurdat die uitwerking van 'n kombinasie van faktore ervaar word, en dus aangepas kan word totdat goeie resultate behaal word.

Nadele:

- Ervare ontwerpers is nie algemeen beskikbaar nie. Onervare ontwerpers beseft nie altyd dat metings noodsaaklik is nie.
- Die metode is tydrowend, duur en soms totaal onmoontlik (byvoorbeeld op 'n nuwe stelsel).
- Indien ekstrapolering op die data toegepas word, kan waarnemings uiteraard onakkuraat wees. Veralgemening lei tot swak prestasie van die stelsel.

- Die ontwerper oorweeg 'n uiters beperkte aantal potensiele oplossings van die probleem en weet meestal nie of sy oplossings in die "beter" of "swakker" kategorie vir die bepaalde geval is nie.

KRITIESE VRAE:

- 1) Die tegniek lewer nie 'n oplossing vir die onderlinge verband tussen verskillende faktore nie. 'n Toevallige oplossing is egter moontlik.
- 2) Deur middel van ervaring kan daarin geslaag word om 'n optimum gebied, waarin oplossings voorkom, te bepaal.
- 3) Die ontwerp tegniek kan omslagtig en duur wees indien die resultate van die ontwerp gewaarborg moet word (afhangende die ervaringsvlak van die ontwerper).

HOOFSTUK 7

KRITIESE EVALUERING VAN VOLUMEBALANS- ONTWERPPROSEDURES

7.1 INLEIDING

Volumebalans-ontwerpprocedures word geklassifiseer op grond daarvan dat 'n verband (tussen faktore betrokke by die hidroulika daarvan) beredeneer word volgens 'n volumebalans-vergelyking. Die beginsel van massabehoud word dus op 'n eenvoudige wyse toegepas. Normaalweg word 'n bewegingsvergelyking of deur 'n empiriese verband (Walker, 1989) of deur 'n kwasi-rasionele verband (Shockley *et al.*, 1964; Badenhorst, 1973) verkry.

Kenmerkend aan hierdie procedures is, dat die beginsels om die behoud van massa en energie nie gelyktydig matematies bevredig word nie. In die matematiese afleiding word egter aangeneem dat die operateur in die praktyk sorg sal dra dat die vereenvoudigde massabehoudbeginsel bevredig word. In die praktyk steun die procedures sterk op empiriesbepaalde tabelle waarin die bereikbare toediening en doeltreffendheid vir 'n aantal grondtipes voorgeskryf word. Walker (1989) berus die ontwerp op 'n empiriese bepaling van die vorderingsfront, waardeur 'n dinamiese verband bepaal word.

7.2 DIE KRITIESE EVALUERINGSPROSES

7.2.1 Metodes wat vir evaluering gebruik is

- Evaluering vind teen die huidige norm (Hoofstuk 5) plaas.
- Ontbrekende inligting word as "onbekend" aangedui, met 'n aanduiding van die moontlike grenswaardes wat gebruik is.

- Die spesifieke metode wat van toepassing is en die resultate van die evaluering word aaneenlopend as deel van die bepaalde prosedure bespreek, om sodoende elke prosedure binne eie verband te evalueer.

7.2.2 Ontwerpprosedures wat evalueer is

Die volgende ontwerpprosedures is geëvalueer, naamlik:

i) SCS- metode vir beddings van Shockley *et al.* (1964)

Die metode van Shockley *et al.* (1964) word aan hand van die beskrywing in die SCS National Engineering Handbook, Section 15, Chapter 4, Border Irrigation (1974a) geëvalueer.

ii) Afsnykoeffisiënt-benadering van Badenhorst (1973)

Dié metode, soos beskryf deur Badenhorst (1973) word geëvalueer. Die toepassing van die metode deur Du Rand *et al.* (1985) en resultate uit die navorsingsprojek OVH 77 (Du Rand *et al.*, 1985) word aanvullend in die evaluering gebruik.

iii) Die Optimering van beddingafmetings

Die evaluering sluit die gerekenariseerde weergawe van Van Heerden (1987) [Soos gepubliseer deur die destydse Departement van Landbou en Watervoorsiening (1987), onder die titel: "Die Optimisering van Beddingafmetings" in.

7.3 EVALUERING VAN DIE SCS METODE (Shockley-metode) VIR BEDDINGS (SCS, 1974a,b,c).

Shockley *et al.* (1964) ontwikkel 'n "kwasi-rasionele" volumebalans-vergelyking vir die ontwerp van beddingbesproeiing. Die SCS-metode (1974a) is hierop gebaseer.

7.3.1 Die prosedure

Daar word tussen die volgende drie toestande vir beddingsbesproeiing, waar uitvloeit toegelaat word, onderskei, naamlik:

- 1) Horisontale beddings
- 2) Beddings met klein hellings ($S = 0,0005 - 0,004$)
- 3) Beddings met groot hellings ($S = 0,004 - 0,06$)

'n Vierde kategorie vir geslote beddings met hellings word voorgestel.

Aannames:

By die toepassing van die volumebalans-beginsel word aangeneem dat daar elke keer genoeg water op 'n bedding toegedien sal word sodat die bruto- toediening gerealiseer word, dus:

Bruto volume water = stroomgrootte x afsnytyd

$$= \frac{\text{Lengte x (wydte) x netto toediening}}{\text{Doeltreffendheid}}$$

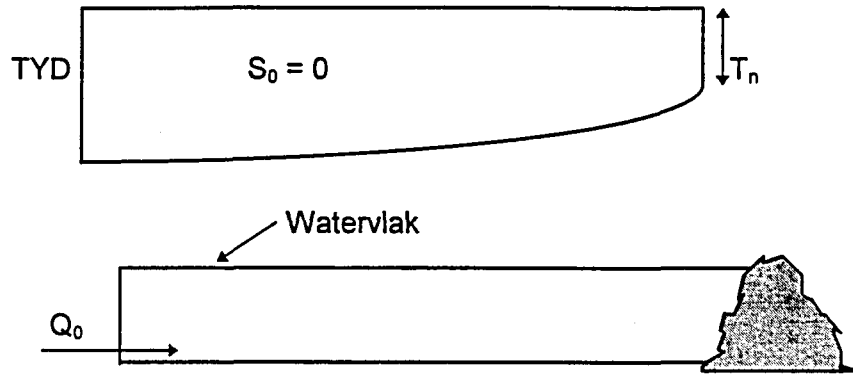
$$V = Q_u \times T_{co} = \frac{L \times (b = 1) \times Z \text{ verlang}}{(E_a / 100)} \quad m^3$$

- Daar word aanvaar dat vir **horisontale beddings** genoeg tyd vir infiltrasie op die verste punt van die bedding sal realiseer sodat die verlangde toediening kan infiltreer.
- Vir **beddings met hellings** word daarteenoor aanvaar dat die stroom lank genoeg ingekeer word, sodat die verlangde toediening aan die bopunt (of inkeerpunt) sal realiseer.
- 'n Aanvaarbare verspreidingsdoeltreffendheid en 'n minimum vloeidiepte word aanvaar.

Die aannames kan grafies soos volg voorgestel word:

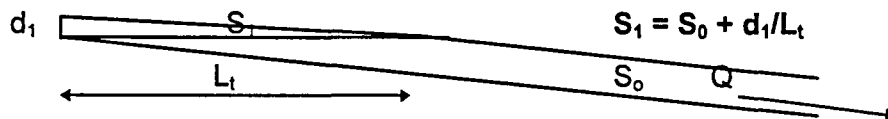
1) **Horizontale beddings:**

'n Bedding word as horisontaal beskou wanneer die maksimum helling nie meer as helfte van die verlangde toediening is nie.



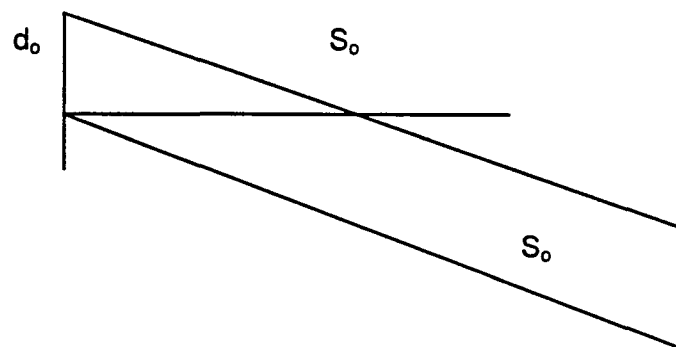
Figuur 7.1 Horizontale beddings

2) **Beddings met klein hellings:** $[S_0 < 0,4 \text{ persent}]$



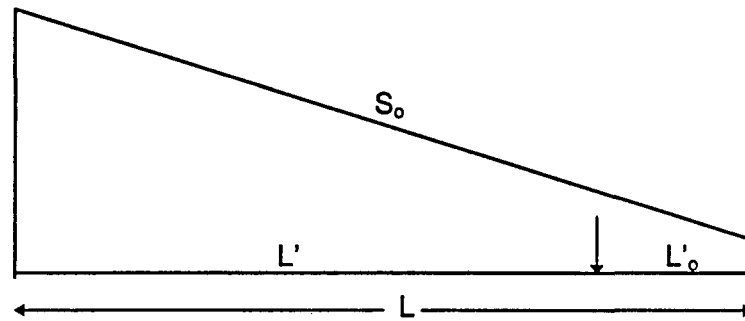
Figuur 7.2 Beddings met klein hellings

3) **Beddings met groot hellings (Normale vloei) $[S_0 > 0.004 (0.4 \text{ persent})]$**



Figuur 7.3 Beddings met groot hellings

4) Geslote beddings



$$\text{Met } L_e = [1 - E_a/100] r_c r_n L'$$

$$Q'_u = Q_u / [1 + L_e/L]$$

Figuur 7.4 Geslote beddings

Dus word in geval 4 dieselfde beginsel as in gevalle 2 en 3 beskou, maar met 'n kleiner Q_u - en L -waarde.

Shockley *et al.* (1964) beskryf die "kwasi-rasionele" benadering soos volg: "This is a balanced advance and recession kind of water application". Daar word dus aanvaar dat die besproeiing ideaal plaasvind, en dat die beginsel van energiebalans saam met die beginsel van massabehoud bevredig word. **Bogenoemde verteenwoordig dus 'n versluierde aanname in die ontwerpproses.**

Shockley *et al.* (1964) ontleed dus in wese slegs die wegdreineringsfase wat in paragraaf 2.3.3.5 beskryf is. Hy negeer die vorderingsfase en afdrogingsfase geheel en al. Hy neem aan dat die fases "ideaal" sou plaasvindsoos in Figuur 7.5 voorgestel.

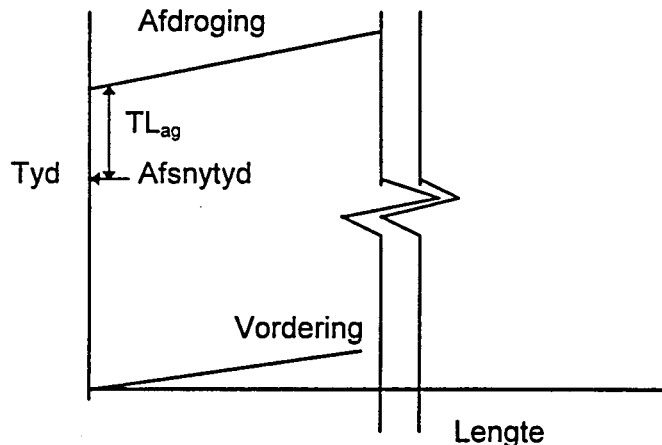
Shockley *et al.* (1964) probeer die wegdreinerings tyd (T_{Lag}) te bepaal deur te aanvaar dat die water by die bopunt van die bedding op 'n bepaalde wyse op die oppervlak sal wegdreineer en infiltreer (Figure 7.2 en 7.3).

- * Vir beddings met groot hellings ($S_o = 0,004 - 0,06$) word die volgende verband afgelei:

$$Q_u = \frac{L \times F_n}{7.2 \times (T_n - T_i) \times E}$$

- * Vir beddings met klein hellings: ($S_o = 0,0005 - 0,004$)

By sulke klein hellings geld bogenoemde verband egter nie, want die vloeidiepte daal vinniger by die inlaat as wat die water aan die onderpunt van die wegdreineringsprofiel wegvloei. (Figuur 7.2).

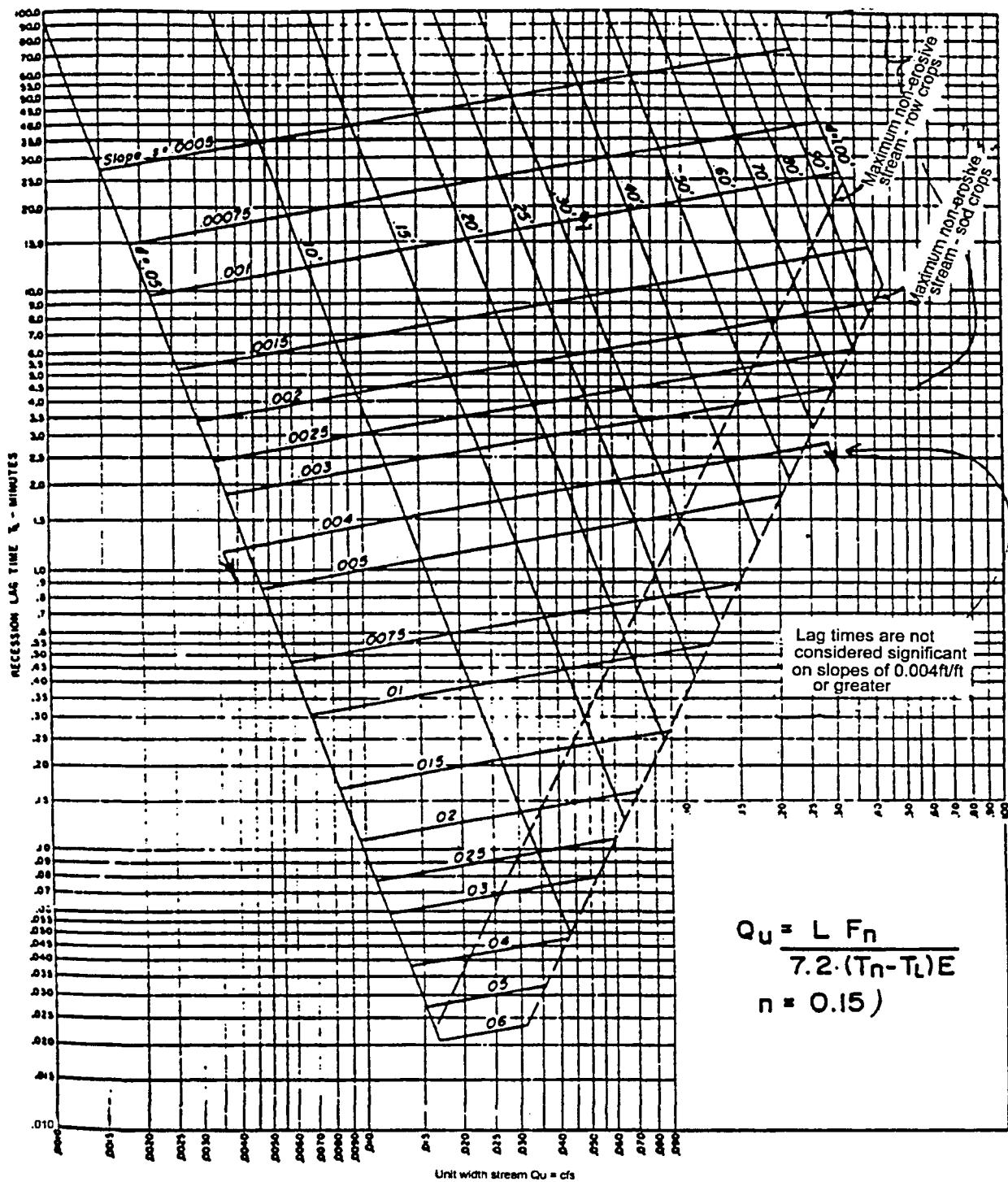


Figuur 7.5 Wegdreineringsprofiel aan die bopunt van die bedding.

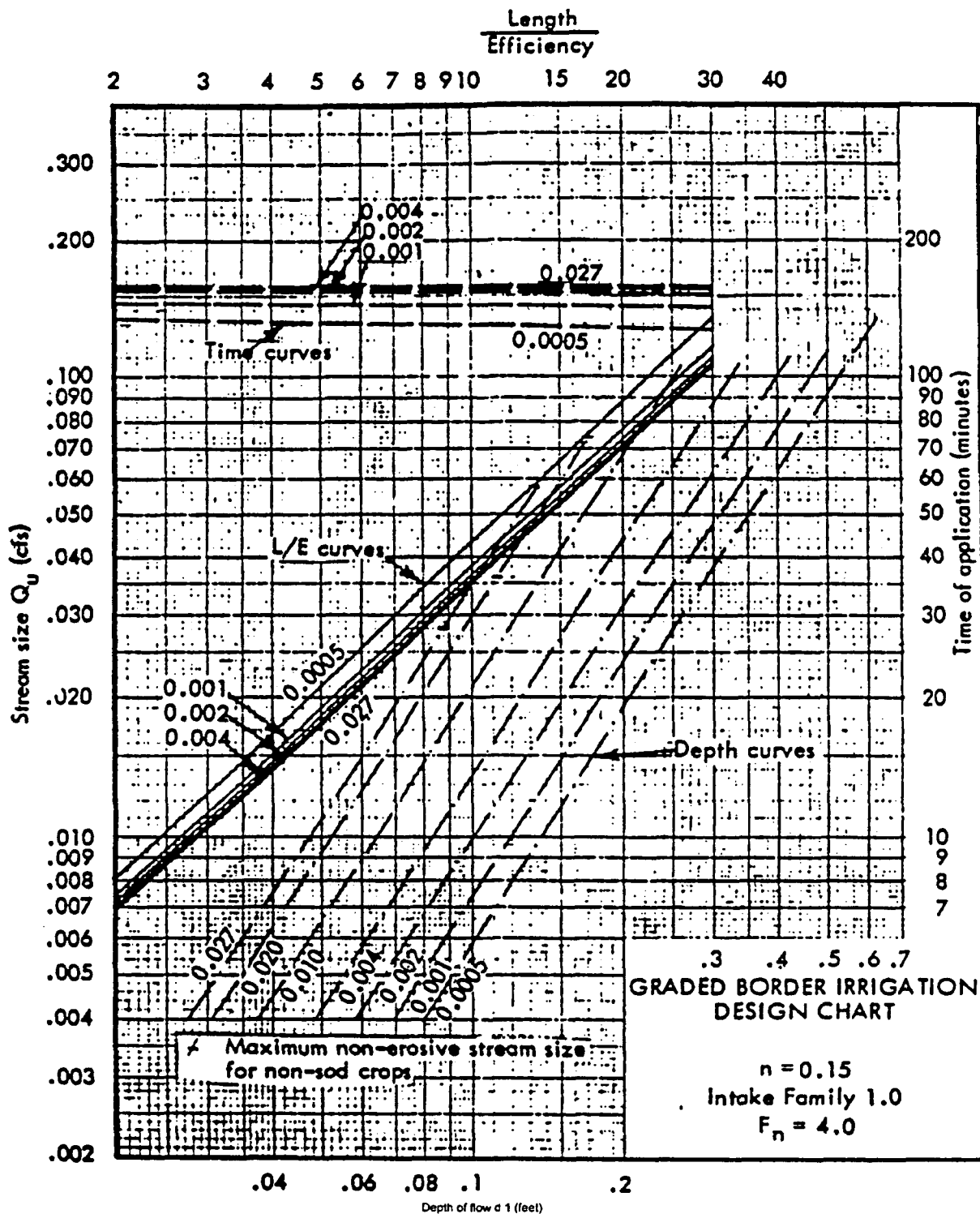
Shockley *et al.* (1964) pas die waarde van die wegdreinerings tyd hierby aan. Hulle bereken die tempo van die vorderingsfront met behulp van 'n aangepaste Lewis en Milne (1938) beginsel. Die berekende vorderingstempo word as basis geneem vir die tempo waarteen vloeidiepte (d_1) met tyd verander. Vir 'n gegewe beddinglengte (L) kan die afstandsverandering (L_t) dus vasgestel word. Die oppervlaktehelling van die wegdreineringsprofiel verander dus na:

$$S_1 = S_o + d_1 / L_t$$

Die wegdreinerings tyd (T_{Lag}) word met behulp van die nuwe helling S_1 bereken. Shockley (SCS 1974a) stel die berekende waardes grafies en in tabelvorm beskikbaar. (Figure 7.6 en 7.7). Die waardes word in Tabele 7.1 en 7.2) aangetoon.



Figuur 7.6 'n Voorbeeld van Shockley se voorstelling van vloediepte en resessietyd soos dit in die SCS-handleiding gebruik word (SCS,1974a).



Figuur 7.7 'n Voorbeeld van 'n ontwerpnomogram vir beddingbesproeiing soos dit deur Shockley gebruik word (SCS, 1974a).

Tabel 7.1 Resessietye vir beddings met klein hellings

	S _o = 0.0005				S _o = 0.001				S _o = 0.002				S _o = 0.004			
Time To	Qu 0.0001	Qu 0.010	Qu 0.100	Qu 0.200	Qu 0.001	Qu 0.010	Qu 0.100	Qu 0.200	Qu 0.001	Qu 0.010	Qu 0.100	Qu 0.200	Qu 0.001	Qu 0.010	Qu 0.100	Qu 0.200
RESESSIE-Lag TYD (T _L) in minute vir n = 0.04																
min																
10	2.0	2.4	2.8	3.1	1.1	1.5	1.9	2.0				1.0	1.1	Resessie-Lag tyd vir minder as een minute word uitgelaat		
30	3.4	4.5	5.6	6.0	1.4	2.1	3.0	3.3				1.2	1.4			
60	4.1	5.8	7.9	8.5	1.5	2.4	3.5	3.9				1.3	1.5			
100	4.5	6.6	9.4	10.3	1.6	2.5	3.8	4.2				1.4	1.6			
200	4.8	7.3	10.8	12.2	1.6	2.5	4.1	4.6				1.4	1.6			
400	5.0	7.8	11.8	13.5	1.6	2.5	4.2	4.7				1.4	1.6	een minute word uitgelaat		
600	5.0	7.9	12.2	14.0	1.6	2.5	4.2	4.8				1.4	1.6			
800	5.0	8.0	12.4	14.3	1.6	2.5	4.2	4.8				1.4	1.6			
1000	5.0	8.0	12.6	14.5	1.6	2.5	4.2	4.8				1.4	1.6			
2000	5.0	8.0	12.8	14.7	1.6	2.5	4.2	4.8				1.4	1.6			
RESESSIE-Lag TYD (T _L) in minute vir n = 0.15																
min																
10	3.2	3.3	3.4	3.4	2.4	2.7	3.0	3.1	1.5	1.9	2.2	2.4		1.0	1.4	1.5
30	7.3	8.2	8.9	9.2	4.6	5.7	6.8	7.1	2.1	3.0	4.1	4.5		1.3	1.9	2.1
60	11.3	13.6	15.5	16.3	5.9	8.1	10.3	10.9	2.4	3.6	5.2	5.7		1.4	2.1	2.3
100	14.5	18.4	22.1	23.3	6.6	9.6	13.0	14.0	2.6	3.9	5.7	6.4		1.4	2.2	2.4
200	18.4	25.3	33.0	35.0	7.4	10.9	16.1	17.7	2.7	4.2	6.3	7.2		1.5	2.3	2.6
400	21.2	30.7	43.3	47.5	8.0	11.8	18.1	20.4	2.8	4.3	6.7	7.6		1.5	2.3	2.6
600	22.4	33.4	48.5	53.5	8.2	12.3	19.0	21.7	2.8	4.4	6.8	7.8		1.5	2.3	2.6
800	23.0	35.0	51.3	57.3	8.2	12.5	19.6	22.3	2.8	4.4	6.9	7.9		1.5	2.3	2.7
1000	23.5	36.0	53.5	60.0	8.3	12.7	20.0	23.0	2.8	4.4	7.0	8.0		1.5	2.3	2.7
2000	24.7	38.0	58.0	66.0	8.4	13.0	20.7	23.7	2.8	4.4	7.0	8.0		1.5	2.3	2.7
RESESSIE-Lag TYD (T _L) in minute vir n = 0.25																
min																
10	3.2	3.4	3.5	3.5	2.7	3.0	3.1	3.3	2.0	2.4	2.8	2.8	1.1	1.5	1.8	2.0
30	8.3	9.2	9.7	9.9	6.1	7.1	8.0	8.3	3.4	4.5	5.7	6.0	1.4	2.1	3.0	3.3
60	14.4	16.2	17.6	18.2	8.8	11.0	13.3	14.1	4.0	5.7	7.8	8.5	1.5	2.3	3.5	3.9
100	20.7	23.4	26.5	27.4	10.6	14.2	18.0	19.3	4.4	6.4	9.2	10.2	1.6	2.5	3.7	4.2
200	29.4	35.7	43.0	45.0	12.4	17.9	24.1	26.8	4.7	7.2	10.7	12.0	1.7	2.6	4.0	4.6
400	37.0	48.5	63.0	67.0	13.8	20.5	29.3	33.4	4.9	7.6	11.7	13.2	1.7	2.7	4.1	4.7
600	40.8	54.5	74.5	81.0	14.5	21.6	32.0	36.3	5.0	7.8	12.2	13.7	1.7	2.7	4.1	4.8
800	42.0	58.0	82.0	90.0	14.8	22.0	33.7	38.0	5.0	7.9	12.4	14.0	1.7	2.7	4.1	4.8
1000	44.0	61.0	87.5	96.0	15.0	22.4	34.7	39.3	5.0	8.0	12.5	14.1	1.7	2.7	4.1	4.8
2000	45.5	68.0	99.0	110.0	15.6	23.0	36.7	41.0	5.0	8.0	12.8	14.5	1.7	2.7	4.1	4.8

Tabel 7.2 Maksimum helling vir beddingbesproeiing

Inname Familie	Diepte van toedien- ing	n = 0.04 persentasie doeltreffendheid						n = 0.15 persentasie doeltreffendheid						n = 0.25 Doeltreffendheid persentasie					
		50	55	60	65	70	75	50	55	60	65	70	75	50	55	60	65	70	75
0.3	1	.001*	.001*	.001*	.001*			.011*	.009*	.008*	.006*			.030*	.025*	.021*	.018*		
	2	#	#	#	#			.004*	.003*	.003*	.002*			.011*	.009*	.008*	.006*		
	3	#	#	#	#	#		.003*	.002*	.002*	.002*	.001*		.007*	.006*	.005*	.004*	.004*	
	4	#	#	#	#	#		.002*	.002*	.001*	.001*	.001*		.005*	.004*	.004*	.003*	.003*	
0.5	1	.002*	.002*	.001*	.001*			.030*	.025*	.021*	.018*			.083*	.069*	.058*	.049*		
	2	.001*	.001*	.001*	.001*			.012*	.010*	.008*	.007*			.033*	.027*	.023*	.020*		
	3	.001*	.001*	#	#	#		.008*	.007*	.006*	.005*	.004*		.023*	.019*	.016*	.013*	.011*	
	4	#	#	#	#	#		.006*	.005*	.004*	.004*	.003*		.018*	.014*	.012*	.010*	.009*	
	5	#	#	#	#	#		.005*	.004*	.004*	.003*	.003*		.015*	.012*	.010*	.009*	.007*	
1.0	1	.008*	.006*	.005*	.005*	.004*	.003*	.069	.078	.077*	.065*	.056*	0.49*	.069	.078	.087	.097	.107	.118
	2	.003*	.003*	.002*	.002*	.002*	.002*	.048*	.040*	.034*	.029*	.025*	0.22*	.119	.111*	.093*	.079*	.069*	.060*
	3	.002*	.002*	.002*	.001*	.001*	.001*	.034*	.028*	.024*	.020*	.017*	0.15*	.094*	.078*	.065*	.056*	.048*	.042*
	4	.002*	.002*	.001*	.001*	.001*	.001*	.027*	.022*	.019*	.016*	.014*	0.12*	.075*	.062*	.052*	.045*	.039*	.034*
	5	.002*	.001*	.001*	.001*	.001*	.001*	.023*	.019*	.016*	.014*	.012*	0.10*	.064*	.053*	.045*	.038*	.033*	.029*
1.5	1	.016*	.013*	.011*	.010*	.008*	.007*	.042	.048	.054	.060	.066	.072	.042	.048	.054	.060	.066	.072
	2	.007*	.006*	.005*	.004*	.004*	.003*	.071	.081	.072*	.062*	.053*	.046*	.071	.081	.091	.101	.112	.123
	3	.005*	.004*	.004*	.003*	.003*	.002*	.074*	.062*	.052*	.044*	.038*	.033*	.089	.101	.114	.122*	.105*	.092*
	4	.004*	.004*	.003*	.003*	.002*	.002*	.060*	.050*	.042*	.036*	.031*	.027*	.103	.116	.116*	.099*	.086*	.075*
	5	.004*	.003*	.003*	.002*	.002*	.002*	.052*	.043*	.036*	.031*	.026*	.023*	.113	.119*	.100*	.085*	.073*	.064*
2.0	1	.027*	.023*	.019*	.016*	.014*	.012*	.030	.034	.038	.042	.047	.051	.030	.034	.038	.042	.047	.051
	2	.013*	.011*	.009*	.008*	.006*	.006*	.050	.056	.063	.070	.078	.080*	.050	.056	.063	.070	.078	.085
	3	.009*	.008*	.006*	.005*	.005*	.004*	.062	.070	.079	.077*	.066*	.058*	.062	.070	.079	.087	.096	.106
	4	.008*	.006*	.005*	.004*	.004*	.003*	.070	.080	.074*	.063*	.055*	.047*	.070	.080	.089	.100	.110	.120
	5	.007*	.005*	.005*	.004*	.003*	.003*	.077	.077*	.064*	.055*	.047*	.041*	.077	.087	.098	.109	.120	.114
3.0	1	.018	.021	.023	.026			.018	.021	.023	.026			.018	.021	.023	.026		
	2	.027*	.023*	.019*	.016*			.030	.034	.038	.042			.030	.034	.038	.042		
	3	.020*	.017*	.014*	.012*	.010*		.037	.042	.047	.052	.058		.037	.042	.047	.052	.058	
	4	.017*	.014*	.012*	.010*	.008*		.042	.047	.053	.059	.065		.042	.047	.053	.059	.065	
	5	.014*	.012*	.010*	.009*	.007*		.046	.052	.058	.065	.071		.046	.052	.058	.065	.071	
4.0	1	.013	.015	.016	.018			.013	.015	.016	.018			.013	.015	.016	.018		
	2	.021	.024	.027	.028*			.021	.024	.027	.030			.021	.024	.027	.030		
	3	.026	.028*	.024*	.020*	.018*		.026	.029	.033	.036	.040		.026	.029	.033	.036	.040	
	4	.029*	.024*	.020*	.017*	.015*		.029	.033	.037	.041	.045		.029	.033	.037	.041	.045	
	5	.025*	.021*	.017*	.015*	.013*		.032	.036	.040	.045	.050		.032	.036	.040	.045	.050	

Nie geskik vir randakkers met kunsmatige hellings nie

* Helling beperk deur diepte vereistes

Shockley (SCS 1974a) bepaal ook verskeie empiriese norme ten opsigte van:

- * Maksimum stroomgrootte wat nie erosie sal veroorsaak nie
- * Minimum stroomgrootte wat nodig is vir egalige besproeiing
- * Minimum vloeddiepte wat nodig is vir egalige besproeiing
- * Maksimum vloeddiepte as gevolg van 'n veronderstelde beddingwal
- * Doeltreffendhede wat bereik kan word.

7.3.2 Toepassing van die prosedure

Die toepassing van die prosedure word in die SCS-handleiding (Chapter 4, Border Irrigation, 1974(a) beskryf.

7.3.3 Teoretiese evaluering van die prosedure:

Die kwasi-rasionele metode van Shockley *et al.* (1964) is wyd deur navorsers in vloedbesproeiing gekritiseer (Walker, 1991). Die tegniek van Shockley *et al.* (1964) bied egter 'n werkbare ontwerpinstrument. As sulks word die tegniek deur USDA SCS aangewend om (waarskynlik onder druk van omstandighede en ten spyte van kritiek) 'n ontwerpprosedure daar te stel.

Die tegniek van Shockley *et al.* (1964) en die aanwending daarvan in "SCS-border Irrigation" (1974a), berus egter nie op goeie hidrouliese teorie nie. Die dinamiese effek van vorderings- en afdrogingsfronte is geïgnoreer, terwyl dit 'n groot invloed in die praktyk het. Die teoretiese afleiding van die wegdreineringsstyd vind ook nie plaas deur die werklike waterhelling ("Friction slope") in ag te neem nie.

Oorvereenvoudigde aannames word ook gemaak. Die meer praktiese navorsers in die VSA het volgens Walker (1991) meer op die ontleding van vorderingsfronte gekonsentreer (byvoorbeeld Fok en Bishop, 1965; Chen, 1970; Elliott *et al.*, 1982). Die meer teoretiese skool het op oplossings van die Saint Venant-vloeivergelykings gekonsentreer (Hart *et al.*, 1968; Strelkoff & Katapodes, 1977; Frangmeier & Strelkoff, 1979).

Evaluering met behulp van data:

Frangmeier en Strelkoff (1979) evalueer die SCS-prosedure met behulp van 'n simuleringsmodel en gemete data. Hulle het gevind dat die SCS-prosedure die resessietye totaal onderskat, en dus nie resultate met die nodige akkuraatheid gelever het nie.

Die wegdreineringsstye wat gemeet, gesimuleer en met die SCS metode voorspel is word in Tabel 7.3 vir data getoon in Figuur 7.8 (a) en Figuur 7.8 (b) aangedui.

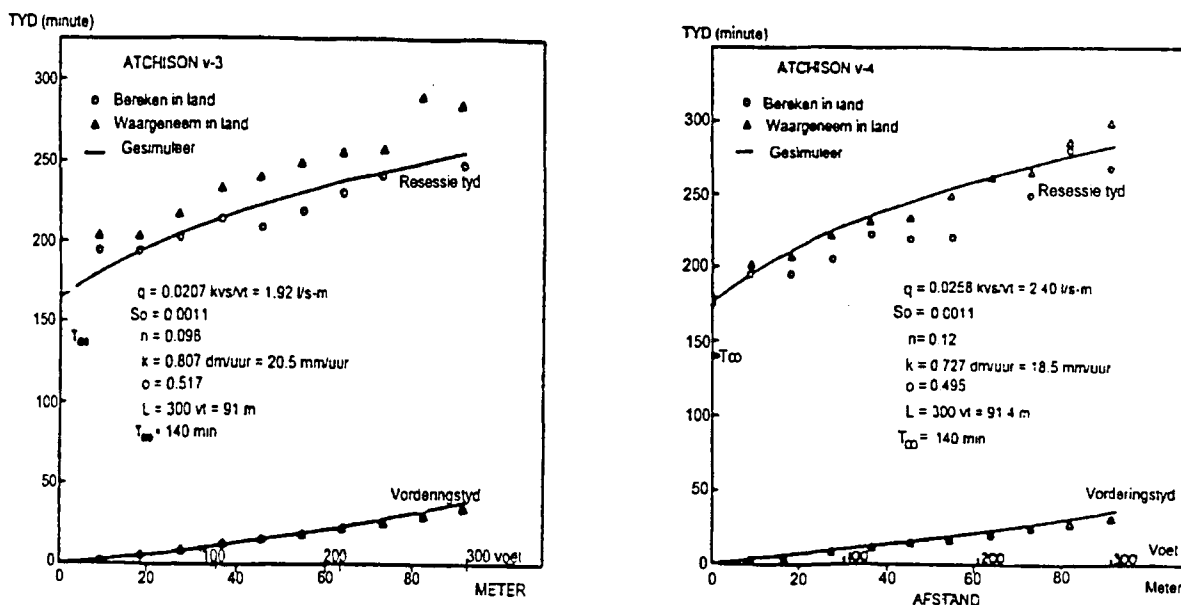


Figure 7.8a en 7.8b Frangmeier en Strelkoff (1979) se evaluering van die SCS-prosedure

Tabel 7.3 Vergelyking van wegdreineringsstye (Frangmeier en Strelkoff, 1979)

	Figuur 7.8(a)	Figuur 7.8(b)
Gemeet	32 Minute	35 Minute
Gesimuleer met Borderflow	26 Minute	34 Minute
Gesimuleer met SCS 1974a)	8 Minute	10.6Minute

Hulle vind ook dat aansienlik hoër doeltreffendhede bereik kan word as wat die SCS-prosedure voorspel. Vir verlangde toedienings van 100mm bevind hulle dat doeltreffendhede van 88-94 persent gerealiseer word waar:

$$S = 0,001$$

$$(Manning) n = 0,15 \text{ en}$$

$$L = 200 \text{ vt}$$

Die SCS-metode voorspel 'n 65 persent doeltreffendheid met gepaardgaande groter stroomgroottes en langer afsnytye.

Frangmeier en Strelkoff (1979) kom tot die gevolgtrekking dat die SCS-prosedure "redelike" resultate lewer. Die navorser meen egter dat bepaalde dinamiese afwykings wat in die SCS-prosedure voorkom, nie uitgewys kon word nie weens die wyse waarop die evaluering uitgevoer was. Figure 7.8 (a) en 7.8 (b) toon dat 'n groot storingsfase in beide gevalle bestaan. In Figuur 7.8 (b) word aangedui dat die vorderingsfront na slegs 35 minute voltooi is, terwyl water eers na 140 minute afgesny word. Resessie begin op ongeveer 175 minute. Die storingsfase is dus (175-35), d.w.s. 140 minute, waartydens water by die onderpunt van die bedding uitloop.

Sonder hergebruik van die afloopwater word 'n lae doeltreffendheid gerealiseer. In Suid-Afrika met beperkte watervoorrade is hierdie toestand totaal onaanvaarbaar.

Die Suid-Afrikaanse boer sou die water reeds na 25 tot 30 minute afgesny het. Resessie sou dan sowat 35 minute later eers begin het (dit wil sê op 60 tot 65 minute). Die verlangde toediening sou dan nooit kon realiseer nie, aangesien die kontaktyd $\pm$ 65 minute sou wees in plaas van 140 minute.

Weens hierdie dinamiese effek waarop die boer in die praktyk reageer, word die

aannames van Shockley dus ongeldig, aangesien volumebalans nie meer geld nie. Die simulering van Frangmeier en Strelkoff (1979) neem egter nie hierdie aspek in ag nie, en aanvaar dat volumebalans ten volle geld. Die swak punt in die SCS-prosedure word dus nie uitgewys nie.

Indien die beddinglengte in Figuur 7.8b byvoorbeeld viervoudig sou toeneem tot 360m, sou die vorderingsfront die eindpunt na sowat 160 tot 180 minute bereik het. Indien die stroom dan op 140 minute afgesny sou word, sou resessie op 175 minute begin het. Die verlangde toediening sou dus bereik word aangesien die kontaktyd min of meer 140 minute sou wees. Dieselfde wegdreinerings tyd (T_{Lag}) = 35 minute) sou steeds geld.

Bogenoemde voorbeeld kan ook uit die data wat Du Rand *et al.* (1985) by Vaalharts verkry het, waargeneem word. **Die waarde van die wegdreinerings tyd (T_{Lag}) kan dus nie sondermeer aan die dinamiese toediening wat in die praktyk sal realiseer, gekoppel word nie.** Die waarde mag toevallig korrek wees sodat 'n verband, soos dié wat deur Shockley beskryf, dalk geldig mag wees, of dit mag verkeerd wees. **Die ontwerper sal dus nooit weet of die verband geldig is of nie. Addisionele ontleding van die vorderings- en die afdrogingsfases sal dus nodig wees vir 'n ontwerpproses. Dit kan verkry word deur praktiese metings, simuleringstudies of deur 'n optimeringsanalise.**

7.3.4 Gevolgtrekking

Die SCS metode vir die ontwerp van beddings (SCS 1974) voldoen nie aan die huidige norme nie aangesien:

- 1.) Die funksionele vereistes van Tabel 5.1 nie volledig bevredig word nie. Die ontwerp is nie noodwendig prakties aangepas by heersende hidrouliese toestande, bestuurspraktyke en prioriteite nie.
- 2.) Hidrouliese verbande word nie korrek weergegee nie, hoewel al die kernelemente in die hidrouliese ontwerp beskryf word. Optimering vind nie plaas nie.

- 3.) Die prosedure kan ook nie as sulks aangewend word om 'n ontwerp onder Suid-Afrikaanse toestande te doen nie. Indien die empiriese prosedure van paragraaf 4.3 daarmee saam toegepas word, kan goeie prestasie wel verkry word. Die prosedures is egter duur om toe te pas.
- 4) Die SCS-prosedure is relatief maklik en vinnig om vir ontwerpdoeleindes te gebruik. Die prosedure beklemtoon die belang van 'n analitiese ontwerp-prosedure.
- 5) Die SCS-prosedure bevorder die gedagte aan ontleedbare elemente in die ontwerp-proses. Geprogrammeerde besluitneming word in die hand gewerk deur grafieke en tabelle vir ontwerpdoeleindes te gebruik.

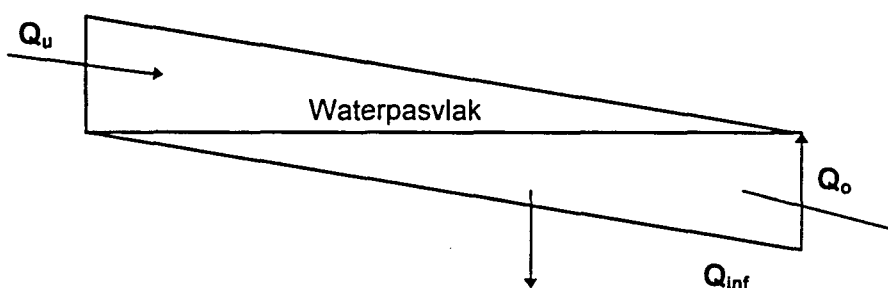
Ongelukkig is die verbande oorvereenvoudig. Rekenarisering sou dus moontlik wees, maar ongewens aangesien die prosedure nie korrekte resultate lewer nie.

7.4 EVALUERING VAN DIE AFSNYKÖEFFISIËNT-BENADERING (Badenhorst 1973, 1974)

Badenhorst (1973, 1974) het 'n afsnykoeffisiënt-benadering ontwikkel wat met die metode van Shockley *et al.* (1964) ooreenstem.

7.4.1 Teoretiese agtergrond

Badenhorst (1974) benut die wiskundige beskrywing van Shockley *et al.* (1964) om die wegdreineringsfase te ontleed. Hy beskou die Shockley -toestand met die aanname dat dit slegs geldig is vir beddings met groot hellings (Figuur 7.9).



Figuur 7.9 Wegdreineringsprofiel volgens Shockley *et al.* (1964) en Badenhorst (1974)

Badenhorst aanvaar dat die waterhelling van die wegdreineringsprofiel parallel is met die grondhelling en dat uniforme vloei dus by "normale diepte" voorkom. Soos met die Shockley -metode word die volgende verband met behulp van volumebalans afgelei, naamlik:

$$Q = \frac{L b Z b_{info}}{K T_k}$$

of

$$L = \frac{Q K T_k}{b Z b_{info}}$$

Infiltrasietempo:

K word gedefinieer as 'n afsnykonstante, waar:

$$K = \frac{T_k - T_{Lag}}{T_k}$$

Daar word afgelei dat die waarde k gegee word deur:

$$K^{0,2}(1-k) = \frac{n^{1,2} \times L^{0,2} \times b_{info}^{0,2}}{S^{1,6} \times T_k^{1,2} \times 1084,68} = X$$

'n Tweedegraadse vergelyking wat vir $k > 0,2$ geld, word afgelei om k te bereken, naamlik:

$$X = -0,45k^2 - 0,19k + 0,64 \dots \dots \dots (\text{Badenhorst, 1973}).$$

Badenhorst (1974) bereken die waardes van die afsnykonstante (K) vir 'n verskeidenheid toestande. Voorbeelde van hierdie waardes word in Tabel 7.4 vertoon.

Tabel 7.4 Afsnykonstantes (K) volgens Badenhorst (1974)

BEDDINGLENGTE = 300 METER

INFILTRASIE- TEMPO mm/h	TOEDIENING IN mm (VLOEIDIEPTE IN mm IN HAKIES NA KOEFISIËNT.)				
	25mm.	50mm.	75mm.	100mm.	HELLING
200.0	0.92 (159.)	0.96 (156.)	0.97 (154.)	0.98 (154.)	1/ 50.
200.0	0.76 (221.)	0.88 (201.)	0.92 (196.)	0.94 (194.)	1/ 100.
200.0	0.47 (332.)	0.77 (247.)	0.85 (233.)	0.89 (227.)	1/ 150.
200.0	0.00 (0.)	0.61 (311.)	0.75 (273.)	0.82 (299.)	1/ 200.
150.0	0.94 (132.)	0.97 (130.)	0.98 (129.)	0.98 (129.)	1/ 50
150.0	0.83 (176.)	0.92 (166.)	0.93 (163.)	0.96 (161.)	1/ 100
150.0	0.86 (229.)	0.84 (197.)	0.89 (190.)	0.92 (187.)	1/ 150
150.0	0.37 (350.)	0.74 (233.)	0.83 (217.)	0.87 (210.)	1/ 200
100.0	0.90 (131.)	0.95 (127.)	0.96 (126.)	0.97 (125.)	1/ 100
100.0	0.80 (159.)	0.90 (148.)	0.93 (145.)	0.95 (144.)	1/ 150
100.0	0.67 (104.)	0.84 (168.)	0.90 (162.)	0.92 (159.)	1/ 200
100.0	0.48 (252.)	0.77 (190.)	0.85 (179.)	0.89 (174.)	1/ 250
90.0	0.91 (122.)	0.95 (119.)	0.97 (118.)	0.97 (117.)	1/ 100
90.0	0.82 (147.)	0.91 (138.)	0.94 (135.)	0.95 (134.)	1/ 150
90.0	0.71 (175.)	0.86 (156.)	0.91 (151.)	0.93 (145.)	1/ 200
90.0	0.56 (210.)	0.80 (174.)	0.87 (166.)	0.90 (162.)	1/ 250
80.0	0.85 (134.)	0.92 (128.)	0.95 (126.)	0.96 (125.)	1/ 150
80.0	0.75 (157.)	0.88 (143.)	0.92 (139.)	0.94 (138.)	1/ 200
80.0	0.65 (187.)	0.83 (159.)	0.85 (152.)	0.91 (150.)	1/ 250
80.0	0.48 (238.)	0.78 (176.)	0.85 (166.)	0.89 (161.)	1/ 300
70.0	0.87 (122.)	0.93 (117.)	0.96 (115.)	0.97 (115.)	1/ 150
70.0	0.79 (141.)	0.90 (130.)	0.93 (128.)	0.95 (126.)	1/ 200
70.0	0.69 (163.)	0.85 (144.)	0.90 (129.)	0.93 (137.)	1/ 250
70.0	0.56 (195.)	0.80 (158.)	0.87 (150.)	0.90 (147.)	1/ 300
60.0	0.83 (125.)	0.92 (118.)	0.94 (116.)	0.96 (115.)	1/ 200
60.0	0.65 (163.)	0.84 (140.)	0.85 (135.)	0.92 (133.)	1/ 300
60.0	0.36 (252.)	0.73 (166.)	0.83 (154.)	0.87 (149.)	1/ 400
60.0	0.00 (0.)	0.59 (201.)	0.75 (175.)	0.81 (166.)	1/ 500
50.0	0.86 (109.)	0.93 (106.)	0.95 (103.)	0.96 (102.)	1/ 200
50.0	0.73 (136.)	0.87 (123.)	0.91 (119.)	0.93 (118.)	1/ 300
50.0	0.53 (180.)	0.79 (142.)	0.86 (135.)	0.90 (131.)	1/ 400
50.0	0.19 (351.)	0.69 (165.)	0.80 (150.)	0.85 (145.)	1/ 500
40.0	0.90 (98.)	0.95 (90.)	0.96 (89.)	0.97 (89.)	1/ 200
40.0	0.66 (138.)	0.84 (115.)	0.90 (115.)	0.92 (113.)	1/ 400
40.0	0.15 (373.)	0.68 (153.)	0.80 (140.)	0.85 (134.)	1/ 600
40.0	0.00 (0.)	0.48 (221.)	0.66 (170.)	0.75 (157.)	1/ 800
30.0	0.93 (77.)	0.96 (75.)	0.97 (75.)	0.98 (74.)	1/ 200
30.0	0.77 (106.)	0.89 (97.)	0.93 (95.)	0.94 (94.)	1/ 400
30.0	0.51 (153.)	0.78 (119.)	0.86 (112.)	0.89 (109.)	1/ 600
30.0	0.00 (0.)	0.63 (147.)	0.77 (131.)	0.83 (125.)	1/ 800
25.0	0.82 (91.)	0.91 (86.)	0.94 (84.)	0.95 (83.)	1/ 400
25.0	0.63 (121.)	0.88 (103.)	0.89 (89.)	0.91 (97.)	1/ 600
25.0	0.30 (205.)	0.71 (122.)	0.82 (113.)	0.86 (109.)	1/ 800
25.0	0.00 (0.)	0.56 (151.)	0.73 (129.)	0.80 (122.)	1/ 1000
20.0	0.73 (97.)	0.87 (87.)	0.91 (85.)	0.93 (83.)	1/ 600
20.0	0.52 (129.)	0.79 (101.)	0.86 (96.)	0.90 (93.)	1/ 800
20.0	0.18 (262.)	0.68 (117.)	0.80 (107.)	0.85 (103.)	1/ 1000
20.0	0.00 (0.)	0.55 (141.)	0.72 (120.)	0.80 (113.)	1/ 1200
15.0	0.81 (76.)	0.91 (71.)	0.94 (70.)	0.95 (69.)	1/ 600
15.0	0.69 (92.)	0.85 (81.)	0.90 (78.)	0.93 (77.)	1/ 800
15.0	0.52 (117.)	0.78 (91.)	0.86 (86.)	0.89 (84.)	1/ 1000
15.0	0.99 (21.)	0.99 (21.)	0.99 (21.)	0.99 (21.)	1/ 1200

7.4.2 Toepassing van die Badenhorst-metode

Badenhorst (1974) gebruik 'n ontwerpvoorbeeld om aan te toon hoe die metode toegepas word.

- 1) 'n Voorlopige beddinglengte word met behulp van die beskikbare eenheid-stroomgrootte vir die verlangde toedienings bepaal deur $k = 0,8$ te stel (byvoorbeeld 300m vir toedienings van 25, 50, 75 en 100mm).
- 2) Die gemiddelde infiltrasietempo word met behulp van die verlangde toediening (soos deur 'n praktiese infiltrasietoets bepaal) vasgestel.

Byvoorbeeld, vir 25mm toegedien, is die infiltrasietempo 200 mm/h, of vir 'n 50mm toediening is die infiltrasietempo 140 mm/h.

- 3) Die afsny-koëffisiënt word vanaf Tabel 7.4 afgelees sodat:
 - * Maksimum vloediepte nie oorskrei word nie.
 - * By die kleinste moontlike toediening word die kleinste helling vir die ontwerp gekies.
- 4) Die stroomgrootte word met behulp van die afsny-koëffisiënt en kontaktyd vir die verlangde toediening bereken.

Die metode van Badenhorst (1974) is, met enkele wysigings, ook aan studente tydens tersiêre onderrig geleer. In die praktyk is die metode toegepas deur eerder die formules in plaas van die tabelle van Badenhorst (1974) vir berekening te gebruik.

Die volumebalansvergelyking word gebruik, naamlik:

$$Q = \frac{L_b Y_g}{60k T_g} \dots\dots\dots(\text{Badenhorst, 1973}).$$

Die waarde van die afsnykonstante (K) word bereken uit:

$$K^{0,2} (1-k) = x \dots\dots\dots (\text{Badenhorst, 1973}).$$

$$\text{met } x = \frac{n^{1,2} L^{0,2} Y_g^{0,2}}{S^{1,6} g^{1,2} 1084,68} \dots\dots\dots (\text{Badenhorst, 1973}).$$

[b=wydte van bedding (m); L=lengte van bedding (m); n=Manning se weerstandskoëffisiënt ; Q=Vloeitempo van water in bedding (l/s); t=tyd(min); t_g =gemiddelde konstante tyd; T=afsnityd (min); y_g =gemiddelde toediening; x=veranderlike].

Die beginsel van hierdie formules is dat stroomgrootte-variasies gebruik kan word om die toediening, wat op 'n bepaalde bedding sal realiseer, te beheer. Tabel 7.5 dui die resultate vir die voorbeeld van Badenhorst (1974) aan.

Tabel 7.5 Toedieningsvariasie met behulp van stroomgrootte soos bereken deur Badenhorst (1974)

Verlangde Toediening (mm)	Berekende Toediening	
	Vloeitempo l/s	Afsnityd (min)
50	60	20,0
75	48,7	36,9
100	44,1	54,4

Hierdie afsnykonstante-metode van Badenhorst vind goeie byval. Dit word, saam met Tabel 7.6 deur veral pasafgestudeerde studente gebruik.

Tabel 7.6 Empiriese riglyne wat saam met die Badenhorst-vergelyking in gebruik was

Grondtipe:	Sand	Leem	Kleileem	Klei
Klei-inhoud %	5 - 15	15 - 25	25 - 40	40+
Lengte (m)	70 - 100	100 - 200	250 - 400	500 - 1000
Helling	1:200 - 1:300	1:300 - 1:400	1:400 - 1:600	1:600-1:1,000
Stroomsterkte (m ³ /h)/m	25	35	50	70

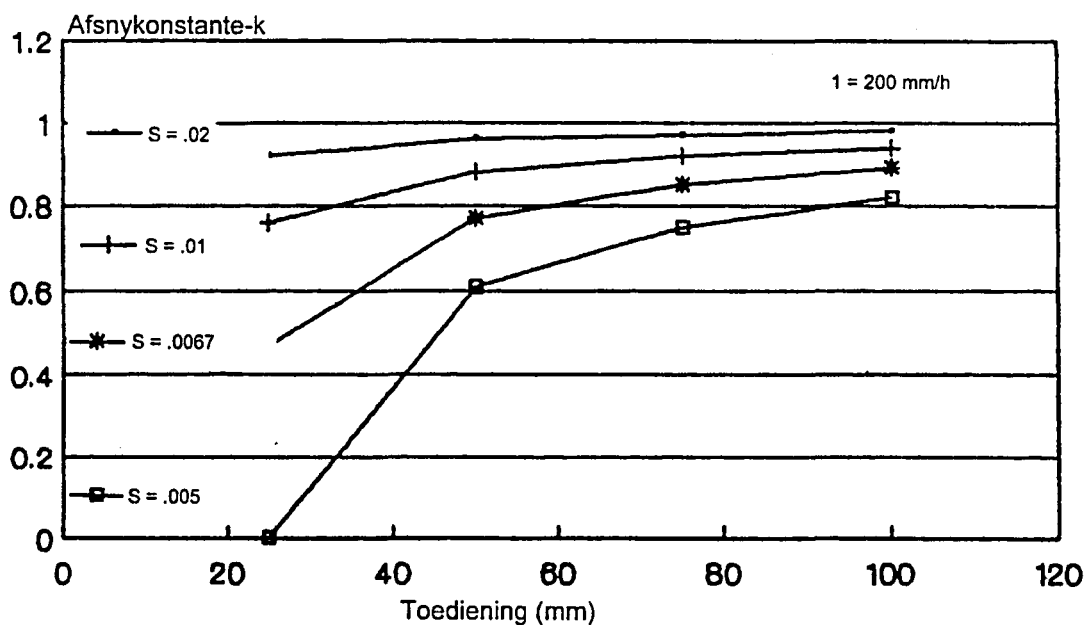
7.4.3 Teoretiese evaluering van die prosedures

Soos in die geval van Shockley *et al.* (1964) en SCS Border Irrigation (1974a) berus die metode van Badenhorst nie op 'n goeie hidrouliese teorie nie. As gevolg van die feit dat 'n analitiese formule verskaf word, word die metode van Badenhorst wyd in Suid-Afrika toegepas.

By nadere ondersoek van die Badenhorst-model blyk die volgende:

7.4.3.1 Toepassing deur Badenhorst (1974)

Volgens die tabelle geld dit dat, hoe kleiner die toediening is wat verlang word, hoe groter is die stroom vir 'n relatief korter kontaktyd. Die inligting wat uit die ontwerpvoorbeeld van Badenhorst (1974) verkry is, kan grafies soos volg voorgestel word (Figuur 7.10).

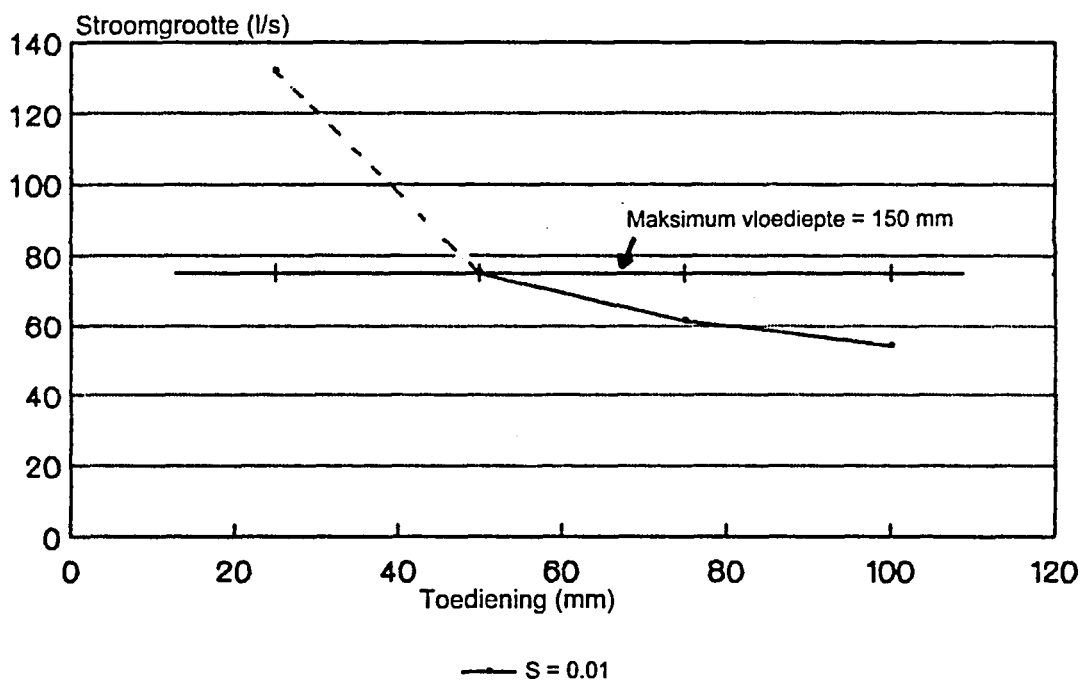


Figuur 7.10 Afsnykonstantes teenoor toediening verlang, volgens die ontwerpvoorbeeld van Badenhorst (1974).

Indien dit 7,5 minute neem om 25 mm toe te dien, is die afsnykonstante (volgens Badenhorst, 1974) 25 mm teen 'n infiltrasietempo van 200 mm/h. Die afsnykonstantes vir 50 mm, 75 mm en 100 mm is respektiewelik by infiltrasietempo's van 139,5 mm/h, 117 mm/h en 108 mm/h (kontaktye verlang is 21,5; 38,5 en 56 minute) volgens Badenhorst (1974).

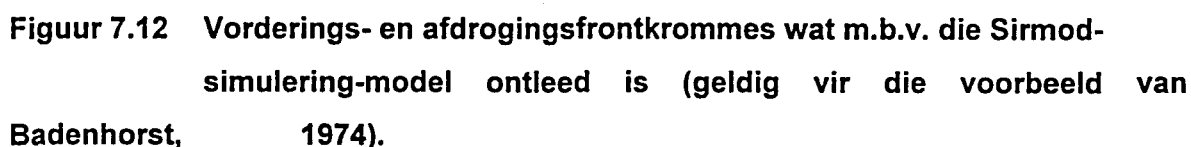
Die waardes word grafies teenoor die hellings (soos in die tabelle verskaf) aangedui, en op 'n grafiek van toediening- teenoor afsnykonstante gestip.

Badenhorst kies 'n helling van 1/100 as die geskikste. Figuur 7.11 toon die berekende stroomgroottes (Badenhorst, 974) teenoor toediening. Die berekende teoretiese maksimum vloediepte, wat slegs geldig is indien geen infiltrasie plaasvind nie, word ook aangetoon.



Figuur 7.11 Stroomgroottes teenoor verlangde toediening volgens die ontwerpvoorbeeld van Badenhorst (1974)

Die voorbeeld van Badenhorst (1974) is met behulp van die Sirmod-simuleringsmodel (Walker, 1989) geëvalueer. Die berekende stroomgroottes en afsnytye van Badenhorst (1974) is vir die voorbeeld gesimuleer sodat al die besproeiingsfases ontleed kon word. Vorderings- en afdrogingskrommes is hieruit verkry. Die resultate word in Figuur 7.12 getoon.



Badenhorst bereken dat 'n stroomgrootte van 75 l/s (dus $Q_u = 12,5$ l/s/m) met 'n afsnytyd van 20 minute genoeg water aan die bopunt van die bedding vrystel om die water eweredig 50 mm diep oor die 300m lengte van die bedding te versprei (massabehoud).

Volgens sy ontwerp-formule aanvaar hy dat die water dinamies binne die 21,5 minute kontaktyd oor die 300m ontwerplengte versprei sal word. Die simulering toon egter dat die vorderingsfront slegs 90 meter afgelê het wanneer die stroom na 20 minute volgens Badenhorst (1974) se metode afgesny word. Volgens die simulering sal die vorderingsfront na ongeveer 68 minute op 'n lengte van ongeveer 210 meter staak. **Die verspreiding van water geskied dus nie in hierdie geval volgens die aannames van Badenhorst nie.** Die energiebalans-beginsel word dus nie in die geval van 'n 50mm toediening deur Badenhorst bevredig nie.

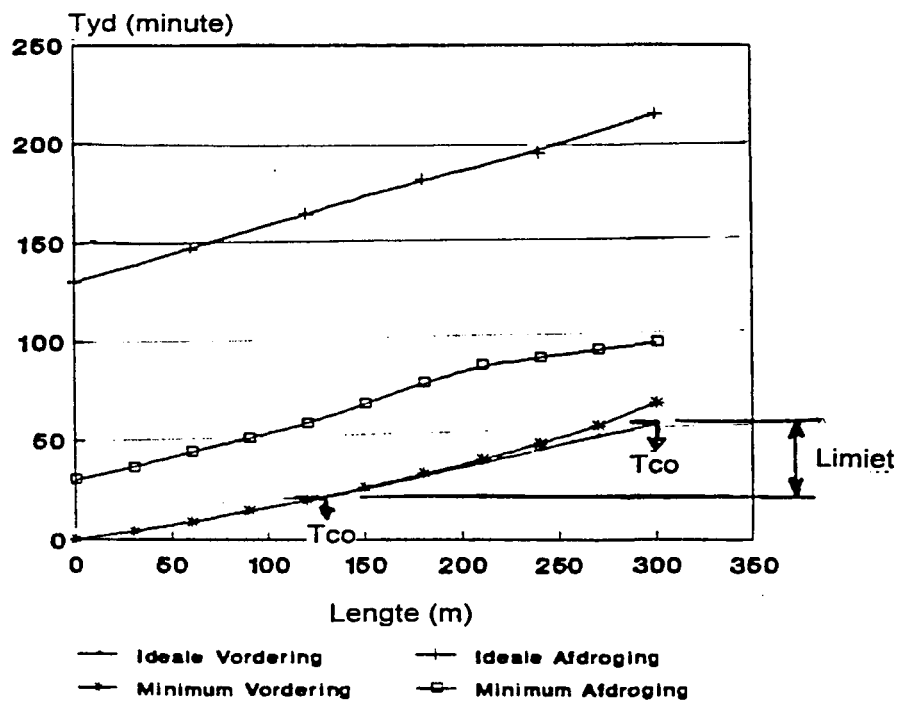
Soortgelyk vind toedienings vir 25 mm, 75 mm en 100 mm plaas. Uit die voorbeeld is dit duidelik dat die energiebalans in die geval van die 100 mm toediening beter bevredig is as in geval van die 25mm toediening [soos deur Badenhorst (1974) bereken].

Die 25mm toediening is verder met behulp van die simuleringsmodel ondersoek:

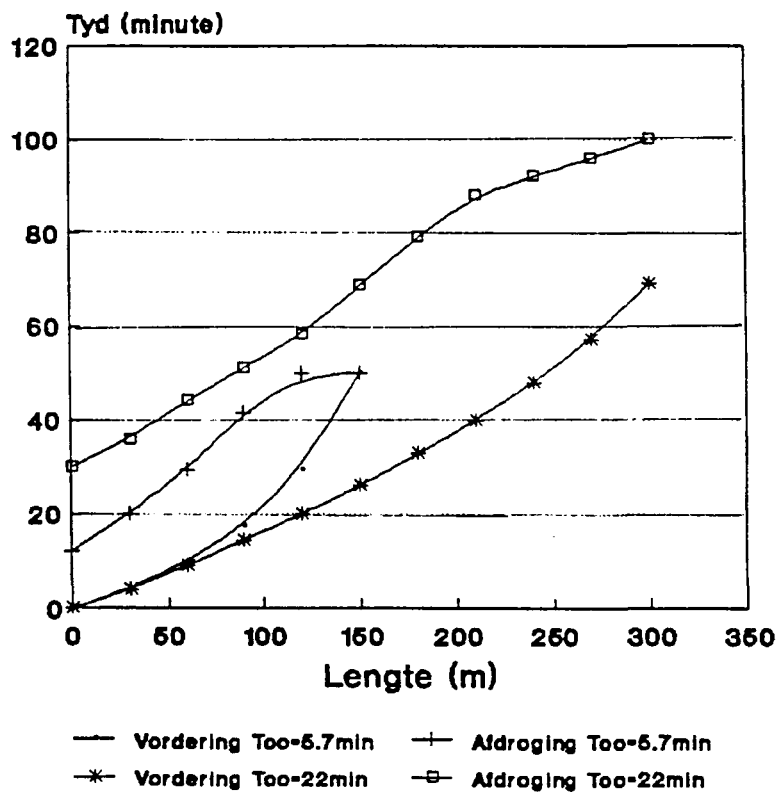
Badenhorst (1974) aanvaar dat dinamiese verspreiding van die verlangde volume water sal plaasvind. Indien die beginsels van massa en energiebehoud **toevallig gelyktydig** bevredig sou word, sou die toestand soos aangedui in Figuur 7.13 aangedui, geld. Die maksimum vorderingsfronttempo is bereken deur die stroom van 22 l/s/m af te sny nadat die ontwerplengte na 58 minute bereik is. Die minimum vorderingstempo is bereken deur die stroom so af te sny dat die ontwerplengte net-net (na 22 minute) bereik word.

Indien die ontwerp toevallig so gedoen was dat die afsnytyd tussen hierdie limiete van 22 en 58 minute was, sou die ontwerp in die praktyk kon realiseer.

In die praktyk sou 'n foutiewe ontwerp [soos dié in die voorbeeld van Badenhorst (1974)] tot die volgende resultaat lei: Met die foutiewe ontwerp sou 'n toediening van 25 mm daartoe lei dat 'n bedding van slegs 150 m besproei sou kon word (afsnityd 5,7 minute). Indien die beddings egter reeds uitgelê was, sou die operateur die water in die praktyk so uitkeer dat die hele lengte besproei sou word. Indien die water na 22 minute afgesny sou word sou die bedding wel ten volle benat word. Soos aangedui sou die toediening wat realiseer dan meer as 70 mm wees, teenoor die ontwerp-toediening van 25 mm.



Figuur 7.13 Berekenende limiete waartussen die massa- en energiebehoud-beginsels gelyktydig bevredig sou word



Figuur 7.14 Grafiese voorstelling van 'n foutiewe ontwerp

7.4.3.2 **Evaluering met behulp van data uit Projek OVH 77**

Die navorser was betrokke by die insameling en verwerking van data vir projek OVH 77 van die destydse Departement van Landbou. Tydens die projek is beddingbesproeiing op Vaalharts geëvalueer. 'n Verdampingspan met gepaardgaande gewasfaktore is gebruik om die **besproeiingsbehoefte** voor elke besproeiing te **bepaal**. (Gravimetriele waterinhoud en tensiometers is as kontrole gebruik). Die infiltrasietempo is voor besproeiing op drie plekke in elke bedding bepaal. Met die besproeiingsbehoefte bekend, is daar telkens 'n **stroomgrootte bereken waarmee die verlangde toediening volgens die Shockley - Badenhorst beginsel gegee kon word**. Die berekende stroomgrootte is sover prakties moontlik gebruik vir die besproeiing. [’n Volledige bespreking van metode en apparaat kom in **Volume 3**, hoofstuk 3 voor].

'n Totaal van 167 besproeiingsepisodes is geëvalueer. Die data wat versamel is, is: gerealiseerde toediening, doeltreffendheidsmaatstawwe, vorderings- en afdrogings-frontkrommes.

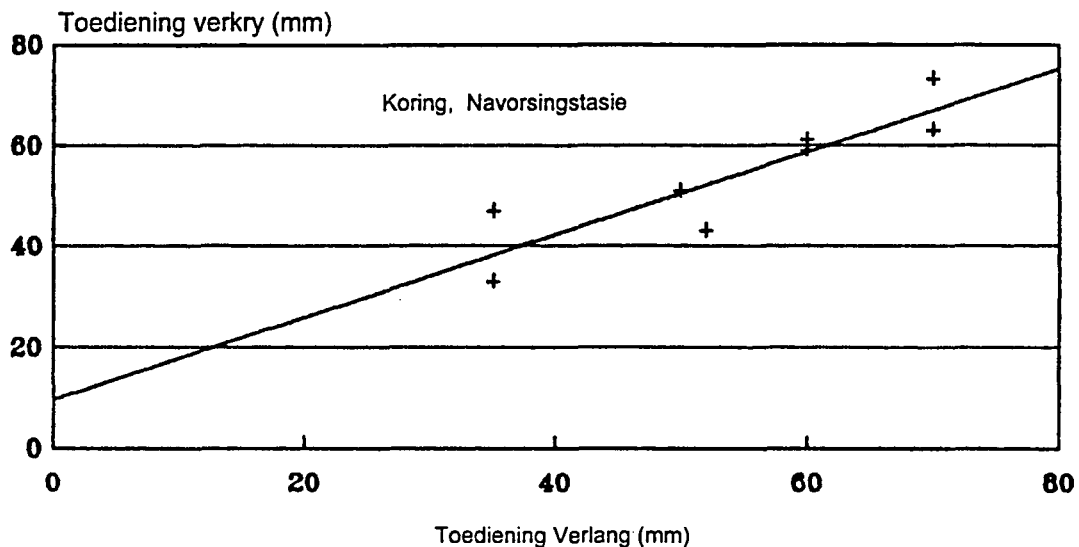
Die resultate wat ten opsigte van die Badenhorst-vergelyking behaal is, word in tabelle 7.7 en 7.8 aangetoon.

Die resultate toon dat daar nie 'n duidelike patroon tussen die voorspelde stroomgroottes en die werklike toedienings gevind kon word nie. Soms is heelwat groter toedienings verkry as wat die betrokke stroom moes lewer, soos onder andere met die besproeiing van koring op perseel 6A4 op 20 Julie 1982 (Tabel 7.8).

In ander gevalle is daar egter weer heelwat kleiner toedienings behaal as wat die berekende waardes voorspel het, soos byvoorbeeld die besproeiing van koring op perseel 6A4 op 10 Augustus 1982 (Tabel 7.8) In gevalle waar dit nie moontlik was om die berekende stroom te gebruik nie, is die verlangde toedienings met 'n hoë mate van doeltreffendheid verkry deur 'n stroom van meer as dubbeld die berekende stroom, te gebruik.

Daar kon nie 'n vaste tendens identifiseer word tussen die berekende toediening en die werklike toediening (met 'n sekere stroomgrootte) vasgestel word nie.

Figuur 7.15 toon die verwantskap tussen toediening wat verlang is en die werklike toediening wat verkry is deur die bedding met 'n stroomgrootte, wat met die Badenhorst-formule bereken is, te besproei. Al die resultate van die OVH77 projek word in Fig. 7.15 weerspieël. Geen duidelik waarneembare tendense kon geïdentifiseer word nie, en individuele ontledings is dus gedoen om verwantskappe te probeer uitwys.



Figuur 7.15 Verwantskap tussen die toediening wat verlang is, en die toediening wat werklik met 'n stroomsterkte, wat volgens die Badenhorst-formule bereken is, verkry is.

1) Resultate van koringbesproeiing op die navorsingstasie.

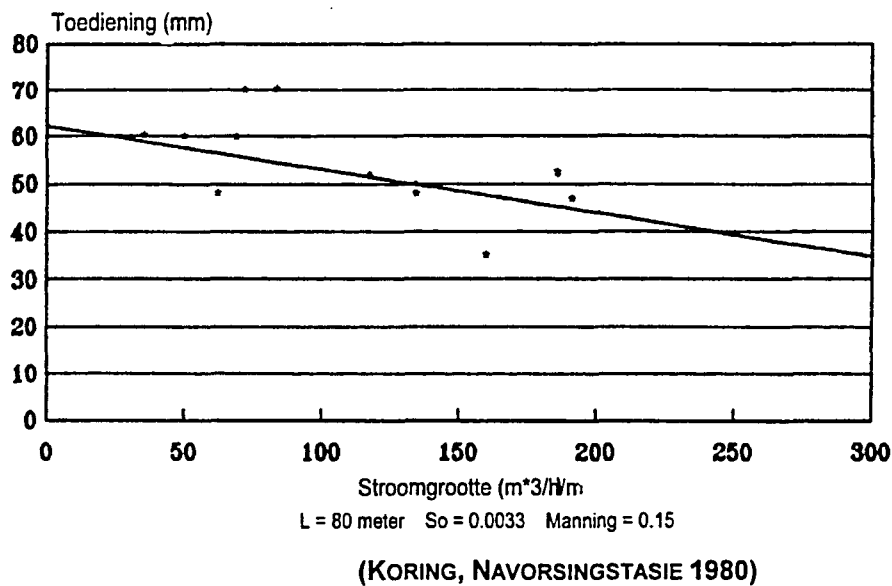
Die resultate word in Tabel 7.7 aangetoon. 'n Totaal van 32 metings is op 4 beddings tydens agt besproeiings uitgevoer. Die toedienings wat verkry is het vanaf 30 tot 73 mm gewissel. Die doeltreffendhede (gegrond op geraamde besproeiingsbehoefte) was oor die algemeen hoog. Die gemiddelde toedieningsdoeltreffendheid was byvoorbeeld 92,4 persent. Die gemiddelde verspreidingsdoeltreffendheid was 91,4 persent en die gemiddelde aanvullingsdoeltreffendheid was 93,7 persent.

Tabel 7.7 Die resultate van besproeiing op koring op die Vaalharts navorsingstasie (1980).

Datum 1980	Bed- ding.	Stroom (m ³ /h) -		Eenh. Stroom (m ³ /h)/ m	Rof- heid n	Toediening		Doeltreffendhede		
		Bereken	gebruik			Verlang	Verkry	Toe- dien - (%)	CU # %	Aanvul- (%)
06/18	1	83	83	13,8	0,15	70	63	97,8	84,7	87,7
	2	35	35	5,8	0,15	60	59	92,4	83,1	91,0
	3	50	51	8,5	0,15	60	61	88,1	78,6	90,1
	4	72	72	12,0	0,15	70	73	86,9	98,9	90,1
07/11	1	160	160	26,7	0,15	35	47	74,5	94,2	100
	2	160	160	26,7	0,15	35	33	98,8	98,4	92,6
	3	160	180	30,0	0,15	35	30	87,1	94,2	100
	4	160	150	25,0	0,15	35	32	100	95,0	92,3
08/11	1	134	200	33,3	0,15	48	60	-	-	-
	2	134	134	22,3	0,15	50	51	97,6	97,2	99,6
	3	134	200	33,3	0,15	50	44	57,2	79,2	100
	4	134	215	35,8	0,15	50	53	91,9	89,6	97,3
09/03	1	62	78	13,0	0,15	48	58	78,1	77,2	93,3
	2	62	140	23,3	0,15	48	55	87,0	91,7	98,8
	3	62	100	16,7	0,15	48	38	100	83,0	78,8
	4	62	100	16,7	0,15	48	40	99,3	83,8	83,0
09/16	1	69	150	25,0	0,15	60	62	92,8	86,2	95,2
	2	69	150	25,0	0,15	60	53	100	94,5	88,0
	3	69	150	25,0	0,15	60	52	100	97,4	86,8
	4	69	250	41,7	0,15	60	68	88,2	97,8	100
10/09	1	186	160	26,7	0,15	52	59	87,6	93,2	99,7
	2	186	200	33,3	0,15	52	45	100	98,0	86,3
	3	186	180	30,0	0,15	52	52	97,3	95,1	97,8
	4	186	190	31,7	0,15	52	43	100	98,2	82,1
10/21	1	117	150	25,0	0,20	52	59	86,6	92,5	98,9
	2	117	150	25,0	0,15	52	55	94,3	95,0	99,3
	3	117	150	25,0	0,15	52	52	96,5	92,2	95,7
	4	117	150	25,0	0,15	52	51	98,8	94,7	96,1
11/05	1	191	150	25,0	0,15	47	48	91,0	83,6	92,1
	2	191	150	25,0	0,15	47	47	98,2	96,8	98,6
	3	191	140	23,3	0,15	47	48	95,6	94,7	98,1
	4	191	140	23,3	0,15	47	45	100	93,7	94,7

Koëffisiënt van Uniformiteit of verspreidingsdoeltreffendheid.

Figuur 7.16 toon die verband tussen stroomgrootte en die bepaalde toedienings wat verlang word, soos dit met behulp van die Badenhorst- formule bereken is. Die resultate geld vir besproeide koring op die proefperseel by die Navorsingstasie op Vaalharts. Die berekende resultate toon dat 'n afname in die stroomgrootte tot 'n toename in die toediening sal lei.

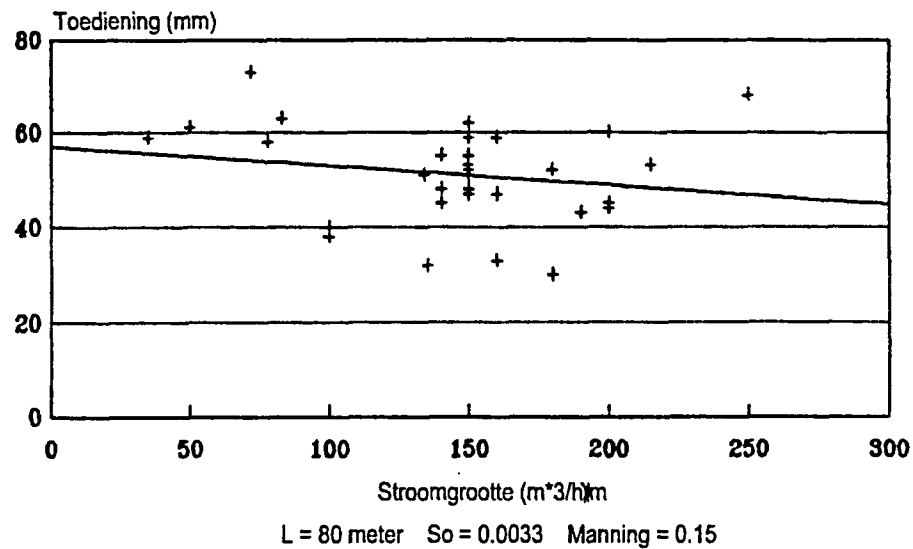


Figuur 7.16 Verband tussen die berekende stroomgrootte en die toedienings wat verlang word, (bereken met die Badenhorst-formule).

Figuur 7.17 toon die verwantskap tussen die stroomgrootte wat tydens die besproeiing gebruik is, en die werklike toediening wat verkry is. Afwykings en variasie kan tot 'n mate deur die volgende verklaar word

- * Variasies in die infiltrasietempo.
- * Variasie in afsnytyd deur verskillende besproeiingsoperateurs.

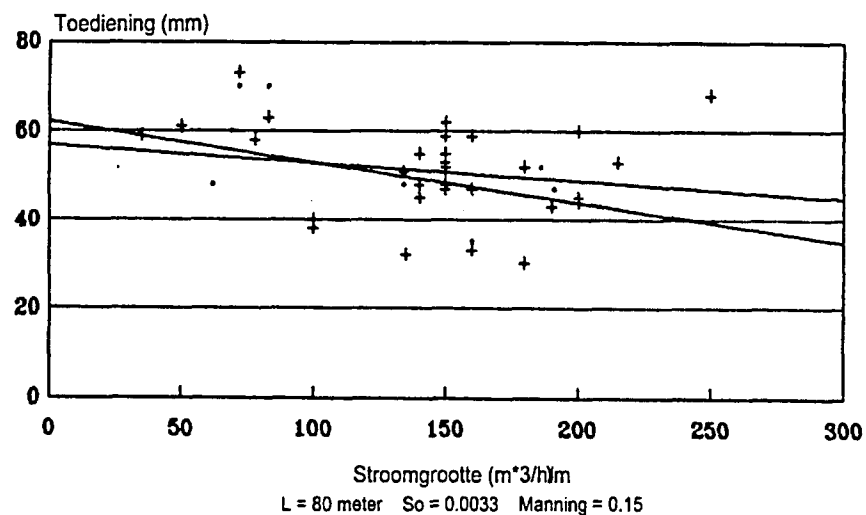
Die gemete resultate toon ook 'n tendens, naamlik dat 'n afname in die stroomgrootte tot 'n toename in die toediening lei.



(KORING, NAVORSINGSTASIE, 1980).

Figuur 7.17 Die verwantskap tussen die gemete stroomgrootte en die werklike toediening wat verkry is.

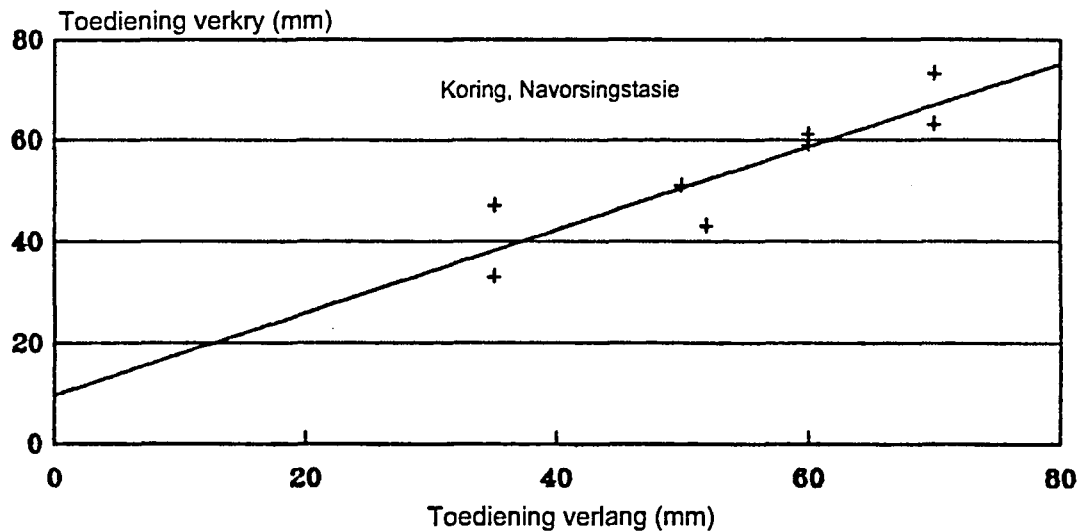
In Figuur 7.18 word die toediening wat gemeet is, asook die toediening wat verlang word, teen stroomgrootte gestip. Daar is 'n matige ooreenstemming in die tendenslyne wat in Figure 7.16 en 7.17 aangedui word, sigbaar.



(KORING, NAVORSINGSTASIE 1980)

Figuur 7.18 Toediening soos gemeet en toediening verlang teenoor stroomgrootte.

Figuur 7.19 toon die data van besproeide koring wat by die navorsingstasie verkry is. Slegs data waar die Badenhorst-riglyn gevolg is, word vertoon. 'n Duidelike verband tussen die toediening wat verlang was, en die toediening wat verkry is, is sigbaar. Vir die spesifieke situasie is daar dus goeie resultate vir die voorspelling van die stroomgrootte, wat vir 'n bepaalde toediening be-oog word, met die gebruik van die formule van Badenhorst behaal.



Figuur 7.19 Die korrelasie tussen gemete en verlangde toediening vir besproeide koring op die Navorsingstasie in 1980

2) Resultate van koringbesproeiing op perseel 6A4.

Die resultate van bogenoemde besproeiing word in Tabel 7.8 aangetoon.

'n Totaal van 20 metings is op 4 beddings tydens 6 besproeiings uitgevoer. Toedienings wat verkry is het gewissel vanaf 34 tot 57 mm. Doeltreffendhede het ook gewissel. As gevolg van 'n klein verlangde toediening van slegs 23 mm op 20/7/82 en die werklike toediening van 50 mm wat gerealiseer het, is 'n lae toedieningsdoeltreffendheid van gemiddeld 46 persent gedurende die besproeiing behaal. Tydens die daaropvolgende besproeiing is 'n groot toediening van 73 mm verlang, terwyl 'n gemiddelde toediening

van 45 mm gerealiseer het. Die toedieningsdoeltreffendheid was dus 99,5 persent terwyl 'n lae aanvullingsdoeltreffendheid van 57 persent in dié geval behaal is.

Vir die ses besproeiings was die gemiddelde doeltreffendhede soos volg:

- * Toedieningsdoeltreffendheid: 85 persent
- * Verspreidingsdoeltreffendheid: 90 persent
- * Aanvullingsdoeltreffendheid: 74 persent
(gegrond op beraamde besproeiingsbehoefte)

Figuur 7.20 toon die verband tussen stroomgrootte wat met behulp van die Badenhorst-formule vir bepaalde verlangde toedienings bereken is. Die resultate is geldig vir Perseel 6A4 op Vaalharts. Die berekende resultate toon dat 'n afname in die stroomgrootte tot 'n toename in toediening sal lei.

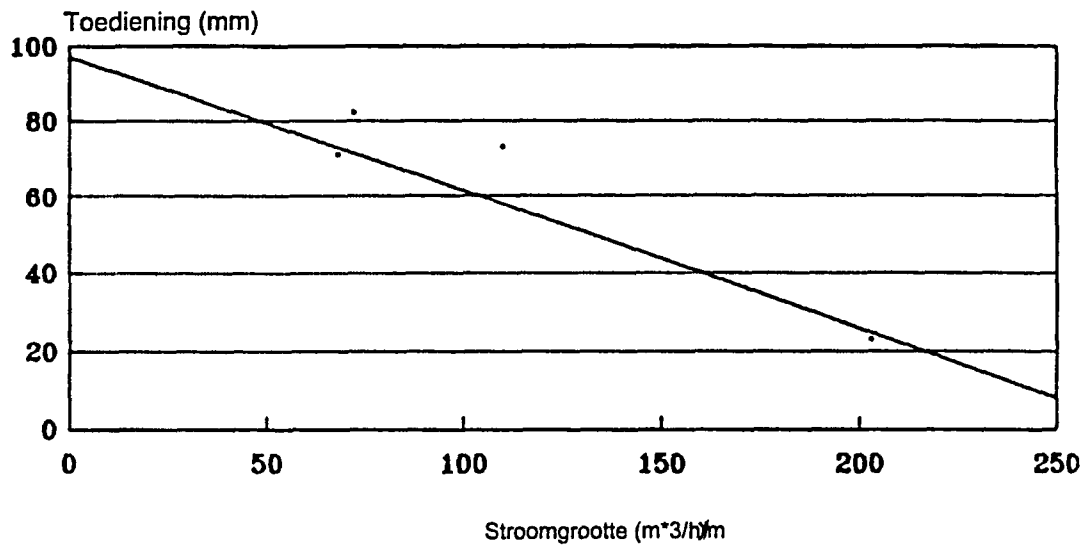
Figuur 7.21 toon die verwantskap tussen stroomgrootte (bereken volgens Badenhorst se formule, Figuur 7.20) wat tydens besproeiing gebruik is, en die werklike toediening wat verkry is. Uit Figuur 7.21 blyk dit duidelik dat 'n neiging bestaan dat die toediening matig toeneem namate die stroomgrootte toeneem.

Die gemelde tendens kan verder ondersoek word deur alle gemete resultate, wat vir koring op Perseel 6A4 verkry is, in Figuur 7.22 aan te toon. Die werklike stroomgrootte wat gebruik is, word teenoor die toediening wat verkry is aangetoon. Besproeiingsdoeltreffendhede word in Tabel 7.8 getoon.

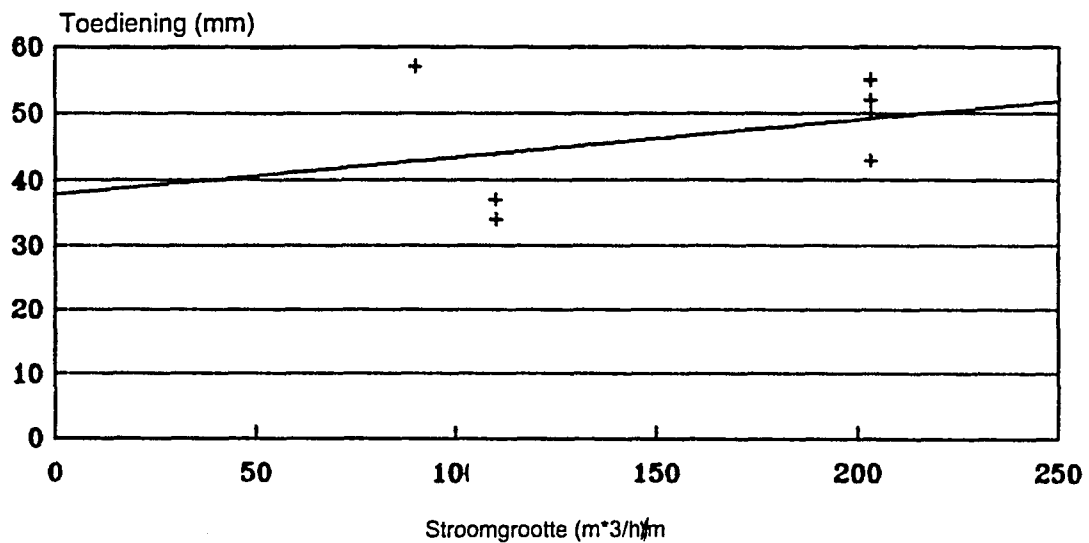
Tabel 7.8 Resultate van die besproeiing van koring op Perseel 6A4 in 1982.

Datum 1982	Bed- ding.	Stroom (m ³ /h)		Eenh. Stroom (m ³ /h)/m	Rof- heid n	Toediening		Doeltreffendhede		
		Bereken	gebruik			Verlang	Verkry	Toe- dien - (%)	C.U. # %	Aanvul- (%)
07/20	1	203	195	25	0,10	23	43	53	82	100
	2	203	195	25	0,10	23	55	42	89	100
	3	203	195	25	0,10	23	52	44	87	100
	4	203	195	25	0,10	23	50	46	93	100
08/10	1	110	115	14,7	0,10	73	34	100	93	46
	2	110	115	14,7	0,10	73	37	99	84	44
	3	110	115	14,7	0,10	73	41	99	84	53
	4	110	155	19,9	0,10	73	45	100	95	57
09/07	2	-	100	12,8	-	-	52	-	-	-
	4	-	190	24,4	-	-	54	-	-	-
09/21	1	90	100	12,8	0,10	45	47	-	88	-
	2	90	120	15,4	0,10	45	46	95	92	97
	3	90	91	11,7	0,10	45	57	78	94	99
	4	90	165	23,6	0,10	45	51	88	93	100
10/04	1	72	93	11,9	0,10	82	57	98	89	66
	2	72	93	11,9	0,10	82	49	100	92	58
	3	72	159	20,4	0,10	82	52	99	88	61
10/28	1	68	150	19,2	0,10	71	36	100	96	49
	2	68	150	19,2	0,10	71	47	100	93	63
	3	68	150	19,2	0,10	71	46	100	94	61

Koëffisiënt van Uniformiteit of verspreidingsdoeltreffendheid

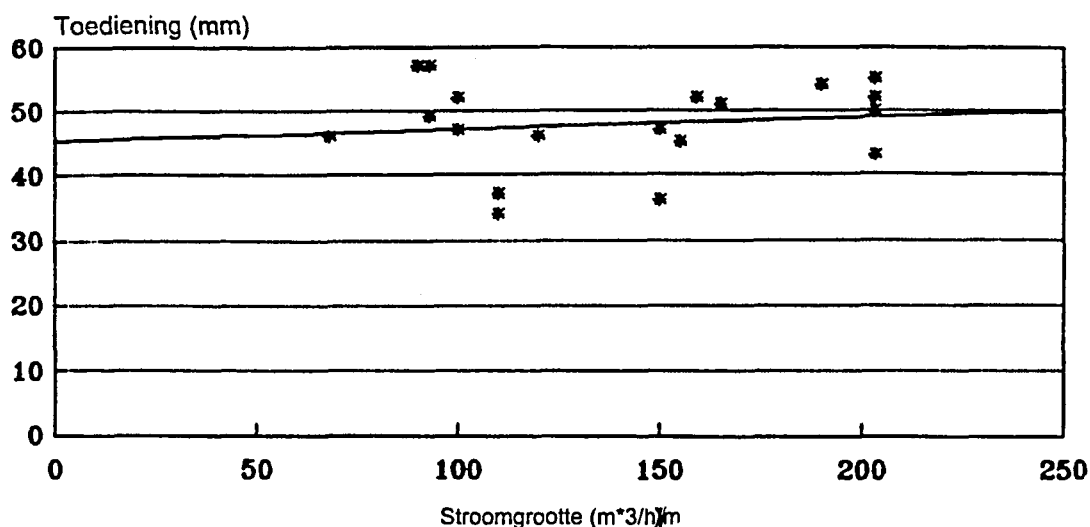


Figuur 7.20 Verband tussen die stroomgrootte en toediening wat verlang is (Badenhorst-formule) vir Perseel 6A4.



Figuur 7.21 Stroomgrootte gebruik (bereken volgens Badenhorst-formule) teenoor die werklike toediening gemeet op Perseel 6A4.

Figuur 7.22 toon weer eens 'n matige toename in toediening a.g.v. 'n groter stroomgrootte. Dit is duidelik dat stroomgroottes van tussen 90 en 200(m³/h)/m nie werklik die realiseerbare toediening beduidend beïnvloed nie. Hierdie tendens kan nie aan die hand van die volumebalans- of massabehoudteorie verklaar word nie.



L=80m; So=0.00625; Manning n =0.1

Figuur 7.22 Alle gemete data vir stroomgrootte teenoor toediening, soos weergegee in Tabel 7.8.

Die volgende verklarings kan egter wel uit die beginsel vir energiebehoud, soos in paragraaf 2.3.3.2 beskryf, gelever word, naamlik:

* Energiebalans

Hierdie balans in die totale besproeiingsstelsel word waarskynlik nie beduidend deur die verhoogde stroomgrootte beïnvloed nie. Verhoogde energie-insette (byvoorbeeld stroomgrootte) word waarskynlik deur verhoogde energieverliese (toenames in vloe weerstand en dinamiese infiltrasie) geneutraliseer.

Die moontlike toename in die dinamiese infiltrasietempo kan uit die waargenome kontaktye bepaal word.. As voorbeeld kan die besproeiing van beddings 1 en 4 op 10 Augustus 1982 geneem word:

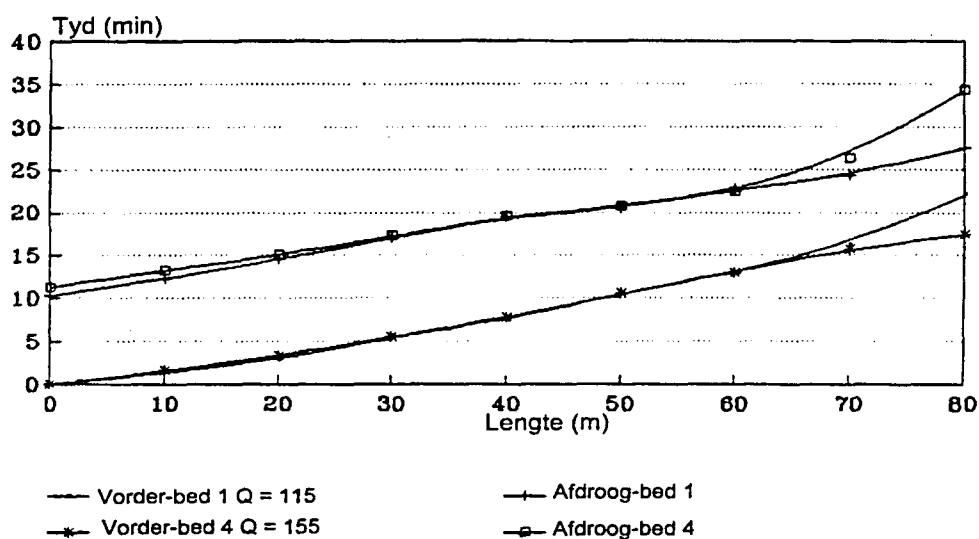
Vir $Q = 115 \text{ (m}^3\text{/h)/m}$ het in 'n gemiddelde tyd van 10min, 33 mm infiltreer.
Die gemiddelde infiltrasietempo was dus 3.3 mm/min.

Vir $Q = 155 \text{ (m}^3\text{/h)/m}$ het binne 'n gemiddelde tyd van 11.7 min, 44 mm infiltreer. Die gemiddelde infiltrasietempo was dus 3,76 mm/min.

* **Waterspreiding:**

Die beginsel van energiebehoud dikteer die wyse waarop water dinamies oor 'n bepaalde bedding sal versprei. As voorbeeld word die vorderings- en afdrogingskrommes vir beddings 1 en 4, soos op 10\8\82 gemeet, in Figuur 7.22 aangetoon.

Die $115 \text{ (m}^3\text{/h)/m}$ stroomgrootte van bedding 1 toon 'n aansienlik stadiger vordering as die $155 \text{ (m}^3\text{/h)/m}$ van bedding 4, terwyl die tempo van afdroging relatief konstant bly. Op bedding 1 versprei die water dus aansienlik swakker as op bedding 4.



AFSNYTYD: Bed 1 = 8.5 min; Bed 4 = 8.4 min

Figuur 7.23 Vorderings- en afdrogingskrommes vir beddings 1 en 4 van Perseel 6A4, soos gemeet op 10 Augustus 1982.

In beide gevalle is die aanvullingsdoeltreffendheid as gevolg van die relatief ligte besproeiing 100 persent. Die verspreidingsdoeltreffendheid van bedding 1 is, as gevolg van die oneweredige toediening, 93 persent teenoor die 95 persent van bedding 4.

Die laaste helfte van bedding 1 ontvang dus gemiddeld 27,3 mm teenoor die eerste helfte se gemiddelde van 35,8 mm. Die aanvullingsdoeltreffendhede is deurgaans laag as gevolg van die klein toedienings. Dit is dus moontlik dat variasie in waterverspreiding binne die aangetoonde hoë toedieningsdoeltreffendhede, die resultate van Perseel 6A4 kon beïnvloed.

* Bestuursensitiwiteit

Die beginsel van gelyktydige bevrediging van die beginsels vir massa- en energiebehoud, is reeds met behulp van simulerings in Figuur 7.13 aangedui.

Vir die besproeiing van bedding 1 op 10\8\82, is volgens die Badenhorst-formule bereken dat 'n stroomgrootte van $110 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ vir 25 minute aangewend moet word om die vereiste bruto toediening van 73 mm te verkry. Volgens die aangetoonde vorderingsfrontkromme vir bedding 1 in Figuur 7.23, het die water die onderpunt van die bedding na 20.7 minute bereik, terwyl dit reeds na 8,5 minute met 'n stroomgrootte van $115 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ afgesny is (dit was die stroomgrootte wat prakties die naaste aan die vereiste $110 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ ingestel kon word). Die energiebalans het dus nie in so 'n mate gerealiseer dat die beoogde volume in die Badenhorst-formule vir hierdie geval geldig was nie.

Aangesien die berekende Badenhorst-stroomgroottes en/of -afsnitye meestal nie in die praktyk as maatstaf vir besproeiing op geslote beddings gebruik kan word nie, moes die operateurs in die praktyk die geskikte afsnitye op die land met behulp van die vorderingsfront bepaal. 'n Variasie in die afsnityd en -afstand het dus telkens voorgekom. Sulke variasies lei tot variasies in die energiebalans, die

volume water toegedien asook in die beskikbare kontaktyd (met 'n konstante stroomgrootte).

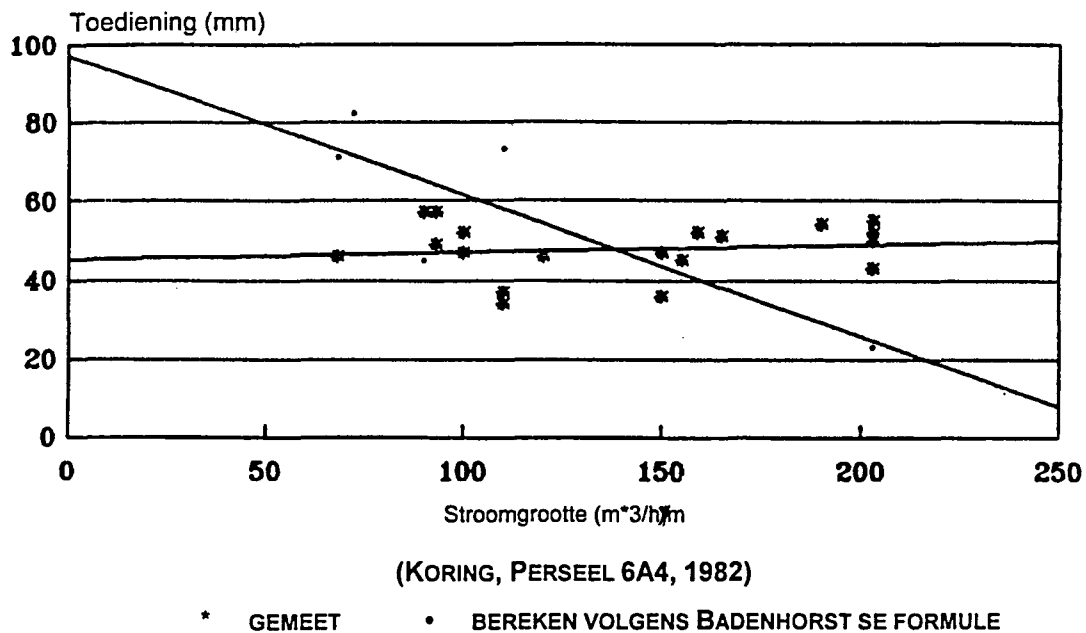
Vir die besproeiings van 10\8\82, waar 'n stroomgrootte van 115(m³/h)/m gebruik is, was die variasie soos volg:

#	<u>Bedding no 1:</u>	
	Afsny-afstand	44m
	Kontaktyd	10 min
	Bruto toediening	34 mm
#	<u>Bedding no 2:</u>	
	Afsny-afstand	47m
	Kontaktyd	12.4 min
	Bruto toediening	37 mm
#	<u>Bedding no 3:</u>	
	Afsny-afstand	50 m
	Kontaktyd	17,35 min
	Bruto toediening	41 mm

Die variasies wat in die gemete toedienings teenoor die stroomgroottes wat gebruik is (soos in Figuur 7.22 aangetoon) voorgekom het, kan dus aan die hand van bogenoemde bestuursbeheerde faktore verklaar word.

In Figuur 7.24 word die gemete waardes van die stroomgroottes met die berekende waardes (volgens Badenhorst) vergelyk. Uit hierdie figuur kan duidelik gesien word dat die Badenhorst-formule nie vir die omstandighede van Perseel 6A4 geld nie. Dit is dus nie moontlik om groot toedienings van 70 tot 80 mm te verkry indien kleiner stroomgroottes gebruik word nie. Dit is ook nie moontlik om klein toedienings van ongeveer 25 mm te verkry deur groot stroomgroottes te gebruik nie. Daar kan dus afgelei word dat die Badenhorst-formule slegs by 'n beperkte aantal toepassings "toevallig" die korrekte stroomgrootte voorspel. Ontwerpe wat met die Badenhorst-formule binne die 150 (m³/h)/m gebied

uitgevoer word, sal dus "toevallig" geldig wees vanweë die feit dat die beginsel van energie-balans en die beginsel van volumebalans gelyktydig geldig is.



Figuur 7.24 Gemete toedienings wat met stroomgroottes verkry is, teenoor die waardes wat met die Badenhorst-formule bereken is.

7.4.4 Gevolgtrekking

Die Badenhorst-ontwerpprosedure vir beddingbesproeiing (Badenhorst, 1973) voldoen weens die volgende redes nie aan die huidige norm nie, naamlik:

- 1) Die funksionele vereistes van Tabel 5.1 word nie volledig bevredig nie. Die stelselontwerpe is nie noodwendig prakties by heersende hidrouliese toestande, bestuurspraktyke en prioriteite aangepas nie.

- 2) Hidrouliese verbande word nie korrek weergegee nie, hoewel al die kernelemente in die hidrouliese ontwerp beskryf word. Optimering vind nie plaas nie.
- 3) Die ontwerpprocedure kan nie summier onder Suid-Afrikaanse toestande vir ontwerp aangewend word nie. Indien die empiriese procedure van paragraaf 4.3 daarmee saam toegepas word, kan goeie stelselprestasie wel verkry word. Die procedure is dan egter duur om toe te pas.

Die Badenhorst-formule is relatief maklik en vinnig om vir ontwerpdoeleindes te gebruik.

- Die procedure beklemtoon die belang van 'n analitiese ontwerpprocedure.
- Die formule bevorder ook die gedagte aan ontleedbare elemente in die ontwerpproses.
- Geprogrammeerde besluitneming word deur die gebruik van grafieke en tabelle (vir ontwerpdoeleindes) bevorder.

Ongelukkig is die verbande egter oorvereenvoudig. Rekenarisering sou dus moontlik wees, maar dit is ongewens omdat die procedure nie korrekte resultate lewer nie.

7.5 EVALUERING VAN DIE "OPTIMISERING VAN BEDDING-AFMETING" (VAN HEERDEN, 1987)

7.5.1 Teoretiese agtergrond

Die optimeringsprogram van Van Heerden (1987) is basies op die Badenhorst (1973) formule gebaseer. Van Heerden bereken telkens die stroomgrootte en afsnytyd vir 'n bepaalde beddingontwerp as deel van 'n aantal potensiële besproeiingsbeddings wat deur die rekenaaroperateur gekies word. Hierdeur word die Badenhorst-formule

deur die rekenaaroperateur gekies word. Hierdeur word die Badenhorst-formule herhaaldelik aangewend om die potensiele ontwerpgebied se data te genereer. 'n Aantal randvoorwaardes word gestel sodat die data binne die nodige spesifikasies vir vloeddiepte en erodeerbaarheid gegenereer word.

Met dié data word 'n rangorde aan elk van die "ontwerpe" toegeken deur 'n statistiese koeffisiënt van variasie van die berekende stroomgroottes as maatstaf te gebruik. Finale data word vir 'n maksimum van 25 "ontwerpe" wat binne die norm val, bereken.

Die prosedure, teoretiese agtergrond en toepassing word deeglik in die "Vloedbesproeiingsontwerphandleiding" van Van Heerden, 1987, beskryf en deur die destydse Departement van Landbou, gepubliseer. Verdere detail word derhalwe nie hier herhaal nie.

7.5.2 Evaluering van die prosedure

Die teoretiese evaluering van Shockley *et al.* (1964), paragraaf 7.3.3 en Badenhorst (1973), paragraaf 7.4.3, geld in beginsel ook vir Van Heerden se metode.

Van Heerden (1987) koppel egter 'n optimeringsrangorde aan die ontwerpresultate. Die **fokus** van die onderstaande beskrywing val dus eerder op die beginsel van optimering en wat daarmee bereik kan word, as op 'n verdere evaluering van die ontwerp as sulks. Sommige van die elemente wat by die optimering betrokke is, word derhalwe hierna verder toegelig.

7.5.2.1 Tipiese ontwerpdata

In Tabel 7.9 word 'n rekenaardrukstuk, wat tipiese ontwerpdata bevat en met die Van Heerden-rekenaarprogram gegenereer is, aangedui. Hierdie ontwerpdata geld vir tipiese Visriviertoestande (1.0 IF gronde). Die navorser het hierdie ontwerpdata met die Sirmod-simuleringsmodel gekontroleer. Goeie ooreenstemming is vir die betrokke data tussen die gesimuleerde data (Sirmod-simuleringsmodel) en die voorspelde data (Van Heerden-

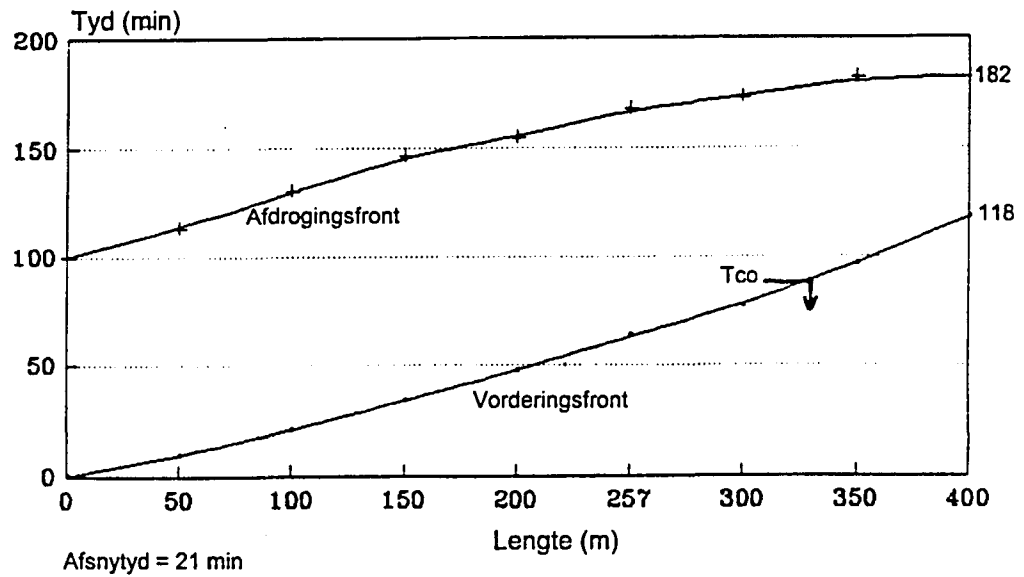
ontwerp) gevind. In Figuur 7.25 word aangetoon dat 'n toedieningsdoeltreffendheid van 69.6 persent verkry behoort te word vir opsie 1 van 21 van die voorspelde data wat in Tabel 7.9 getoon word.

7.5.2.2 Evaluering van die optimeringsontwerpprosedure van Van Heerden met behulp van data van projek OVH 77

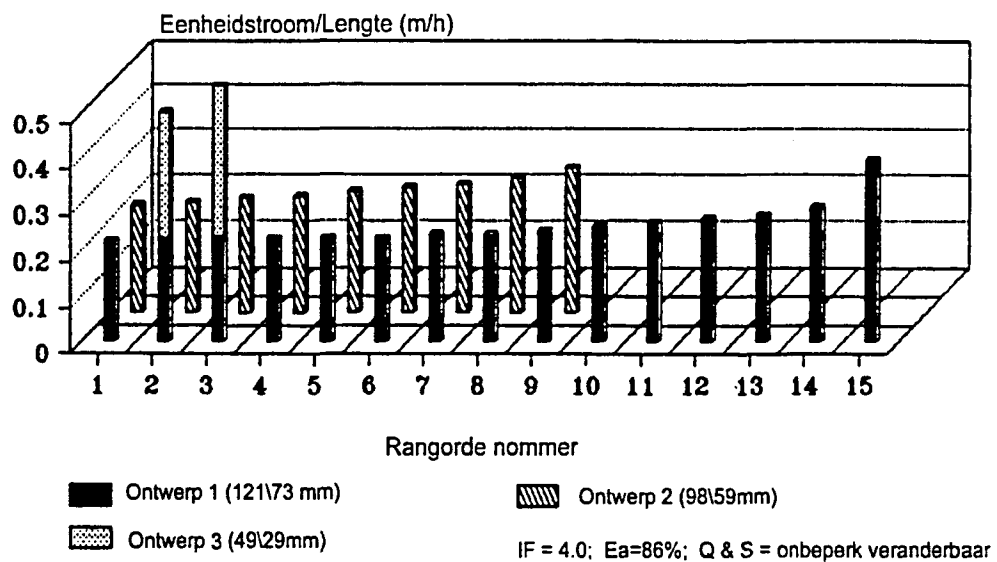
Die ontwerpprosedure van Van Heerden (1987) is nie aangepas vir hellings van meer as 1:200, wat tipies op Vaalharts voorkom nie. Vir hellings van 1:200 tot 1:500 het daar 'n aantal gevalle voorgekom waar geen ontwerpoplossing met behulp van hierdie prosedure gevind kon word nie.

As gevolg van die wyse waarop die program gestruktureer is, kan die ontwerper nie na willekeur op 'n ontwerpprobleem fokus om 'n bepaalde aspek te ondersoek nie. Daar kan slegs binne die gegewe hellingsvoorskrifte na toedieningskombinasies en randvoorwaardes gesoek word. Die OVH 77 resultate kan dus nie as sulks geëvalueer word nie. **Die OVH 77 resultate is dus aangepas en verwerk om die optimering as sulks te toets.** Data moes oorgeskakel word na eenheidstroom per lengte-eenheid (Q_u/L). 'n Aantal optimerings is daarna met behulp van die Van Heerden-prosedure uitgevoer. Drie hiervan word in Figuur 7.26 aangetoon. Die effek van Van Heerden se optimering kom daarop neer dat die ontwerp kombinasies vanaf klein na groot in terme van die berekende eenheidstroom per lengte eenheid gerangskik word.

In ontwerp nommer 1 (Figuur 7.26) is toedienings van 121mm en 73 mm gebruik. Vyftien moontlike ontwerpe is verkry. 'n Rangorde van 1 is toegeken aan die ontwerp met die laagste Q_u/L -waarde, naamlik 0.218. Rangorde 15 is toegeken aan die ontwerp met die hoogste Q_u/L -waarde wat nog binne die programnorme, naamlik $Q_u/L=0.395$ val.



Figuur 7.25 Gesimuleerde data (Sirmod- simuleringsmodel) van opsie 1 van 21 van die voorspelde data (volgens Van Heerden (1987), Tabel 7.9).



Figuur 7.26 Van Heerden (1987) se optimeringsrangorde vir ontwerpe

Tabel 7.9 Tipiese ontwerpdata van Van Heerden (1987)

TOETSDATA

GEWASKEUSE		
Gewastipe	Rofheid	Worteldiepte
Breedwerpig gesaai	0.15	0.9m
Rygewasse met diep wortels	0.1	0.9m
BESPROEING		
Stroom onbeperk veranderbaar		
Minimum: 200 kubieke meter per uur		
Maksimum: 600 kubieke meter per uur		
ONTWERPDATA		
Lengtes (m)	: 100 200 400 800	
Breedtes (m)	: 9 12 16	
Hellings (1:)	: 200 250 300 400 500 600 800 1 000 1 500 2 000	
Doeltreffendheid	: 70 %	
GROND		
Toegelate onttrekking : 67 mm binne worteldiepte		
Infiltrasiedata		
Tyd	Infiltrasie	
30	31	
60	50	
90	66	
120	80	
150	90	

DRUKSTUK

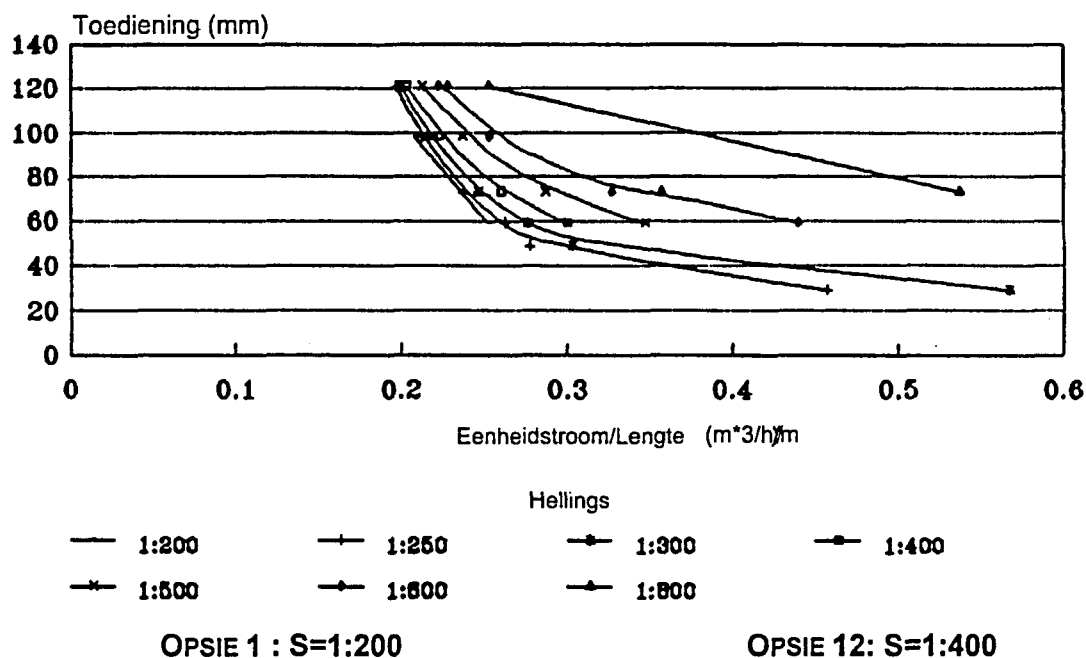
OPSIE 1 VAN 21					
LENGTE (m) : 400					
BREEDTE (m) : 16					
HELLING (1:) : 200					
Gewaskodes					
Gewas1 : BREEDWERPIG GESAAI					
Gewas2 : RYGEWASSE MET DIEP WORTELS					
Gewaskode	Toediening	Stroom	Afsny	Kontak	V-Diepte
	(mm)	(kub. m)	(min)	(min)	(mm)
Gewas 1	67	405	91	92	65
Gewas 1	40	521	42	43	75
Gewas 2	67	403	91	92	51
Gewas 2	40	514	43	43	59
OPSIE 12 VAN 21					
LENGTE (m) : 400					
BREEDTE (m) : 9					
HELLING (1:) : 400					
Gewaskodes					
Gewas1 : BREEDWERPIG GESAAI					
Gewas2 : RYGEWASSE MET DIEP WORTELS					
Gewaskode	Toediening	Stroom	Afsny	Kontak	V-Diepte
	(mm)	(kub. m)	(min)	(min)	(mm)
Gewas 1	67	235	88	92	81
Gewas 1	40	315	39	43	97
Gewas 2	67	231	90	92	63
Gewas 2	40	302	41	43	74

In ontwerp nommer 2 is slegs nege moontlike ontwerpe gevind vir toedienings van 98 mm en 59mm. Q_u/L waardes het tussen 0,231 en 0,347 gewissel.

In ontwerp nommer 3 is slegs twee moontlike oplossings gevind. Vir toedienings van 49mm en 29mm het Q_u/L waardes van 0,372 en 0,433 gerealiseer.

Die rangordes van Figuur 7.26 geld volgens die Van Heerden-resultate, ongeag die helling en werklike beddinglengte. Ten einde die effek van helling op toediening en Q_u/L te evalueer, word die data in Figuur 7.27 voorgestel.

Uit Figuur 7.27 is dit duidelik dat die Van Heerden-optimering steil hellings meer geskik ag ten einde 'n bepaalde toediening te realiseer, aangesien die Q_u/L -waardes laer is by steil hellings (Vergelyk opsie 1 en opsie 2 se helling vanuit Tabel 7.9 met hul Q_u/L waardes).

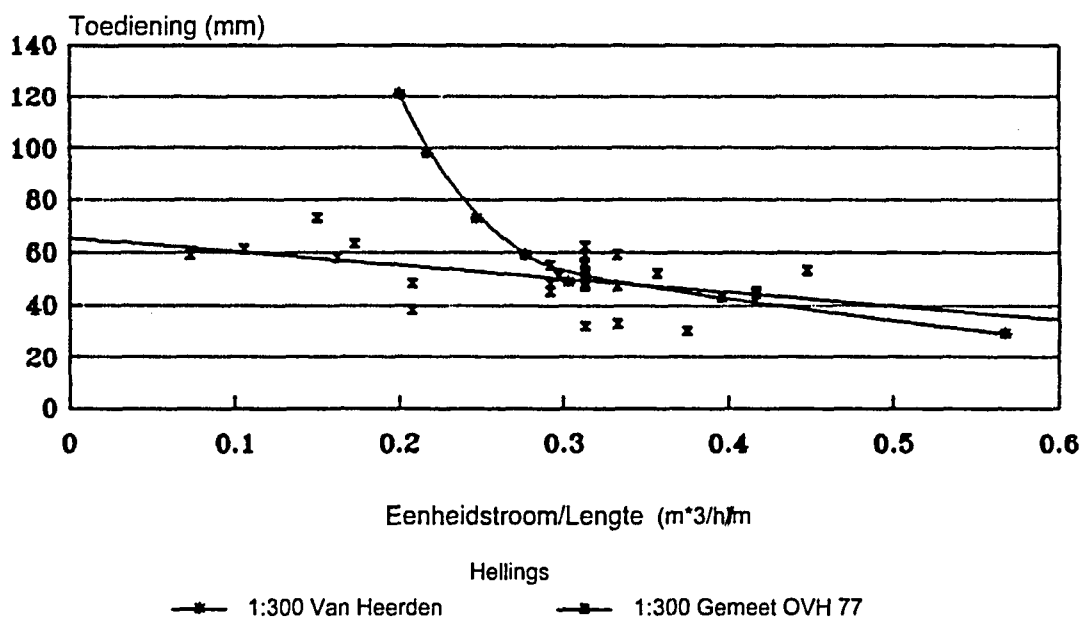


Figuur 7.27 Verband tussen Q_u/L , toediening en helling volgens die Van Heerden-prosedure (1987)

Figuur 7.28 toon die getransformeerde data van OVH 77 vir 'n 1:300 helling vir koring wat in 1980 by die navorsingstasie besproei is. Die tendens van die gemete waardes word vergelyk met die voorspelde data volgens Van Heerden (1987). Daar is 'n duidelike ooreenstemming tussen die voorspelde en die gemete data in die gebied van $Q_u/L=0,3$ tot $0,4$ met toedienings van 40mm tot 60mm. Die voorspelde data van Van Heerden wyk egter totaal af van die gemete data by kleiner Q_u/L -waardes. Die resultate onderskryf die **potensiële waarde** van 'n optimeringsproses soos deur Van Heerden voorgestel en gebruik. Die Q_u/L -waardes word egter nie vir die hele spektrum van besproeibare hellings deur Van Heerden se metode korrek voorspel nie.

7.5.2.3 Die begrip vloei-energie

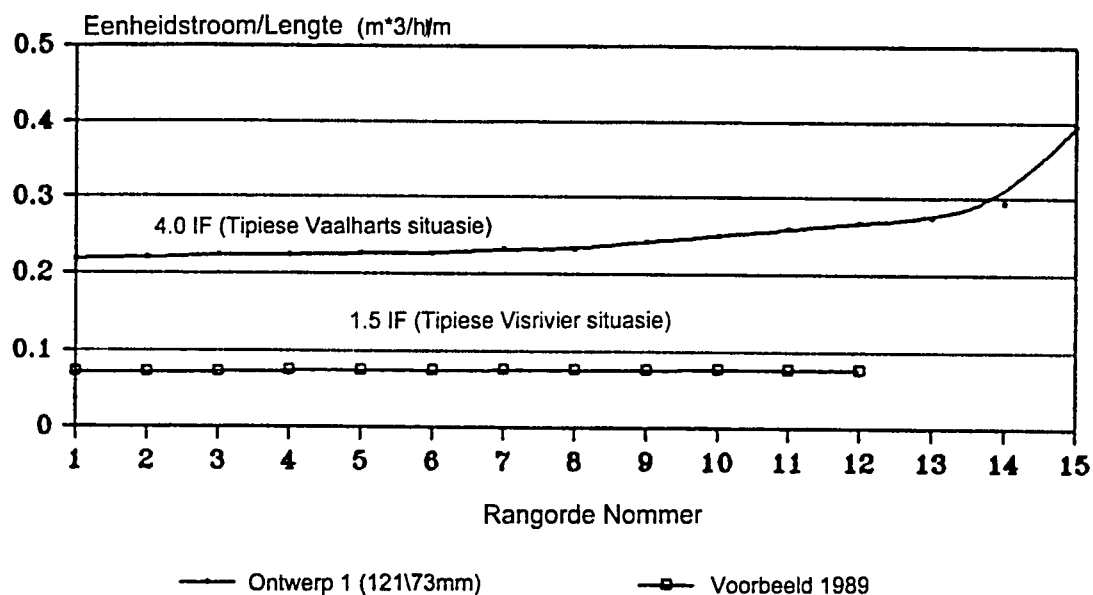
Die Q_u/L -waarde is 'n komponent van potensiële vloei-energie. Die ontleding van Q_u/L waardes in die vorige paragraaf behoort gelees te word teen die begrip van vloei-energie soos dit reeds in paragraaf 2.3.3.2 bespreek is. Slegs Q_u/L -waardes word in Figuur 7.28 vergelyk. In die praktyk word die netto-vloei-energie tydens 'n bepaalde besproeiing deur die heersende infiltrasietempo beïnvloed. So kan fluktuasies in die infiltrasietempo dus 'n invloed hê op die Q_u/L -waardes van die OVH 77-resultate. Hierdeur kan die variasies in resultate wat verkry is, verklaar word.



Figuur 7.28 Gemete OVH 77 data teenoor voorspelde data (Van Heerden, 1987)

Die teoretiese effek van die infiltrasietempo op die Q_u/L -waardes, wat met behulp van die Van Heerden-prosedure bereken is, kan vir tipiese ontwerpe aangetoon word. In Figuur 7.29 word die Q_u/L -waardes byvoorbeeld vir 'n tipiese Vaalhartsgrond (hoë infiltrasie) en 'n tipiese Visriviergrond (lae infiltrasie), aangedui. Die Q_u/L -waarde van 0,072 vir die lae infiltrasie gronde is aansienlik laer as die 0,218 waarde vir die hoë infiltrasie gronde.

Die feit dat ontleedbare tendense in die voorspelde Q_u/L -waardes voorkom (data soos voorgestel in Figuur 7.29), dui op die potensiaal om voorspellings te kan optimeer. (In **Volumes 3 en 4** word daar meer uitgebrei oor die redes waarom Q_u/L -waardes 'n komponent van die begrip netto- vloei-energie vorm).



Figur 7.29 Q_u/L -waardes vir verskillende gronde (Volgens die Van Heerden-prosedure bereken, 1987)

7.5.3 Gevolgtrekking

Die ontwerpprocedure van Van Heerden (1987) voldoen nie aan die huidige norm nie aangesien:

- 1) Die funksionele vereistes van Tabel 5.1 nie volledig bevredig word nie . Die stelselontwerpe is ook nie noodwendig prakties by heersende hidrouliese toestande, bestuurspraktyke en prioriteite aangepas nie.
- 2) Hidrouliese verbande word nie korrek weergegee nie, hoewel al die kernelemente in die hidrouliese-ontwerp beskryf word. Optimering vind wel plaas, maar foutiewe resultate word verkry.
- 3) Die ontwerpprocedure kan nie as sulks aangewend word om 'n ontwerp onder Suid-Afrikaanse toestande te doen nie. Indien die empiriese procedure van paragraaf 4.3 daarmee saam toegepas word, kan goeie stelselprestasie wel verkry word. Die procedure is egter dan te duur om toe te pas.

Die Van Heerden-procedure is relatief maklik en vinnig om vir ontwerpdoeleindes te gebruik. Die procedure beklemtoon die belang van 'n analitiese ontwerpprocedure en rekenarisering is reeds gedoen.

Die Van Heerden-procedure bevorder die gedagte aan ontleedbare elemente in die ontwerpproses. Geprogrammeerde besluitneming word deur die gebruik van grafieke en tabelle vir ontwerpdoeleindes in die hand gewerk.

Ongelukkig is die verbande oorvereenvoudig. Rekenarisering is dus moontlik , maar ongewens aangesien die procedure nie altyd korrekte resultate lewer nie.

7.6 ALGEMENE BESPREKING EN GEVOLGTREKKINGS TEN OPSIGTE VAN VOLUMEBALANSPROSEDURES

7.6.1 Teoretiese agtergrond

Hierdie metode kan goeie resultate oplewer wanneer dit saam met empiriese riglyne en praktiese metings toegepas word. Dit lewer veral goeie resultate wanneer beddings of vore met uitvloei aan die onderpunt ontwerp word, aangesien die invloed van dinamiese vloeitoestande dan minimaal is. Die voorwaardes vir volumebalans word dan toegepas.

Uiters swak resultate word egter soms met hierdie metode verkry deurdat die waarde van die bruto toediening oor- of onderskat word.

Voordele van volumebalansprosedures

- * Die prosedure is analities van aard, kan gerekenariseer word en is betreklik vinnig om oplossings mee te genereer.
- * Die prosedures kan met vrug aan empiriese verbande gekoppel word.

Nadele van volumebalansprosedures

- * Oplossings is dikwels totaal onprakties (veral wanneer geen empiriese data beskikbaar is nie). Oplossings bevredig dikwels nie die basiese voorwaarde van energiebehoud nie.
- * Die ontwerper het geen metode om vas te stel of die ontwerp wel die korrekte kombinasie van faktore weerspieël nie.
- * Die kans om "beter" en "swakker" ontwerpe van mekaar te skei, is onwaarskynlik.

- * Die tegniek lei tot wanbegrippe - byvoorbeeld dat toediening altyd deur stroomgrootte beheer kan word.

7.6.2 Gevolgtrekking

1. Die volumebalansprosedures lewer nie korrekte oplossings vir die verband tussen faktore nie. Wanneer gemete data gebruik word om die formules te evalueer, sal dit egter altyd korrekte antwoorde gee, aangesien beide die beginsels van massa- en energiebehoud reeds in die gemete data bevredig is.
2. Hoewel die prosedure die voordeel van lae ontwerpkooste bied, is die voorspellingswaarde van die prosedure wisselvallig en gevolglik is die resultaat van optimerings ongeloofwaardig.

HOOFSTUK 8

KRITIESE EVALUERING VAN HIDRODINAMIESE ONTWERPPROSEDURES

8.1 INLEIDING

Hidrodinamiese ontwerpprocedures word geklassifiseer aan die hand van die feit dat die verband tussen faktore wat by hidroulika betrokke is, op grond van hidrodinamiese beginsels beredeneer word. Die Saint Venant-vloeivergelykings word gebruik vir die ontleding van hetsy die volle reeks besproeiingsfases, óf vir slegs enkele daarvan, soos beskryf in Hoofstuk 2, paragraaf 2.3.3.2.

Die hoof-kenmerke van die prosedures kom daarop neer dat die beginsels van massa- en energiebehoud vir elke fase van die besproeiing wat ontleed word, gelyktydig matematies bevredig word. Soos aangedui in Hoofstuk 2, paragraaf 2.3.3.2 tot 2.3.3.7, bestaan komplekse verbande wat opgelos moet word. Baie navorsing was dan ook gerig op die ontwikkeling van simuleringstegnieke waarmee die Saint Venant vergelykings vir 'n enkele besproeiingsepisode opgelos kon word. Soos in Hoofstuk 2, paragraaf 2.3.4 aangedui word, kan suksesvolle simuleringstegnieke steeds nie as praktiese ontwerpprocedures toegepas word nie.

'n Verdere kenmerk van hidrodinamiese ontwerpprocedures kom daarop neer dat data met 'n bepaalde voorspellingswaarde deur herhaaldelike oplossing van die Saint Venant-vloeivergelykings vir 'n verteenwoordigende reeks besproeiingsepisodes gegenereer word.

Sodoende word die beginsels van tendens-ontleding en optimering op die bepaalde besproeiingsontwerpprobleem toegepas (Kruger, 1986; Kruger, 1989; Du Rand & Kruger, 1991), asook demonstrasies deur Walker, (1991) tydens 'n RSA-besoek mbv. die SIRMOD-simuleringsmodel.

8.2 METODE WAT IN DIE KRITIESE EVALUERINGSPROSES GEVOLG WORD

8.2.1 Spesifieke Metodes

Kritiese evaluering vind teen die huidige norm, soos dit in hoofstuk 5 voorgestel word, plaas.

8.2.2. Ontwerpprosedures geëvalueer

i. Afdrogingsfrontgradiënt-metode (Kruger, 1986)

Hierdie metode wat deur Kruger gevolg word, word aan die hand van die publikasie getiteld "Furrow Irrigation (Kruger, 1986)", asook aan die hand van sekere ongepubliseerde data, geëvalueer.

ii. Hidrodinamiese ontwerp van vloedbesproeiingstelsels (Kruger, 1989).

Hierdie metode word aan die hand van die publikasies in Landbou-Ingenieurswese in Suid-Afrika, asook ongepubliseerde data, geëvalueer.

8.3 KRITIESE EVALUERING VAN DIE AFDROGINGSFRONTGRADIËNT- METODE VAN KRUGER (1986)

8.3.1 Die prosedure

Kruger het uit praktiese ondersoeke wat in die Vrystaat en Noord-Kaap uitgevoer is, asook uit voorlopige resultate van Projek OVH 77, 'n tweeledige ontwerpbenadering geformuleer wat skematies in Figuur 8.1 voorgestel word. Die ontwerpbenadering berus daarop dat die optimale toediening by 'n bepaalde vloedbesproeiingsuitleg gedomineer word deur die heersende infiltrasietempo (I), die grondhelling (S), die gewasweerstand (n) en die beddinglengte (L).

A. ONTWERP

Doelwit: Aanpasbare fisiese uitleg om aanvaarbare toedienings (Z) te verkry

Konstante:	Infiltrasie-eienskappe	(I)
Gegewe eienskappe:	Helling	(S)
Gewasveranderlikes:	Vloeiweerstand (afhanklik van gewas wat verbou word)	(n)

AFDROGINGSFRONTGRADIËNT-MODEL
Kies aanpasbare besproeiingslengte (L)

Aanvanklike berekening:
Stroomgrootte (Q)
Afsnytyd. (T_{co})

B. IMPLEMENTERING IN PRAKTYK

Doelwit: Om 'n hoë verspreidingsdoeltreffendheid te verkry.

Veranderlikes:	Stroomgrootte	(Q)
	Afsnytyd.	(T_{∞})

Figuur 8.1 'n Skematiese voorstelling van die afdrogingsfrontgradiënt-metode (Kruger, 1986).

Die afdrogingsfrontgradiënt-metode (Kruger, 1986) bestaan uit verskillende stappe, naamlik:

Stap 1:, Die optimale beddinglengte word vir 'n praktiese besproeiingstoediening by 'n gegewe infiltrasietempo, helling en

gewasweerstand, bepaal. 'n Afdrogingsgradiëntmodel word hiervoor aangewend.

Stap 2: Die prosedure word herhaal totdat die optimale kombinasie gevind is.

Stap 3: 'n Aanvanklike stroomgrootte en afsnytyd word met behulp van die optimale fisiese uitleg en 'n prakties herhaalbare toediening, bepaal.

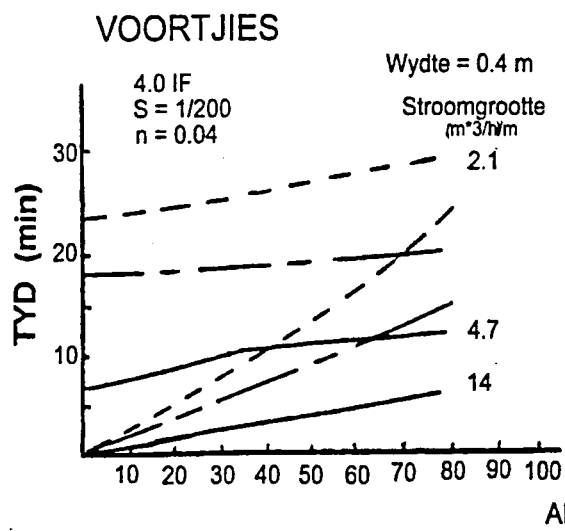
Stap 4 In die praktyk word die stroomgrootte en afsnytyd tydens die fisiese evaluering van 'n voltooide bedding of voortjie aangepas om 'n optimale verspreidingsdoeltreffendheid te verkry.

8.3.2 Teoretiese evaluering van die prosedure

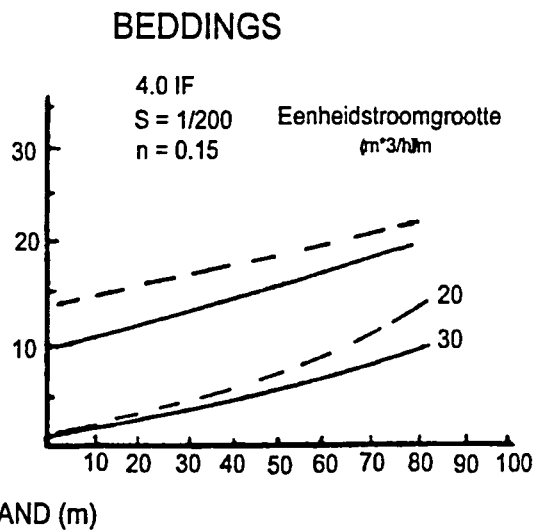
Waarnemings wat gedurende 1982 deur Kruger by Vaalharts gemaak is, bevestig die belangrikheid van afdrogingsfronteienskappe as hulpmiddel in die ontwerpproses soos beskryf deur Merriam (1978).

Tydens Projek OVH 77 is stroomgroottes vir beddingbesproeiing telkens tussen 70 m³/h en 200 m³/h (drievoudige variasie) aangepas om 'n goeie verspreidingsdoeltreffendheid te verseker. By nadere ontleding van die resultate (Figuur 8.2) is gevind dat die afdrogingsfronte tydens verskeie besproeiings op 'n enkele perseel neig om parallel aan mekaar te wees. (Du Rand *et al.* 1985). Daar was onsekerheid of hierdie neiging van enige belang was, aangesien die doel van die projek op daardie stadium daarop gemik was om goeie verspreidingsdoeltreffendhede te handhaaf. Die stroomgroottes is gevolglik tussen bogenoemde smal grense gemanipuleer.

Kruger het, onafhanklik van Projek OVH 77, reeds in 1982 waargeneem dat, ondanks sewevoudige variasies in stroomgrootte, die afdrogingsfrontgradiënte by voortjiebesproeiing, parallel gebly het (Figuur 8.3). **Hierdie bevindinge van Kruger het tot die formulering van die afdrogingsfrontgradiënt-teorie, wat moontlik as 'n ontwerp-optimizeringshulpmiddel kon dien, gelei.** Kruger publiseer in 1986 'n artikel oor die Afdrogingsfrontgradiënt-model waarmee die ontwerp van voortjiebesproeiing gedoen kan word. Soos in Figuur 8.4 aangedui, poog hierdie model om die gemiddelde tempo waarteen 'n besproeide voortjie afdroog, te bepaal.

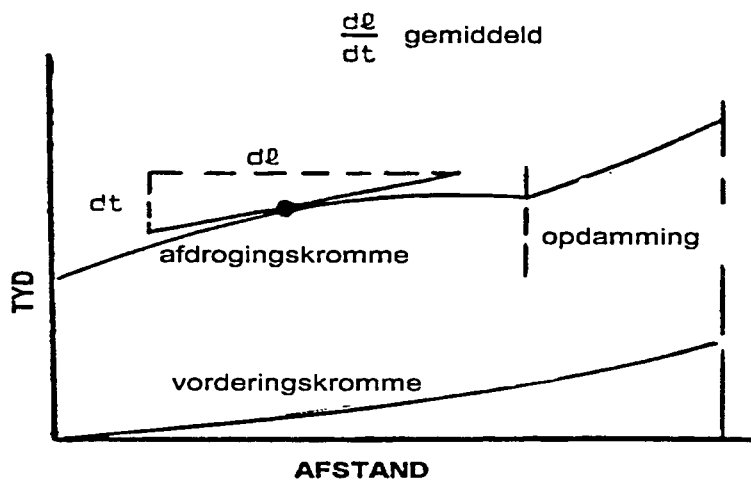


Figuur 8.2



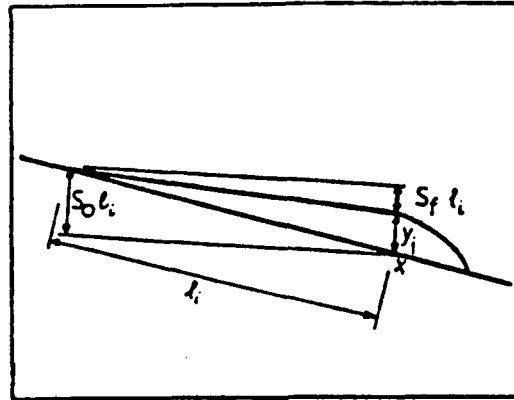
Figuur 8.3

Evaluering van vorderings- en afdrogingsfronte (Kruger, 1986).



Figuur 8.4 Ontleding van die afdrogingsfrontgradiënt

Die afdrogingsfrontgradiënt word voorspel deur die resessiefase, soos voorgestel deur Strelkoff (1977), te ontleed. Die Saint Venant-vergelykings vir massa- en energiebehoud word volgens die momentumlose (zero inertia) benadering van Strelkoff vereenvoudig. 'n Dinamiese golfprofiel tydens afdroging/resessie word ontleed soos in Figuur 8.5 voorgestel.



Figuur 8.5 Dinamiese golfprofiel tydens resessie/afdroging.

'n Aanvanklike vergelyking, waarmee die tempo van die afdrogingsfront (dl/dt) op 'n bepaalde tydstip voorspel kan word, is afgelei. Die vergelyking kan numeries met behulp van 'n Newton Rapson-iterasietegniek opgelos word. 'n Voorvereiste is egter dat die sogenaamde "energie" of wrywingshelling (S_f) bekend moet wees. Die **gemiddelde tempo** van die afdrogingsfront bepaal die sogenaamde afdrogingsfrontgradiënt. Die volgende vergelyking lewer die inkrementele waarde van die afdrogingstempo (dl/dt)

$$\frac{dl}{dt} \bigg|_i = \frac{-C_1 I_{RES} \cdot l_i}{y_i^{1.625}} - C_2 y_i \frac{[S_{fi}]^{0.5}}{n}$$

Waar l = Die afstand vanaf die vaste punt na die bopunt van die golfprofiel is.

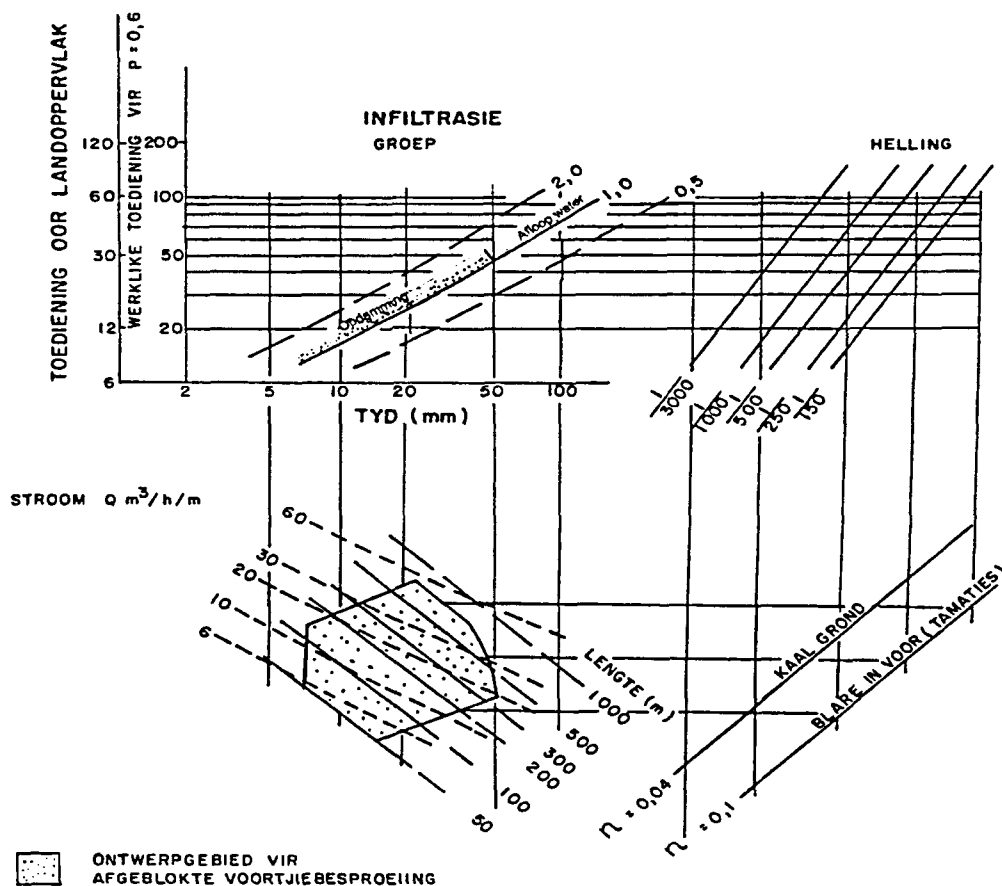
y_i = Die vloediepte by die punt onder beskouing

I_{RES} = Die gemiddelde infiltrasietempo tydens die resessiefase

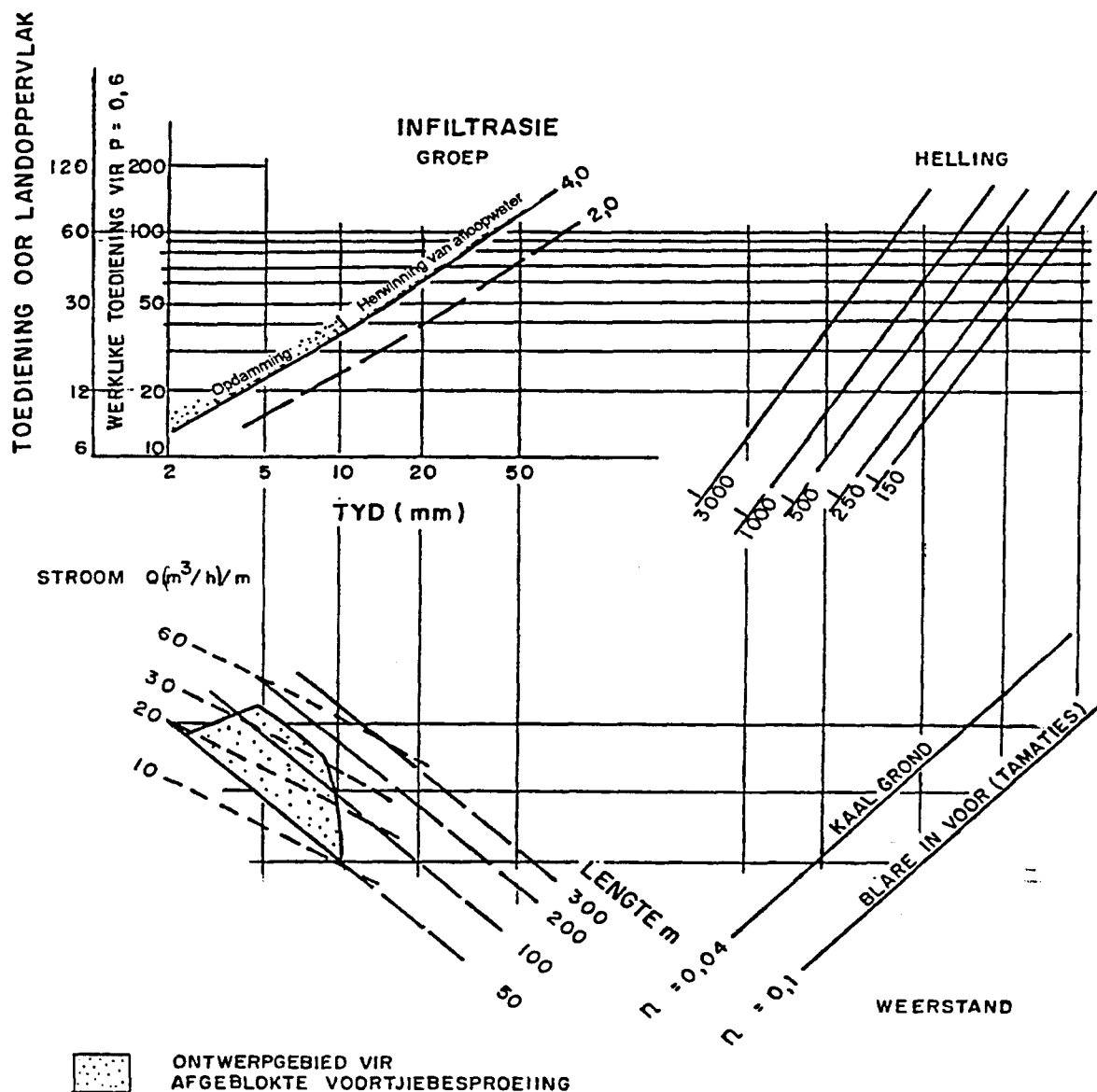
- S_f = Die energie-helling van die golfprofiel by die punt
 i = Die i -de inkrement
 n = Die vloe weerstand (Manning)
 $C_1; C_2$ = Konstantes.

Aangesien hidrodinamiese rekenaaroplossingstegnieke nog nie gedurende 1983/84 beskikbaar was nie, is 'n empiriese verband gevind waarmee die waarde van (y_i) telkens deur die ontleding van vloeihidrograwe ontleed kon word. S_f kan ook op dieselfde wyse bepaal word.

'n Voorvereiste vir hierdie oplossingsprosedure is gestel, naamlik dat die vorderings- en afdrogingsfronte parallel aan mekaar moet wees. Die iteratiewe tegniek word in die oplossingsproses gebruik om onbekendes op te los. Data word na 'n Manning-tipe verband getransformeer en grafies soos in Figuur 8.6(a) en (b) voorgestel.



Figuur 8.6(a) Voortjiebesproeiingsontwerpkrommes vir IF=1.0 (Kruger, 1986).



Figuur 8.6(b) Voortjiebesproeiingsontwerpkrommes vir IF=4.0 (Kruger, 1986).

Kruger (1986) beklemtoon egter bepaalde tekortkominge in hierdie oplossingsprosedure, naamlik:

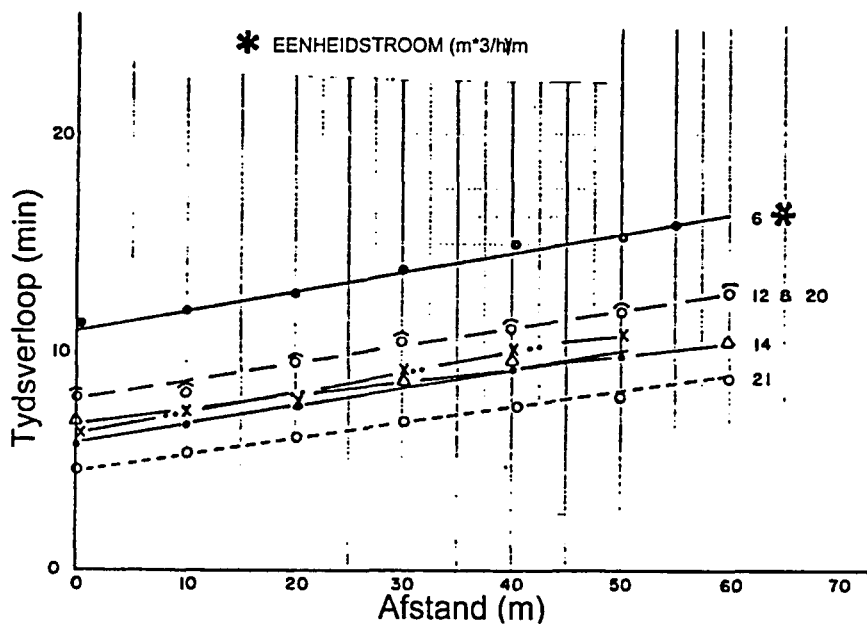
- i. 'n Optimale oplossing, wat nie noodwendig die enigste aanvaarbare oplossing sal wees nie, word gekies.

- ii. Die illustratiewe waarde van die ontwerpnomogram is belangriker as die werklike numeriese waardes, aangesien die redes vir bepaalde empiriese verbande daardeur demonstreer word.

8.3.2.1 Geldigheid van die afdrogingsgradiënt-model

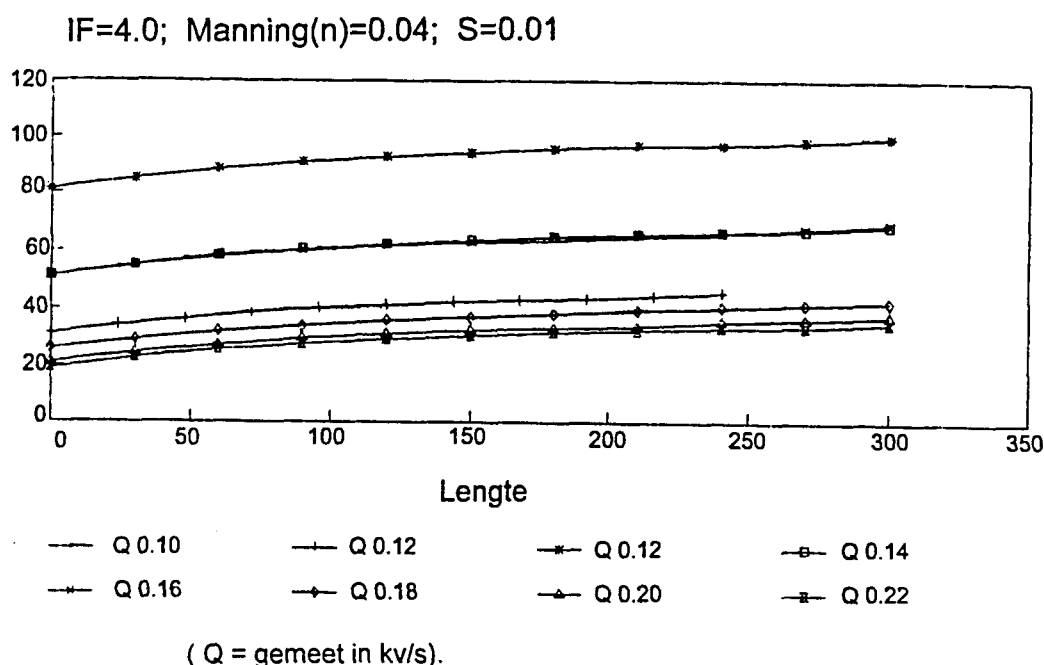
Die geldigheid van Kruger (1986) se model word in detail in **Volume 4** behandel. Slegs enkele resultate van gemete sowel as gesimuleerde data word derhalwe hier aangehaal.

In Figuur 8.7 word die terugtrekkings/afdrogingsfronthellings vir die besproeiing van katoen op perseel 5C4 gedurende 1982/83 by Vaalharts aangetoon (Projek OVH 77, Du Rand *et al.* 1985). Verskillende stroomgroottes is vir die besproeiing gebruik [6 tot 21 ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$)]. Die gradiënt/helling van die afdrogingsfronte was deurgaans konstant. As gevolg van verskillende afsnytye begin die afdrogingsfronte egter op verskillende tye soos aangetoon in Figuur 8.7.



Figuur 8.7 Afdrogingsfronte soos gemeet tydens die besproeiing van katoen op perseel 5C4 te Vaalharts

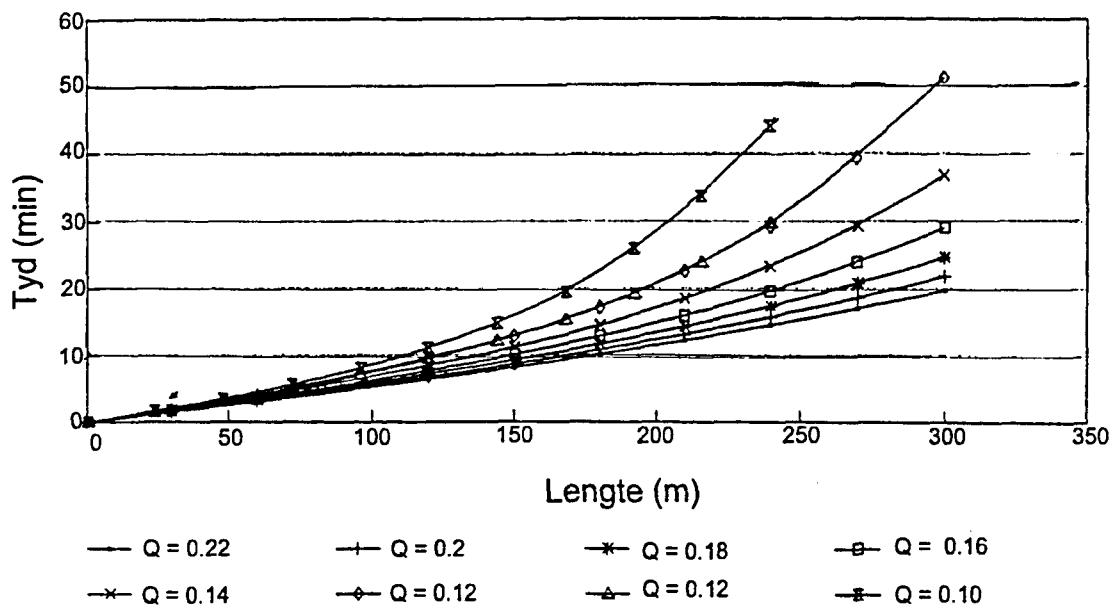
In Figuur 8.8 word die gesimuleerde data vir afdrogingsfronte op 'n kaal grond (soos tipies by katoen aangetref word) met 'n IF van 4.0 (tipiese Vaalhartsgrond) en met 'n 1:100 helling aangetoon.



Figuur 8.8. Gesimuleerde afdrogingsfronte op 'n kaal grond met 4.0 IF en 1:100 helling.

Beddinglengtes van 250 en 300m is met behulp van die Borderflow-simuleringsmodel van Strelkoff (1985) gesimuleer om die tendens ten opsigte van afdrogingsfronte te ontleed. Geoptimeerde stroomgroottes (34 tot 75 ($\text{m}^3/\text{h})/\text{m}$) word ook aangetoon. Figuur 8.8 toon duidelik dat die gesimuleerde afdrogingsfronte ook neig om parallel te wees. Die afdrogingsfrontgradiënte bly dus konstant, ongeag die beddinglengte en variasie in stroomgrootte.

In Figuur 8.9 word die ooreenstemmende vorderingsfronte aangetoon. Die verwagte stadiger vorderingstempo wat met kleiner stroomgroottes voorkom, is duidelik sigbaar.



(Q = gemeet in kv/s).

Figuur 8.9 Grafiese voorstelling van korresponderende vorderingsfronte

Kruger (1986) se afdrogingsfront-gradiëntmodel impliseer dat die besproeiingsoperateur nie beheer oor die gradiënt van die afdrogingsfront het nie. Die gradiënt van die afdrogingsfront word deur die faktore, soos in Figuur 8.1 voorgestel, gedikteer, naamlik:

- * Infiltrasie eienskappe (I)
- * helling (S), en
- * vloe weerstand (n)

Kruger (1986) se afdrogingsfront-gradiëntmodel impliseer verder dat die **lengte van die bedding of voortjie sodanig gekies moet word** dat 'n bepaalde tydsverloop tussen die resulterende afdrogingsfront en 'n parallel gekose vorderingsfront sal voorkom sodat die verlangde toediening binne die tydperk eweredig op die bedding/voortjie sal infiltreer. Met gegewe infiltrasie eienskappe (I), 'n gegewe helling (S) en 'n gegewe gewas en dus vloe weerstand (n), word die beddinglengte (L) dus tydens ontwerp gekies. Die operateur moet nou die stroomgrootte en die afsnytyd in die praktyk reguleer sodat die vorderings- en afdrogingsfronte parallel sal wees.

Die gemete en gesimuleerde data wat in Figure 8.7 tot 8.9 voorgestel word, bevestig die geldigheid van die afdrogingsfront-gradiëntmodel van Kruger (1986). **Die ontleding en voorspelling van afdrogingsfrontgradiënte hou dus bepaalde moontlikhede in vir die rekenarisering van ontwerpprosedures soos verder bespreek in Volume 4.**

8.3.3.2 Die korrektheid van die resultate van Kruger (1986)

Kruger dui die tekortkominge in die oplossingstegniek van sy grafies- voorgestelde data (Figuur 8.6) aan. Die resultate van sy prosedure is dus nie algemeen geldig nie en sal derhalwe nie hier verder evalueer word nie.

8.3.3 Gevolgtrekking

Die waarde van die ontwerpprosedure van Kruger (1986) lê in die volgende:

- i. Die ontwerpbenadering soos uitgebeeld in Figuur 8.1
- ii. Die bevinding dat die ontleding van die afdrogingsfrontgradiënte 'n sleutel tot die optimering van vloedbesproeiingsontwerp is.

Die metode van Kruger (1986) voldoen om die volgende redes nie ten volle aan die huidige neergelegde norme nie, naamlik:

- i. Die funksionele vereiste van Tabel 5.1 in **Hoofstuk 5** word nie volledig bevredig nie.
- ii. Hidrouliese verbande word slegs in enkele gevalle korrek weergegee. As gevolg van die beperkinge van grafiese voorstellings word kernelemente nie volledig in ag geneem nie. Optimering ten opsigte van bepaalde elemente vind wel plaas.
- iii. Die ontwerpprosedure was nie genoegsaam ontwikkel om onder alle Suid-Afrikaanse toestande toegepas te word nie. Die potensiaal vir toepassing na verdere ontwikkeling bestaan egter wel.

- iv. Die prosedure is vinnig en maklik om toe te pas. Dit is analities en rekenariseerbaar.
- v. Geprogrammeerde besluitneming word in die hand gewerk met die grafiese ontwerpvoorstelling. Ongelukkig was numeriese rekenaaroplossingstegnieke tydens die ontwikkeling van die prosedure nie algemeen beskikbaar nie en gevolglik is die resultate nie algemeen toepaslik nie.

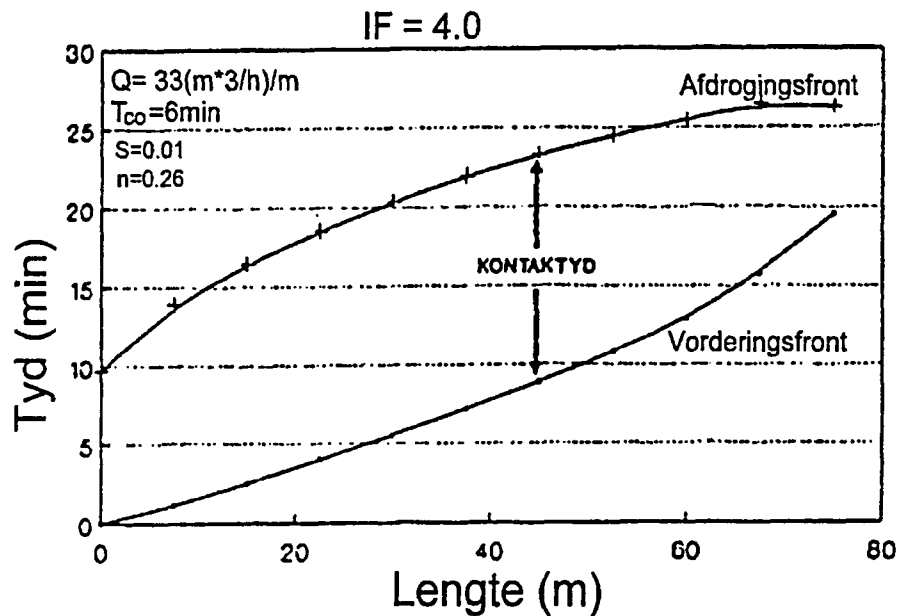
8.4 KRITIESE EVALUERING VAN DIE HIDRODINAMIESE ONTWERPPROSEDURE (KRUGER, 1989)

8.4.1 Die prosedure

Na aanleiding van die probleme wat Kruger (1986) met die oplossingstegnieke van sy Afdrogingsfrontgradiënt-model ervaar het, is alternatiewe oplossingstegnieke ondersoek. Die beskikbaarstelling van die BORDERFLOW-simuleringsmodel van Strelkoff (1985) het die geleentheid gebied. In beginsel kan die faktore wat 'n rol by vloedbesproeiing speel, soos uitgebeeld in **Hoofstuk 2**, Figuur 2.2, dus nou bereken word.

In Figuur 8.10 word 'n grafiese voorstelling gegee van tipiese simuleringsdata wat met die BORDERFLOW-simuleringsmodel verkry is. Vorderings- en afdrogingsfronte word grafies op 'n lengte teenoor tyd grafiek voorgestel. Die volgende insetparameters is vir die simulering van 'n oop bedding gebruik:

- * Beddinglengte (L) = 75m
- * Infiltrasietempo (IF) = 4.0
- * Verlangde toediening = 46 mm
- * Eenheidstroomgrootte (Q) = 33 (m³/h)/m
- * Manning (n) = 0.25



Figuur 8.10 Grafiese voorstelling van 'n rekenaarsimulering

Die gesimuleerde besproeiing het die volgende resultaat voorspel:

- i. Dat die vorderingsfront die onderpunt van die bedding binne 19.5 minute sal bereik.
- ii. Dat die afdroging na 9.7 minute by die bopunt sal begin, en dat die totale bedding na 26.5 minute afgedroog sal wees.
- iii. Die toediening sal tussen 27mm aan die onderpunt en 48mm in die middel van die bedding wissel.
- iv. By 'n afsnytyd van 6 minute sal die vorderingsfront sowat 33m vanaf die bopunt van die bedding wees.
- v. Doeltreffendhede:
 - * Toedieningsdoeltreffendheid (E_a) = 96.22 persent
 - * Storingsdoeltreffendheid (E_s) = 93.87 persent
 - * Verspreidingsdoeltreffendheid (U_c) = 91.6 persent
 - * Afloop (R_{off}) = 2.6 persent

Kruger het egter besef dat daar nie genoeg data uit die simulering van 'n enkele besproeiingsepisode vir 'n ontwerp verkry kan word nie. Soos in paragraaf 8.1 vermeld,

moet data met 'n bepaalde voorspellingswaarde vir 'n verteenwoordigende reeks besproeiingsepisodes gegenereer word. Sogenaamde datastelle moet dus deur die rekenaar-operateur gegenereer word om 'n bepaalde ontwerp te kan doen.

8.4.2 Toepassing van die prosedure

Die toepassing van die ontwerpprocedure word aan die hand van die volgende voorbeeld ge-illustreer:

Stap 1: Definieer die ontwerpprobleem.

Gestel 'n boer wil verskillende gewasse op 'n gegewe bedding verbou. Wat is die invloed van gewasweerstand op die netto toedienings en op die doeltreffendhede wat sal realiseer? Wat is die invloed op stroomgrootte?

Stap 2: Bepaal insette en simuleer verskillende besproeiingsepisodes vir 'n verteenwoordigende stel data.

Bepaling van insette:

Infiltrasiegegevens (en potensiële wisseling daarvan), helling, lengte, beddingwydtes, gewasse, ens.

Ontledingskriteria:

Keuse van verteenwoordigende simuleringsgebied, oplossingskriteria en wyse van tendensontleding of optimeringsprosedures.

Simulasie:

Uit bogenoemde insette en ontledingskriteria, word 'n aantal kombinasies vir simulering ontwikkel (Skematies in Figuur 8.11 aangedui):

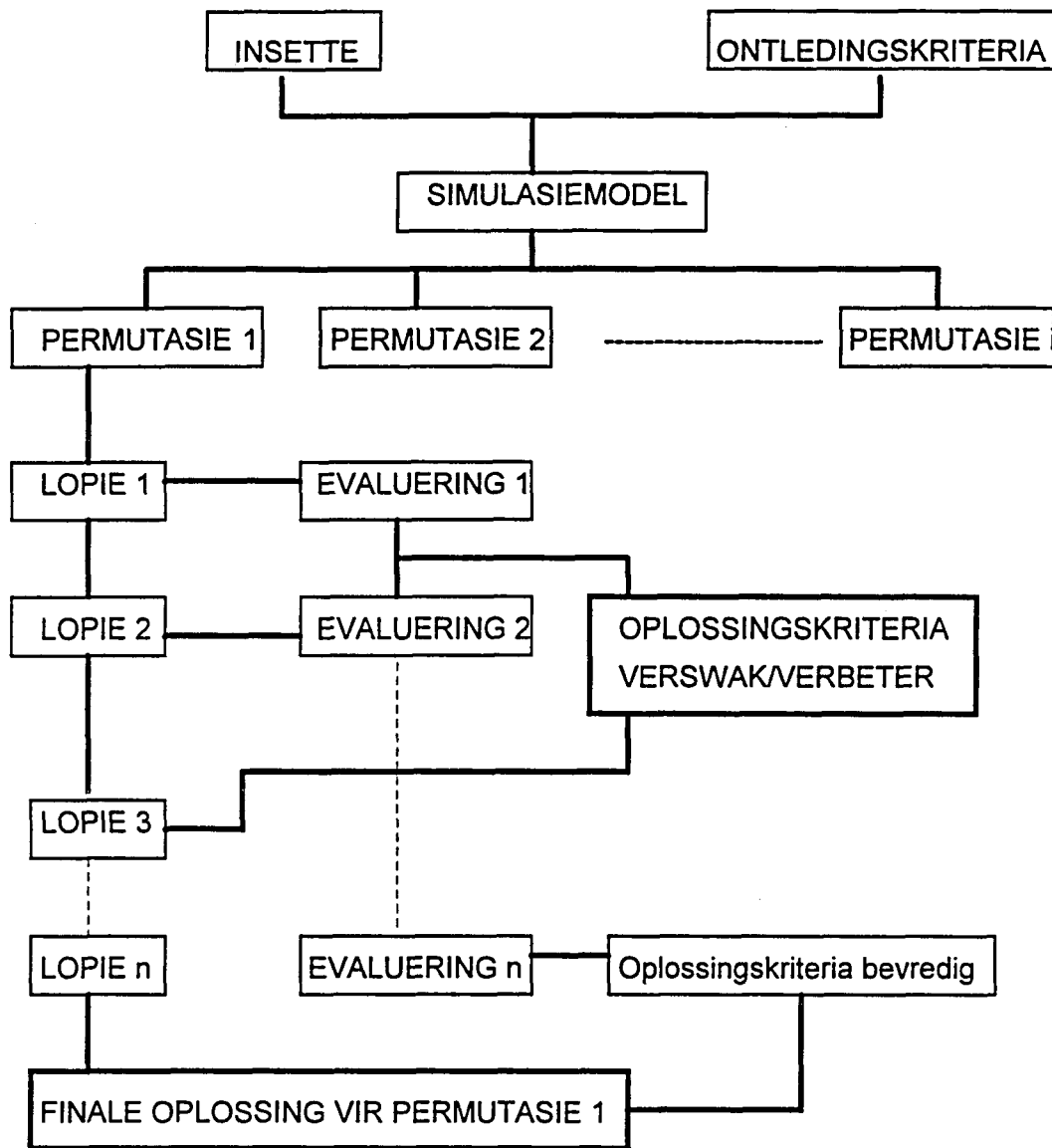
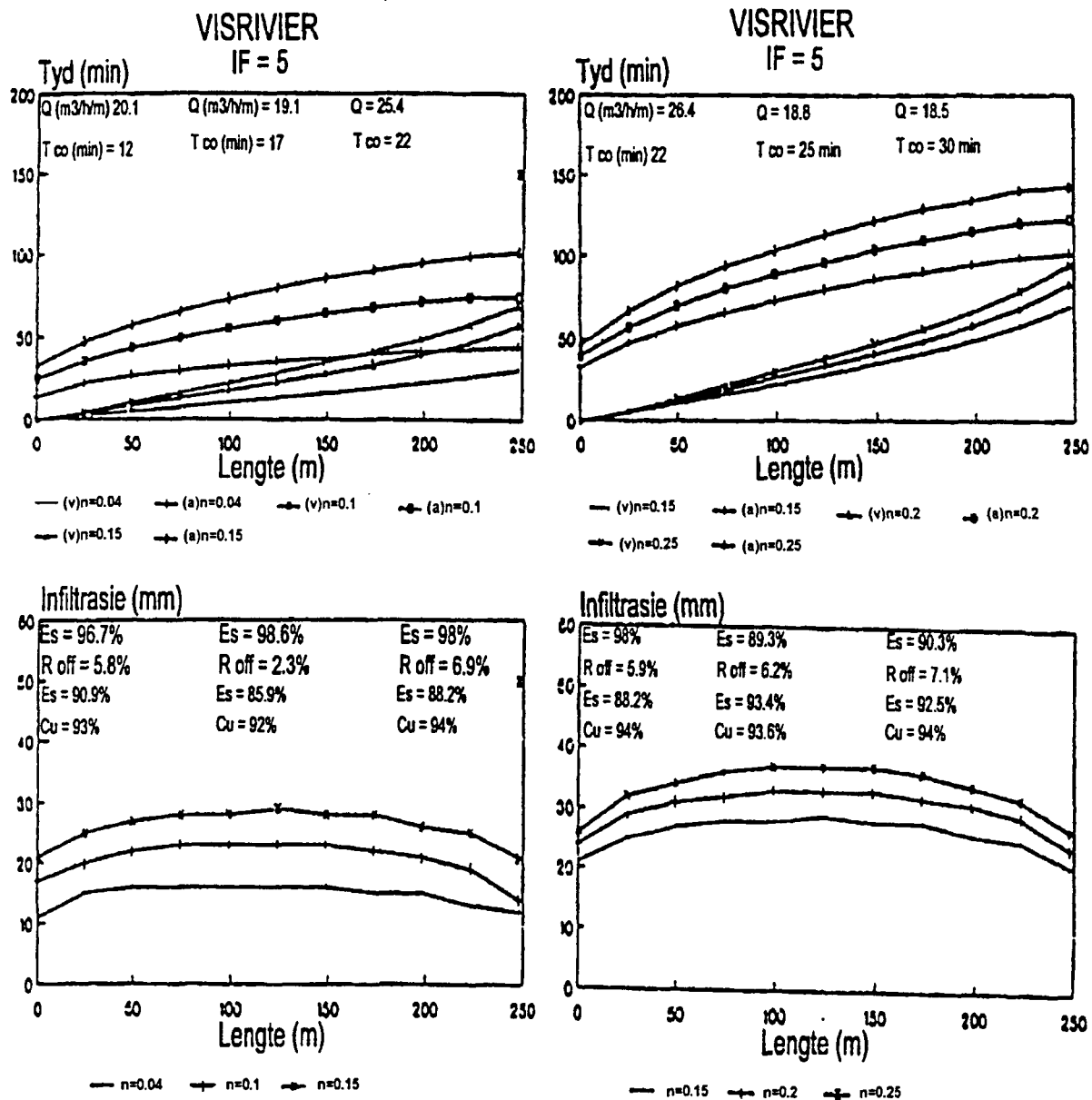


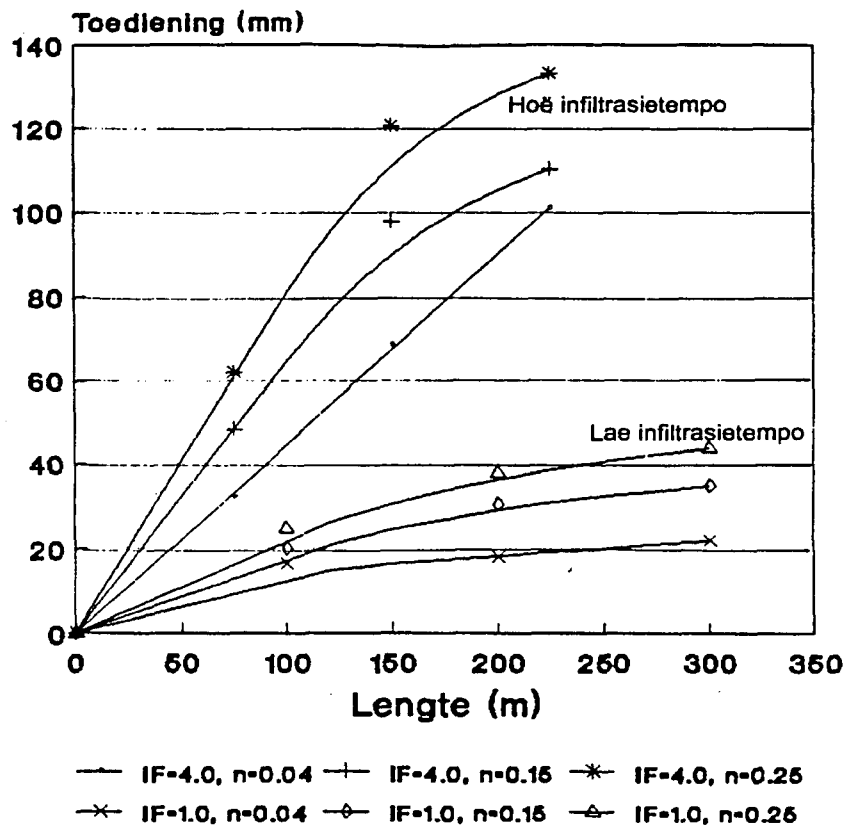
Fig 8.11 Skematiese voorstelling van 'n simuleringsprosedure

Stap 3: Met behulp van die gesimuleerde data word bepaalde tendense nou ontleed met die doel om die ontwerpprobleem op te los. Data kan byvoorbeeld grafies voorgestel word, soos dit in Figure 8.12 en 8.13 uitgebeeld word, om die ontwerper in staat te stel om die effek van gewasweerstand op toediening en stroomgrootte by 'n bepaalde beddinglengte te kan ontleed.



(V) n = VORDERINGSFRONTKROMME BY 'N BEPAALDE VLOEIWEERSTAND
 (A) n = AFDROGINGSFRONTKROMME BY 'N BEPAALDE VLOEIWEERSTAND

Figuur 8.12 Grafiese voorstelling van gesimuleerde data.



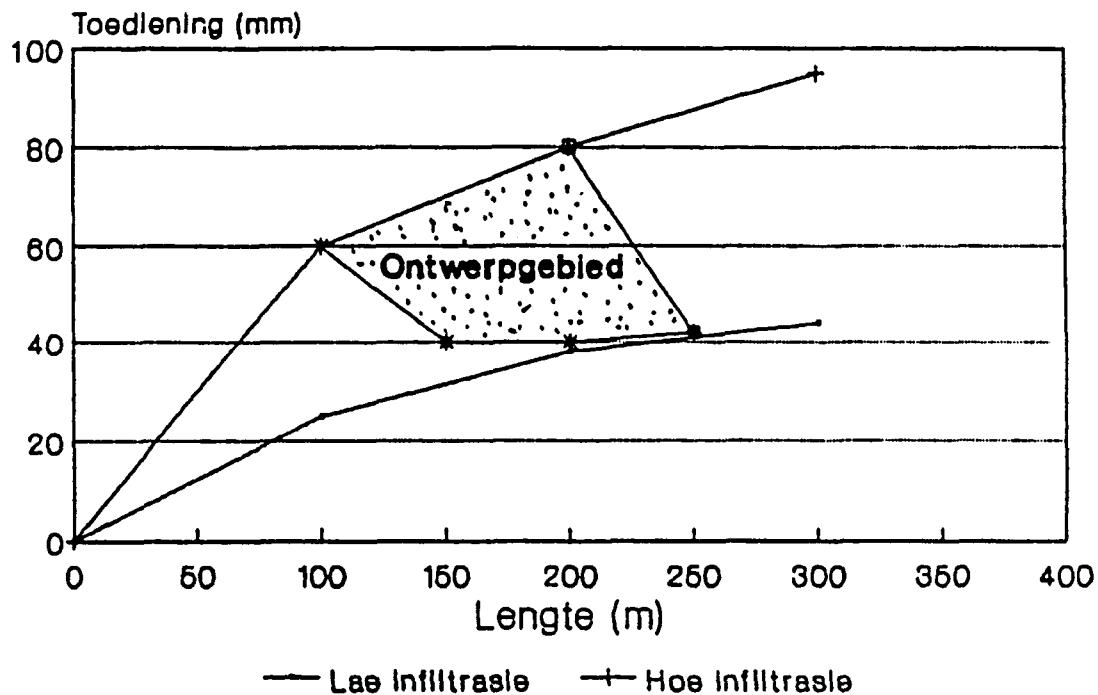
Figuur 8.13 Grafiese voorstelling van die verband tussen Infiltrasie, gewasweerstand en toediening by bepaalde beddinglengtes vir die simulerings van Figuur 8.11.

Uit die grafiese voorstellings (Figure 8.12 en 8.13) kan die invloed van gewasweerstand (Manning n) op tipiese 0.5 IF gronde gesien word. Indien die beddinglengte konstant gehou word (250m), kan dit duidelik gesien word dat realiseerbare toedienings toeneem met 'n toename in gewasweerstand. [vanaf 15 mm vir rygewasse (Manning $n=0.04$), tot 35mm vir byvoorbeeld lusern (Manning $n=0.25$)]. Die stroomgrootte wissel baie min, terwyl hoë doeltreffendhede deurgaans realiseer.

Stap 4: Met behulp van die gesimuleerde data en grafiesvoorgestelde tendense, kan die ontwerper nou 'n geskikte keuse vir ontwerp maak, sodat die ontwerpde stelsel in die praktyk binne voorafbeplande limiete

sal presteer, ongeag verwagte wisseling van infiltrasie, gewasweerstand ens. Figuur 8.14 beeld die geselekteerde ontwerpgebied uit.

Stap 5: Met die voorafbeplande limiet waarbinne die stelsel sal presteer, skryf die ontwerper nou 'n bestuurstrategie aan die kliënt voor, waarmee laasgenoemde die stelsel prakties kan bedryf.



Figuur 8.14 'n Geskikte ontwerpkeuse met die limiete waarbinne die stelsel sal presteer.

8.4.3 Teoretiese evaluering van die prosedure

Soos uit die voorafgaande besprekings afgelei kan word, is die prosedure van Kruger (1989) baie omslagtig. Dit kan die ontwerper tussen enkele dae tot etlike weke neem om 'n enkele ontwerp te doen - afhanklik van die moeilikheidsgraad van die oplossing wat verlang word.

Hierdie oplossingstegniek, soos deur Kruger (1989) voorgestel en gebruik, is wetenskaplik goed verantwoordbaar aangesien:

- * Die hidrodinamiese simuleringsmodelle al die besproeiingsfases van paragraaf 2.3.3.5 (Hoofstuk 2) kan simuleer omdat die Saint Venant-vergelykings numeries opgelos word.
- * Simuleringsmodelle, op enkele uitsonderings na, goeie resultate kan lewer indien dit korrek aangewend word (**Volume 3**).
- * Die bepaling van insette soos infiltrasie en gewasweerstand dinamies gekontroleer kan word (**Volume 3**). Riglyne is ook in tabelle, wat met vrug deur die ervare ontwerper gebruik kan word, beskikbaar.
- * Die vermoë om 'n geskikte ontwerpgebied met behulp van dié prosedure te identifiseer en bestuursmaatreëls dienoreenkomstig aan te pas, sal verseker dat sukses met behulp van hierdie ontwerpprosedure behaal word.

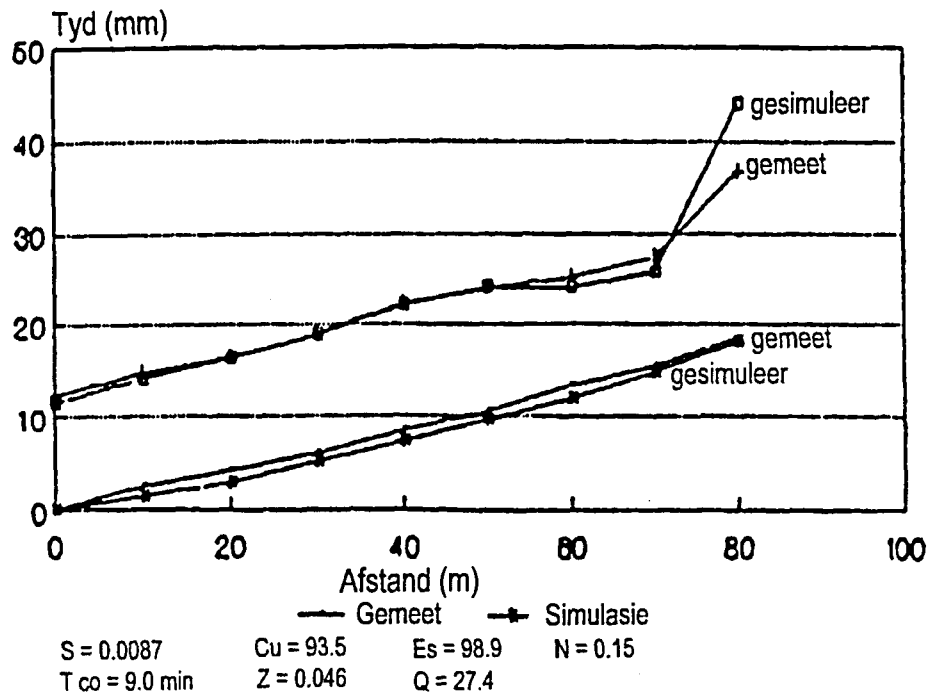
8.4.4 Evaluering van die prosedure met behulp van data

Die ontwerpprosedure van Kruger (1989), is uit praktiese ervaring tydens veldopnames en vloedbesproeiingsontwerpe, wat prakties uitgevoer is, ontwikkel. Daar is drie belangrike elemente van die prosedure wat met data geëvalueer kan word:

- i. Geldigheid van simuleringsmodelle onder Suid-Afrikaanse toestande.
- ii. Die praktiese wisseling van insette en die invloed daarvan op die voorstellingswaarde van simuleringsresultate.
- iii. Die geldigheid van die sogenaamde "geskikte ontwerpgebied" in die praktyk.

Die eerste twee elemente wat hierbo genoem is, word in detail in **Volume 3** behandel. Derhalwe word dit nie hier verder bespreek nie. Volledigheidshalwe word volstaan met 'n vergelyking tussen gemete en voorspelde data vir Projek OVH 77 soos in Figuur 8.15 aangetoon. Uit hierdie figuur is die goeie korrelasie tussen gemete en voorspelde data

baie duidelik. In **Volume 4** word die derde element soos hierbo genoem in meer besonderhede toegelig.



Figuur 8.15 Vergelyking tussen gemete en voorspelde (Sirmod-simulering) besproeiing te Vaalharts vir koring op perseel 6A4.

8.4.5 Gevolgtrekkings

Die hidrodinamiese ontwerpprocedure van Kruger(1989), voldoen in 'n groot mate aan die huidige norme soos in **Hoofstuk 5** gestel.

- 1 Die funksionele vereistes wat in Tabel 5.1 gestel word, word grootliks nagekom indien die procedure korrek toegepas word.
- 2 Die rol van die ontwerper is egter steeds deurslaggewend ten opsigte van die wyse waarop die hidrouliese verbande ontleed en vir ontwerpdoeleindes toegepas word. Optimering kan slegs plaasvind as die ontwerper 'n verteenwoordigende aantal datastelle ondersoek.

- 3 Die ontwerpprosedure kan met goeie resultate ten opsigte van die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels onder alle Suid-Afrikaanse toestande toegepas word.
- 4 Die ontwerpprosedure is ongelukkig baie omslagtig en is dus duur om toe te pas. Dit loon normaalweg nie die ontwerper om soveel tyd aan 'n enkele ontwerpprojek te bestee nie. Die ontwerpprosedure word dus nie algemeen korrek toegepas nie.
- 5 Die ontwerpprosedure van Kruger (1989), berus op die ontwerper se vermoë om die ontwerp tydens 'n simuleringspoging te optimeer. In **Volume 4** word aangedui dat die resultaat van die optimeringspoging vanweë die kompleksiteit van die optimering nie altyd suksesvol is nie. Die ontwerpprosedure soos dit deur Kruger (1989) toegepas word, is nie rekenariseerbaar nie.

Indien die prosedure egter verder ontwikkel sou word deur bepaalde elemente te ontleed en in 'n optimeringsmodel te vervat, kan 'n rekenariseerbare vlak bereik word.

8.5 ALGEMENE BESPREKING EN GEVOLGTREKKINGS TEN OPSIGTE VAN HIDRODINAMIESE ONTWERPPROSEDURES

8.5.1 Teoretiese agtergrond

Teoreties is hierdie ontwerpprosedures vir enige vloedbesproeiingsontwerp geskik omdat die verband tussen faktore korrek opgelos kan word. Die akkuraatheid van die oplossing word bepaal deur:

- * Die geldigheid van insetparameters.
- * Die tipe hidrodinamiese model- en oplossingstegnieke wat gebruik word.
- * Die kennis, ervaring en deursettingsvermoë van die operateur om 'n goeie oplossing te verkry.

Voordele van hidrodinamiese prosedures

- * Hierdie prosedures is by uitstek geskik vir navorsingsdoeleindes.
- * Die onderlinge verband tussen faktore kan korrek opgelos word.
- * Metings en ervaring kan met behulp van die simuleringsmodelle ontleed en in perspektief geplaas word.
- * Sensitiwiteitsontledings kan gedoen word.
- * Ander optimeringstegnieke kan aan die prosedures gekoppel word.

Nadele van die bestaande hidrodinamiese ontwerpprosedures

- * Die meer akkurate prosedures is omslagtig en dus duur om toe te pas.

8.5.2 Gevolgtrekking

Hidrodinamiese ontwerpprosedures is tans die mees geskikte vloedbesproeiings-ontwerpprocedure.

Die kombinasie van 'n optimeringsmodel (byvoorbeeld Kruger, 1986) met rekenaargesteunde simuleringstegnieke (byvoorbeeld Kruger, 1989), mag tot 'n vinnige en akkurate ontwerpprocedure lei.

HOOFSTUK 9

GEVOLGTREKKINGS EN AANBEVELINGS

9.1 GEVOLGTREKKINGS UIT DIE RESULTATE VAN DIE KRITIESE EVALUERING

'n Evaluering van verskeie ontwerpprosedures wat voor 1990 in Suid-Afrika toegepas is, is in hoofstukke 6, 7 en 8 bespreek. Uit hierdie evaluering kan die volgende algemene gevolgtrekkings gemaak word:

- * Die meeste van die ontwerpprosedures lewer slegs gedeeltelike oplossings vir die ontwerpprobleem. Die ontwerper moet die ontbrekende verbande deur middel van ervaring of ander tegnieke bepaal.
- * Slegs die hidrodinamiese simulerings tegnieke lewer goeie oplossings vir die verband wat tussen die onderskeie faktore bestaan. Die ander tegnieke (empiries en volumebalans) lewer wisselvallige resultate en gevolglik weet die ontwerper nie of die antwoord wat verkry word, korrek is nie.
- * Met betrekking tot die hidrodinamiese tegnieke, kan optimum oplossings bereken word deur 'n aantal simulerings op 'n herhalende wyse uit te voer en tendense te ontleed. Die prosedure is egter nie koste-effektief nie as gevolg van die omslagtige en tydsame proses wat gevolg moet word om tussen die "beter" en "swakker" oplossings te onderskei.
- * Afdrogingsfronteienskappe kan vir optimeringsdoeleindes ontleed word.

9.2 AANBEVELING

Uit die gevolgtrekkings volg die aanbeveling dat die hidrodinamiese simulerings tegnieke na verdere ontwikkeling (veral betreffende koste-effektiwiteit), die aangewese tegniek vir

vloedbesproeiingsontwerp in Suid-Afrika is. Deur die ontleding van afdrogingsfronteienskappe (wat bepaalde kenmerke bevat) asook deur die vasstelling van sensitiwiteitskriteria (gekoppel aan die beoogde bestuurstelsel), is dit moontlik om 'n optimeringstegniek uit hierdie hidrodinamiese simuleringstegnieke te kan ontwikkel. Deur optimering te doen, kan die aantal simulerings sodanig verminder word dat die hidrodinamiese simuleringsontwerpprosedure koste effektief sal raak. Hierdie aanbeveling blyk dan ook uit Tabel 9.1 waar al die bespreekte metodes aan die hand van 'n skaal evalueer is volgens die kriteria gestel in **Hoofstuk 5**. Daar word derhalwe aanbeveel dat die hidrodinamiese ontwerpprosedure van Kruger (1989) verder ontwikkel en gerekenariseer word.

Ter opsomming:

'n Geskikte ontwerpprosedure kan vir Suid-Afrikaanse toestande ontwikkel word deur in die ontwikkelingsproses van hidrodinamiese simulerings- en optimeringsmodelle, op die volgende aspekte te konsentreer:

- * Afdrogingsfronteienskappe
- * Netto-vloei-energie in die sisteem
- * Sensitiwiteitskriteria

Tabel 9.1 Opsomming van bestaande vloedbesproeiingsprosedures geëvalueer ten opsigte van die hoofpunte waaraan 'n vloedbesproeiingsontwerp moet voldoen (soos uiteengesit in Tabel 5.1).

Bestaande vloed-beproeiingsprosedures	Vereistes soos uiteengesit in Tabel 5.1					Totale Punt
	Aangepas by tipe boerdery	Aangepas by hidroulika	Bevredig ontwerp-oogmerke	Aangepas by Suid-Afrikaanse toestande	Wetenskaplik gefundeer en gestandardiseer vir rekenarisering	
Ontwerpmetode van die Afdeling Landbou-Ingenieurswese asook die Metode van die S.A. Suikervereniging.	Nie aangepas	Leemtes (Tabel 6.2).	Bevredig slegs die van groot stelsels.	Indien die ontwerper oor baie ervaring en kundigheid beskik.	Vereis baie Ingenieurkundige insette - derhalwe nie rekenariseerbaar nie.	
Evalueringpunt	2/10	1/10	2/10	3/10	0/10	8/50
SCS-metode vir beddings (1974).	Nie aangepas	Nie goeie teoretiese hidrouliese basis nie (paragraaf 7.3).	Maklik en vinnig om te gebruik.	Kan nie sonder meer aangewend word nie.	Kan gerekenariseer word.	
Evalueringpunt	3/10	2/10	1/10	3/10	6/10	14/50
Afsnykoeffisiënt benadering (Badenhorst, 1973/4).	Nie aangepas	Nie goeie teoretiese hidrouliese basis nie (paragraaf 7.4.3).	Relatief maklik en vinnig.	Kan nie sonder meer aangewend word nie.	Onwenslik om te rekenariseer omdat foutiewe resultate verkry word.	
Evalueringpunt	3/10	1/10	3/10	2/10	5/10	14/50
Optimering van bedding afmetings (Van Heerden, 1987).	Nie aangepas	Steeds leemtes in die teoretiese basis (paragraaf 7.5).	Relatief maklik en vinnig.	Kan nie sonder meer aangewend word nie.	Reeds gerekenariseer	
Evalueringpunt	3/10	3/10	3/10	2/10	8/10	19/50
Afdrogingsfrontgradiënt - metode (Kruger 1986).	Onvoldoende ontwikkel.	Hidrouliese verbande korrek, maar onvoldoende.	Vinnig en maklik.	Onvoldoende ontwikkel.	Kan gerekenariseer word indien verder en beter ontwikkel word.	
Evalueringpunt	5/10	5/10	4/10	2/10	4/10	20/50
Hidrodinamiese ontwerp-prosedure (Kruger 1989).	Aangepas.	Baie omslagtig, maar teoreties korrek en geldig vir enige vloed-besproeiingsontwerp.	Omslagtig en vereis steeds ervaring van ontwerper.	Aangepas, maar omslagtig.	Geskik vir rekenarisering indien dit verder ontwikkel word.	
Evalueringpunt	8/10	7/10	6/10	6/10	3/10	29/50

Evalueringpunt: Skaal= 1-10 ; Totaal = 50

LITERATUURLYS

- BADENHORST, J.W., 1973. Die afsnykoeffisiënt vir die ontwerp van vloedbesproeiingsbeddings. *Landbou-ingenieurswese in Suid-Afrika*, 7(1):46-55.
- BADENHORST, J.W., 1974. *Finale verslag van 'n ondersoek na huidige toestande van beddingbesproeiing in Suid-Afrika*. Projek (A) L-MI 29/1. Dept. van Landbou en Visserye, Pretoria, Suid-Afrika.
- BADENHORST, J.W., 1990. *Persoonlike mededeling*. Ingenieur, Murray, Biesenbach en Badenhorst, Pretoria, Suid-Afrika.
- BASSETT, D.L., FRANGMEIER, D.D. & STRELKOFF, T., 1980. Hydraulics of surface irrigation. In JENSEN, M.E., (Ed)., *Design and operation of farm irrigation systems*, Chapter 12. ASAE Monograph 3, St. Joseph, Michigan. p447-498.
- BODMAN, G.B. & COLEMAN, E.A., 1943. Moisture and energy conditions during downward entry of water into soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 8:116-122.
- BRUWER, J.J., 1987. Die Staat se betrokkenheid by besproeiing. *S.A. Irrigation*. 9(4).
- BURT, C.M., 1986. Controlled volume design for surface irrigation. *ASAE, summer meeting*. California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA, Paper no 86-2085.
- BURT, C.M., 1988. Technological development in the United States. *World Bank Technical Paper*, No. 94, Chapter 5.
- CHEN, C.L., 1970. Surface irrigation using kinematic-wave method. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 96(1):39-46.
- CHOW, V., 1959. *Open channel hydraulics*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- CLEMMENS, A.J., 1979. Verification of the Zero-Inertia Model for Border irrigation. *Trans. ASAE*, 22(6):1306-1309.

- COETSEE, L.D., 1992. Psigologiese eienskappe van entrepreneurs. In KROON, J. & MOOLMAN, P.L., (Red.) 1992. *Entrepreneurskap*. Sentrale Publikasies, Potchefstroom, Suid-Afrika.
- COLLINS, D.L. & BASSETT, D.L., 1964. Terminal profile of water flowing over a porous bed having constant infiltration. *Trans. ASAE*, 7(4):475-477.
- CRIDDLE, W.D. & DAVIES, S., 1951. *A method for evaluating border irrigation layouts (Provisional)*. U.S. Dept. of Agr. Soil Conservation Service, Washington, D.C..
- CRIDDLE, W.D., DAVIS, S., PAIR, C.H. & SCHOCKLEY, D.G., 1956. *Methods for evaluating irrigation systems*. Agriculture handbook No. 82. SCS-USDA, Washington, DC.
- DAVIS, J.R., 1961. Estimating rate of advance for irrigation furrows. *Trans. ASAE*, 52-57.
- DEPARTEMENT VAN WATERWESE., 1986. *Management of the water resources of the Republic of South Africa*, Pretoria, South Africa.
- DIRECTORATE AGRICULTURAL ECONOMICS., 1990. *Combud enterprise bugets*. Department of agricultural Development, Pretoria, South Africa.
- DU RAND, D.J. & KRUGER, G.H.J., 1991. Surface irrigation in South Africa - The challenge. *Proceedings of the Southern African Irrigation Symposium*, Durban, South Africa.
- DU RAND, D.J., KRUGER, G.H.J. & VAN RENSBURG, B.D.J., 1985. *Finale verslag projek OVH 77*. Dept. van Landbou en Watervoorsiening, Pretoria, Suid-Afrika.
- DU RAND, D.J., 1992. *Persoonlike mededeling*. Streekingenieur, Departement Landbou, Vrystaatstreek, Glen, Suid-Afrika.

- EDDEBBARH, A. & PADMORE, H.P., 1988. A fully integrated surface-subsurface model for surface irrigation. *ASAE, summer meeting*. Rushmore Plaza Civic centre, Rapid City, SD.
- ELLIOTT, R.L., WALKER, W.R. & SKOGERBOE, G.V., 1982. Zero-Inertia Modeling for furrow irrigation advance. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 108(IR3):179-195.
- FOK, T. & BISHOP, A.A., 1965. Analysis of water advance in surface irrigation. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 91(IR1):99-117.
- FRANGMEIER, D.D. & STRELKOFF, T., 1979. Mathematical models and border irrigation design. *Trans. ASAE.*, 22(1): 93-99.
- HALL, W.A., 1956. Estimating irrigation border flow. *Agric. Eng.*, 37(4):263-265.
- HALL, W.A., 1960. Design of irrigation border checks. *Agric. Eng.*, 41:419-440.
- HANSEN, V., 1955. Infiltration and soil water movement during irrigation. *Soil Sci.*, 79:93-104.
- HART, W.E., BASSETT, D.L. & STRELKOFF, T., 1968. Surface irrigation hydraulics-kinematics. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 94(4):419-440.
- HUGO, F.C., 1991. *Persoonlike mededeling*. Hoofingenieur, Direktoraat Besproeiingsingenieurswese, Pretoria, Suid-Afrika.
- JENSEN, M.E., (Ed.), 1980. *Design and operation of farm irrigation systems*. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, Michigan. USA.
- KANG, S.T., 1972. Irrigation in Ancient Mesopotamia. *Water Resour. Bull.*, 8(3):619-624.
- KIEFER, F.W., 1959. *Average depth of absorbed water in surface irrigation*. Civil Engineering Department, Utah State University, Logan, Utah.

- KORTBEGRIIP VAN LANDBOU STATISTIEK. 1990. Direktoraat Landbou-ekonomiese Tendense, Pretoria, Suid-Afrika.
- KOSTIAKOV, A.B., 1932. On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamics point of view for purposes of amelioration. *Trans. Sixth Comm. Int. Soc. Soil Sci.*, Part A., :17-21.
- KOVDA, V.A., VAN DEN BERG, C. & HAGAN, R.M. (Eds)., 1973. *Irrigation drainage and salinity. An international source book*. United Nations, Food and Agriculture Organization, Rome.
- KRUGER, G.H.J., 1986. Furrow irrigation. *Proceedings of the International Symposium on Agricultural engineering*. January, Pretoria. CIGR, Section 1:1.125-1.134.
- KRUGER, G.H.J., 1989. Hidrodinamiese ontwerp van vloedbesproeiing stelsels. *Landbou-Ingenieurswese in Suid-Afrika*, 21(1):137-144.
- LEWIS, M.R. & MILNE, W.E., 1938. Analysis of border irrigation. *Agric. Eng.*, 19:267-272.
- LEY, T.W., 1978. *Sensitivity of furrow irrigation performance to field and operation variables*. Colorado State University. Fort Collins, Colorado.
- LIGHTHILL, M.J. & WHITHAM, R.B., 1955. On kinematic waves: I. Flood movement in long rivers. *Proc. Roy. Soc. London*, A229:201-316.
- LINDERMAN, C.L., & STEGMAN, E.C., 1971. Seasonal variation of hydraulic parameters and their influence upon surface irrigation application efficiency. *Trans. ASAE*:914-923.
- NASIONALE VOEDSELSTRATEGIE. 1990 & 1992. *Potensiële produksieverhoging deur verhoging in bestuurspeil* - 'n Aanhangsel tot 'n ondersoek en verslag aan die werkskomitee belas met die formulering van 'n voedsel- en voedingstrategie vir die RSA. Departement Landbou-ontwikkeling, Pretoria, Suid-Afrika.

- MAHESHWARI, B.L., McMAHON, T.A. & TURNER, A.K., 1989. Field application of border irrigation models. In Dodd & Grace (eds). 1989. Land and water use. Balkema, Rotterdam. p653-661.
- MERRIAM, J.L., 1978. Border-strip irrigation design- procritical approach from a theoretical basis. *ASAE Summer meeting*. Utah State University. USA.
- MILLER, R.D. & RICHARD, F., 1952. Hydraulic gradients during infiltration in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 16:33-38.
- ODENDAAL, F.F. (Red.), SCOONEES, P.C., SWANEPOEL, C.J., DU TOIT, S.J. & BOOYSEN, C.M., 1991. HAT. Verklarende handwoordeboek van die Afrikaanse taal. Perskor-uitgewery, Doornfontein, Johannesburg.
- OLIVIER, DAAN. 1982. *Persoonlike mededeling*. Departement van Landbou, Vaalharts. Suid-Afrika.
- PETIT, M., 1988. Abstract: Workshop on Technological and institutional innovation in irrigation. *World Bank Technical Paper*, No. 94, Chapter 5.
- PHILIP, J.R., 1957(a). The theory of infiltration: 4. Sorptivity and initial moisture content. *Soil Sci.* 84:257-264.
- PHILIP, J.R., 1957(b). The theory of infiltration:5. The influence of the initial moisture content. *Soil_Sci.* 84:329-337.
- RAYEJ, M. & WALLENDER, W.W., 1987. Furrow model with specified space intervals. *ASCE J. Irrig. Drain. Eng.*, 113(4):536-548.
- REDDY, M.J. & CLYMA, W., 1981. Optimal design of furrow irrigation systems. *Trans. ASAE.*, 24(3):617-623.
- REDDY, M.J. & CLYMA, W., 1984. Optimisation of surface irrigation system design parameters. *Proceedings of the 12th Congres of International Commission on*

Irrigation and Drainage, Fort Collins, 28 May - 2 Jun. Volume 1A, Question 38, p215-233.

RUSSEL, D.A., 1982. *Determination of soil properties related to irrigation and drainage*. Department of Soil Science. University of Fort Hare, Alice.

SHOCKLEY, D.G., WOODWARD, H.J. & PHELAN, J.J. 1964. A quasi-rational method of border-irrigation design. *Trans. ASAE*, 7(4):420-423, 426.

SINGH, P. & CHAUHAN, H.S., 1972. Shape factors in irrigation water advance. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 98(IR3):443-458.

SLACK, D.C., 1980. Modeling infiltration under moving sprinkler irrigation systems. *Trans. ASAE.*, 23:596-600.

SMITH, R.E., 1972. Border irrigation advance and ephemeral flood waves. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 98(IR2):223-252.

SOIL CONSERVATION SERVICE. 1974(a). Border irrigation. In *USDA National Engineering Handbook*, Chapter 4, Section 15. United States Dept. of Agriculture, Bethesda, Maryland.

SOIL CONSERVATION SERVICE. 1974(b). *Irrigation guide for New Mexico*. United States Dept. Agriculture.

SOIL CONSERVATION SERVICE. 1974(c). *Colorado irrigation guide*. United States Dept. Agriculture.

SOIL CONSERVATION SERVICE. 1983. Furrow irrigation. In *USDA National Engineering Handbook*. Chapter 5, Section 15. United States Dept. Agric. Washington, DC.

SOUTH AFRICAN SUGAR ASSOCIATION. 1977. Irrigation of sugarcane. *Bulletin* No. 17 (revised).

- STRELKOFF, T. & KATAPODES, N.D., 1977. Border irrigation hydraulics with Zero-Inertia. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.* 103(IR3):325-342.
- STRELKOFF, T., 1970. Numerical solution of the Saint-Venant equation. *Proc. Am. Soc. Civ. Engr. Hydr. Dydr. Div J.*, 96(HY-1):223-252.
- STRELKOFF, T., 1977. Algebraic computation of flow in border irrigation. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 103(IR3):357-377.
- STRINGHAM, G.E. & KELLER, J., 1979. Surge flow for automatic irrigation. *Proc. Am. Soc. Civil Engr. Irrig. Drain. Div. Spec. Conf.*, Albuquerque, New Mexico. p132-142.
- THOMPSON, G.D. , 1979. *Persoonlike mededeling*. SASA Experiment Station, Mount Edgecombe, Tongaat, Suid-Afrika.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE., 1959. Irrigation on Western farms. *Agriculture Information Bulletin no. 199*. United States Government printing office, Washington. 53p.
- VAN DER RYST, C., 1980. *Beddingbesproeiing*. Afdeling Landbou-Ingenieurswese (Interne publikasie), Pretoria, Suid-Afrika.
- VAN HEERDEN, P.S., 1987. *Vloedbesproeiingsontwerp: die optimisering van beddingafmetings*. Departement van Landbou en Watervoorsiening, Pretoria, Suid- Afrika.
- VAN NIEKERK, W.P., 1987. *Eietydse bestuur*. Butterworth, Durban, Suid-Afrika.
- VAN REENEN, M.J., & DAVEL, J.A.H., 1986. *Boerderybestuur: 'n Sake benadering*. Sigma Press, Pretoria, Suid-Afrika.
- VAN ROBBROECK, T.P.C., 1983. *Irrigation water resources, planning for the 90's and beyond*. Unpublished Irrigation workshop, Water Research Commission, Pretoria, Suid-Afrika.

- WALKER, W.R. & LEE, T.S., 1981. Kinematic-wave approximation of surged furrow advance. *ASAE Paper*:81-2544. ASAE Winter meeting, Chicago, III.
- WALKER, W.R., 1989. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. *FAO irrigation and drainage*. Paper 45. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- WALKER, W.R., & HUMPHERYS, A.S., 1983. Kinematic-wave furrow irrigation model. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.* 109(IR4):377-392.
- WALKER, W.R., & SKOGERBOE, G.V., 1987. *Surface irrigation: theory and practice*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- WALKER, W.R., 1991. *Personal communication*. Head of Department, State University, Logan, Utah.
- WESSELS, W.P.J., 1973. Uitleg van sprinkel- en vloedbesproeiingstelsels. *Besproeiing Symposium*. 4(1): 75-86.
- WILKE, O.C. & SMERDON, E.T., 1965. A solution to irrigation advance problem. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 91(IR3):23-34.
- WOOLHISER, D.A. & LIGGETT, J.A., 1967. Unsteady, one dimensional flow over a plane-the rising hydrograph. *Water Resour.*, 3(3):753-771.
- WU, I-P.A.I. & BISHOP, A.A., 1970. Graphic relation of intake length-of-run and time. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 96:233-240.
- YU, F.X. & SINGH, V.P., 1990. Analytical model for furrow irrigation. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 116(2):154-171.

SIMULERINGSMODELLE

STRELKOFF, T., 1985. BRDRFLW: A mathematical model of border irrigation. United States Department of Agriculture, Phoenix, Arisona.

WALKER, W.R., 1989. SIRMOD : Surface irrigation simulation software. Utah State University, Logan, Utah.