
OPTIMALE BESTUUR VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID OP PLAAS- EN STREEKSVLAK MET INAGNEMING VAN RISIKO EN DIE OMGEWING.

deur L.K. OOSTHUIZEN EN B. GROVÉ

Verslag aan die Waternavorsingskommissie

PROJEKLEIER: PROF. L.K. OOSTHUIZEN

DEPARTEMENT LANDBOU-EKONOMIE

UNIVERSITEIT VAN DIE VRYSTAAT

POSBUS 339

BLOEMFONTEIN

9300

WNK VERSLAG NO: 645/1/01

ISBN NO: 1868458024

OKTOBER 2001

DANKBETUIGINGS

Die navorsing oor "*Optimale bestuur van wisselvallige waterbeskikbaarheid op plaas- en streeksvlak met inagneming van risiko en die omgewing*" is deur die *Watervorsingskommissie (WVK)* gefinansier en uitgevoer deur die Departement Landbou-Ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat.

Die volgende loodskomitee lede het die projek gemonitor:

Dr GR Backeberg	Watervorsingskommissie (Voorsitter)
Mnr H Maaren	Watervorsingskommissie
Dr N Benadé	NB Systems
Dr J Botes	Clover SA
Mnr CT Crosby	Murray, Biesenbach en Badenhorst Consulting Engineers
Mnr N Lecler	Universiteit van Natal
Mnr PJ Maritz	Nasionale Departement van Landbou
Prof LK Oosthuizen	Universiteit van die Oranje-Vrystaat (Projekleier)
Prof GF Ortmann	Universiteit van Natal
Prof RE Schulze	Universiteit van Natal
Prof MF Viljoen	Universiteit van die Oranje-Vrystaat
Sekretariaat	Watervorsingskommissie

Baie persone en instansies het meegewerk om hierdie multidissiplinêre navorsing wat baie rekenaarkundigheid vereis het, suksesvol te voltooi. Dank word aan die volgende persone en instansies vir hulle samewerking en ondersteuning betuig.

- * Die Watervorsingskommissie (WVK) vir die finansiering van die projek en die bydraes van die loodskomitee lede asook die leiding van die voorsitter word met dank erken. Menings uitgespreek en gevolgtrekkings gemaak, is dié van die outeurs en moet nie noodwendig aan die WVK toegeskryf word nie.
- * Mnr Bennie Grové en prof André Meiring vir hul kwantitatiewe en kwalitatiewe bydraes deurgaans tot die navorsing maar veral vir hul lojaliteit, geesdrif en vriendskap wat ondanks moeilike persoonlike omstandighede die projek 'n onvergeetlike ervaring gemaak het.
- * Professor Roland Schulze en sy span aan die Universiteit van Natal wat gehelp het met die opstel van ACRU en die verdere uitbreiding van die model. Meer spesifiek 'n woord

van dank aan Neil Lecler, Andy Pike, Bradford Howe, Mark Horan en Trever Lumbsden vir hulle vakkundige bydraes en belangstelling in die navorsing.

- * Rekensentrum vir Waternavorsing (RSWN) in Pietermaritzburg vir die gebruik van hul rekenaarfasiliteite tydens die gebruik van ACRU.
- * Mnr Warren Schlanders van die Klein Tugelarivierbesproeiingsraad en die besproeiingsboere in die gebied vir hul bereidwilligheid om saam te werk asook vir die inligting wat deur hulle beskikbaar gestel is.
- * Mev. Radilene le Grange van die Rabie Saundersbiblioteek vir hulp om relevante inligting vir die navorsing op te spoor.
- * Menere Carel Fourie, Ignatius Pretorius en Stephan Ferreira vir die verwerking en generering van inligting.
- * Die Skakelkomiteelede van die Eenheid vir Landbouwaterbestuur in die Fakulteit Landbou vir hulle ondersteuning en insette.
- * Die Departement Landbou-Ekonomie en die Universiteit van die Oranje-Vrystaat vir die geleentheid om die navorsing aan te pak en die beskikbaarstelling van fasiliteite.
- * My grootste dank kom my Hemelse Vader toe vir sy seën op die navorsing.

KLOPPER OOSTHUIZEN
DESEMBER 2000

ACRU	Agricultural Catchment Research Unit
AO	ACRU-opvanggebied
BSV	Binnestroomvloeivoorsiening
CCODI	Chance Constraint Optimising Deficit Irrigation
CSND	Correlated Standard Normal Deviates
DLIN	Departement Landbou-ingenieurswese aan die Universiteit van Natal
DLP	Dinamiese Lineêre Programmering
DP	Dinamiese Programmering
DSP	Diskrete Stogastiese Programmering
FARMS	Firm Level Agricultural Risk Management Simulator
FLIPSIM	Firm Level Impact Policy Simulator
GAMS	General Algebraic Modeling System
GIS	Geografiese Inligtingstelsel
GJR	Gemiddelde Jaarlikse Reënval
ISND	Independent Standard Normal Deviates
KBP	Kans-beperkte Programmering
LP	Lineêre Programmering
MLE	Maximum Likelihood Estimators
MO	Modelleringsopvanggebied
RSWN	Rekensentrum vir Watervorsing
SAPWAT	Southern African Procedure for estimating irrigation water requirements
SDP	Stogastiese Dinamiese Programmering
SH	Stewart-Hagan
SIMCOM	Simulation complex optimisation method
SLP	Stogastiese Lineêre Programmering
SM	Stewart-vermenigvuldigende
SP	Stogastiese Programmering
VB	Verteenwoordigende boerderye

BESTUURSOPSOMMING

OPTIMALE BESTUUR VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID OP PLAAS- EN STREEKSVLAK MET INAGNEMING VAN RISIKO EN DIE OMGEWING

Agtergrond en motivering

Strategieë om die wisselvalligheid in beskikbare hoeveelheid besproeiingswater en reënval optimaal te bestuur, is van beide 'n kort- en langtermyn aard. 'n Gebrek aan navorsings-instrumente wat die dinamiese en stogastiese aard van besproeiingsboerdery kan verreken, beperk die ekonomiese en finansiële ontledings van alternatiewe watervoorsiening- en watergebruikstrategieë op plaas en streeksvlak (Backeberg en Oosthuizen, 1995). Gevolglik word besluitnemers belemmer om in situasies van wisselende watervoorraad (kwotas, droogtes, riviervloei) betyds oor die kort- en langtermyn ekonomies daarby aan te pas en stel dit boere se langtermyn oorlewing op die spel.

Spesifieke gebreke in die huidige kennisstand wat opgehef moet word, is enersyds die wyer gebruik van dinamies-stogastiese modelle om die omgewing waarin besproeiing plaasvind realisties in berekening te bring en andersyds die sentrale rol wat die besluitnemer in terme van sy doelstellings en voorkeure speel (Backeberg en Oosthuizen, 1995). 'n Tergende uitdaging bly steeds om die krag en toepaslikheid van dinamies-stogastiese modelle op plaasvlak te demonstreer weens die tekort aan data om vektore van waarskynlikheidsverdelings vir die vernaamste besluitnemingsveranderlikes te genereer. Intussen is dit noodsaaklik om hulpmiddels te skep om boere, adviseurs en beleidmakers in staat te stel om kort- en langtermyn watervoorsiening- en watergebruikstrategieë op plaas- en streeksvlak ekonomies en finansiële te evalueer inaggenome die dinamiese en onsekere omgewing.

Verder is kennis oor die kort- en langtermyn ekonomiese implikasies van beleidsmaatreëls rakende besproeiingswaterbestuur op streeksvlak noodsaaklik vir doeltreffende waterbestuur. Tot dusver bestaan daar nie prosedures om die voorspellings van die effekte van beleid oor die gebruik van water op die lewensvatbaarheid van besproeiingsboerdery te evalueer nie. Instrumente om enersyds die impak van besproeiingsboerdery op die handhawing van 'n minimum binnestroomriviervloei oor die kort- en langtermyn te evalueer en andersyds om alternatiewe waterbestuurstrategieë se nadelige effekte op plaas- en streeksvlak te bepaal, sal dus 'n goedomlynde behoefte vir kennisvermeerdering aanvul.

Probleemstelling en doelformulering

Binne die raamwerk van die nuwe Nasionale Waterwet (No. 36 van 1998) sal water potensieel weg van besproeiingslandbou geallokeer word om 'n binnestroomvloeivoorsiening (BSV) te handhaaf wat ekonomiese kostes vir besproeiingsboere sal veroorsaak. 'n Gebrek aan prosedures lei egter daartoe dat die impak van alternatiewe strategieë soos tekortbesproeiing, 'n verhoging in watertoedieningsdoeltreffendheid en die voordeel van 'n plaasopgaardam om die ekonomiese koste vir boere te minimaliseer, nie gekwantifiseer kan word nie. Geen modelleringsprosedures is al in Suid-Afrika gedemonstreer om die potensiaal van watermarkte met inagneming van derdepartyeffekte te ontleed nie. Implementering van sodanige strategieë word dus belemmer. Bogenoemde is die gevolg van gebrekkige prosedures om wisselvallige waterbeskikbaarheid en die effek daarvan op die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerderye te kwantifiseer.

Die hoofdoel van die navorsing is die ontwikkeling van prosedures, metodes en instrumente om enersyds die invloed van wisselvallige waterbeskikbaarheid op die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerderye te bepaal en andersyds om die bestuur en benutting van besproeiingswater op streeksvlak ekonomies te evalueer, inaggenome risiko en die omgewing.

Meer spesifiek word die volgende doelstellings gestel:

1. Om prosedures te ontwikkel om die impak van besproeiingsboerderye op die omgewing te evalueer. Die omgewing verwys na genoegsame water wat vir die handhawing van 'n binnestroomvloeivoorsiening geallokeer moet word om lewende hulpbronne in rivierekosisteme nie te benadeel nie.
2. Om alternatiewe waterbestuurstrategieë se nadelige effekte op streeksvlak te bepaal.
3. Die uitbreiding van modelle om langtermyn ekonomiese en finansiële ontledings te doen om enersyds watervoorsieningstrategieë (bou van damme en aankoop van addisionele waterregte) en andersyds watergebruikstrategieë (wisselbou, tekortbesproeiing en watertoedieningsdoeltreffendheid) op plaasvlak te evalueer.
4. Om prosedures te ontwikkel om besproeiingswatergebruik op streeksvlak ekonomies te evalueer, inaggenome risiko.

Die navorsing is in die opvanggebied van die Klein Tugelarivier tot voor die samevloeiing met die Sterkspruit uitgevoer. Die gebied is naby Winterton en beslaan in totaal naastebly 7 000 hektaar besproeiingsgrond van sowat 100 grondeienaars.

Ten einde agtergrondinligting oor die besproeiingsbestuurspraktyke, gewasse, oppervlakbenutting en ander boerderygegewens te verkry, is 'n vraelys by 52 boere in die navorsingsgebied ingesamel. Die ACRU agrohidrologiese modelleringsstelsel¹ is vir die navorsing geselekteer om stroomvloeï te simuleer aangesien dit die vraag (besproeiingsbehoefte) en aanbod (riviervloei en opgaring in damme) van water binne een enkele model vir 'n opvanggebied integreer. Die model moes aangepas word sodat meer as een waterbron (rivier en dam) vir besproeiingsdoeleindes gebruik kon word en om 'n spesifieke opvanggebied se wateronttrekking ooreenkomstig die waterreg van die opvanggebied te beperk. In samewerking met die Universiteit van Natal is 'n navorsingsweergawe van ACRU met die nodige aanpassings ontwikkel en gebruik om opbrengste vir koring en spesifieke opvanggebiede te simuleer. Laasgenoemde is belangrike invoere wat vir ekonomiese ontledings in die FARMS-model (**F**irm-level **A**gricultural **R**isk **M**anagement **S**imulator) gebruik is om die besproeiingsboerdery te evalueer. Stogastiese dominansie met betrekking tot 'n funksie is gebruik om die mees doeltreffende oppervlakbenutting van koring in elk van die nege opvanggebiede inaggenome risikohoudings van boere te bepaal.

'n Kans-beperkte optimeringsmodel is vir elk van die opvanggebiede ontwikkel om wisselvallige waterbeskikbaarheid met die besproeiingsbesluite van boere en besproeiingsbehoefte van gewasse in verband te bring om sodoende aan te toon dat wisselvallige waterbeskikbaarheid 'n belangrike risikobron is wat die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerdery beïnvloed.

Lineêre en nie-lineêre optimiseringstegnieke met behulp van GAMS (**G**eneral **A**lgebraic **M**odelling **S**ystem) is gebruik om enersyds tekortbesproeiing en verhoogde watertoedieningsdoeltreffendheid as watergebruikstrategieë en andersyds die gebruik van plaasdamme en verhandeling van waterregte as watervoorsieningstrategieë te ontleed om die kostes vir die handhawing van 'n BSV te minimaliseer. Aan die begin van die projek is die prosedures wat deur Willis (1993) ontwikkel is, gebruik om tekortbesproeiing vanaf toestande van geen waterstremming met 'n reglynige opbrengsvergelyking te modelleer. Die opbrengsvergelyking neem egter nie die effek van waterstremming in verskillende groeistadiums in ag nie en die programmatuur wat gebruik is om die programmeringsmodelle te bou, was nie geskik vir die ontwikkeling van streeksmodelle nie. GAMS maak die gebruik van nie-lineêre programmering toeganklik en prosedures om opbrengste te modelleer, is verder uitgebrei om opbrengste met 'n nie-lineêre opbrengsvergelyking wat 'n meer as proporsionele verlaging in opbrengste kan modelleer indien gewaswaterstremming in meer as een groeistadium plaasvind, te hanteer. Laasgenoemde het baie projektyd in beslag geneem vanweë die gebrek aan kennis in Suid-Afrika omtrent GAMS en nie-lineêre programmeringsprosedures. Deurgaans is die modelle op

¹ Die ACRU agrohidrologiese modelleringsstelsel het sy oorsprong in die "**A**gricultural **C**atchment **R**esearch **U**nit" in die Departement Landbou Ingenieurswese van die Universiteit van Natal in Pietermaritzburg en vandaar die naam ACRU (Schulze, 1995).

plaasvlak ontwikkel. Die plaasvlak modelle is vervolgens tot een model op streeksvlak geïntegreer. Die nie-lineêre kans-beperkte programmeringsmodel wat gebruik is om waterbenutting vir die alternatiewe watergebruik- en voorsieningsstrategieë op streeksvlak te optimaliseer bestaan uit ongeveer 2 800 vergelykings, 2 000 veranderlikes en 1 400 nie-lineêre entiteite. Vanweë die kompleksiteit van die nie-lineêre programmeringsmodel is terugvloei nie geallokeer nie en die waterbenutting van die totale opvanggebied is dus nie met inagneming van die impak van besproeiingsboere se bestuurswyses op die waterbesikbaarheid van ander gebruikers geoptimaliseer nie. Die potensiele impak via veranderde terugvloei word egter uitgewys.

'n Kans-beperkte gemengde integer nie-lineêre programmeringsmodel waarin terugvloei geallokeer is, is vervolgens ontwikkel om die waterbenutting met inagneming van moontlike nadelige effekte vir die totale opvanggebied te optimaliseer indien water tussen opvanggebiede oordraagbaar is. Die model neem dus die interaksie tussen opvanggebiede ten volle in ag. Vanweë die kompleksiteit van die model is tekortbesproeiing nie in die model ingesluit nie. Laasgenoemde model bestaan uit ongeveer 2 220 vergelykings, 1 580 veranderlikes, 860 nie-lineêre entiteite en 9 binêre veranderlikes.

Resultate en gevolgtrekkings

- Kans-beperkte programmering is gebruik om aan te toon dat wisselvallige waterbesikbaarheid wel 'n belangrike risikobron vir besproeiingsboere in die Klein Tugelarivieropvanggebied is wat die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerdery beïnvloed. Die enkele belangrikste faktor wat die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerderye onder toestande van geen waterstremming beïnvloed het, was die tydperiode waarin watertekorte voorkom.
- Twee opbrengsvergelykings is in die navorsing geëvalueer ten einde die toepaslikheid van meer gesofistikeerde nie-lineêre modelle wat die effek van waterstremming in verskillende groeistadiums in ag neem, te ondersoek. Resultate het getoon dat die voordele om die nie-lineêre Stewart model te gebruik, meer is as die ekstra ontledingstyd om die model te ontwikkel aangesien die model 'n betekenisvolle invloed op die optimale benutting van besproeiingswater en die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerdery uitoefen.
- Allokasiereëls is vir ACRU ontwikkel sodat waterbenutting in 'n spesifieke opvanggebied ooreenkomstig sy watergebruiksreg beperk kon word. Sodoende kon die verwantskap tussen wisselvallige waterbesikbaarheid, besproeide oppervlakte en die hoeveelheid watergebruiksregte gekwantifiseer word. Laasgenoemde is belangrike invoere wat gebruik is om die effek van wisselvallige waterbesikbaarheid op die ekonomiese winsgewendheid van besproeiingsboerdery op boerderyondernemingsvlak uit te wys.

- 'n Belangrike gaping in die stand van kennis is gevul met die ontwikkeling van prosedures wat gekorreleerde waardes van riskante veranderlikes sonder gebruik van @RISK kan simuleer. Laasgenoemde prosedures is deursigtig en as gevolg van die beheer wat daar oor die simulasielproses uitgeoefen kan word, sal die programmering daarvan vergemaklik word.
- Die prosedures wat ontwikkel is om langtermyn ekonomiese ontledings op boerderyondernemingsvlak uit te voer, kan as die bousteen vir die ontwikkeling van 'n volledige langtermyn FARMS-model met wyer toepassingsmoontlikhede dien.
- Resultate van die navorsing het nie net getoon dat die ontwikkelde prosedures geskik is om die effek van wisselvallige waterbeskikbaarheid op die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerdery met inagneming van risiko, die omgewing en moontlike nadelige effekte te ontleed nie, maar die resultate hou ook belangrike beleidsimplikasies in:
 - 'n Waterbewaringsbeleid met verhoogde watertoedieningsdoeltreffendheid as uitgangspunt kan slegs die illusie skep dat water bespaar word aangesien 'n verhoging in watertoedieningsdoeltreffendheid, alhoewel dit ekonomies voordelig is, stroomvloei nadelig deur verlaagde terugvloei kan beïnvloed.
 - Tekortbesproeiing sal slegs water bespaar indien besproeiingsboere nie groter oppervlakte met bespaarde water besproei nie.
 - Die nadelige eksternaliteite van wateroordragte kan verminder word deur die verhandelbare reg op werklike waterverbruik te grond.
- Die resultate het getoon dat die ekonomiese koste om 'n BSV te handhaaf deurentyd toeneem soos wat die waarskynlikheid om die BSV te handhaaf, toeneem ongeag watter waterbestuurstrategie gevolg word.
- Versigtigheid moet aan die dag gelê word om totale opvanggebiedmodelle, wat die diversiteit van die opvanggebied ignoreer, vir opvanggebiedbestuursdoeleindes te ontwikkel. Die rede is dat die doeltreffendheid van alternatiewe watergebruikstrategieë verhoog kan word deur dit aan te moedig in die sub-opvanggebiede waar dit die grootste waarde het.

Bereiking van gestelde doelstellings en waarde van resultate

Die hoofdoel van die navorsing is bereik deur prosedures te ontwikkel om die waterbenutting van alternatiewe waterbestuurstrategieë met nie-linéêre optimeringstegnieke te optimaliseer en die ontwikkelde model multidissiplinêr met 'n agrohidrologiese en ekonomiese simulasiemodel te integreer ten einde instrumente vir die optimale bestuur van waterhulpbronne op plaas- en streeksvlak met inagneming van die omgewing daar te stel.

Meer spesifiek is die volgende projekdoelstellings bereik.

1. Die impak van besproeiingslandbou op die omgewing is gedemonstreer deur prosedures te ontwikkel wat die ekonomiese koste vir besproeiingsboerderye kan bereken indien water weg van besproeiingslandbou vir die behoud van die biodiversiteit van rivier ekosisteme geallokeer word. Die omgewing word ten volle deur kans-beperkings in ag geneem deurdat sekere veiligheidsgrense dat die BSV gehandhaaf sal word, gewaarborg word. 'n Belangrike bydrae is gelewer deur die ontwikkeling van die CCODI-model (**C**hance **C**onstraint **O**ptimising **D**eficit **I**rrigation) wat gebruik kan word om alternatiewe waterbestuurstrategieë ekonomies te evalueer en die impak daarvan op die omgewing via veranderde terugvloei uit te wys. Vir die eerste keer kan waterbenutting met inagneming van die tydigheid van waterstremming vir meer as een gewas geoptimaliseer word en optimale waterbenuttingspatrone bepaal word. Die kragtigheid van FARMS is gedemonstreer deurdat met die regte invoere kontantvloei-begrotings van alternatiewe oppervlakbenuttings onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid gesimuleer is. In die verband is die aanpassing van ACRU om wateronttrekking van 'n spesifieke opvanggebied ooreenkomstig sy waterreg te beperk, waardevol aangesien opbrengste meer korrek gesimuleer kan word. Stogastiese dominansie is gebruik om die mees doeltreffende benutting te identifiseer.
2. Die impak van alternatiewe waterbestuurstrategieë is op streeksvlak bepaal deur die prosedures wat vir die bereiking van doelstelling 1 ontwikkel is tot streeksvlak uit te brei. Waarde is tot die prosedures toegevoeg deur die ontwikkeling van 'n gemengde integer nie-lineêre optimeringsmodel wat die effek van wateroordragte met inagneming van die wisselwerking tussen opvanggebiede in ag neem. Laasgenoemde is as gevolg van die kompleksiteit van die probleem nie in die CCODI-model verreken nie.
3. Ten einde die langtermyn ekonomiese en finansiële impak van alternatiewe watergebruikstrategieë op boerderyondernemingsvlak te ontleed, is prosedures ontwikkel om op herhalende wyse die jaareindsituasie van die vorige jaar as die begin situasie van die volgende jaar te neem. Die waarde van die prosedures blyk nie net uit die vermoë om alternatiewe strategieë oor die langtermyn te ontleed nie, maar ook omdat die ontwikkeling van 'n kontantvloei-begroting oor die volle ontledingstermyn uitgeskakel is wat toekomstige programmering daarvan sal vergemaklik. Die ontwikkeling van prosedures om gekorrelleerde waardes te simuleer, is bruikbaar en kan in ander ekonomiese modelle gebruik word om risiko oor die langtermyn in ag te neem.

4. Besproeiingswatergebruik is op streeksvlak ekonomies met inagneming van risiko geëvalueer deur die toepassing van die CCODI- en CCMARK-modelle op streeksvlak. Weens rekenaartegnologie word die wisselwerking tussen opvanggebiede nie met die CCODI-model in ag geneem nie. Die prosedures in die CCMARK-model is egter bruikbaar en die twee modelle moet in die toekoms geïntegreer word.

Samevattend kan gesê word dat meer betroubare en realistiese lewensvatbaarheidstudies van besproeiingsboerderye in die toekoms met behulp van die daargestelde modelle, prosedures en instrumente van die navorsing gemaak sal kan word. Gevolglik sal alle betrokkenes in die besproeiingsveld naamlik navorsers, adviseurs, beleidmakers en boere vir die eerste keer gevorderde geheelplaas- en streeksvlakontledings kan uitvoer om die komplekse probleme van besproeiingsboere aan die hand van scenarios te ontleed. Vervolgens sal die prosedures om risiko eksplisiet (en nie slegs met behulp van sensitiviteitsontledings) by streeksvlakontledings in ag te neem van groot waarde vir opvanggebiedontwikkelaars en beleidmakers wees om riglyne te verskaf vir die gesamentlike gebruik van waterhulpbronne en die vergoeding van benadeelde partye.

Uit die navorsing het 10 wetenskaplike artikels die lig gesien waarvan die 1998 Agrekon artikel: "'n Ekonomiese evaluering van tekortbesproeiing en verhoogde watertoedieningsdoeltreffendheid op landbouwatergebruik" die kern bevat. Op internasionale vlak het twee referate die navorsingsresultate aan gehore in die VSA en Engeland bekend gestel. Die data is by die Departement Landbou-ekonomie (UOVS) beskikbaar.

Verdere navorsingsvoorstelle

1. Navorsing is nodig om die CCODI- en CCMARK-modelle te integreer en tot 'n langtermyn dinamiese stogastiese model uit te brei wat die interaktiewe wisselwerking tussen opvanggebiede kan in ag neem.
2. Die CCODI-model moet verder ontwikkel word om optimale bestuur van water in opvanggebiede kragtiger en meer werklikheidsgetrou te kan ontleed. Die prosedures om terugvloei te kwantifiseer, moet verbeter word vanweë die impak wat veranderde terugvloei op die waterbeskikbaarheid van ander watergebruikers en ander gebruikers het. Deur die insluiting van kostefunksies kan die verwantskappe tussen insetkoste en opbrengste ook verbeter word.
3. Die beste benadering tot die optimale bestuur van waterhulpbronne op opvanggebiedvlak is die interaktiewe gebruik van 'n agro-hidrologiese model soos ACRU, 'n geheelplaassimulasiemodel soos FARMS en ekonomiese optimiseringsmodelle soos CCODI en CCMARK om die wisselwerking tussen alternatiewe waterbestuurstrategieë op plase, waterbeleidsadministrasie, die waterwet en die

hidrologie te kan in ag neem. Gevolglik moet bogenoemde modelle gebruik en uitgebrei word om verskillende situasies in opvanggebiede te kan ontleed.

4. Die CCODI-optimiseringsmodel moet met die WAS, SWB, FARMS-simulasiemodelle gekoppel word om waterhulpbronne optimaal te kan benut.
5. 'n Verdere navorsingsuitdaging is om die daargestelde reeks modelle en prosedures op 'n verskeidenheid van besproeiingsboerdertipes en opvanggebiede toe te pas.
6. Met enige navorsingsweergawe van 'n model wat ontwikkel word, word 'n vlak van kundigheid benodig om die modelle te gebruik. Verdere navorsing word benodig om die prosedures wat in die navorsingsweergawes van ACRU en FARMS ingesluit is verbruikersvriendelik te kry deur die programmering daarvan.
7. Meer navorsing word benodig ten einde langtermynrisiko's te kwantifiseer en in simulasiemodelle te inkorporeer. 'n Belangrike faktor wat laasgenoemde beïnvloed is die korrelasies tussen veranderlikes.
8. Navorsing word benodig om die impak van alternatiewe boerderyproduksiemetodes op die kwaliteit van water te demonstreer en prosedures moet ontwikkel word om die ekonomiese doeltreffendheid van alternatiewe strategieë om die impak van nie-puntbronbesoedeling te verminder, te evalueer.

EXECUTIVE SUMMARY

OPTIMAL MANAGEMENT OF UNCERTAIN WATER AVAILABILITY AT FARM AND REGIONAL LEVEL TAKING INTO ACCOUNT RISK AND THE ENVIRONMENT

Background and reasoning

Strategies for optimally managing the uncertainty of available quantity of irrigation water and rainfall are both short and long term in nature. A lack of research instruments that can calculate the dynamic and stochastic nature of irrigation farming limits the economic and financial analyses of alternative water provision and water use strategies at farm and regional level (Backeberg and Oosthuizen, 1995). Decision-makers are therefore handicapped in adapting economically in situations of variable water supplies (quotas, droughts, river flow) in time, and farmers' long-term survival is jeopardised.

Specific shortcomings in the current knowledge situation that have to be corrected are, on the one hand, the wider use of dynamic stochastic models to take into realistic account the environment in which irrigation takes place, and on the other hand, the central role played by decision-makers in terms of their objectives and preferences (Backeberg and Oosthuizen, 1995). A difficult challenge is to demonstrate the power and applicability of dynamic stochastic models at farm level because of the deficit of data to generate vectors of probability distributions for the most important decision-making variables. In the mean time it is essential to create aids to enable farmers, advisors and policy-makers to economically and financially evaluate short- and long-term water supply and water use strategies at farm and regional level taking into account the dynamic and uncertain environment.

In addition knowledge about the short- and long-term economic implications of policy measures regarding irrigation water management at regional level is essential for effective water management. To date no procedures are in place for evaluating the predictions of the effects of policy on the use of water on the viability of irrigation farms. Instruments to evaluate the impact of irrigation farming on the maintenance of a minimum instream river flow on the short and long term on the one hand, and to determine the detrimental effects of alternative water management strategies at farm and regional level on the other hand, will therefore supplement a well-defined need for an increase of knowledge.

Problem statement and formulation of objectives

Within the framework of the new National Water Act (No. 36 of 1998) water will be allocated away from irrigation agriculture to maintain an instream flow requirement (IFR) that will result in economic costs for irrigation farmers. However, a lack of procedures has made it

impossible to quantify the impact of alternative strategies such as deficit irrigation, an increase in water application efficiency and the benefits of a farm storage dam to minimise the costs of farmers. No modelling procedure has ever been demonstrated in South Africa to analyse the potential of water markets taking into account third-party effects. Implementation of such strategies is therefore hampered. The above is the result of deficient procedures to quantify the uncertain water availability and its effect on the economic efficiency of irrigation farming.

The main objective of the research is the development of procedures, methods and instruments to determine the influence of uncertain water availability on the economic efficiency of irrigation farming on the one hand, and to economically evaluate the management and utilisation of irrigation water at regional level, taking into account risk and the environment, on the other hand.

More specifically, the following objectives were set:

1. To develop procedures for evaluating the impact of irrigation farms on the environment. The environment refers to sufficient water that must be allocated for the maintenance of an instream flow requirement so as not to harm living species in river ecosystems.
2. To determine the harmful effects of alternative water management strategies at regional level.
3. The extension of models to undertake long-term economic and financial analyses to evaluate water supply strategies (building of dams and purchasing of additional water rights) on the one hand, and water use strategies (crop rotation, deficit irrigation and water application efficiency) at farm level on the other hand.
4. To develop procedures to economically evaluate irrigation water use at regional level taking into account risk.

The research was done in the catchment area of the Little Tugela River to just before the confluence with the Sterkspruit. The area is near Winterton and comprises a total of almost 7 000 hectares irrigation land of some 100 land owners.

In order to obtain background information on the irrigation practices, crops, area utilisation and other farming data, a questionnaire was completed by 52 farmers in the research area.

The ACRU agrihydrologic modelling system¹ was selected for the research to simulate stream flow, as it integrates the demand (irrigation requirements) and supply (river flow and storage in dams) of water in one single model for a catchment area. The model had to be adjusted so that more than one water source (river and dam) could be used for irrigation purposes, and to limit water withdrawal of a specific catchment area in terms of the water rights of the catchment area. In co-operation with the University of Natal, a research version of ACRU was developed with the necessary adjustments, and used to simulate yields in specific catchment areas. The latter are important inputs that were used for economic analyses in the FARMS model (**F**irm **A**gricultural **R**isk **M**anagement **S**imulator) to evaluate the irrigation farms. Stochastic dominance with respect to a function was used to determine the most effective area utilisation of wheat in each of the nine catchment areas taking into account risk attitudes of farmers.

A chance-constraint optimisation model was developed for each of the catchment areas to relate uncertain water availability to the irrigation decisions of farmers and irrigation requirements of crops in order to show that uncertain water availability is an important risk source that affects the economic efficiency of irrigation farms.

Linear and non-linear optimising techniques by means of GAMS (**G**eneral **A**lgebraic **M**odelling **S**ystem) were used to analyse deficit irrigation and increased water application efficiency as water use strategies on the one hand, and the use of farm dams and trading of water rights as water provision strategies on the other hand, in order to minimise the costs for maintaining an IFR. At the beginning of the project the procedures developed by Willis (1993) were used to model deficit irrigation from conditions of no water stress with a linear yield equation. However, the yield equation did not take into account the effect of water stress in various growth stages, and the software used to build the programming models was not suitable for developing regional models. GAMS makes the use of non-linear programming accessible, and procedures for modelling yields were developed further to handle yields with a non-linear yield equation that model a more than proportional decrease in yields if crop water stress takes place in more than one growth stage. The latter took up a great deal of project time because of the lack of knowledge in South Africa about GAMS and non-linear programming procedures. The models were developed at farm level throughout. The farm level models were subsequently integrated to one model at regional level. The non-linear chance constraint programming model that was used to optimise water utilisation for the alternative water use and supply strategies at regional level, comprised approximately 2 800 equations, 2 000 variables and 1 400 non-linear entities. Because of the complexity of the non-linear

¹ The ACRU agrohydrologic modelling system has its origins in the "Agricultural Catchment Research Unit" in the Department of Agricultural Engineering of the University of Natal in Pietermaritzburg, hence the name ACRU (Schulze, 1995).

programming return-flow was not allocated, and the water utilisation of the total catchment areas was therefore not optimised taking into account the impact of irrigation farmers' management methods on the water availability of other users. However, the potential impact via variable return-flow is pointed out.

An chance-constraint mixed integer non-linear programming model in which return-flow is allocated was subsequently developed to optimise the water utilisation taking into account possible detrimental effects for the total catchment area should water be transferable between catchment areas. This model therefore fully takes into account the interaction between catchment areas. Because of the complexities of the model, deficit irrigation was not included in the model. The latter model comprises approximately 2 220 equations, 1580 variables, 860 non-linear entities and 9 binary variables.

Results and conclusions

- Chance-constraint programming was used to indicate that uncertain water availability does constitute an important risk source for irrigation farmers in the Little Tugela River catchment area which affects the economic efficiency of irrigation farming. The single most important factor that affected the economic efficiency of irrigation farmers under conditions of no water stress was the time period in which water deficits occurred.
- Two yield equations were evaluated in the research in order to investigate the applicability of more sophisticated non-linear models that take into account the effect of water stress in various growth stages. Results showed that the advantages of using the non-linear Stewart model were more than the extra analysing time to develop the model, as the model has a significant influence on the optimal utilisation of irrigation water and the economic efficiency of irrigation farming.
- Allocation rules were developed for ACRU so that water utilisation could be limited in a specific catchment area in accordance with its water use rights, hence the relationship between uncertain water availability, irrigated area and the number of water use rights could be quantified. The latter are important inputs that were used to point out the effect of uncertain water availability on the economic profitability of irrigation farming at farm level.
- An important gap in the state of knowledge was filled by developing procedures that can simulate correlated values of risky variables without using @RISK. The latter procedures are transparent and because of the control that can be exercised over the simulation process, the programming thereof will be facilitated.

- The procedures that were developed to undertake long-term economic analyses at farm level, can serve as cornerstone for developing a full long-term FARMS model with wider application possibilities.
- Results of the research not only showed that the developed procedures are suitable to analyse the effect of uncertain water availability on the economic efficiency of irrigation farming taking into account risk, the environment and possible negative externalities, but the results also contain important policy implications:
 - A water conservation policy with the aim of increasing water application efficiency can only create the illusion that water is being conserved as an increase in water application efficiency, although being economically advantageous, can detrimentally affect stream flow by decreased return-flow.
 - Deficit irrigation would only conserve water if irrigation farmers were not allowed to irrigate larger areas with conserved water.
 - The detrimental negative externalities of water transfers can be decreased by basing the tradable rights on actual water usage.
- The results showed that the economic cost of maintaining an IFR increases continuously as the probability of maintaining the IFR increases, regardless of which water management strategy is being followed.
- Care must be taken of developing, for catchment area management purposes, total catchment area models that ignore the diversity of the catchment area. The reason is that the efficiency of alternative water usage strategies can be increased by encouraging it in the sub-catchment areas where it has the greatest value.

Achieving set objectives and value of results

The main objective of the research was achieved by developing procedures to optimise the water utilisation of alternative water management strategies by non-linear optimising techniques, and to integrate the developed model multidisciplinarily with an agrohydrologic and economic simulation model in order to establish instruments for the optimal management of water resources at farm and regional level taking into account the environment.

More specifically the following project objectives were achieved.

1. The impact of irrigation agriculture on the environment was demonstrated by developing procedures that can calculate the economic cost for irrigation farms if water is allocated away from irrigation agriculture for the conservation of biodiversity of river ecosystems. The environment is fully taken into account of by chance-constraints in that certain safety boundaries guarantee that the IFR will be maintained. An important contribution was made by the development of the CCODI model (**C**hance **C**onstraint **O**ptimising **D**eficit **I**rrigation) which can be used to economically evaluate alternative water management strategies and to indicate the impact thereof on the environment via changed return-flow. For the first time water utilisation taking into account the time of water stress can be optimised for more than one crop, and optimal water utilisation patterns can be determined. The power of FARMS was demonstrated in that, with the right inputs, certain cash-flow budgets of alternative area utilisations were simulated under conditions of risky water availability. In this regard the adjustment of ACRU to limit water withdrawal of a specific catchment area in terms of its water rights, was valuable as yields could be simulated more accurately. Stochastic dominance was used to identify the most effective utilisation.
2. The impact of alternative water management strategies at regional level was determined by extending the procedures that were developed for achieving objective 1 to regional level. Value was added to the procedures by developing a mixed integer non-linear optimising model that optimises the effect of water transfers taking into account the interaction between catchment areas. The latter was not taken into account in the CCODI model because of the complexity of the problem.
3. In order to analyse the long-term and financial impact of alternative water usage strategies at farm level, procedures were developed to take the year-end situation of the previous year as the beginning situation of the next year in a repetitive manner. The value of the procedures is not only evident from the ability to analyse alternative strategies in the long term, but also because the development of a cash-flow budget over the full analysis term was eliminated, which would facilitate its future programming. The development of procedures to simulate correlated values, is useful and can be used in other economic models to take into account risk in the long term.
4. Irrigation water usage was evaluated economically at regional level taking into account risk by applying the CCODI and CCMARK models at regional level. Because of computer technology, the interaction between catchment areas was not taken into

account with the CCODI model. However, the procedures in the CCMARK model are useful, and the two models have to be integrated in future.

In summarising it can be stated that more reliable and realistic feasibility studies of irrigation farming will be possible in future by means of the established models, procedures and instruments of the research. Consequently all stake-holders in the irrigation field, namely researchers, advisors, policy-makers and farmers will be able to carry out advanced whole-farm and regional level analyses to analyse the complex problems of irrigation farmers on the basis of scenarios. In addition the procedures for taking into account risk explicitly (and not only by means of sensitivity analyses) in regional level analyses, will be of great value for catchment developers and policy-makers in providing guidelines for the joint use of water resources and compensation of disadvantaged parties.

From the research, 10 scientific articles were published, of which the core is presented in 1998 Agrekon article “n Economiese evaluering van tekortbesproeiing en verhoogde watertoedieningsdoeltreffendheid op landbouwatergebruik [An economic evaluation of deficit irrigation and increased water application efficiency on agricultural water usage.] At international level, two papers introduced the research results to audiences in the USA and England.

Further research proposals

1. Research is necessary to integrate the CCODI and CCMARK models and to extend it to a long-term dynamic stochastic model that can take into account the interactive interplay between catchment areas.
2. The CCODI model must be developed further to enable more powerful and true to reality analysis of optimal water management in catchment areas. The procedures for quantifying return-flow must be improved because of the impact that changed return-flow has on the water availability of other water usages and other users. By including cost functions, the relations between input cost and yields can also be improved.
3. The best approach to the optimal management of water resources at catchment level is the interactive use of an agrohydrologic model such as ACRU, a whole-farm simulation model such as FARMS, and economic optimising models such as CCODI and CCMARK to take into account the interaction between alternative water management strategies on farms, water policy administration, water legislation and

hydrology. Consequently the above-mentioned models should be used and extended to enable analysis of different situations in catchment areas.

4. The CCODI optimising model must be linked to the WAS, SWB and FARMS simulation models in order to optimally utilise water resources.
5. A further research challenge is to apply the established series of models and procedures to a variety of types of irrigation farming and catchment areas.
6. In any research version of a model that is developed, an expertise level is required to use the models. Further research is required to make the procedures included in the research versions of ACRU and FARMS user- friendly by means of programming.
7. More research is required in order to quantify long-term risks and to include such risks in simulation models. An important factor that influences the latter is the correlation between variables.
8. Research is required to demonstrate the impact of alternative farming production methods on the quality of water, and procedures must be developed to evaluate the economic efficiency of alternative strategies to lower the impact of non-point source pollution.

INHOUDSOPGAWE

TITELBLAD.....	i
DANKBETUIGING	ii
LYS VAN AFKORTINGS	iv
BESTUURSOPSOMMING.....	v
EXECUTIVE SUMMARY.....	xiii
INHOUDSOPGAWE	xxi
LYS VAN TABELLE	xxvi
LYS VAN FIGURE	xxxii

INLEIDING 1

HOOFSTUK 1

LITERATUURSTUDIE:MODELLERING VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID 6

1.1	OMSKRYWING VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID	6
1.2	BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING (BSV)	7
1.3	BENADERINGS TOT DIE MODELLERING VAN VERANDERLIKE WATERBESKIKBAARHEID IN SUID-AFRIKA	8
1.4	BESTUURSTRATEGIEË VIR DIE MINIMALISERING VAN DIE EKONOMIESE KOSTE VIR BESPROEINGSBOERE	10
1.4.1	VERHOOGING IN WATERTOEDIENINGSDOELTREFFENDHEID	10
1.4.2	TEKORTBESPROEING	12
1.4.3	WATERMARKTE	16
1.5	MODELLERING VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID MET INAGNEMING VAN BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING	17

1.5.1	STOGASTIESE DINAMIESE PROGRAMMERING (SDP).....	17
1.5.2	STOGASTIESE PROGRAMMERING (SP)	18
1.5.2.1	Diskrete stogastiese programmering (DSP).....	19
1.5.2.2	Kans-beperkte programmering (KBP).....	22
1.6	KWANTIFISERING VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID DEUR MIDDEL VAN WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS	24
1.7	DIE ACRU-MODEL	25
1.7.1	KONSEPTUELE RAAMWERK VAN ACRU	26
1.7.2	WERKING	28
1.8	LANGTERMYN EKONOMIESE RISIKOSIMULASIE	29
1.9	SAMEVATTENDE GEVOLGTREKKINGS	31

HOOFSTUK 2

DIE OMSKRYWING VAN DIE NAVORSINGSGEBIED **34**

2.1	ALGEMENE BESKRYWING VAN KLEIN TUGELARIVIER- OPVANGGEBIED	34
2.2	KEUSE VAN NAVORSINGSGEBIED	36
2.3	KLIMAAT	37
2.3.1	REËNVAL	37
2.3.2	TEMPERATUUR	37
2.3.3	VERDAMPING.....	38
2.4	GRONDTIPES	38
2.5	ALLOKERING VAN WATERHULPBRONNE	38
2.6	GEBRUIK VAN PLAASDAMME OM DIE EKONOMIESE EFFEKTE VAN WISSELVALLIGE WATERTEKORTE TE VERMINDER	39
2.7	BESTUURSFAKTOR	40
2.8	VERTEENWOORDIGENDE BOERDERYE	41

HOOFSTUK 3

PROSEDURES VIR DIE BEPALING VAN DIE EKONOMIESE KOSTE VIR DIE HANDAWING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING ONDER TOESTANDE VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID

43

3.1	SIMULERING VAN STROOMVLOEI-WAARSKYNLIKHEIDS- VERDELINGS	44
3.1.1	GEBRUIK VAN ACRU	44
3.1.1.1	ACRU-opvanggebiede	44
3.1.1.2	Reënval.....	45
3.1.1.3	Potensiële verwysingsverdamping.....	45
3.1.1.4	Grond.....	46
3.1.1.5	Grondbenutting	46
3.1.1.6	Stroomvloeiëkoëffisiënte	46
3.1.1.7	Data-invoer	47
3.1.2	SIMULERING VAN STROOMVLOEI EN DATAVERWERKING	47
3.2	DETERMINISTIESE EKWIVALENTE VIR DIE KANS-BEPERKTE PROGRAMMERINGSMODEL MET INAGNEMING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING	48
3.3	GEWASBESPROEIINGSBEHOEFTE	50
3.4	MODELLERING VAN TEKORTBESPROEING	54
3.4.1	TEKORTBESPROEING EN MAKSIMUM TOELAATBARE STREMMING	54
3.4.2	TEKORTBESPROEING EN TOENAME IN WATERTOEDIENINGSDOELTREFFENDHEID	58
3.4.3	KOSTEVERLAGING	61
3.5	CCODI (CHANCE CONSTRAINT OPTIMISING DEFICIT IRRIGATION) - PROGRAMMERINGSMODEL	63
3.5.1	DOELFUNKSIE.....	64
3.5.2	BEPERKINGS	65
3.5.2.1	Grond.....	65
3.5.2.2	Gewaswaterverbruik	66
3.5.2.3	Waterbalans.....	67
3.5.2.4	Opbrengste	69
3.5.2.5	Kosteverlaging	70
3.5.3	BEREKENING VAN KOEFFISIËNTE VIR AANGEPASTE WATERTOEDIENINGSDOELTREFFENDHEID EN WERKING VAN DIE KUNSMATIGE BESPROEIINGS-AKTIWITEIT	70

3.6	CCMARK-PROGRAMMERINGSMODEL	73
3.6.1	WATERREGAANDEELOORDRAGTE	74
3.6.2	ALLOKASIE VAN WATER	75
3.7	BEREKENING VAN DIE EKONOMIESE KOSTE VIR BOERE	78
3.7.1	IDENTIFISERING VAN DIE BASIS SITUASIE VIR CCODI-MODEL	79
3.7.2	IDENTIFISERING VAN DIE BASIS SITUASIE VIR CCMARK-MODEL	81
3.8	ONTWIKKELING VAN PROSEDURES VIR LANGTERMYN RISIKOSIMULASIE MET FARMS	81
3.8.1	LANGTERMYN DETERMINISTIESE MODEL	81
3.8.2	PROSEDURES VIR DIE HANTERING VAN RISIKO.....	82
3.8.3	VERVANGING VAN MASJINERIE.....	86

HOOFSTUK 4

RESULTATE, BESPREKING EN GEVOLGTREKKINGS **87**

4.1	DETERMINISTIESE EKWIVALENTE VIR HANDHAWING VAN BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING	87
4.1.1	STROOMVLOEI-WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS	87
4.1.2	IDENTIFISERING VAN DIE VORM VAN DIE STROOMVLOEI-WAARSKYNLIKHEIDS-VERDELING EN BEREKENING VAN DETERMINISTIESE EKWIVALENTE	90
4.2	BELANGRIKHEID VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID AS RISIKOBRON EN DIE EFFEK DAARVAN OP DIE EKONOMIESE KOSTE VIR DIE HANDHAWING VAN 'N BINNESTROOM-VLOEIVOORSIENING	92
4.3	MODELLERING VAN ALTERNATIEWE WATERBESTUUR-STRATEGIEË MET INAGNEMING VAN DIE EFFEK VAN WISSELVALLIGE WATERTEKORTE	96
4.3.1	TEKORTBESPROEIING EN VERHOOGING VIR BESPROEIINGSDOELTREFFENDHEID.....	97
4.3.2	DAMME.....	102
4.3.3	ALTERNATIEWE GEWASAKTIWITEITE	105
4.4	IDENTIFISERING VAN DIE BASIS SITUASIE	108
4.5	EKONOMIESE KOSTE EN HANDHAWING VAN BINNESTROOM-VLOEIVOORSIENING VIR DRIE ALTERNATIEWE WATER-GEBRUIKSTRATEGIEË	111

4.5.1	TOTALE OPVANGGEBIEDVLAK.....	111
4.5.2	SUB-OPVANGGEBIEDVLAK.....	115
4.6	WATERMARKTE	117
4.7	LANGTERMYN EKONOMIESE EVALUERING VAN WATER- OORDRAGTE MET FARMS R2.0.	121

NAVORSINGSIMPLIKASIES 126

BRONNELYS 130

BYLAE A: DIE VERWANTSKAPPE TUSSEN BESPROEIINGSPROBLEME EN BESPROEIINGSBESTUURSPRAKTYKE EN -BELEIDE OP PLASE EN STAND VAN BESPROEIINGSBESTUUR IN DIE WINTERTON BESPROEIINGSGBIED	141
BYLAE B: DIE ONTWIKKELING EN ILLUSTRERING VAN 'N KOSTEBEREKENINGS- PROSEDURE VIR SLEEPLYNBESPROEIINGSTELSELS	163
BYLAE C: DIE FORMULERING EN EKONOMIESE EVALUERING VAN ENERGIE- BESTUURSTRATEGIEË VIR BESPROEIINGSBOERDERY	174
BYLAE D: DIE GENERERING EN GEBRUIK VAN KUMULATIEWE WAARSKYNLIK- HEIDSVERDELINGS VIR DIE EVALUERING VAN DIVERSIFIKASIE AS RISIKOBESTUURSWYSE IN DIE WINTERTONGEBIED	188
BYLAE E: OPSOMMING VAN BELANGRIKSTE TEGNIESE KOËFFISIËNTE VIR DIE PROGRAMMERINGSMODELLE	200
BYLAE F: OPBRENGSRESPONSIE FAKTORE	202
BYLAE G: KORRELASIE EN CHOLESKY MATRIKS.....	204
BYLAE H: BEPALING VAN DIE VORM VAN DIE STROOMVLOEIWAARSKYNLIK- HEIDSVERDELINGS: BestFitUITVOER.....	207
BYLAE I: KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN ALTERNATIEWE OPPERVLAKBENUTTINGS VAN KORING.....	214
BYLAE J: EKONOMIESE KOSTE OP SUB-OPVANGGEBIEDVLAK	220

LYS VAN TABELLE

TABEL 1.1:	ONSEKERE BESLUITNEMINGSVERANDERLIKES IN DIE PRODUKSIEPROSES TYDENS OES EN AANPLANTING.	20
TABEL 3.1:	OPSOMMENDE STATISTIESE MAATSTAWWE VAN GESIMULEERDE NETTO BESPROEIINGSBEHOEFTE VIR KORING IN NEGE VERSKILLENDE ACRU-OPVANGSGEBIEDE BINNE DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED.	52
TABEL 3.2:	ILLUSTRERING VAN DIE WERKING VAN DIE KUNSMATIGE BESPROEIINGSAKTIWITEIT DEUR MIDDEL VAN 'N NUMERIESE VOORBEELD VIR EEN HEKTAAR KORING.	73
TABEL 3.3:	PERSENTASIE AANDEEL VAN ELKE SUB-OPVANGGEBIED IN TERUGVLOEI ($RFALLO_{CR,A}$) VIR HIPOTETIESE VOORBEELD MET VIER SUB-OPVANGGEBIEDE.	78
TABEL 3.4:	VERGELYKING TUSSEN GESTELDE EN GESIMULEERDE KORRELASIE MATRIKSE VIR 150 ITERASIES	85
TABEL 4.1:	KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS EN STATISTIESE MOMENTE VAN TOTALE GESIMULEERDE ALLOKEERBARE STROOMVLOEI VIR DIE PERIODE 1980 TOT 1996 VIR BESPROEIINGSBOERE IN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED.	88
TABEL 4.2:	IDENTIFISERING VAN DIE BESTE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGVORM (WEIBULL, GAMMA, NORMAAL EN LOGNORMAAL) VIR STROOMVLOEI OP GROND VAN BESTFIT-VOORKEURRANGORDES.	91
TABEL 4.3:	DIE EFFEK VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID OP DIE BESPROEIDE OPPERVLAktes VAN NEGE SUBOPVANGGEBIEDE IN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED ONDER TOESTANDE VAN GEEN WATERSTREMMING	93
TABEL 4.4:	EKONOMIESE KOSTES VIR NEGE SUB-OPVANGGEBIEDE IN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED VIR DIE HANDAWING VAN 'N BSV VAN 600 000 M ³ /MAAND ONDER TOESTANDE VAN GEEN WATERSTREMMING EN VOLMAAKTE STROOMVLOEI INLIGTING.	95

- TABEL 4.5:** KWANTIFISERING VAN DIE EFFEK VAN WATERTEKORTE OP DIE AFWYKING IN DIE HOEEVEELHEID WATERVERBRUIK, WATER TOEGEDIEN, WATERTOEDIENINGS-DOELTREFFENDHEID VANAF TOESTANDE VAN GEEN STREMMING VIR TEKORTBESPROEIINGSTRATEGIE EN 'N VERHOGING IN BESPROEIINGSDOELTREFFENDHEID VAN 8 PERSENTASIEPUNTE MET 'N VASTE OPPERVLAKBENUTTING VAN 89 HA KORING IN AO78. _____ 98
- TABEL 4.6:** VERGELYKING TUSSEN DIE STEWART (SM) EN STEWART-HAGAN (SH) OPBRENGSMODELLE IN TERME VAN DIE EFFEK VAN WATERTEKORTE OP DIE VERANDERING IN DIE TOTALE HOEEVEELHEID WATERVERBRUIK, WATER TOEGEDIEN, OPBRENGSTE EN VERANDERLIKE KOSTE VANAF TOESTANDE ____ 101
- TABEL 4.7:** VERGELYKING TUSSEN DIE STEWART EN STEWART-HAGAN OPBRENGSMODEL TEN OPSIGTE VAN DIE EFFEK VAN WATERTEKORTE OP DIE HOEEVEELHEID WATERVERBRUIK, WATER TOEGEDIEN, WATERTOEDIENINGS-DOELTREFFENDHEID EN POTENSIËLE TERUGVLOEI WAAR 'N PLAASDAM GEBRUIK WORD OM BEHEER OOR DIE AANBOD VAN WATER UIT TE OEFEN IN AO78 MET 'N OPPERVLAKBENUTTING VAN 89 HA KORING. _____ 103
- TABEL 4.8:** VERGELYKING TUSSEN DIE STEWART EN STEWART-HAGAN OPBRENGSMODEL TEN OPSIGTE VAN DIE EFFEK VAN WATERTEKORTE OP DIE VERANDERING IN DIE TOTALE HOEEVEELHEID WATERVERBRUIK, WATERTOEGEDIEN, OPBRENGSTE EN VERANDERLIKE KOSTE VANAF TOESTANDE VAN GEEN STREMMING WAAR 'N PLAASDAM IN AO78 MET 'N OPPERVLAKBENUTTING VAN 89 HA KORING GEBRUIK KAN WORD. _____ 104
- TABEL 4.9:** VERGELYKING TUSSEN DIE STEWART- EN STEWART-HAGAN-OPBRENGSMODEL SE EFFEK OP DIE OPTIMALE EKONOMIESE ALLOKASIE VAN WATER INDIEN TWEE KORINGGEWASSE IN AO78 OM WATER BY 'N WAARSKYNLIKHEIDSVLAK VAN 73 % MEEDING. _____ 106
- TABEL 4.10:** IDENTIFISERING VAN DIE BASIS SITUASIE SE OPPERVLAKBENUTTING VAN KORING ONDER TOESTANDE VAN RISKANTE WATERBESKIKBAARHEID VIR BESPROEIINGSBOERE MET VERSKILLENDE RISIKOVOORKEURE IN NEGE SUBOPVANGGEBIEDE VAN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED. _____ 110
- TABEL 4.11:** EKONOMIESE KOSTE EN HIDROLOGIESE IMPAK VAN DRIE ALTERNATIEWE WATERBESTUURSTRATEGIEË VIR DIE HANDAWING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING _____ 112

- TABEL 4.12:** PERSENTASIE AFWYKINGS IN BRUTO MARGES VANAF DIE BASIS SITUASIE VIR DRIE ALTERNATIEWE WATERBESTUURSTRATEGIEË IN NEGE SUB-OPVANGGEBIEDE VAN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED. _____ 115
- TABEL 4.13:** VERGELYKING TUSSEN 'N MARK VIR TOTALE WATER MET 'N MARK VIR DIE VERHANDELING VAN WATERVERBRUIK IN DIE KLEIN TUGELARIVIER-OPVANGGEBIED BY 'N WAARSKYNLIKE STROOMVLOEI VAN 20% _____ 118
- TABEL 4.14:** EKONOMIESE KOSTE VIR DIE HANDAWING VAN 'N BINNESTROOM-VLOEIVOORSIENING MET INAGNEMING VAN 'N WATERMARK VIR VERBRUIKTE WATER. _____ 120
- TABEL 4.15:** VERWAGTE PRYSE WAARTEEN WATERREGTE TUSSEN AO78 EN AO50 SAL VERHANDEL. _____ 124
- TABEL A.1:** 'N VERGELYKING VAN DIE BESPROEINGSBOERDERY-ONDERNEMINGS IN DIESELFDE OMGEWING MET MEKAAR OP 'N VYFTIENPUNTSKAAL TEN OPSIGTE VAN VIER HOOFPROBLEEMGEBIEDE (ARBEID, GROND/GEWASSE-/KLIMAAT/BESPROEINGSTELSE, KAPITAAL EN BESTUUR) IN DIE WINTERTONGEBIED, 1996. _____ 153
- TABEL A.2:** 'N VERGELYKING VAN DIE MATE WAARIN BEPLANNING, ORGANISERING-, PERSONEEL-, WATERGEBRUIK- EN STELSELPRAKTYKE IN GEBRUIK IS DEUR (A) BOERE MET MEER (MEERPRO-GROEP) BESPROEINGSPROBLEME; (B) BOERE MET LAE (LI-GROEP) EN HOË (HI-GROEP) BOERDERYINKOMSTE; (C) BOERE MET 'N KLEINER (K-PERS) EN GROTER (G-PERS) PERSONEELGETAL; (D) JONGER (JONG-GROEP) EN OUER (OUER-GROEP); (E) BOERE MET LAER (L-SKULD) EN HOËR (H-SKULD) SKULDLASPERSENTASIES IN DIE BESPROEINGSGEBIEDE VAN WINTERTON (N=52), 1996. _____ 155
- TABEL A.3:** 'N VERGELYKING VAN DIE MATE WAARIN BEPLANNING, STELSEL, PERSONEEL-, GRONDBEWERKING-, SKEDULERING-, WATERGEBRUIKSPRAKTYKE IN GEBRUIK IS DEUR (A) BOERE MET LAE (LI-GROEP) EN HOË (HI-GROEP) BOERDERYINKOMSTE; (C) BOERE MET 'N KLEINER (K-PERS) EN GROTER (G-PERS) PERSONEELGETAL; (E) BOERE MET LAER (L-SKULD) EN HOËR (H-SKULD) SKULDLASPERSENTASIES IN DIE BESPROEINGSGEBIEDE VAN WINTERTON (N=52), 1996. _____ 156
- TABEL A.4:** DIE MATE VAN GEBRUIK VAN BESPROEINGSPRAKTYKE EN -BELEIDE IN BOERDERYONDERNEMINGS (N=52) EN DIE VERDERE BEHOEFTE DAARAAN BY BOERE IN DIE WINTERTONGEBIED, 1996. _____ 158

TABEL A.5:	DIE VERBAND TUSSEN DIE MATE VAN GEBRUIK VAN BESPROEIINGS-BESTUURSPRAKTYKE MET DIE GEMIDDELDE PERSONEELGETAL EN OUDERDOM VAN BESPROEIINGSBOERE (N=52) IN DIE WINTERTONGEBIED, 1996.	162
TABEL B.1:	WAARDES VIR DIE VEERANDERLIKES P, R EN B IN DIE WRYWINGSVERGELYKING $H_F = (BLQ^P)/D^R$, 1994.	168
TABEL B.2:	LEWENSDUUR, HERWINNINGSWAARDE AS PERSENTASIE VAN DIE AANKOOPPRYS EN HERSTELKOSTE AS PERSENTASIE PER 1 000 UUR GEPOMP VAN DIE VERSKILLENDEN KOMPONENTE VAN BESPROEIINGSTELSELS, 1994.	168
TABEL B.3:	'N OPSOMMING VAN DIE EKONOMIESE RESULTATE VAN 'N 30 HA HANDLYNSTELSEL VIR DIE WINTERTONBESPROEIINGSGBIED.	170
TABEL C.1:	ENERGIEBESTUURSTRATEGIEË VIR SPILPUNT-BESPROEIING IN DIE WINTERTONGEBIED, 1994.	180
TABEL C.2:	DIE VERSKIL IN JAARLIKSE VASTE EN VERANDERLIKE ELEKTRISITEITSKOSTE VIR VERSKILLENDEN ENERGIEBESTUURSTRATEGIEË TYDENS DIE VERBOUING VAN ENKEL MIELIES EN ENKEL KORING ONDER SPILPUNT-BESPROEIING IN DIE WINTERTONGEBIED, 1994.	183
TABEL C.3:	DIE VERSKIL IN JAARLIKSE VASTE EN VERANDERLIKE ELEKTRISITEITSKOSTE VIR VERSKILLENDEN ENERGIEBESTUURSTRATEGIEË TYDENS DIE VERBOUING VAN MIELIES EN KORING IN WISSELBOU ONDER SPILPUNT-BESPROEIING IN DIE WINTERTONGEBIED, 1994.	185
TABEL D.1:	DIE WISSEVALLIGHEID VAN DIE TOTALE BEGROTE RENTEKOSTE, ONDERNEMINGSRENTABILITEIT EN SOLVABILITEIT VIR 'N 50 HA BESPROEIINGSPLAAS SONDER EN MET DIE INSKAKELING VAN 150 HA DROËLAND MIELIES EN/OF 'N 100-KOEI VLEISBEESKUDDE IN DIE WINTERTONGEBIED MET 'N AANVANKLIKE SKULD:BATE-VERHOUDING VAN 40 PERSENT, 1994.	193
TABEL D.2:	DIE WISSEVALLIGHEID VAN DIE TOTALE BEGROTE RENTEKOSTE, ONDERNEMINGSRENTABILITEIT EN SOLVABILITEIT VIR 'N 200 HA BESPROEIINGSPLAAS SONDER EN MET DIE INSKAKELING VAN 50 HA DROËLAND MIELIES EN/OF 'N 100-KOEI VLEISBEESKUDDE IN DIE WINTERTONGEBIED MET 'N AANVANKLIKE SKULD:BATE-VERHOUDING VAN 40 PERSENT, 1994.	196

TABEL E.1:	OPSOMMING VAN BELANGRIKSTE TEGNIESE KOEFFISIËNTE VIR GEBRUIK IN DIE CCODI- EN CCMARK-MODELLE.	201
TABEL F.1:	OPBRENGSRESPONSIEFAKTORE VIR DIE STEWART EN STEWART-HAGAN OPBRENGSMODELLE VIR KORING WAT IN MEI EN JULIE GEPLANT WORD.	203
TABEL G.1:	KORRELASIEMATRIKS.	205
TABEL G.2:	CHOLSKY MATRIKS.	206
TABEL H.1:	BESTFIT UITVOER VAN MEI SE STROOMVLOEI VIR VIER VERSKILLENDE VERDELINGS.	208
TABEL H.2:	BESTFIT UITVOER VAN JUNIE SE STROOMVLOEI VIR VIER VERSKILLENDE VERDELINGS.	209
TABEL H.3:	BESTFIT UITVOER VAN JULIE SE STROOMVLOEI VIR VIER VERSKILLENDE VERDELINGS.	210
TABEL H.4:	BESTFIT UITVOER VAN AUGUSTUS SE STROOMVLOEI VIR VIER VERSKILLENDE VERDELINGS.	211
TABEL H.5:	BESTFIT UITVOER VAN SEPTEMBER SE STROOMVLOEI VIR VIER VERSKILLENDE VERDELINGS.	212
TABEL H.6:	BESTFIT UITVOER VAN OKTOBER SE STROOMVLOEI VIR VIER VERSKILLENDE VERDELINGS.	213
TABEL J.1:	EKONOMIESE KOSTE EN HIDROLOGIESE IMPAK VAN AO50 VAN DRIE ALTERNATIEWE WATERBESTUURSTRATEGIEË VIR DIE HANDAWING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING.	221
TABEL J.2:	EKONOMIESE KOSTE EN HIDROLOGIESE IMPAK VAN AO62 VAN DRIE ALTERNATIEWE WATERBESTUURSTRATEGIEË VIR DIE HANDAWING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING.	222
TABEL J.3:	EKONOMIESE KOSTE EN HIDROLOGIESE IMPAK VAN AO71 VAN DRIE ALTERNATIEWE WATERBESTUURSTRATEGIEË VIR DIE HANDAWING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING.	223
TABEL J.4:	EKONOMIESE KOSTE EN HIDROLOGIESE IMPAK VAN AO78 VAN DRIE ALTERNATIEWE WATERBESTUURSTRATEGIEË VIR DIE HANDAWING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING.	224

TABEL J.5:	EKONOMIESE KOSTE EN HIDROLOGIESE IMPAK VAN AO79 VAN DRIE ALTERNATIEWE WATERBESTUURSTRATEGIEË VIR DIE HANDHAWING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING.	225
TABEL J.6:	EKONOMIESE KOSTE EN HIDROLOGIESE IMPAK VAN AO84 VAN DRIE ALTERNATIEWE WATERBESTUURSTRATEGIEË VIR DIE HANDHAWING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING.	226
TABEL J.7:	EKONOMIESE KOSTE EN HIDROLOGIESE IMPAK VAN AO86 VAN DRIE ALTERNATIEWE WATERBESTUURSTRATEGIEË VIR DIE HANDHAWING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING.	227
TABEL J.8:	EKONOMIESE KOSTE EN HIDROLOGIESE IMPAK VAN AO92 VAN DRIE ALTERNATIEWE WATERBESTUURSTRATEGIEË VIR DIE HANDHAWING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING.	228
TABEL J.9:	EKONOMIESE KOSTE EN HIDROLOGIESE IMPAK VAN AO99 VAN DRIE ALTERNATIEWE WATERBESTUURSTRATEGIEË VIR DIE HANDHAWING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING.	229

- FIGUUR 1.1:** SKEMATIESE VOORSTELLING VAN 'N BESLUITNEMINGSBOOM MET DRIE BESLUITNEMINGSPUNTE OM DIE BESLUTE IN 'N DISKRETE STOCASTIESE PROGRAMMERINGSMODEL VOOR TE STEL. _____ 20
- FIGUUR 1.2:** DIE KONSEPTE VAN DIE ACRU AGROHIDROLOGIESE MODELLERINGSISTEEM (SCHULZE, 1995: AT2-3). _____ 27
- FIGUUR 2.1:** LIGGING VAN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED EN DIE BELANGRIKSTE RIVIERSTISTEME. _____ 35
- FIGUUR 3.1:** GRAFIESE VOORSTELLING VAN DIE WEIBULLVERDELING SE KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELING VIR SEPTEMBER SE ALLOKEERBARE STROOMVLOEI VIR BESPROEINGSBOERE IN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED MET 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING VAN 600 000 M³/MAAND. _____ 49
- FIGUUR 3.2:** VERGELYKING TUSSEN KORING SE NETTO BESPROEINGSBEHOEFTE OOR TOESTANDE VAN GEEN STREMMING EN 'N MAKSIMUM STREMMING VAN 20% ($PSV_j=0.8$) EN 50% ($PSV_j=0.5$) ONDERSKEIDELIK IN ACRU-OPVANGGEBIED 78. _____ 58
- FIGUUR 3.3:** GRAFIESE VOORSTELLING VAN DIE VERWANTSKAP TUSSEN WATER-TOEDIENINGSDOELTREFFENDHEID EN MAKSIMUM TOELAATBARE TEKORTBESPROEING ($1-PSV_j$) BY VERSKILLENDE DOELTREFFENDHEIDSPEILE ONDER TOESTANDE VAN GEEN STREMMING ($\epsilon_{V_{jt}}$) VIR ACRU-OPVANGGEBIED 78. _____ 61
- FIGUUR 3.4:** KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN OPBRENGSTE ONDER TOESTANDE VAN RISKANTE WATERBESKIKBAARHEID VIR 'N VASTE OPPERVLAKE VAN 103 HA, 67 HA EN 47 HA ONDERSKEIDELIK IN ACRU OPVANGGEBIED 78 MET 'N PLAASDAM. _____ 80
- FIGUUR 4.1:** VERGELYKING TUSSEN AUGUSTUS EN SEPTEMBER SE KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELING VAN TOTALE GESIMULEERDE ALLOKEERBARE STROOMVLOEI VIR BESPROEINGSBOERE IN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED. _____ 89

- FIGUUR 4.2:** GRAFIESE VOORSTELLING VAN DIE GESKATTE NORMAALVERDELING SE KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELING VAN TOTALE ALLOKEERBARE STROOMVLOEI VIR BESPROEINGSBOERE IN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED GEDURENDE AUGUSTUS. _____ 90
- FIGUUR 4.3** KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN KONTANTVLOEI OP BOERDERYONDERNEMINGSVLAK VIR 'N OPPERVLAKBENUTTING VAN 103 HA, 67 HA EN 47 HA KORING ONDER TOESTANDE VAN RISKANTE WATERBESKIKBAARHEID VIR BESPROEINGSBOERE IN AO78. _____ 109
- FIGUUR 4.4** VERGELYKING VAN DIE VERDISKONTEERDE BANKEINDSALDO'S VAN AO78 VOOR EN NA DIE VERKOOP VAN 40 WATERREGAANDELE AAN AO50. _____ 122
- FIGUUR 4.5** VERGELYKING VAN DIE VERDISKONTEERDE BANKEINDSALDO'S VAN AO50 VOOR EN NA DIE AANKOOP VAN 40 WATERREGAANDELE VANAF AO78. _____ 123
- FIGUUR 4.6** KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN JAAR 5 SE VERDISKONTEERDE BANKEINDSALDO'S VOOR EN NA DIE VERHANDELING VAN 40 WATERREGAANDELE TUSSEN AO50 EN AO78. _____ 124
- FIGUUR C.1:** 'N PROSEDURE OM BESPROEING NA TYD-VAN-GEbruik OPSIES TE VERSKUIF ____ 177
- FIGUUR D.1:** KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN DIE KONTANTEINDSALDO'S VAN 'N 50 HA BESPROEINGSBOERDERY SONDER EN MET DIE INSKAKELING VAN DROËLAND MIELIES EN/OF VLEISBEESTE IN DIE WINTERTONGEBIED MET 'N AANVANKLIK SKULD:BATE VERHOUDING VAN 40 PERSENT, 1994. _____ 192
- FIGUUR D.2:** KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN DIE KONTANTEINDSALDO'S VAN 'N 200 HA BESPROEINGSBOERDERY SONDER EN MET DIE INSKAKELING VAN DROËLAND MIELIES EN/OF VLEISBEESTE IN DIE WINTERTONGEBIED MET 'N AANVANKLIKE SKULD:BATE VERHOUDING VAN 40 PERSENT, 1994. _____ 195
- FIGUUR I.1:** KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELING VAN KONTANTVLOEI OP BOERDERYONDERNEMINGSVLAK VIR 'N OPPERVLAKBENUTTING VAN 42 HA, 32 HA, EN 23 HA KORING ONDER TOESTANDE VAN RISKANTE WATERBESKIKBAARHEID VIR BESPROEINGSBOERE IN AO99. _____ 215
- FIGUUR I.2:** KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN KONTANTVLOEI OP BOERDERYONDERNEMINGSVLAK VIR 'N OPPERVLAKBENUTTING VAN 50 HA, 40 HA, EN 29 HA KORING ONDER TOESTANDE VAN RISKANTE WATERBESKIKBAARHEID VIR BESPROEINGSBOERE IN AO92. _____ 215

- FIGUUR I.3:** KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN KONTANTVLOEI OP BOERDERYONDERNEMINGSVLAK VIR 'N OPPERVLAKBENUTTING VAN 30 HA, 23 HA, EN 16 HA KORING ONDER TOESTANDE VAN RISKANTE WATERBESKIKBAARHEID VIR BESPROEIINGSBOERE IN AO86. _____ 216
- FIGUUR I.4:** KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN KONTANTVLOEI OP BOERDERYONDERNEMINGSVLAK VIR 'N OPPERVLAKBENUTTING VAN 50 HA, 40 HA, EN 30 HA KORING ONDER TOESTANDE VAN RISKANTE WATERBESKIKBAARHEID VIR BESPROEIINGSBOERE IN AO84. _____ 216
- FIGUUR I.5:** KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN KONTANTVLOEI OP BOERDERYONDERNEMINGSVLAK VIR 'N OPPERVLAKBENUTTING VAN 96 HA, 67 HA, EN 56 HA KORING ONDER TOESTANDE VAN RISKANTE WATERBESKIKBAARHEID VIR BESPROEIINGSBOERE IN AO79. _____ 217
- FIGUUR I.6:** KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN KONTANTVLOEI OP BOERDERYONDERNEMINGSVLAK VIR 'N OPPERVLAKBENUTTING VAN 103 HA, 67 HA, EN 47 HA KORING ONDER TOESTANDE VAN RISKANTE WATERBESKIKBAARHEID VIR BESPROEIINGSBOERE IN AO78. _____ 217
- FIGUUR I.7:** KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN KONTANTVLOEI OP BOERDERYONDERNEMINGSVLAK VIR 'N OPPERVLAKBENUTTING VAN 63 HA, 51 HA, EN 39 HA KORING ONDER TOESTANDE VAN RISKANTE WATERBESKIKBAARHEID VIR BESPROEIINGSBOERE IN AO71. _____ 218
- FIGUUR I.8:** KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN KONTANTVLOEI OP BOERDERYONDERNEMINGSVLAK VIR 'N OPPERVLAKBENUTTING VAN 46 HA, 36 HA, EN 25 HA KORING ONDER TOESTANDE VAN RISKANTE WATERBESKIKBAARHEID VIR BESPROEIINGSBOERE IN AO62. _____ 218
- FIGUUR I.9:** KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN KONTANTVLOEI OP BOERDERYONDERNEMINGSVLAK VIR 'N OPPERVLAKBENUTTING VAN 43 HA, 33 HA, EN 23 HA KORING ONDER TOESTANDE VAN RISKANTE WATERBESKIKBAARHEID VIR BESPROEIINGSBOERE IN AO50. _____ 219

Navorsingsgebied

Die navorsing word in die Klein Tugelarivieropvanggebied naby Winterton in Wes-KwaZulu/Natal uitgevoer. Meer spesifiek is die navorsing uitgevoer in die opvanggebied van die Tugelarivier tot by die samevloeiing van die Sterkspruit wat die belangrikste sytak van die Klein Tugelarivier is. In die totale opvanggebied is daar ongeveer 6 725 ha vir besproeiing geskeduleer. Spilpuntbesproeiing word oorwegend gebruik om mielies, sojabone en koring te besproei terwyl aangeplante weiding op kleiner skaal vir gebruik deur melkerye met handlynstelsels besproei word.

Motivering

Strategieë om die wisselvalligheid in beskikbare hoeveelheid besproeiingswater en reënval optimaal te bestuur, is van beide 'n kort- en langtermyn aard. 'n Gebrek aan navorsings-instrumente wat die dinamiese en stogastiese aard van besproeiingsboerdery kan verreken, beperk die ekonomiese en finansiële ontledings van alternatiewe watervoorsiening- en watergebruikstrategieë op plaas en streeksvlak (Backeberg en Oosthuizen, 1995). Gevolglik word besluitnemers belemmer om in situasies van wisselende watervoorraad (kwotas, droogtes, riviervloei) betyds oor die kort- en langtermyn ekonomies daarby aan te pas en stel dit boere se langtermyn oorlewing op die spel.

Spesifieke gebreke in die huidige kennisstand wat opgehef moet word, is enersyds die wyer gebruik van dinamies-stogastiese modelle om die omgewing waarin besproeiing plaasvind realisties in berekening te bring en andersyds die sentrale rol wat die besluitnemer in terme van sy doelstellings en voorkeure speel (Backeberg en Oosthuizen, 1995). 'n Tergende uitdaging bly steeds om die krag en toepaslikheid van dinamies-stogastiese modelle op plaasvlak te demonstreer weens die tekort aan data om vektore van waarskynlikheidsverdelings vir die vernaamste besluitnemingsveranderlikes te genereer. Intussen is dit noodsaaklik om hulpmiddels te skep om boere, adviseurs en beleidmakers in staat te stel om kort- en langtermyn watervoorsiening- en watergebruikstrategieë op plaas- en streeksvlak ekonomies en finansiële te evalueer inaggenome die dinamiese en onsekere omgewing.

Verder is kennis oor die kort- en langtermyn ekonomiese implikasies van beleidsmaatreëls rakende besproeiingswaterbestuur op streeksvlak noodsaaklik vir doeltreffende waterbestuur. Tot dusver bestaan daar nie prosedures om die voorspellings van die effekte van beleid oor die gebruik van water op die lewensvatbaarheid van besproeiingsboerderye te evalueer nie. Instrumente om enersyds die impak van besproeiingsboerderye op die handhawing van 'n minimum binnestroomriviervloei oor die kort- en langtermyn te evalueer en andersyds om

alternatiewe waterbestuurstrategieë se nadelige effekte op plaas- en streeksvlak te bepaal, sal dus 'n goedomlynde behoefte vir kennisvermeerdering aanvul.

Wêreldwyd en in Suid-Afrika raak mense al hoe meer bewus van die voordele indien water aan die omgewing geallokeer word, asook die sosiale kostes indien water nie aan die omgewing geallokeer word nie (Walmsley en Davies, 1991:72). Tans word al hoe meer druk deur omgewingsbewustes op beleidmakers uitgeoefen om die omgewing in waterbestuursbesluite in ag te neem (Walmsley en Davies, 1991; Walmsley, 1995). Binne die nuwe Nasionale Waterwet (No. 36 van 1998) word die basiese waterbehoefte van mense en die vereistes van die omgewing as 'n "reserwe" gesien wat voorkeur van gebruik geniet. Aangesien die marginale waardeprodukt van besproeiingswater laag is (Viljoen, 1994; Young, 1986) en ongeveer die helfte van Suid-Afrika se waterhulpbronne aan besproeiingslandbou geallokeer is, sal water heel waarskynlik weg van besproeiingslandbou vir die handhawing van 'n binnestroomvloei-voorsiening (BSV) geallokeer word.

Indien water weg van besproeiingslandbou vir die handhawing van 'n BSV geallokeer word, sal die winsgewendheid van die besproeiingsboerdery benadeel word en gevolglik sal daar ekonomiese koste voorkom. Daarteenoor kom sosiale kostes voor indien daar nie genoegsame water vir die bewaring van die biologiese diversiteit van rivierekosisteme geallokeer word nie. 'n Betekenisvolle wisselwerking kom dus na vore deur die kompeterende vraag vir besproeiingswater en die omgewing binne 'n opvanggebied te integreer, terwyl ekonomiese en sosiale kostes veroorsaak word. Deur die potensiële ekonomiese en ekologiese wisselwerking te kwantifiseer, kan belangrike inligting beskikbaar gestel word wat kan help om die sosiale debat rondom die aangeleentheid op te los (Johnson, Adams en Perry, 1991). Die daarstelling van prosedures om 'n balans te tref tussen ekonomiese benutting en bewaring van die hulpbronne sal dus 'n tydige en groot bydrae lewer op 'n tot-nog-toe afgeskepte terrein van besproeiingsnavorsing (Backeberg en Oosthuizen, 1995). Deur hierdie prosedures vir gebruik op streeksvlak uit te brei, kan beleidsbesluite in 'n veranderde grondwetlike bedeling beduidend ondersteun word.

Probleemstelling

Binne die raamwerk van die nuwe Nasionale Waterwet (No. 36 van 1998) sal water weg van besproeiingslandbou geallokeer word om 'n BSV te handhaaf wat ekonomiese kostes vir besproeiingsboere sal veroorsaak. 'n Gebrek aan prosedures lei egter daartoe dat die impak van alternatiewe strategieë soos tekortbesproeiing, 'n verhoging in watertoedieningsdoeltreffendheid en die voordeel van 'n plaasopgaardam om die ekonomiese koste vir boere te minimaliseer, nie gekwantifiseer kan word nie. Geen modelleringsprosedures is al in Suid-Afrika gedemonstreer om die potensiaal van watermarkte met inagneming van derdepartyeffekte te ontleed nie. Implementering van sodanige strategieë word dus belemmer. Bogenoemde is die gevolg van gebrekkige prosedures om wisselvallige waterbeskikbaarheid en

die effek daarvan op die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerderye te kwantifiseer.

Projekdoelstellings

Die hoofdoel van die navorsing is die ontwikkeling van prosedures, metodes en instrumente om enersyds die invloed van wisselvallige waterbeskikbaarheid op die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerderye te bepaal en andersyds om die bestuur en benutting van besproeiingswater op streeksvlak ekonomies te evalueer, inaggenome risiko en die omgewing.

Meer spesifiek word die volgende doelstellings gestel:

1. Om prosedures te ontwikkel om die impak van besproeiingsboerderye op die omgewing te evalueer. Die omgewing verwys na genoegsame water wat vir die handhawing van 'n binnestroomvloeivoorsiening geallokeer moet word om lewende hulpbronne in rivierekosisteme nie te benadeel nie.
2. Om alternatiewe waterbestuurstrategieë se nadelige effekte op streeksvlak te bepaal.
3. Die uitbreiding van modelle om langtermyn ekonomiese en finansiële ontledings te doen om enersyds watervoorsieningstrategieë (damme en aankoop van addisionele water), en andersyds watergebruikstrategieë (wisselbou, tekortbesproeiing en watertoedieningsdoeltreffendheid) op plaasvlak te evalueer.
4. Om prosedures te ontwikkel om besproeiingswatergebruik op streeksvlak ekonomies te evalueer, inaggenome risiko.

Metodes

Hierdie navorsingsprojek volg op 'n vorige projek van die Waternavorsingskommissie wat gedeeltelik in die Wintertongebied uitgevoer is. Met laasgenoemde projek is die waarde van meer gesofistikeerde besproeiingskeduleringsinligting bepaal deur 'n gewasgroeisimulasiemodel aan 'n optimale soekprosedure te koppel. Die prosedure is egter ongeskik vir gebruik in hierdie navorsing aangesien die watergebruik van slegs een gewas met die SIMCOM (Simulation Complex Optimisation method)-model geoptimaliseer kan word. Die inligtingsdatabasis en die nege verteenwoordigende boerderye wat vir die Wintertongebied opgestel was, is egter in die navorsing gebruik. Gevolglik kon daar dus op die ontwikkeling van prosedures, metodes en instrumente om alternatiewe waterbestuurstrategieë se vermoë om die ekonomiese koste vir besproeiingsboere op plaas- en streeksvlak te minimaliseer indien water weg van besproeiingslandbou vir die behoud van die biodiversiteit van rivierekosisteme onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid geallokeer word, gekonsentreer word.

Indien water in die winter in die Klein Tugelarivieropvanggebied vir die handhawing van 'n BSV geallokeer word, kan besproeiingsboere nie meer dieselfde oppervlaktes sonder opbrengsverlies besproei nie. Die ekonomiese koste vir besproeiingsboere is gevolglik

gekwantifiseer as die netto geleentheidskoste om nie meer dieselfde oppervlak koring as voor die instelling van 'n BSV te besproei nie. 'n Agrohidrologiese model (ACRU) is vir die Klein-Tugelarivieropvanggebied opgestel om riviervloei te simuleer. ACRU is ook verder deur multidissiplinêre samewerking met die Universiteit van Natal ontwikkel om die effek van wisselvallige waterbeskikbaarheid op opbrengste meer werklikheidsgetrou te simuleer deur prosedures te ontwikkel wat elke opvanggebied se watergebruik ooreenkomstig sy watergebruiksreg beperk. Die basis situasie of die mees ekonomiese oppervlak koring wat met inagneming van wisselvallige waterbeskikbaarheid besproei kan word, is met risikosimulasie en stogastiese dominansie gekwantifiseer en gebruik om toestande voor die instelling van die BSV voor te stel. Prosedures is ontwikkel om 'n BSV met behulp van kans-beperkings in die nie-lineêre optimeringsmodelle wat ontwikkel is om boere se optimale responsie op die instelling van 'n BSV vir alternatiewe waterbestuurstrategieë soos tekortbesproeiing, verhoogde watertoedieningsdoeltreffendheid, plaasopgaardamme en wateroordragte op plaas- en streeksvlak te bepaal. Die geoptimeerde bruto marges is vervolgens van die basis situasie afgetrek om die netto koste vir besproeiingsboere te bereken. Aangesien voorafgaande modelle die langtermyn aard van besproeiingsprobleme buite rekening laat, is prosedures ook ontwikkel om wateroordragte oor die langtermyn ekonomies deur middel van 'n nuwe navorsingsweergawe van FARMS te evalueer

Samestelling van verslag

Die verslag bestaan uit vier hoofstukke asook 'n bestuursopsomming, inleiding en navorsingsimplikasies.

'n Literatuurstudie word in Hoofstuk 1 uitgevoer om 'n geheelbeeld te kry van riskante waterbeskikbaarheid en die modelleringsbenaderings wat gebruik kan word om die effek van wisselvallige waterbeskikbaarheid op die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerdery met inagneming van 'n BSV te kan modelleer. Hierdie hoofstuk vorm ook deel van die teoretiese onderbou van die navorsing. Aspekte wat hanteer word, is die volgende: modelleringsbenaderings wat in die verlede gevolg is om wisselvallige waterbeskikbaarheid te kwantifiseer en die effek daarvan op besproeiingsboerdery te kwantifiseer; omgewingsvereistes; waterbestuurstrategieë vir minimalisering van ekonomiese koste vir besproeiingsboere; modelleringsbenaderings om wisselvallige waterbeskikbaarheid met inagneming van 'n BSV te modelleer; kwantifisering van wisselvallige waterbeskikbaarheid deur middel van waarskynlikheidsverdelings en; langtermyn ekonomiese risikosimulasie. 'n Kort oorsig van die ACRU-model (Schulze, 1995) word ook in die hoofstuk gegee.

In Hoofstuk 2 volg 'n beskrywing van die Klein Tugelarivieropvanggebied ten einde 'n algemene oorsig van die gebied se waterhulpbronne en bestuur daarvan te verkry. 'n Kort beskrywing van die verteenwoordigende boerderye wat in die navorsing gebruik is, word ook voorsien.

Die prosedures wat in die navorsing gevolg is om modelle, prosedures en instrumente vir die optimale benutting van waterhulpbronne op plaas- en streeksvlak met inagneming van risiko en die omgewing daar te stel, word in Hoofstuk 3 bespreek. Hierdie prosedures behels die simulering van waarskynlikheidsverdelings van waterbeskikbaarheid met behulp van die ACUR-model en berekening van die beskikbare hoeveelheid besproeiingswater wat boere mag onttrek ten einde 'n BSV teen 'n sekere waarskynlikheidspeil te handhaaf. Prosedures om die komplekse gevolge van tekortbesproeiing met lineêre en nie-lineêre opbrengsvergelykings met wiskundige programmeringstegnieke te modelleer, word volledig beskryf en 'n uiteensetting van die kans-beperkte programmeringsmodelle wat met behulp van GAMS ontwikkel is, word verskaf. Die prosedures om die ekonomies mees doeltreffende oppervlakbenutting van koring vir besluitnemers met verskillende risikovooreure deur middel van risikosimulasie en stogastiese dominansie met betrekking tot 'n funksie te identifiseer, word verduidelik. Aan die einde van die hoofstuk word die prosedures wat gebruik is om langtermyn ekonomiese risikosimulasies met behulp van FARMS uit te voer, bespreek.

Die resultate van die navorsing word in Hoofstuk 4 bespreek waarna die implikasies vir beleid en verdere navorsing uitgewys word.

INHOUDSOPGAWE

TITELBLAD	i
DANKBETUIGING	ii
LYS VAN AFKORTINGS	iv
BESTUURSOPSOMMING	v
EXECUTIVE SUMMARY	xiii
INHOUDSOPGAWE	xxii
LYS VAN TABELLE	xxiv
LYS VAN FIGURE	xx

INLEIDING 1

HOOFSTUK 1

LITERATUURSTUDIE:MODELLERING VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID 6

1.1	OMSKRYWING VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID	6
1.2	BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING (BSV)	7
1.3	BENADERINGS TOT DIE MODELLERING VAN VERANDERLIKE WATERBESKIKBAARHEID IN SUID-AFRIKA	8
1.4	BESTUURSTRATEGIEË VIR DIE MINIMALISERING VAN DIE EKONOMIESE KOSTE VIR BESPROEINGSBOERE	10
1.4.1	VERHOGING IN WATERTOEDIENINGSDOELTREFFENDHEID	10
1.4.2	TEKORTBESPROEING	12
1.4.3	WATERMARKTE	16

1.5	MODELLERING VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID MET INAGNEMING VAN BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING	17
1.5.1	STOGASTIESE DINAMIESE PROGRAMMERING (SDP)	17
1.5.2	STOGASTIESE PROGRAMMERING (SP)	18
1.5.2.1	<i>Diskrete stogastiese programmering (DSP)</i>	19
1.5.2.2	<i>Kans-beperkte programmering (KBP)</i>	23
1.6	KWANTIFISERING VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID DEUR MIDDEL VAN WAARSKYNNLIKHEIDSVERDELINGS	25
1.7	DIE ACRU-MODEL	26
1.7.1	KONSEPTUELE RAAMWERK VAN ACRU	27
1.7.2	WERKING	29
1.8	LANGTERMYN EKONOMIESE RISIKOSIMULASIE	30
1.9	SAMEVATTENDE GEVOLGTREKKINGS	32

TABEL 1.1:	ONSEKERE BESLUITNEMINGSVERANDERLIKES IN DIE PRODUKSIEPROSES TYDENS OES EN AANPLANTING.	20
-------------------	---	-----------

FIGUUR 1.1:	SKEMATIESE VOORSTELLING VAN 'N BESLUITNEMINGSBOOM MET DRIE BESLUITNEMINGSPUNTE OM DIE BESLUITE IN 'N DISKRETE STOGASTIESE PROGRAMMERINGSMODEL VOOR TE STEL.	21
--------------------	--	-----------

FIGUUR 1.2:	DIE KONSEPTE VAN DIE ACRU AGROHIDROLOGIESE MODELLERINGSISTEEM (SCHULZE, 1995: AT2-3).	28
--------------------	--	-----------

LITERATUURSTUDIE: MODELLERING VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID

In die hoofstuk word 'n literatuurstudie gedoen aangaande die prosedures wat gebruik kan word om wisselvallige waterbeskikbaarheid te kwantifiseer en die effek daarvan op die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerdery met inagneming van 'n binnestroomvloeivoorsiening (BSV) te kwantifiseer.

1.1 OMSKRYWING VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID

Indien besproeiing uit 'n dam geskied of water uit 'n dam in die rivier losgelaat word vir besproeiingsdoeleindes kan daar tot 'n groot mate beheer oor die aanbod van water uitgeoefen word. Alhoewel jaarlikse toegekende waterkwotas van jaar tot jaar kan verskil, is die beskikbare hoeveelheid besproeiingswater gewoonlik aan die begin van die groeiseisoen bekend. Gewaskeuse en aanplanting daarvan kan dus op 'n deterministiese wyse geskied.

Waar besproeiing direk uit 'n rivier plaasvind, kan geen beheer oor die aanbod van besproeiingswater uitgeoefen word nie (Mottram en De Jager, 1994). Onder sulke omstandighede is die aanbod van besproeiingswater afhanklik van afloop en dus reënval. As gevolg van reënvalwisselvalligheid is stroomvloeï ook wisselvallig en is boere onseker hoeveel water oor die verloop van die groeiseisoen vir besproeiing beskikbaar is. Meiring (1994) beskou 'n riskante besluit as een waarin die finale uitkoms van sodanige besluit nie reeds tydens die besluitnemingsproses bekend is nie. Keuse tussen gewaskombinasies en hoeveel hektaar om te plant ten einde waterstremming te vermy, is dus riskant.

Riskante waterbeskikbaarheid veroorsaak ook risiko's vir waterbestuurders wat belas is met die handhawing van 'n BSV deurdat besproeiingsboere se optredes stroomvloeï en dus die handhawing van 'n BSV direk of indirek kan beïnvloed; direk deur die hoeveelheid water wat uit die rivier onttrek word en indirek deur veranderde terugvloeï. *Eersgenoemde* word deur die totale besproeide oppervlakte, gewaskombinasies en skeduleringsstrategieë beïnvloed, terwyl *laasgenoemde* deur boere se bestuurswyses beïnvloed word wat weer die doeltreffendheid van waterbenutting en dus terugvloeï beïnvloed.

Indien 'n besluit riskant is, moet die voorkoms van veranderlikes wat aanleiding gee tot onsekerheid deur waarskynlikheidsverdelings uitgebeeld word. Met waarskynlikheidsverdelings word die stogastiese of waarskynlike voorkoms van 'n reeks veranderlike uitkomst beskryf (Anderson, Dillon en Hardaker, 1977:21). Risiko-ontledings word egter bemoeilik weens 'n gebrek aan die nodige data om die bron van risiko voldoende te beskryf en risiko in die vorm van waarskynlikheidsverdelings te kwantifiseer (Backeberg en Oosthuizen, 1995).

Die gevolgtrekking word gemaak dat wisselvallige waterbeskikbaarheid deur waarskynlikheidsverdelings uitgebeeld moet word indien die wisselvalligheid aanleiding gee tot riskante besluite.

Gegewe die wisselvallige aard van stroomvloeï sal die handhawing van 'n BSV grootliks deur die vlak van die BSV-vereiste bepaal word.

1.2 BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING (BSV)

Die manier hoe 'n BSV gedefinieer word en die vlak van die BSV het omgewings-, lewenskwaliteit en ekonomiese implikasies (Willis, 1993). Hierdie gedeelte het dus ten doel om 'n BSV te omskryf en lig te werp op die vereistes van die omgewing aangesien dit sal bepaal in watter mate wisselvallige waterbeskikbaarheid gekwantifiseer moet word ten einde 'n BSV in ag te neem.

Lewende hulpbronne benodig genoegsame hoeveelheid water van 'n aanvaarbare kwaliteit. Navorsers het reeds tot 'n groot mate bepaal hoekom water aan riviere geallokeer moet word om minimum BSV-vereistes te handhaaf, asook wat die nadelige uitwerking is indien daar nie genoeg water van 'n goeie kwaliteit aan rivierekosisteme geallokeer word nie (Walmsley, 1992:52; Walmsley, 1995:45). Feitlik elke rivier se kenmerke verskil en 'n multidissiplinêre benadering word benodig om die komplekse funksionering van 'n rivier te verstaan alvorens die "hoeveelheid" gekwantifiseer kan word (Walmsley en Davies, 1991).

King en Tharme (1994) het 'n groot bydrae gelewer om die hoeveelheid water wat deur 'n rivierekosisteem benodig word deur middel van die binnestroomvloeï inkrementele metode te bepaal. Hierdie navorsers het egter tot die gevolgtrekking gekom dat die metode baie teoreties en onvoldoende is om die vereistes van Suid-Afrika se riviere te bepaal. Die "Boublok" metode is as alternatiewe metode om die vereistes van Suid-Afrika se riviere te bepaal, voorgestel. Met hierdie holistiese benadering word water as deel van die omgewing gesien. Ander gebruikers se behoeftes moet slegs van oortollige water wat nie deur die omgewing benodig word nie bevredig word. Die keuse óf en hoeveel water vir buitestroomgebruikers geallokeer moet word, kan dus as risikobestuursoefening gesien word (Pigram en Hooper, 1992). Allokasie van water aan ander gebruikers moet lae risiko's vir die omgewing inhou en die BSV moet dus teen 'n hoë waarskynlikheidspeil gehandhaaf word. 'n Enkele jaarlikse allokasie kan dus nie gebruik word

nie aangesien die variasie van die beskikbare hoeveelheid water deur die jaar ook belangrik is. Die totale hoeveelheid water wat deur die omgewing benodig word, moet dus ten minste in terme van maandelikse allokasies uitgedruk word.

Een van die grootste probleme om water aan die omgewing en rivierekosisteme te allokeer, is onvoldoende inligting rondom die behoeftes van sodanige sisteme om hul biotiese diversiteit te behou (Walmsley, 1995:45). Ten spyte van die navorsing wat reeds uitgevoer is, is daar nog nie voldoende resultate om besluite oor minimum BSV-vereistes te neem nie (Walmsley en Davies, 1991:75; Walmsley, 1995:46). Die belangrikheid om minimum BSV-vereistes in die beplanningsproses in ag te neem, word egter benadruk.

Uit bogenoemde literatuur word die gevolgtrekking gemaak dat waterbeskikbaarheid ten minste op 'n maandelikse basis gekwantifiseer moet word ten einde 'n BSV in ag te neem. Omgewingsbewustes gebruik verder die waarskynlikheidsbegrip om die mate waartoe 'n BSV gehandhaaf moet word, te kwantifiseer.

In die volgende gedeelte word bestaande prosedures om wisselvallige waterbeskikbaarheid in ekonomiese ontledings in ag te neem, ondersoek.

1.3 BENADERINGS TOT DIE MODELLERING VAN VERANDERLIKE WATER-BESKIKBAARHEID IN SUID-AFRIKA

Hierdie gedeelte het ten doel om die prosedures wat deur Suid-Afrikaanse navorsers in die verlede gevolg is om wisselvallige waterbeskikbaarheid te kwantifiseer en die effek daarvan op die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerdery te modelleer, te ondersoek.

Hancke en Groenewald (1972) het statiese lineêre programmering (LP) gebruik om aan te toon hoe besproeiingsboere by die Hartbeespoortdambesproeiingskema hulle in 'n goeie, medium en swak jaar moet organiseer om winste te maksimeer. Tien jaar se beskikbare waterkwotas is gebruik om dié verskillende jare te identifiseer. Bruto marges vir die verskillende gewasse is bereken ooreenkomstig die tipe jaar en besproeiingsmetode wat gebruik is om die onderskeie gewasse te besproei. Elk van die kombinasies is afsonderlik in 'n LP-model geoptimaliseer. 'n Paar jaar later het Van Rooyen (1979) in dieselfde gebied bepaal hoe veranderlike waterbeskikbaarheid en arbeid die optimale organisasie van besproeiingsboere beïnvloed. Hierdie navorser het waterbeskikbaarheid by vier verskillende damstande geneem en arbeid binne die LP-model geparametriseer. Beide navorsers het gevind dat water beperkend op die produksieproses inwerk en dat gewasse met hoër bruto marges per millimeter water ingeskakel moet word namate water skaarser word. Daarenteen het Brotherton en Groenewald (1982) in die Malelane-Komatipoortgebied gevind dat water nie beperkend op produksie inwerk nie al het besproeiingsboere in die betrokke navorsingsgebied gekla van watertekorte. Daar kan dus nie

sonder meer aanvaar word dat water in 'n spesifieke gebied beperkend is nie. Empiriese resultate moet eers gevind word om te bepaal of water wel beperkend is.

In al bogenoemde navorsing is daar van LP gebruik gemaak wat 'n enkel jaar as beplanningshorison het. In die middel tagtiger jare het Backeberg (1984) aangetoon dat dinamiese lineêre programmering (DLP) 'n meer bruikbare metode is om optimale investerings- en produksieplanne oor 'n beplanningshorison wat oor meer as een jaar strek, daar te stel. Sedertien is riglyne vir die beplanning van besproeiingsboerderye saamgestel (Backeberg, 1988) en is DLP gebruik om verskeie besproeiingskemas te ontleed en te beplan (Department of Agriculture and Water Supply, 1989).

Desnieteenstaande die gebruik van DLP het al bogenoemde navorsers sensitiwiteitsontledings gebruik om die effek van wisselvallige waterbeskikbaarheid op die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerdery te kwantifiseer. Sensitiwiteitsontleding is egter meer waardevol vir besluitneming indien 'n waarskynlikheid aan die voorkoms van 'n riskante veranderlike gekoppel kan word (Boehlje en Eidman, 1984:473). Deterministiese modelle lewer gewoonlik optimistiese resultate wat die inagneming van onsekerhede in die beplanningsproses noodsaak ten einde rasonale besluite te neem (Onta, Das Gupta en Harboe, 1991).

In bogenoemde gevalle kan toegekende waterkwotas van jaar tot jaar verskil en as gevolg daarvan weet besproeiingsboere nie hoeveel skuldverpligtinge hulle kan aangaan om byvoorbeeld hul boerderyonderneming uit te brei nie. Uitbreiding van die boerderyonderneming is dus riskant vanweë die wisselvalligheid in die jaarlikse toegekende waterkwotas. Indien 'n boer te veel skuld het in 'n droogte jaar waarin kwotas gesny word, kom sulke boere gewoonlik onder finansiële druk. Heelwat navorsing (Louw, Smal en Wessels, 1991; Louw en Groenewald, 1992; Louw en Groenewald, s.a.) is al uitgevoer waarin die aannames en metodes waarvolgens vorige uitvoerbaarheidstudies van besproeiingskemas gedoen is, ondersoek is. Hiërdie navorsers het tot die gevolgtrekking gekom dat gemiddelde waterbeskikbaarheid nie in ekonomiese ontledings gebruik kan word nie en dat berekenings eerder op 'n reeks waardes wat 'n droogte periode insluit, gegrond moet word.

Tot en met die negentiger jare het die voormalige Direktoraat Landbou-Ekonomie hul uitvoerbaarheidstudies op stogastiese stroomvloeireekse gegrond (Oosthuizen, 1995; Maré, 1995). Met die benadering word die historiese waterkwotas gebruik om stogastiese stroomvloeireekse te simuleer. Hierdie stroomvloeireekse word gesimuleer deur te aanvaar dat die gesimuleerde stroomvloei naastenby dieselfde statistiese eienskappe as die historiese reeks sal vertoon. Elk van die vloeiireekse word vervolgens 'n gebruik om die ekonomiese ontledings uit te voer. Alhoewel Oosthuizen (1995) en Maré (1995) waarskynlikhede aan die voorkoms van waterbeskikbaarheid koppel, neem hul prosedures nie die vorm van die waarskynlikheidsverdeling in die verskillende maande in ag nie. Verder verander die vorm van

die waarskynlikheidsverdelings indien alternatiewe waterbeleide om 'n BSV aan te vul, ontleed word (Willis, 1993) en historiese data kan dus nie gebruik word om die waarskynlikheidsverdelings op te stel nie.

Die gevolgtrekking word gemaak dat geen landbou-ekonomiese navorsing in Suid-Afrika al uitgevoer is om wisselvallige waterbeskikbaarheid op 'n maandelikse basis te kwantifiseer nie. Verder het die meeste navorsers sensitiwiteitsontledings, wat geen aanduiding van die waarskynlike voorkoms van 'n veranderlike gee nie, gebruik om wisselende jaarlikse kwotas in ag te neem. Waar daar wel waarskynlikhede aan die voorkoms van jaarlikse waterkwotas gekoppel is, word die vorm van die waarskynlikheidsverdelings in elke maand buite rekening gelaat. 'n Verdere tekortkoming is dat die effek van besproeiingsboere se optredes op die waterbeskikbaarheid van ander gebruikers buite rekening gelaat word.

In die volgende deel word alternatiewe strategieë waardeur besproeiingslandbou water kan bespaar om sodoende 'n BSV teen hoë waarskynlikhede te handhaaf en dus die ekonomiese koste vir boere te minimaliseer, ondersoek.

1.4 BESTUURSTRATEGIEË VIR DIE MINIMALISERING VAN DIE EKONOMIESE KOSTE VIR BESPROEIINGSBOERE

Geringe waterbesparings in die landbou kan 'n belangrike impak op die waterbeskikbaarheid van ander sektore uitoefen (Liebenberg en Uys, 1995:33). Volgens Weinberg, Kling en Wilen (1993:282) kan water deur besproeiingslandbou op drie maniere bespaar word en aan ander gebruike beskikbaar gestel word: (i) watertoediening kan *ceteris paribus* verlaag word en as gevolg daarvan kan opbrengste potensieel verlaag (tekortbesproeiing); (ii) die doeltreffendheid van die besproeiingstelsel kan verbeter word om die dieselfde opbrengste te realiseer al word watertoediening verminder (verhoogde watertoedieningsdoeltreffendheid) en; (iii) gewaskombinasies kan verander word. Pigram (1992:ix) stel voor dat 'n verhoging in watertoedieningsdoeltreffendheid en alternatiewe skeduleringsstrategieë daartoe kan lei dat besproeiingsboerdery kan bly voortbestaan, terwyl daar genoeg water in die rivier bly vir die handhawing van 'n BSV. In die volgende gedeelte word 'n verhoging in watertoedieningsdoeltreffendheid en tekortbesproeiing as twee alternatiewe strategieë ondersoek om die ekonomiese kostes vir boere te minimaliseer. Watermarkte word as derde strategie ontleed aangesien dit algemeen as 'n alternatiewe metode vir die meer ekonomiese allokasie van water binne Suid-Afrika voorgestel word (Backeberg, 1997; Van Schalkwyk, 1997; Backeberg, Bembridge, Bennie, Groenewald, Hammes, Pullen en Thompson, 1996; Backeberg, 1994).

1.4.1 VERHOGING IN WATERTOEDIENINGSDOELTREFFENDHEID

'n Verhoging in watertoedieningsdoeltreffendheid bied potensiaal om water te bespaar en sodoende die impak van 'n beleid om 'n minimum BSV te handhaaf, te minimaliseer. Die winsgewendheid van besproeiingsboerdery kan verhoog word indien die kostes om die verhoogde doeltreffendheid te bewerkstellig, minder is as die besparing in veranderlike koste om die verminderde hoeveelheid water toe te dien.

El-Ashry en Gibbons (aangehaal deur Willis, 1993) het gevind dat 'n verhoging in besproeiingsdoeltreffendheid van 10% die beskikbare hoeveelheid water vir residensiële en industriële gebruike in die westelike state van Amerika, wat tans 90% van hul water aan landbou allokkeer, sal verdubbel. Van al die water wat aan besproeiing geallokeer word, kan soveel as 40% verlore gaan as gevolg van pype wat lek en of minder goeie bestuur (De Jager en Mottram, 1995:295). Verliese deur minder goeie bestuur kom voor as gevolg van verliese deur water tot by die plaas te vervoer, verspreiding daarvan op die plaas en toediening van water aan die gewasse. Indien aanvaar word dat geen verliese voorkom tot die punt waar die water aan die gewas toegedien word nie, bepaal slegs watertoedieningsdoeltreffendheid die hoeveelheid water wat verlore gaan. Volgens Mottram en De Jager (1994:44) kan die watertoedieningsdoeltreffendheid van besproeiingswater tussen 30% en 100% varieer met 'n mees waarskynlike waarde van 65% vir sprinkelbesproeiingstelsels. 'n Watertoedieningsdoeltreffendheid van 65% impliseer dat 35% van die toegedienende water verlore gaan. Al die verliese, alhoewel verlore vir gebruik deur die spesifieke besproeiingsboer, is egter nie verlore vir die watervoorraad van die totale opvanggebied nie (Gilley, Martin en Supalla, 1988). 'n Deel van die water wat nie verdamp of deur die transpirasieproses verbruik word nie is dus aan ander gebruikers in die vorm van terugvloei beskikbaar.

Verskille in grondeienskappe, besproeiingstelsel, besproeiingsbestuurspraktyke en wisselende weersomstandighede gee tot verskillende watertoedieningsdoeltreffendhede aanleiding (Crosby, 1996:54). Aankoop van 'n beter ontwerpte besproeiingstelsel sal egter nie noodwendig daartoe lei dat toedieningsdoeltreffendheid verhoog nie aangesien watertoedieningsdoeltreffendheid afhanklik is van die potensiele doeltreffendheid van die stelsel en bestuur (Gilley *et al.*, 1988). Skedulering van water deur middel van gewasgroeisimulasiemodelle kan daartoe lei dat afloop en diep dreinerings verminder wat gevolglik watertoedieningsdoeltreffendheid verhoog (De Jager en Mottram, 1995). Bestuur kan as die enkele belangrikste faktor wat watertoedieningsdoeltreffendheid beïnvloed, geïdentifiseer word.

'n Verhoging in watertoedieningsdoeltreffendheid sal egter nie noodwendig tot 'n toename in stroomvloeivlakke lei nie (Whittlesey en Huffaker, 1995; Huffaker en Whittlesey, 1995; Willis, 1993). Indien watertoedieningsdoeltreffendheid verhoog word, sal afloop en diep dreinerings ooreenkomstig daal.

Die gevolgtrekking word gemaak dat 'n verandering in watertoedieningsdoeltreffendheid 'n betekenisvolle invloed op die beskikbare waterhulpbronne van ander gebruikers via terugvloei kan uitoefen. Terugvloei moet dus in berekening gebring word indien 'n BSV ontleed word.

1.4.2 TEKORTBESPROEING

Tekortbesproeiing is die doelbewuste onderbesproeiing van die gewas met die doel om water te bespaar of om die ekonomiese winsgewendheid van die boerderyonderneming oor die langtermyn te verhoog (Dent, Schulze en Angus, 1988:19). Volgens Martin en Van Brocklin (aangehaal deur Botes, 1990) moet die mate van onderbesproeiing beheerd toegepas word. Wanneer daar nie aan die gewas se volle waterbehoefte (maksimum evapotranspirasie of ET_m) voldoen word nie word die gewas onderbesproei en gevolglik kom stremming en 'n afname in opbrengste voor (Doorenbos en Kassam, 1979). Die wyse hoe watertekorte gewasgroei en opbrengste beïnvloed, verskil tussen gewasse en die gewasgroeiperiode (Doorenbos en Kassam, 1979).

Tekortbesproeiing is relevant as die beskikbare besproeiingsgrond nie beperkend is nie en totale produksie verhoog kan word deur die beskikbare water en ander insette oor 'n groter oppervlakte te benut (Crosby, 1996:v). Per implikasie is die persentasie verlaging in opbrengste betekenisvol minder as die besparing in water en die koste om die groter oppervlakte te besproei, is minimaal. Onder toestande van beperkte waterbeskikbaarheid moet die besproeiingsboer dus besluit in watter gewasgroeiperiode en tot watter mate die gewas gestrem moet word om die beperkte hoeveelheid water op die mees doeltreffende wyse te benut. Daar moet dus vooraf 'n perk geplaas kan word op die mate van gewaswaterstremming wat toegelaat gaan word om sodoende oppervlakaanplantings van verskillende gewasse te kan beplan.

Heelwat empiriese navorsing (English en Raja, 1996; Willis, 1993; Botes, 1990; Virag, 1988; Schulze en George, 1987) is al gedoen om die ekonomiese voordele van tekortbesproeiing te kwantifiseer. Potensiële voordele van tekortbesproeiing spruit voort uit die volgende drie faktore naamlik: (i) verhoogde besproeiingsdoeltreffendheid; (ii) kostebesparings en; (iii) die geleentheidskoste van water (English en Raja, 1996).

Schulze en George (1987) het van die ACRU-model gebruik gemaak om die effek van verlaagde toedieningshoeveelhede binne 'n vaste besproeiingsiklus van 5 dae op opbrengste en ooreenstemmende winste/verliese te modelleer. Resultate het getoon dat maksimum wins met besproeiingsmielies in Namibia verkry word indien 5 mm/dag toegedien word, eerder as die erkende norm van 12 mm/dag. Met die modelleringsbenadering wat gevolg is, word daar nie vooraf 'n perk gestel op die mate van stremming (bv. persentasie afname vanaf ET_m) wat toegelaat kan word voordat besproeiing benodig word nie. Die spesifieke periode waarin stremming voorkom, is dus moeilik beheerbaar.

Virag (1988) het 'n simulasiemodel vir verskillende plantdatums en gewaskultivars van koring ontwikkel om die effek van watertekorte op opbrengste en bruto marges te ondersoek. Watertoediening is met 10 millimeter inkremte in elke groeistadium verminder en die effek daarvan op opbrengste en bruto marges is bereken. Resultate het getoon dat koring met 100 mm in die opbrengsvormingstadium en tot 250 mm in die aarontwikkelingstadium gestrem kan word om nog steeds aanvaarbare inkomstes te realiseer indien die regte skeduleringsstrategie gevolg word.

Botes (1990) het van gewasgroeisimulasie gebruik gemaak om die ekonomiese winsgewendheid van tekortbesproeiing met vier ander skeduleringsstrategieë vir drie verskillende profielbeskikbare grondwaterkapasiteite te vergelyk. Die hidrouliese gewasfaktor in die PUTU-gewasgroeisimulasiemodel is gemonitor om te verseker dat die tekortbesproeiingskeduleringsstrategie 80% van die gewaswaterbehoefte aan die gewas voorsien. Opbrengste vir elke strategie is gesimuleer en die verandering in die tersaaklike koste-items is bereken om sodoende winsgewendheid van die strategieë te kan vergelyk. Die navorser het gevind dat die winsgewendheid van die tekortbesproeiingskeduleringsstrategie in vergelyking met die ander strategieë verhoog kan word indien gronde met 'n hoë profielbeskikbare waterkapasiteit benut word.

Uit bogenoemde literatuur is dit dus duidelik dat tekortbesproeiing te make het met 'n doelbewuste, beheerde onderbesproeiing van die gewas om water te bespaar of die winsgewendheid oor die langtermyn te verhoog. Ten einde water op die mees doeltreffende wyse aan te wend, moet daar beheer oor die mate van gewaswaterstremming wat in 'n spesifieke maand of maande waarin waterbeskikbaarheid beperkend is, uitgeoefen kan word. Bogenoemde navorsers het aangetoon dat tekortbesproeiing water kan bespaar deurdat die gewas waterstremming ondervind en die hoeveelheid water wat toegedien word, minder is. In die geval van Schulze en George (1987) kan daar nie beheer oor die mate van gewaswaterstremming uitgeoefen word nie. 'n Belangrike aspek wat deur Schulze en George (1987), Virag (1988) en Botes (1990) buite rekening gelaat is, is dat die water wat deur tekortbesproeiing bespaar word, gebruik kan word om groter oppervlakte te besproei. Die geleentheidskoste van water is dus buite rekening gelaat.

LP kan gebruik word om die geleentheidskoste van water in ag te neem. Bernardo, Whittlesey, Saxton en Basset (1986) het van simulatie en LP gebruik gemaak om die optimale allokasie van water oor die groeiseisoen onder toestande van beperkte waterbeskikbaarheid te bepaal. Gewasgroeisimulasiemodelle is gebruik om vir 'n verskeidenheid van skeduleringsstrategieë wat gevolg kan word, invoer vir die LP-model te simuleer. In totaal is 1 400 aktiwiteite in die LP-model ingevoer waarna dit gebruik is om die optimale strategie te identifiseer. Hierdie model is dus baie groot en baie data-intensief. Resultate het getoon dat 30% minder water met

spilpuntbesproeiing toegedien kan word, terwyl inkomstes nie drasties verlaag word nie. Die metode hoe water toegedien word, het ook 'n betekenisvolle invloed op die watertoedieningsdoeltreffendheid uitgeoefen.

Plaaslik het Mottram, De Jager, Jackson en Gordijn (1995) die optimale verspreiding van water oor die groeiseisoen met LP gemodelleer. Die gewasse wat verbou word, is in elke groeistadium met 10 mm inkrementele gestrem tot 'n maksimum vlak van 50 mm en die effek op opbrengste, besproeiingsveranderlike koste en bruto marges is dienooreenkomstig bereken. Hierdie data word in die LP-model ingevoer waar die allokasie van water oor die groeiseisoen geoptimaliseer is. Aanvanklik is aanvaar dat die beskikbare hoeveelheid besproeiingswater bekend is. Resultate van die ontleding het getoon dat oppervlakte verlaag moet word, eerder as om tekortbesproeiing toe te pas. 'n Vaste oppervlakte is vervolgens in die LP-model ingeforseer ten einde die effek van watertekorte te modelleer. English, James, Hunsaker en McKusck (aangehaal deur Botes, 1990) het teenstrydige resultate gevind deurdat water wat bespaar word, gebruik kan word om die besproeiende oppervlakte te vergroot, terwyl Mottram *et al.* (1995) gevind het dat oppervlakte verlaag moet word om sodoende waterstremming te vermy. Mottram *et al.* (1995:312) wys egter daarop dat hul resultate as voorlopig aanvaar moet word vanweë die aannames wat gemaak is. Die ekonomiese insette en die aanname van konstante watertoedieningsdoeltreffendheid moet herevalueer word (Mottram *et al.*, 1995:312).

English, Taylor en John (aangehaal deur Crosby, 1996) het bepaal dat besproeiingsdoeltreffendheid afneem namate die maksimale opbrengspeile genader word aangesien meer water toegedien moet word en afloop en diep dreineringsvermeerder. In kort impliseer eersgenoemde dat die watertoedieningsdoeltreffendheid toeneem namate 'n gewas tekort besproei word. Toepassing van tekortbesproeiing is verder minder voordelig in situasies waar water hoogs doeltreffend aangewend word (Murray, Biesenbach & Badenhorst Incorporated Consulting Engineers, 1992). Onder laasgenoemde situasies kom min verliese as gevolg van afloop en diep dreineringsvermeerder voor wat potensieel deur die gewas benut kan word indien watertoedieningsdoeltreffendheid toeneem. Die gekombineerde effek van 'n afname in die netto waterbesikbaarheid vir die gewas en die toename in watertoedieningsdoeltreffendheid is moeilik kwantifiseerbaar (Crosby, 1996). Crosby (1996) is tans besig om 'n module vir SAPWAT te programmeer wat die verwantskap kan kwantifiseer, maar ten tye van die navorsing was die program egter nog nie operasioneel nie. Die belangrikheid om die toename in watertoedieningsdoeltreffendheid soos wat die gewas tekort besproei word in berekening te bring, word beklemtoon aangesien dit die hoeveelheid water wat as terugvloei aan ander gebruikers beskikbaar is, beïnvloed.

Die gevolgtrekking word gemaak dat die prosedures wat gebruik is om die geleentheidskoste van water in berekening te bring nie geskik is vir die navorsing nie. Die prosedures en modelle wat deur Bernardo *et al.* (1986) gebruik is, is baie omvangryk, data-intensief en sal dus moeilik

aan 'n hidrologiese simulasiemodel gekoppel kan word. Mottram *et al.* (1995) se prosedures neem nie die toename in watertoedieningsdoeltreffendheid wat verkry word indien die gewas tekortbesproei word in ag nie. Terugvloei bly dus konstant en dié prosedures is dus onvoldoende aangesien terugvloei 'n belangrike invloed op totale waterbeskikbaarheid kan uitoefen. Verder het geen een van bogenoemde navorsers probeer om die aard van wisselvallige waterbeskikbaarheid vir 'n opvanggebied te kwantifiseer en met die ekonomiese doeltreffendheid van die besproeiingsboere wat afhanklik is van sodanige water in verband gebring nie.

Willis (1993) maak van skalingsfunksies gebruik om die ekonomiese effekte van tekortbesproeiing in 'n LP-model te modelleer. Met die prosedure bepaal die LP-model die optimale vlak van tekortbesproeiing, watertoedieningsdoeltreffendheid en word opbrengs- en besproeiingsveranderlike koste aangepas indien die gewas tekort besproei word. Die modelleringsbenadering neem die toename in watertoedieningsdoeltreffendheid indien die gewas tekort besproei word en die geleentheidskoste van water in ag. Die effek op terugvloei kan dus gekwantifiseer word.

Die grootste kritiek teen Willis (1993) se prosedures om tekortbesproeiing te modelleer, is dat hy 'n lineêre opbrengsvergelyking gebruik wat die effek van waterstremming in verskillende groeistadiums buite rekening laat. De Jager (1994) het van simulatie gebruik gemaak om alternatiewe opbrengsvergelykings met mekaar te vergelyk. Die navorser het gevind dat die Stewart opbrengsvergelyking wat 'n meer as proporsionele verlaging in opbrengste modelleer indien die gewas in meer as een groeistadium waterstremming ondervind die beste resultate lewer. Ongelukkig is die vergelyking nie-lineêr en watergebruik kan dus nie met LP geoptimaliseer word nie. Met die ontwikkeling van nuwe rekenaar-tegnologie raak die gebruik van nie-lineêre programmeringstegnieke egter meer toeganklik wat die evaluering van die Stewart opbrengsvergelyking vir gebruik in hierdie navorsing moontlik maak.

Die volgende samevattende gevolgtrekkings kan gemaak word. Ten einde water op die mees doeltreffende wyse onder toestande van beperkte waterbeskikbaarheid aan te wend, moet daar beheer oor die mate van gewaswaterstremming uitgeoefen kan word. Gewasgroeisimulasie-modelle wat nie die mate van gewaswaterstremming vooraf kan spesifiseer nie het dus beperkte waarde in die navorsing. Bestaande prosedures wat van simulatie gebruik maak om die ekonomiese effekte van tekortbesproeiing onder toestande van wisselvallige waterbeskikbaarheid te modelleer, neem nie die geleentheidskoste van water in ag nie en is dus onvoldoende. Prosedures wat reeds in Suid-Afrika toegepas is om die geleentheidskoste van water in ag te neem, is ook onvoldoende aangesien 'n konstante watertoedieningsdoeltreffendheid aanvaar word en die effek van tekortbesproeiing op terugvloei dus buite rekening gelaat word. Die prosedures van Willis (1993) kan gebruik word om die komplekse gevolge van tekortbesproeiing te modelleer. Dié model is relatief klein, terwyl die

geleentheidskoste van water en die effek van tekortbesproeiing op watertoedieningsdoeltreffendheid in berekening gebring word. Verder maak huidige rekenaartegnologie die gebruik van nie-lineêre programmering meer toeganklik wat weer die gebruik van opbrengsvergelykings wat die effek van waterstremming in verskillende gewasgroeistadiums kan modelleer, moontlik maak. Willis (1993) se prosedures om tekortbesproeiing te modelleer, word vir toepassing in die navorsing aangepas en volledig in Hoofstuk 3 uiteengesit.

1.4.3 WATERMARKTE

Die hoofdoel met die gedeelte is nie om te bevestig dat watermarkte die aangewese meganisme is om water¹ te herallokeer nie aangesien laasgenoemde al deur verskeie navorsers (Backeberg, 1997; Van Schalkwyk, 1997; Backeberg *et al*, 1996; Backeberg, 1994) bevestig is. Meer belangrik vir die navorsing is die prosedures wat al in Suid-Afrika gevolg is om watermarkte te ontleed en vervolgens word die toepaslikheid van die prosedures vir die navorsing ondersoek.

Indien daar verskille in die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerderye tussen subopvanggebiede voorkom, kan die ekonomiese doeltreffendheid van die totale opvanggebied verhoog word indien oordragte volgens die gelyke marginale opbrengsbeginsel oorgedra word. Wiskundige programmeringstegnieke word algemeen vir die doel gebruik. Louw en van Schalkwyk (1997) het van deterministiese LP gebruik gemaak om die werklike waarde van besproeiingswater in die Olifantsrivieropvanggebied te bepaal. Dieselfde LP-model is deur Louw, Van Schalkwyk en Groenewald (1998) gebruik om struktuuraanpassings in die sagtevrugte bedryf met inagneming van 'n watermark te ontleed. Die model is so gestruktureer dat die verskillende sektore water by enige van die ander kan koop, gegewe dat die waterbenutting minder as die beskikbaarheid moet wees. Verhandeling van water vind plaas as gevolg van die verskil in die ekonomiese doeltreffendheid van waterbenutting tussen die verskillende sektore. Alhoewel wateroordragte geoptimaliseer word, is geen prosedures ontwikkel om die eksternaliteite verbonde aan sodanige oordragte te kwantifiseer nie. Die effek van wateroordragte op die waterbeskikbaarheid van ander gebruikers via veranderde terugvloei word dus buite rekening gelaat.

Eksternaliteite veroorsaak dat wateroordragte selde tot die doeltreffende allokasie van water aanleiding gee (Howe, Schurmeier en Shaw, 1986). Die kernprobleem in die doeltreffende allokasie van water is dat water langs 'n bepaalde rivier benut en herbenut kan word deurdat stroom-af boere terugvloeiwater kan benut (Backeberg, 1994). Aangesien terugvloei vir stroom-af benutting beskikbaar is, is daar potensieel bevoordeling of benadeling van derdepartye wat in marktransaksies van waterregte in ag geneem moet word (Anderson en Johnson, 1986:539 soos aangehaal deur Backeberg, 1994). Armitage en Nieuwoudt (1999) wat watermarkte in die

1

Die term "water" impliseer die reg tot die benutting van 'n sekere hoeveelheid water.

laer Oranjerivier met behulp van diskriminant analise ontleed het, wys op die belangrikheid om prosedures te ontwikkel wat die nadelige eksternaliteite verbonde aan wateroordragte kan kwantifiseer en kan help om konflik tussen watergebruikers op te los. Laasgenoemde raak meer belangrik indien die mededinging vir water toeneem en water ten volle geallokeer is. 'n Belangrike aspek wat verreken moet word, is die feit dat die nadelige eksternaliteite van wateroordragte beperk kan word deur wateroordragte op werklike waterverbruik te grond (Easter en Hearn, 1994).

Die gevolgtrekking word gemaak dat bestaande prosedures om watermarkte in Suid-Afrika te modelleer, gebrekkig is aangesien die eksternaliteite verbonde aan wateroordragte buite rekening gelaat word. Prosedures wat watermarkte met inagneming van eksternaliteite kan ontleed, moet dus ontwikkel word.

1.5 MODELLERING VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID MET INAGNEMING VAN BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING

'n Betekenisvolle wisselwerking kom na vore deur water vir die omgewing en besproeiingslandbou te allokeer en 'n sisteembenadering moet gebruik word om dié wisselwerking realisties te modelleer. LP, dinamiese programmering (DP), simulاسie of 'n kombinasie van enige twee van die metodes is bruikbare ontledingsmetodes wat algemeen binne 'n sisteembenadering gevolg word (Onta *et al.*, 1991:662; Paudyal en Das Gupta, 1990:273). In die meeste gevalle word 'n optimeringsmodel tesame met simulاسie gebruik. Stogastiese vraag en aanbod van water is kritiese veranderlikes wat in berekening gebring moet word in die ontwikkeling van 'n beleid wat daarop gemik is om 'n minimum BSV-vereiste te handhaaf (Willis, 1993:8). Die LP- en DP-modelle sal dus wisselvallige waterbeskikbaarheid moet kan hanteer.

Die model wat gebruik word om die ekonomiese koste vir boere te kwantifiseer, moet relatief klein wees. Sodoende kan die optimeringsmodel aan 'n hidrologiese model gekoppel word om die interaktiewe wisselwerking wat daar tussen kompeterende gebruike van water in 'n opvanggebied bestaan, te modelleer. Verder moet die modelleringsbenadering geskik wees om 'n verhoging in watertoedieningsdoeltreffendheid, tekortbesproeiing en wateroordragte as alternatiewe strategieë om die ekonomiese koste vir boere te minimaliseer, te ontleed.

1.5.1 STOGASTIESE DINAMIESE PROGRAMMERING (SDP)

DP kan as 'n berekeningsprosedure of opeenvolgende benadering beskou word wat die algehele prestasie van 'n sisteem, wat gekenmerk word deur onderskeie stadiums waarin besluite geneem moet word, optimaliseer (Sengupta en Fox, 1975:137). Die besluite wat deur die besluitnemer in die onderskeie stadiums geneem moet word, kan deur riskante

waterbeskikbaarheid beïnvloed word. In so 'n geval is die dinamiese programmeringsprobleem stogasties.

Dudley (1992) maak van stogastiese dinamiese programmering (SDP) en simulatie gebruik om die wisselwerking tussen die omgewing en besproeiingslandbou met behulp van "kapasiteitsdeling" te modelleer. Kapasiteitsdeling is 'n institusionele ooreenkoms wat gebruikers van langtermyn regte verskaf om 'n persentasie van die invloed in 'n dam en 'n persentasie van die kapasiteit van die dam te benut om sy invloed op te berg en na eie belang te onttrek (Dudley, 1990). Beleidmakers wat besorg is oor minimum BSV kan 'n kapasiteitsaandeel bekom om sodoende stroomvloed tydens lae-vloei aan te vul om die BSV-vereiste te handhaaf.

DP het die voordeel dat dit die hele verdeling van waterbeskikbaarheid in ag neem (Keith, Martinez-Gerstl, Snyder en Glover, 1989). DP-modelle raak gou baie omvangryk namate meer veranderlikes in die model verreken moet word (Dudley, 1995). In alle gevalle werk Dudley met een gewas om die omvang van die modelle te beperk. Tekortbesproeiing word ook nie verreken nie deurdat oppervlakte verminder word sodat genoeg water beskikbaar is om aan die gewas se volle verbruik in die spesifieke besluitnemingsinterval te voldoen (Scott, 1997; Dudley en Hearn, 1993; Dudley, 1988).

DP is nie geskik vir gebruik in die navorsing nie aangesien groot hoeveelhede data benodig word en die modelle gou baie groot word. Ten einde tekortbesproeiing te modelleer, moet die aantal besluitnemingsveranderlikes vermeerder word wat die model baie sal vergroot. Dudley (1999) het programmatuur vir die oplossing van SDP-probleme ontwikkel. Tans maak die programmatuur slegs vir drie besluitnemingsveranderlikes voorsiening. Ten einde tekortbesproeiing met die SDP-program te modelleer, word egter meer as drie besluitnemingsveranderlikes benodig wat die gebruik van die SDP-program uitskakel. Alternatiewe metodes om wisselvallige waterbeskikbaarheid in 'n LP-model in berekening te bring, is vervolgens ondersoek.

1.5.2 STOGASTIESE PROGRAMMERING (SP)

Stogastiese lineêre programmering (SLP) hou verband met probleme waar sommige of al die koëffisiënte in 'n LP-probleem stogastiese veranderlikes met bekende (gesamentlike) waarskynlikheidsverdelings is (Kall, 1976:11). Verskillende formulerings is moontlik om die stogastiese aard van die koëffisiënte in 'n LP-model te inkorporeer (Hardaker, Pandey en Patten, 1991:10). Indien risiko in die doelfunksie in berekening gebring word, staan dit as risiko-programmering bekend. Risiko in die tegniese koëffisiënte of die beskikbare hoeveelheid hulpbronne word met behulp van stogastiese programmering (SP) in ag geneem. Vervolgens word SP in meer detail ondersoek aangesien riskante waterbeskikbaarheid die bron van risiko is wat in ag geneem moet word.

Die manier hoe besluitnemers op inligting reageer, het tot die ontwikkeling van twee tipes stogastiese programmeringsmodelle aanleiding gegee. 'n Besluitnemer kan op die volgende twee maniere op inligting reageer (McCarl en Spreen, 1994:14-2):

- i) sommige van die besluite word nou geneem en die ander nadat van die onsekerhede gerealiseer het en;
- ii) besluite word meteens geneem nadat al die waardes uit die verdelings getrek is, voordat enige van die onsekerhede realiseer het.

Die *eerste* geval verwys na diskrete stogastiese programmering (DSP), terwyl die *tweede* na kans-beperkte programmering (KBP) verwys.

1.5.2.1 Diskrete stogastiese programmering (DSP)

As gevolg van die biologiese aard van landbouproduksie is daar 'n tydsbestek tussen aanvanklike besluite met planttyd en die uiteindelijke opbrengs wat verkry word (Boisvert en McCarl, 1990:37). Gedurende die produksieproses moet boere verskillende riskante besluite neem. 'n Verskeidenheid risiko's beïnvloed die produksieproses dus op verskillende tye. McCarl en Spreen (1994:14-33) wys daarop dat die eerste model wat die opeenvolgende aard van riskante besluite in ag geneem het, die "twee fase" formulering van Dantzig was. Cocks het die model in 1968 uitgebrei na N fases en dit het algemeen as DSP-modelle bekend geraak (McCarl en Spreen, 1994:14-33). In die breë gesien, val die modelle onder 'n algemene groep van SP-modelle met regstellende aksie² (recourse) (Boisvert en McCarl, 1990:38). SP met regstelling is nie algemeen gebruik totdat Rae (1971a en 1971b) die moontlikheid van die model uitgewys en dit prakties toegepas het nie.

Die volgende probleem word gebruik om die modelleringsmetode te verduidelik. Gestel 'n boer wil 'n gewaskombinasie kies wat sy wins sal maksimeer. Op twee geleenthede, met plant en oes, moet hy egter riskante besluite neem. Die veranderlikes wat ten tye van sy besluite onseker is, word in Tabel 1.1 aangedui.

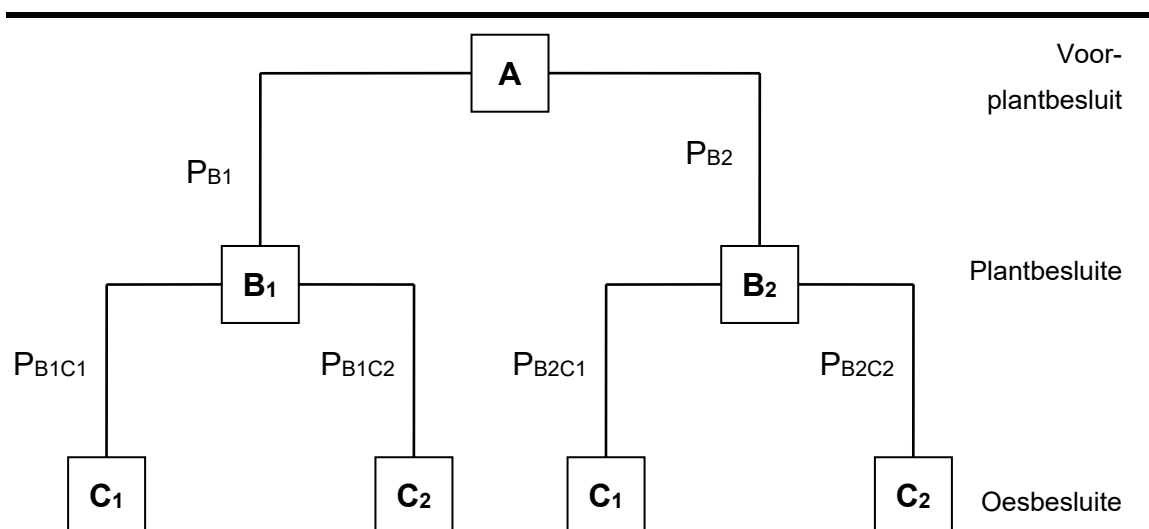
Die eerste stap in die toepassing van die model is die formulering van die waarskynlikheidsmodel in die vorm van 'n besluitnemingsboom (Rae, 1971b:625). Diskrete waarskynlikheidsverdelings vir die onseker faktore wat bydra tot risiko, voorwaardelik op die risiko's wat reeds ontvou het, moet opgestel word. 'n Algemene inligtingstruktuur wat gebruik word om die verskil-

² Met die modelleringsbenadering moet sekere besluite geneem word voordat die waardes van die stogastiese veranderlikes bekend is. Nadat die veranderlikes bekend word, kan enige teenstrydighede deur koop- en verkoopsaktiwiteite reggestel word (Willis, 1993:64).

lende besluite met mekaar te koppel, is perfekte kennis van die verlede, maar slegs waarskynlike kennis, alhoewel voorwaardelik, oor toekomstige gebeure. Figuur 1.1 stel so 'n besluitnemingsboom voor met twee natuurstate (state of nature) wat die uitkomst van plant- en oesbesluite onderskeidelik beïnvloed.

Tabel 1.1: Onsekere besluitnemingsveranderlikes in die produksieproses tydens oes en aanplanting.

Besluitnemingspunte	Onsekere veranderlikes
Voor plant:	- Dae beskikbaar vir bewerkings - Opbrengste - Produkpryse - Hoeveelheid water beskikbaar - Netto besproeiingsbehoefte - Dae beskikbaar vir stroop
Na plant:	- Opbrengste - Produkpryse - Hoeveelheid water beskikbaar - Netto besproeiingsbehoefte - Dae beskikbaar vir stroop
Voor oes:	- Produkpryse - Dae beskikbaar vir stroop
Na stroop:	-Alle onsekerhede het ontvou



Figuur 1.1: Skematiese voorstelling van 'n besluitnemingsboom met drie besluitnemingspunte om die besluite in 'n diskrete stogastiese programmeringsmodel voor te stel.

Die probleem begin met besluite by planttyd (A). Natuurstand B_1 , met 'n waarskynlikheid van P_{B_1} , word deur die volgende knoop van die besluitnemingsboom voorgestel en verteenwoordig die einde van die plantbesluite. Die hoeveelheid dae om te plant is nou bekend. Knoop B_2 , met waarskynlikheid van P_{B_2} , verteenwoordig die ander natuurstand met planttyd en het op 'n ander stel uitkomstebetrekking. By B is opbrengste, pryse, die hoeveelheid water beskikbaar, netto besproeiingsbehoefte en die hoeveelheid dae beskikbaar vir oes onseker (Tabel 1.1), maar waarskynlikhede kan vir die veranderlikes geformuleer word. Indien natuurstand B_1 realiseer, kan die uitkomst onder natuurstand B_2 nie realiseer nie. Die waarskynlikheid ($P_{B_1C_1}$ en $P_{B_1C_2}$) dat uitkomst C_1 of C_2 bereik word, is dus op voorwaarde dat B_1 gerealiseer het. In die laaste natuurstand word alle risiko's ontvou.

'n Sleutelaanname van die tipe modelle is dat sekere besluite geneem word nadat die uitkomst van 'n natuurstand bekend word (Hazell en Norton, 1986:106). Boisvert en McCarl (1990:39) beskou die tipe model as een waarin regstellende besluite geneem word. In 'n SP-model met regstelling moet die boer sekere besluite aangaande sommige van die X_j veranderlikes neem voordat die waardes van die veranderlikes realiseer. Nadat die stogastiese parameters in fase een bekend geword het, kan enige afwykings tussen die benodigdhede en beskikbare hoeveelhede deur fase twee koop- en verkoopsaktiwiteite reggestel word (Willis, 1993:64). Daar word dus aanvaar dat die hulpbronne vrylik verhandelbaar is en dat enige teenstrydigheid opgelos kan word deur koop- en verkoopsaktiwiteite in die volgende fase (Hazell en Norton, 1986:104). Implementering van die model noodsaak dat elke maandelike verandering in elke natuurstand oorweeg moet word om enige ontoelaatbare oplossings te vermy.

Van die metodes wat risiko in 'n LP-model in berekening bring, lewer SP-modelle met regstelling die bevredigendste resultate (McCarl en Spreen, 1994:14-38 en 42; Boisvert en McCarl, 1990:41-42). Alle vorme van risiko (c_j , a_{ij} , en b_i koëffisiënte) kan met die metode hanteer word, terwyl die opeenvolgende aard van besluite gemodelleer word. Laasgenoemde is die modelleringsbenadering se grootste voordeel (Hardaker *et al.*, 1991:19). Die model kan ook aangepas word om risikovermydende optredes in ag te neem. Stogastiese programmeringsmodelle met regstelling het egter twee ernstige nadele (Boisvert en McCarl, 1990:42). *Eerstens* moet risiko omtrent die riskante veranderlikes deur diskrete verdelings voorgestel word en *tweedens* lei die model aan die nadeel van omvangrykheid. Elke finale uitkomst (bv. C_3) lei tot 'n nuwe stel aktiwiteite in die tweede en vroeëre fases en 'n eenvoudige probleem kan gou tot 'n baie groot matriks lei (Boisvert en McCarl, 1990:42). Die modelle benodig dus baie data (Rae, 1971b) en verg meer ontledingstyd as die ander tipe modelle (Hardaker *et al.*, 1991:19). Anders as wat verwag word, word die modelle redelik vinnig opgelos vanweë die herhalende aard van die matriks (Hardaker *et al.*, 1991:19; McCarl en Spreen, 1994:14-42). Die komplekse aard van die probleem veroorsaak dat verskeie natuurstande in 'n DSP-model ingebou moet word om die probleem realisties te modelleer wat die omvang van die model baie vergroot. As gevolg van

bogenoemde beperkinge is DSP nie geskik vir gebruik in hierdie navorsing nie. 'n Praktiese alternatief vir DSP is KBP (Hazell en Norton, 1986:106).

1.5.2.2 Kans-beperkte programmering (KBP)

'n LP-model is kans-beperk indien sommige van die lineêre beperkings geassosieer word met 'n reeks waarskynlikheidsmaatstawwe wat die maksimum toelaatbare proporsie gee wat die gegewe beperking oorskry kan word (Willis, 1993:67). Hierdie modelleringsbenadering laat dus toe dat die beperking teen 'n sekere veiligheidsgrens oorskry kan word.

Charnes en Cooper (1959) se oorspronklike model het stogastiese aanbod van hulpbronne (b_i) as bron van risiko hanteer. Die aanname word gemaak dat die verdeling van die regterkantse waardes in die LP-model bekend is en die besluitnemer bereid is om 'n sekere onderste limiet (α) te spesifiseer waarmee die beperking oorskry kan word. Die waarskynlikheid (P) dat die beperking nie oorskry word nie moet dus groter wees as die gespesifiseerde sekerheidslimiet.

Deur Boisvert en McCarl (1990:31) te volg, kan 'n kans-beperking vir die i^{de} hulpbron as volg geskryf word:

$$P\left(\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \leq b_i\right) \geq \alpha_i \quad (1.1)$$

Indien die gemiddeld van die regterkantse waarde, μ_i , van albei kante binne die hakies afgetrek word en albei kante dan deur die standaard afwyking, σ_i , van die regterkantse waarde gedeel word, kan vergelyking (1.1) as volg omskryf word:

$$P\left\{\left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j - \mu_i}{\sigma_i}\right) \leq \left(\frac{b_i - \mu_i}{\sigma_i}\right)\right\} \geq \alpha_i \quad (1.2)$$

Die term:

$$\left(\frac{b_i - \mu_i}{\sigma_i}\right)$$

gee die aantal standaard foute wat b_i vanaf die gemiddelde afwyk. Laat Z die term voorstel. Wanneer 'n spesifieke sekerheidslimiet (α) gespesifiseer word, raak die ooreenstemmende Z waarde, Z_i^α en vergelyking (1.2) kan as volg omskryf word:

$$P \left\{ \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j - \mu_i}{\sigma_i} \right) \leq Z_i^\alpha \right\} \geq \alpha_i \quad (1.3)$$

Vergelyking (1.3) kan vervolgens as die volgende deterministiese waarde, wat net so in die LP-model gebruik kan word, omskryf:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \leq \mu_i - Z_i^\alpha \sigma_i \quad (1.4)$$

Laasgenoemde impliseer dat die hulpbrongebruik $(\sum_j a_{ij} X_j)$ kleiner moet wees as die gemiddelde hoeveelheid beskikbaar van b_i minus die standaard afwyking van b_i vermenigvuldig met Z_i^α , wat verseker dat die beperking α_i persent van die kere bevredig word. Eenvoudig gestel, beteken dit dat die regterkantse waarde van die beperking met 'n deterministiese ekwivalent, wat net so in die LP-model ingesluit kan word, vervang kan word. Die grootte van die matriks is dus gelykstaande aan dié van 'n deterministiese model.

Die waarde van Z_i^α kan op twee maniere verkry word (Boisvert en McCarl, 1990:32; McCarl en Spreen, 1994:14-26). Een metode is om aannames en hipoteses omtrent die vorm van die waarskynlikheidsverdeling te toets. Die identifikasie van die regte tipe funksie en die akkurate skatting van die geïdentifiseerde funksie vir stroomvloeï is wiskundig voordelig aangesien die berekening van die deterministiese ekwivalente vir maandelikse stroomvloeï dan voor die hand liggend is (Willis, 1993:234). Gewoonlik word die vorm van die verdeling moeilik geïdentifiseer en normaliteit kan selde aanvaar word aangesien hulpbronne nie negatief kan wees nie (Boisvert en McCarl, 1990:32). Vasstelling van die "beste" vorm van die waarskynlikheidsverdeling word baie vergemaklik deur nuwe rekenaar-tegnologie soos BestFit (Palisade Corporation, 1995). BestFit maak van Kolmogorov-Smirnof en Anderson-Darling toetse gebruik om alternatiewe statistiese funksies, waarvan die parameters deur middel van MLE (Maximum Likelihood Estimators) verkry is, teen mekaar op te weeg ten einde die beste statistiese vergelyking te identifiseer. 'n Funksie word beter as die ander geag indien sy toetsingsstatistiek kleiner is. 'n Tweede metode is om van die konserwatiewe skatting van die Chebyshev ongelykheid gebruik te maak (Boisvert en McCarl, 1990:32). Met die metode word die aanname gemaak dat die waarskynlikheid dat die waarde binne M standaard afwykings vanaf die gemiddelde lê, kleiner of gelyk aan 1 gedeel deur M^2 is.

Die grootste voordeel van 'n KBP-model is dat dit baie eenvoudig is (McCarl en Spreen, 1994:14-27). Die deterministiese ekwivalent pas die waardes van die regterkantse waarde afwaarts vanaf die gemiddeld aan sodat dit α_i persent van die kere bevredig word. In $1-\alpha_i$ persent van die kere sal die hoeveelheid hulpbronne wat benodig word die beskikbare hoeveelheid in die oplossing oorskry. Die model kan dus as een beskou word wat sekere sekerheidspeile waarborg dat die plan uitvoerbaar sal wees.

KBP is geskik om optimale plaasplanne daar te stel wat sal verseker dat daar genoeg water in die rivier is om lewende hulpbronne teen uitwissing te beskerm. In so 'n geval sal beleidmakers 'n groot waarskynlikheid kies om te verseker dat die minimum BSV-vereiste gehandhaaf word. Omgewingsbewustes koppel ook 'n waarskynlikheid aan die hoeveelheid kere wat 'n sekere lae-vloei mag voorkom om 'n minimum BSV-vereiste te handhaaf en kommunikasie tussen belangegroepes kan met die metode vergemaklik word. Die keuse van die sekerheidspeil in die model is 'n probleem op sy eie (Hardaker *et al.*, 1991:19). Verskillende peile kan egter gebruik word om sodoende die verwantskap tussen die sekerheidspeil en die inkomste/kostes te gee. Hierdie metode is ook al met groot sukses aan simulasiemodelle gekoppel (Willis, 1993; Bender, Peart, Barret, Doster en Baker, 1984). Geen voorbeeld kon in die literatuur gevind word waar 'n DSP-model aan 'n simulasiemodel gekoppel is nie. KBP is 'n eenvoudige modelleringsmetode en die enigste addisionele inligting wat benodig word, is die statistiese verspreiding van waterbeskikbaarheid (Willis, 1993:69).

Geen navorsing is al in Suid-Afrika gedoen om die vorm van die waarskynlikheidsverdeling van wisselvallige waterbeskikbaarheid te kwantifiseer en in 'n LP deur middel van KBP in ag geneem nie. Verskeie buitelandse navorsers (Keith *et al.*, 1989; Paudyal en Das Gupta, 1990; Johnson, 1993; Willis, 1993; Millan en Berbel, 1994) het al van KBP gebruik gemaak om die effek van wisselvallige waterbeskikbaarheid in ag te neem. Ten einde die deterministiese ekwivalente vir die KBP-model te bereken, is dit nodig om wisselvallige waterbeskikbaarheid met behulp van waarskynlikheidsverdelings te kwantifiseer en die vorm daarvan te bepaal.

1.6 KWANTIFISERING VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID DEUR MIDDEL VAN WAARSKYNNLIKHEIDSVERDELINGS

Volgens King (1989) kan kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van riskante veranderlikes deur middel van historiese data, subjektiewe oorwegings en deur dit af te lei, saamgestel word. Willis (1993) wys daarop dat die mediaan sowel as die vorm van die waarskynlikheidsverdeling van stroomvloei verander indien alternatiewe beleide om stroomvloei aan te vul, ontleed word. Die verdeling skuif dus nie net nie maar die statistiese eienskappe van die verdeling verander. In so 'n geval sal die prosedures wat deur Oosthuizen (1995) en Maré (1995) gebruik is om stogastiese vloeireekse vanaf historiese data te simuleer nie van pas wees nie aangesien die verandering in die statistiese eienskappe van die verdeling nie verreken word nie. Subjektiewe

waarskynlikhede van stroomvloei sal ook moeilik bepaal word vir waterbeleide wat die vorm van die waarskynlikheidsverdeling verander. Simulasie is 'n handige prosedure waardeur die effek van alternatiewe waterbeleide op die verandering in die vorm van die waarskynlikheidsverdeling gekwantifiseer kan word (Willis, 1993).

Kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings kan bepaal word deur die relatiewe frekwensies van 'n stogastiese veranderlike te sommer (Rae, 1994:280). Die waarskynlikheid op die waarskynlikheidsverdeling verteenwoordig die waarskynlikheid om 'n ooreenstemmende hoeveelheid en minder te realiseer. 'n Wiskundige funksie kan vir die waarskynlikheidsverdeling bereken word waar x die kansveranderlike en $F(x)$ die kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling is. Kumulatiewe waarskynlikhede tel altyd op na een. Vir enige ewekansig gegenereerde waarde, p waar $0 \leq p \leq 1$ is, is $F(x)=p$ en kan die ooreenstemmende waarde van x bereken word (Rae, 1994:295). Deur invers transformasie kan $F(x)=p$ na $x=f(p)$ omskryf word wat die berekening van x voor die hand liggend maak indien die funksie eers wiskundig gespesifiseer is. Indien die kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling $F(x)$ ooreenstem met 'n bekende teoretiese waarskynlikheidsverdelingvorm kan die funksie $f(p)$ presies bereken word (Rae, 1994:295). BestFit skat nie net die "beste" vorm van die verdeling nie maar outomiseer die proses van invers transformasie. Die waarde van x word dus vir enige waarde van p , waar $0 \leq p \leq 1$ is, deur die program bereken.

Die mees algemene funksies wat gebruik word om riskante waterbeskikbaarheid uit te beeld, is die normaal, lognormaal, Weibull, gamma en Gumbelfunksies (Keith *et al.*, 1989:91). Millan en Berbel (1994) het aangeneem dat die aanbod van water normaal verdeel is. Willis (1993) waarsku egter teen die gebruik van die normaalverdeling aangesien daar in sommige gevalle 'n groot waarskynlikheid aan die voorkoms van negatiewe uitkomst toegeken kan word.

Die gevolgtrekking word gemaak dat 'n hidrologiese model gebruik moet word om waarskynlikheidsverdelings van waterbeskikbaarheid te simuleer. Met die metode kan die effek van alternatiewe beleide op die vorm van die waarskynlikheidsverdeling in ag geneem word. Indien die vorm van die waarskynlikheidsverdeling bepaal kan word, is die berekening van die deterministiese ekwivalente vir die KBP-model voor die hand liggend.

Vervolgens is die gebruik van hidrologiese simulering om waarskynlikheidsverdelings van stroomvloei te simuleer, ondersoek.

1.7 DIE ACRU-MODEL

Die ACRU agrohidrologiese modelleringsstelsel het sy oorsprong in die "Agricultural Catchment Research Unit" in die Departement Landbou Ingenieurswese van die Universiteit van Natal in Pietermaritzburg en vandaar die naam ACRU (Schulze, 1995). ACRU is 'n geïntegreerde model

en dit is nie die doel om die hele model in detail te ondersoek nie. In die gedeelte word daar slegs na die algemene konsepte en werking van die model gekyk.

1.7.1 KONSEPTUELE RAAMWERK VAN ACRU

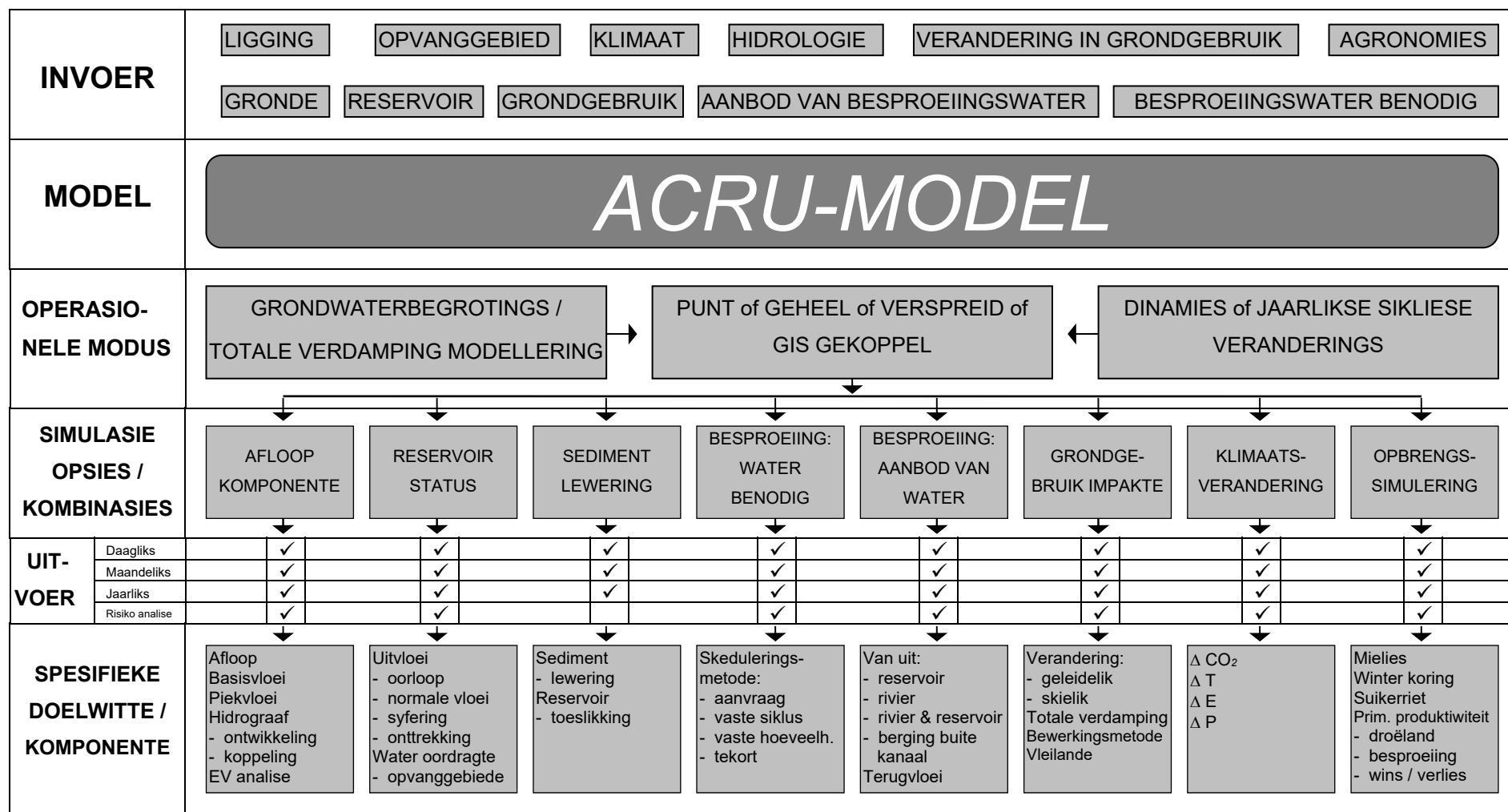
ACRU is 'n meerdoelige model met die sterkpunt dat dit die hidrologie met die vraag en aanbod van besproeiingswater vir 'n klein opvanggebied integreer. Figuur 1.2 gee die algemene komponente wat deur die model hanteer word weer. ACRU is baie buigsaam en kan onder andere die volgende fasette hanteer: afloop of stroomvloei; hoeveelheid water in 'n reservoir; verskillende metodes van besproeiingskedulering; verskillende bronne van besproeiingswatervoorsiening; opbrengssimulering vir mielies, koring en suikerriet; inter opvanggebied oordragte van water en; veranderde grondbenutting.

Reënval oefen die grootste invloed op gesimuleerde hoeveelheid afloop uit en die model maak van daaglikse reënvaldata gebruik. Ander minder sensitiewe insette byvoorbeeld temperatuur en verwysingsverdampingsaanvraag word op 'n maandelikse basis benodig en die model omskep dit deur Fourier-analise in daaglikse waardes.

Vloei van water word deur 'n daaglikse grondwaterbegroting gemodelleer en die model het ontwikkel tot 'n veelsydige totale verdampingsmodel. Die model se struktuur is van so 'n aard dat die grondwaterbegrotings baie sensitief vir veranderings in die klimaat en grondbenuttingspatrone is.

ACRU is data-intensief. Voorsiening word gemaak vir verskillende vlakke van databeskikbaarheid en die model is dus meervlakkig. Potensiële verdamping kan byvoorbeeld deur 'n reeks vergelykings bereken word, afhangend van die tipe en hoeveelheid data wat beskikbaar is.

Die model kan as 'n geheel of verspreide (lumped or distributed) model funksioneer. Indien die model as 'n verspreide model gebruik word, word die hele opvanggebied in kleiner sub-opvanggebiede opgedeel. Sodoende word voorsiening gemaak vir ruimtelike verskille in die totale opvanggebied deurdat data vir elk van die sub-opvanggebiede ingevoer moet word. 'n Dinamiese invoeropsie bestaan ook waarmee die effek van veranderde grondbenuttingspatrone oor tyd gesimuleer kan word.



Figuur 1. 2: Die konsepte van die ACRU agrohidrologiese modelleringsstelsel (Schulze, 1995: AT2-3).

1.7.2 WERKING

Indien in verspreide modus aangewend, word die hele opvanggebied in kleiner sub-opvanggebiede opgedeel. Insette word vir elke sub-opvanggebied of ACRU-opvanggebied (AO) verskaf. Met die begin van die simulاسie word die invoere van die eerste AO (AO1) ge lees en afloop word vir elk van die jare waarvoor weerdata beskikbaar is, gesimuleer. Elke AO word dus afsonderlik gemodelleer en die afloop wat uit AO1 verkry is, word by die volgende een se afloop getel om die kumulatiewe afloop vir die tweede AO (AO2) te verkry. Hierdie proses word herhaal totdat die laaste AO (AO_n) gesimuleer word. Afloop word gegenereer deur van grondwaterbegrotings gebruik te maak.

Die grondprofiel word in verskillende lae opgedeel en deur van grondwaterbegrotings gebruik te maak, kan die hoeveelheid water in elke laag bepaal word. Die hele model is gesentreer rondom dié daaglikse grondwaterbegrotings. Natuurlike plantegroei en die verbouing van gewasse oefen 'n betekenisvolle invloed op die grondwaterbegrotings uit. Laasgenoemde word deur die model in ag geneem en die model het tot 'n veelsydige totale verdampingsmodel ontwikkel. Die modelstruktuur is van so 'n aard dat dit hoogs sensitief vir veranderinge in klimaat en grondbenutting is. Reënval dring die bogrond binne deur die plant residue. Wanneer dié grondhorisont tot by veldkapasiteit met water gevul is, vind versadigde vloei na die dieper liggende horisonte plaas teen 'n spoed wat deur die grondeienskappe bepaal word. Indien die dieper liggende horisont met water gevul is, vind diep perkolاسie tot in die grondwater plaas wat weer as terugvloei deel vorm van afloop. Voorsiening word ook gemaak vir onversadigde verspreiding van water deur die grond.

Verdamping vind plaas vanaf onderskepte water voordat dit die grond binnedring of uit die verskillende grondhorisonte. Laasgenoemde word opgedeel in verdamping uit bogrond en verdamping uit die grondhorisonte in die wortelsone van plante deur middel van transpirاسie en staan gekombineer as totale verdamping bekend. Verdampingsaanvraag van die gewasse word deur atmosferiese aanvraag en die groeistadium van die gewas bepaal.

Stormafloop vind na alle ander aanvangsonttrekkings (infiltrاسie ens.) plaas en is afhanklik van die intensiteit van die storm en die status van die grondwaterbegroting. Stormafloop word verder opgedeel in die deel wat dieselfde dag en die wat as vertraagde afloop beskikbaar is.

Besproeiing oefen saam met reënval 'n betekenisvolle invloed op die grondwaterbegroting en generering van afloop uit. Die grondwaterbegroting van die besproeide oppervlakte word in vergelyking met die grondwaterbegroting van die opvanggebied in meer detail deur ACRU gesimuleer. Bogenoemde beginsels is egter ook op besproeiing van toepassing. Ten einde tred te hou met die daaglikse grondwaterbegroting is dit nodig om gewasgroei deur die verloop van die groeiseisoen te modelleer. ACRU is 'n stroomvloei-simulasiemodel en gewasgroei word

slegs op 'n eenvoudige manier gemodelleer ten einde die effek van besproeiing op stroomvloei te kan kwantifiseer. Gewasgroei word gemodelleer deur die groei van die gewas met gewasgroeiëffisiënte in verband te bring. Alhoewel die model voorsiening maak vir verskillende skeduleringsmetodes kan die mate waartoe gewaswaterstremming toegelaat kan word voordat die gewas besproei moet word nie vooraf gespesifiseer word nie.

ACRU laat toe dat gewasse uit verskillende waterbronne besproei kan word. Meer as een bron kan egter nie gelyktydig in die model vir besproeiingsdoeleindes benut word nie, behalwe wanneer water uit 'n dam in die rivier losgelaat word en besproeiing direk uit die rivier geskied. Onttrekking van water uit die rivier vind plaas op grond van die totale besproeide oppervlakte, waterbehoefte van die gewasse en die skeduleringsstrategieë wat gevolg word. Geen voorsiening word gemaak dat water na 'n spesifieke AO op grond van die hoeveelheid ingelyste oppervlakte wat geregistreer is, geallokeer kan word nie. Allokasiereëls ontbreek dus.

Die gevolgtrekking word gemaak dat ACRU geen allokasiereëls het nie. Die regmatige hoeveelheid water wat deur 'n spesifieke AO volgens die leerstelling van oewereienaarskap op grond van die hoeveelheid ingelyste oppervlakte uit die rivier onttrek kan word, kan dus nie gespesifiseer word nie. Aangesien die mate van gewaswaterstremming nie vooraf in ACRU gespesifiseer kan word nie sal die model nie gebruik kan word om die netto besproeiingsbehoefte vir 'n gegewe hoeveelheid stremming in 'n spesifieke maand te simuleer nie. Die verwantskap tussen die mate van gewaswaterstremming en die toename in watertoedieningsdoeltreffendheid wat as gevolg daarvan verkry word, sal dus nie bepaal kan word nie.

1.8 LANGTERMYN EKONOMIESE RISIKOSIMULASIE

Die hoofdoel met die gedeelte is nie om 'n detail oorsig van al die beskikbare langtermyn risikosimulasiemodelle te gee nie, maar om die plaaslik ontwikkelde FARMS-model (Firm Level Agricultural Risk Management Simulator) wat deur Meiring (1994) ontwikkel is met die FLIPSIM (Firm Level Impact Policy Simulator) model van Richardson en Nixon (1986) te vergelyk om sodoende te bepaal watter nodige aanpassings aan FARMS gemaak moet word om langtermyn simulaties uit te voer. Vir 'n oorsig van alternatiewe sagtewareprogramme vir ekonomiese ontledings met inagneming van risiko word die leser na De Vuyst, Patrick en Ortmann (1994) verwys.

FARMS is een van die mees omvattende risikosimulasiemodelle wat nog in Suid-Afrika op boerderyondernemingsvlak ontwikkel is en is al op verskeie probleme toegepas wat diversifikasie (Breytenbach, Meiring en Oosthuizen, 1996), waterbestuur (Grové, Bender en Oosthuizen, 1998), wisselbou (Botha, Meiring en Van Schalkwyk, 1999) en energiebestuur in besproeiingslandbou (Breytenbach, 1994) insluit.

Die kern van FARMS bestaan uit 'n bedryfstakbegrotingsontwikkelaar en maandelikse kontantvloeibegrotings asook finansiële state op boerderyondernemingsvlak vir een produksiejaar. Produksie- en prysrisiko word in ag geneem deur die riskante veranderlikes deur middel van die normaal-, driehoekverdeling, punte op 'n empiriese waarskynlikheidsverdeling of enkelwaardes wat die basis van 'n empiriese waarskynlikheidsverdeling vorm, te spesifiseer. In die navorsingsweergawe van FARMS, FARMS R1.0, word @Risk (Palisade Corporation, 1992) gebruik om die risikosimulasie uit te voer, terwyl die onderlinge verband tussen veranderlikes deur die spesifisering van 'n korrellasiematriks in ag geneem word. Min kennis is egter beskikbaar aangaande die proses waardeur gekorreleerde veranderlikes gegenereer kan word.

FLIPSIM is 'n boerderyondernemingsvlak herhalende risikosimulasiemodel wat jaarlikse aspekte van produksie, boerderybeleide, bemarking, finansiële bestuur, groei en inkomstebelasting vir 'n beplanningshorison van een tot tien jaar kan simuleer (Richardson en Nixon, 1986). Prosedures is ontwikkel om risikosimulasie sonder die gebruik van @RISK moontlik te maak. Met elke iterasie word die volle beplanningshorison gesimuleer deur die jaareind situasie as die begin van die volgende jaar te neem. Die gepaste inflasiekoerse word gebruik om veranderlikes soos pryse oor tyd aan te pas. As vertrekpunt word die standaard normaal vergelyking gebruik om ewekansige afwykings vanaf die gemiddelde van 'n riskante veranderlike vanuit 'n empiriese verdeling vir elke iterasie te genereer. Deur die gemiddelde van elke riskante veranderlike vir elke jaar te spesifiseer en met die persentasie afwyking te vermenigvuldig, kan sikliese veranderinge gemodelleer word. Die onderlinge verband tussen veranderlikes word deur 'n proses wat as Cholesky faktorisasie bekend staan, in ag geneem (Richardson, 1999).

'n Belangrike aspek van enige langtermyn model is die groeistrategieë wat ingesluit word. Met FLIPSIM word masjinerie, indien genoegsame kontantreserwes beskikbaar is, vervang sodra hul ekonomiese lewensduur verstryk het. In gevalle van tekorte kan vervanging met een jaar uitgestel word. Grond kan ook aangekoop of bygehuur word. Indien laasgenoemde veroorsaak dat daar te min masjinerie is om die ekstra grond te bewerk, word nuwe masjinerie aangekoop. In tye van swak kontantvloeï kan grond verkoop word en bestaande lenings herfinansier word. Deur voorafgaande groeistrategieë in die model in te sluit, word die langtermyn simulaties meer werklikheidsgetrou uitgevoer.

Die gevolgtrekking word gemaak dat die bestaande FARMS model gebruik kan word vir langtermyn simulaties indien die eindsituasie herhaaldelik as die beginsituasie van die volgende jaar gebruik word. Ontwikkeling van begrotings oor die verloop van die beplanningshorison is dus nie nodig nie. Laasgenoemde bemoeilik die gebruik van @RISK om risiko oor tyd in ag te neem aangesien die hoeveelheid uitkomst eksponensieel sal toeneem soos wat die beplanningshorison toeneem indien 'n risikosimulasie met @Risk vir elk van die

moontlike uitkomst van die vorige jaar uitgevoer word. Deur prosedures te ontwikkel wat gekorreleerde waardes genereer, kan gekorreleerde datastelle ontwikkel word wat sal verseker dat elke iterasie oor die volle beplanningshorison uitgevoer word. Ten einde die simulasies werklikheidsgetrou te hou, moet groeistrategieë in die model ingesluit word.

1.9 SAMEVATTENDE GEVOLGTREKKINGS

'n Samevatting van die belangrikste gevolgtrekkings uit die literatuurstudie word vervolgens gegee aangesien dit die navorsingsprosedures betekenisvol gerig het.

- Waterbeskikbaarheid is riskant indien daar geen beheer oor die aanbod daarvan uitgeoefen kan word nie en die hoeveelheid water nie ten tye van plant bekend is nie. Waarskynlikheidsverdelings moet dus gebruik word om die wisselvalligheid van waterbeskikbaarheid uit te beeld.
- Ten einde die handhawing van 'n BSV in ag te neem, moet waarskynlikheidsverdelings van waterbeskikbaarheid vir elke maand opgestel word.
- Bestaande prosedures om wisselvallige waterbeskikbaarheid te kwantifiseer, is gebrekkig aangesien daar met jaarlikse waterkwotas gewerk word. Verder het die meeste navorsers sensitiwiteitsontledings, wat geen aanduiding van die waarskynlike voorkoms van 'n veranderlike gee nie, gebruik om wisselende jaarlikse kwotas in ag te neem. Waar daar wel waarskynlikhede aan die voorkoms van jaarlikse waterkwotas gekoppel is, word die vorm van die waarskynlikheidsverdelings in elke maand buite rekening gelaat en sal dus nie gebruik kan word om 'n BSV in ag te neem nie.
- 'n Verhoging in watertoedieningsdoeltreffendheid kan terugvloei wat aan ander gebruikers beskikbaar is, betekenisvol beïnvloed en sal dus in berekening gebring moet word in die ontleding van 'n BSV.
- Daar moet beheer oor die mate van gewaswaterstremming uitgeoefen kan word ten einde oppervlakaanplanting van gewasse te kan beplan. Gewasgroeisimulasiemodelle wat nie die mate van gewaswaterstremming in 'n spesifieke periode vooraf kan spesifiseer nie het dus beperkte waarde in die beplanning van oppervlakaanplantings van verskillende gewasse. Die gebruik van gewasgroeisimulasiemodelle om die ekonomiese effekte van wisselvallige waterbeskikbaarheid te kwantifiseer, is verder beperkend aangesien die geleentheidskoste van water wat deur tekortbesproeiing bespaar word, buite rekening gelaat word. Prosedures wat reeds in Suid-Afrika gebruik is om die geleentheidskoste van water in berekening te bring, is ook gebrekkig aangesien die toename in

watertoedieningsdoeltreffendheid wat met tekortbesproeiing verkry word en dus die effek op terugvloei buite rekening gelaat word.

- Willis (1993) se prosedures kan gebruik word om die geleentheidskoste van water, die verhoging in watertoedieningsdoeltreffendheid wat verkry word indien die gewas tekort besproei word en dus die effek op terugvloei in ag te neem.
- Nuwe rekenaartegnologie maak die gebruik van nie-lineêre programmering meer toeganklik wat weer die gebruik van opbrengsvergelykings wat die effek van waterstremming in verskillende gewasgroeistadiums kan modelleer, moontlik maak.
- Bestaande prosedures om watermarkte met wiskundige programmeringsmodelle in Suid-Afrika te ontleed, is gebrekkig aangesien die eksternaliteite van oordragte nie in berekening gebring word nie. Optimale allokasie van water wat in sosiale belang is, kan slegs verkry word indien die effek van wateroordragte op derdepartye in ag geneem word.
- KBP is 'n geskikte metode om die ekonomiese effekte van wisselvallige waterbesikbaarheid te modelleer indien 'n BSV gehandhaaf moet word. Die modelleringsmetode verskaf sekere sekerheidspeile dat die BSV gehandhaaf sal word en kommunikasie tussen belangegroepe sal dus vergemaklik word.
- Hidrologiese simulase moet gebruik word om die waarskynlikheidsverdeling van wisselvallige waterbesikbaarheid te bepaal aangesien dit belangrik is om die invloed van alternatiewe waterbeleide op die vorm van die waarskynlikheidsverdeling in ag te neem.
- Indien die vorm van die waarskynlikheidsverdeling van waterbesikbaarheid bekend is, is die berekening van die deterministiese ekwivalente wat in die KBP-model gebruik word voor die hand liggend. Hipoteses aangaande verskillende vorms van die waarskynlikheidsverdelings van stroomvloei moet dus getoets word.
- ACRU is geskik om waarskynlikheidsverdeling van stroomvloei te simuleer. Allokasiereëls sal egter eers in die model ingebou moet word indien die interaktiewe wisselwerking van boere se optredes op stroomvloei gekwantifiseer wil word. Laasgenoemde sal ook die simulering van opbrengsverdelings vir 'n spesifieke grondbenutting en waterregtoekenning moontlik maak wat belangrike invoere vorm vir die bepaling van die langtermyn ekonomiese impakte van wateroordragte.
- FARMS kan as 'n langtermyn simulasiemodel gebruik word deur herhalende prosedures soortgelyk aan die van FLIPSIM te ontwikkel wat die eindsituasie van jaar een as die begin situasie van jaar 2 te neem. 'n Kontantvloei-begroting hoef dus nie vir die volle verloop van

die ontledingsperiode ontwikkel te word nie. Ekstra invoerskerms sal egter ontwikkel moet word vir die spesifisering van veranderlikes wat oor tyd moet verander.

- Prosedures vir die generering van gekorreleerde riskante veranderlikes sal ontwikkel moet word wat saam met die herhalende prosedures wat in FLIPSIM vervat is, gebruik kan word om risiko oor die beplanningshorison van die model te hanteer.

HOOFSTUK 2

DIE OMSKRYWING VAN DIE NAVORSINGSGEBIED **34**

2.1	ALGEMENE BESKRYWING VAN KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED	34
2.2	KEUSE VAN NAVORSINGSGEBIED	36
2.3	KLIMAAT	37
2.3.1	REËNVAL	37
2.3.2	TEMPERATUUR	37
2.3.3	VERDAMPING	38
2.4	GRONDTIPES	38
2.5	ALLOKERING VAN WATERHULPBRONNE	38
2.6	GEBRUIK VAN PLAASDAMME OM DIE EKONOMIESE EFFEKTE VAN WISSELVALLIGE WATERTEKORTE TE VERMINDER	39
2.7	BESTUURSFAKTOR	40
2.8	VERTEENWOORDIGENDE BOERDERYE	41

FIGUUR 2.1: LIGGING VAN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED EN DIE BELANGRIKSTE RIVIERSTELTEME. 35

DIE OMSKRYWING VAN DIE NAVORSINGSGBIED

In die hoofstuk word 'n algemene oorsig gegee van die navorsingsgebied in terme van die Klein Tugelarivieropvanggebied se grondtipes, allokering en opgaring van water, die bestuursfaktor en verteenwoordigende boerderye.

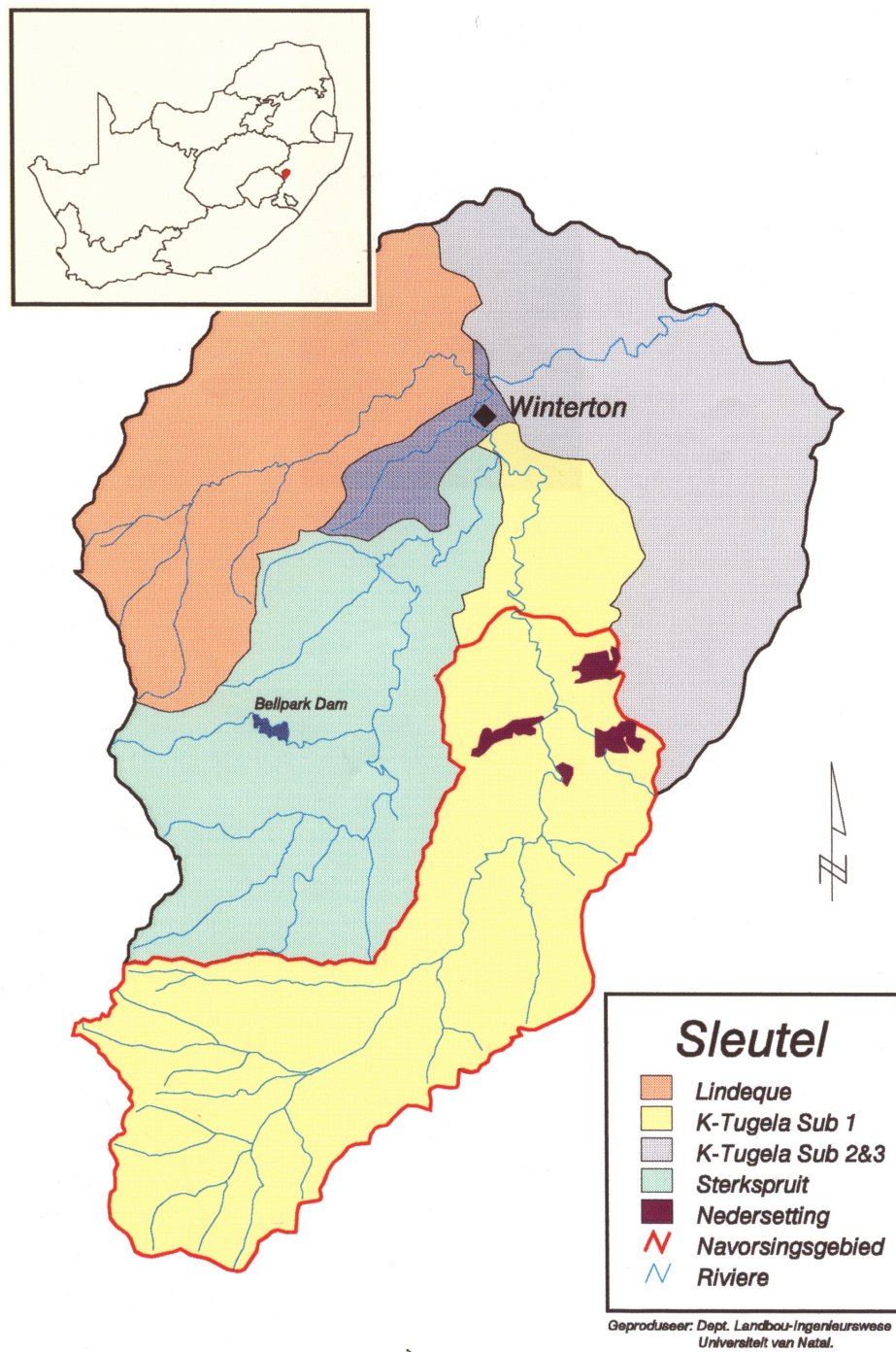
2.1 ALGEMENE BESKRYWING VAN KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGBIED

In die gedeelte word 'n algemene beskrywing van die Klein Tugelarivieropvanggebied gegee en die deel van die opvanggebied waarvoor die hidrologie gesimuleer is, word geïdentifiseer. In Figuur 2.1 word die ligging van die gebied, asook die belangrikste riviersisteme van die totale opvanggebied aangetoon.

Die opvanggebied van die Klein Tugelarivier is in Wes-KwaZulu/Natal tussen lengtegrade 29°24' tot 29°42' oos en breedtegrade 28°43' tot 29°13' suid geleë. In die suidweste grens die gebied aan Lesotho en die Drakensberg vorm die waterskeiding tussen die twee gebiede. Uit die figuur is dit duidelik dat die Lindequespruit en die Sterkspruit die belangrikste sytakke van die Klein Tugelarivier is. Hierdie twee riviere loop in die omgewing van Winterton in die Klein Tugelarivier in. Die algemene afloop van die riviere vind in 'n noordoostelike rigting plaas.

In 1985 is die eerste besproeiingsrade in die gebied gevorm om te probeer verhoed dat waterhulpbronne oorbenut word. Die Klein Tugelarivierbesproeiingsraad word in drie subeenhede verdeel, naamlik Sub 1, wat die Klein Tugelarivier suid van Winterton insluit, en Sub 2 & 3 wat die gebied noord van Winterton langs die rivier en die kanaal insluit. Die Klein Tugelarivier vorm die hoofbron van water vir die boere in Sub 1, terwyl die boere in Sub 2 & 3 afhanklik is van beide die rivier en kanaal. Hierdie raad is ook verantwoordelik vir die bestuur van die Lindequespruit. Die Lindequespruit lewer baie min afloop en geen betekenisvolle hoeveelheid besproeiing vind langs die spruit plaas nie.

Tans is daar 1 467 ha in Sub 1, 1 469 ha in Sub 2 en 929 ha in Sub 3 vir besproeiing geskeduleer met 'n totale oppervlakte van 3 865 ha. Langs die Sterkspruit is 1 799 ha geskeduleer vir besproeiing, terwyl daar langs die Lindequespruit slegs 1 061 ha geskeduleer is.



Figuur 2.1: Ligging van die Klein Tugelarivieropvanggebied en die belangrikste riviersisteme.

Toenemende probleme met wisselvallige waterbeskikbaarheid het gelei tot die konstruksie van die Bellpark Dam in die Sterkspruit. Hierdie dam het die aanbod van water vir besproeiingsboere langs die Sterkspruit tot 'n groot mate gestabiliseer en in surplusjare word 'n deel van die water aan die Klein Tugelarivierbesproeiingsraad verkoop. Geen opgaardamme is in die Klein Tugelarivier geleë nie en die boere langs die rivier word die meeste deur wisselvallige watertekorte geraak. Die Klein Tugelarivierbesproeiingsraad het reeds verskeie ontwikkelingsmoontlikhede van opgaardamme in die bolope van die Klein Tugelarivier ondersoek (Mottram, 1995). Tot op hede het geen ontwikkeling plaasgevind nie.

Ten einde wisselvallige waterbeskikbaarheid te kwantifiseer, moet waarskynlikheidsverdelings van stroomvloei gesimuleer word. Die aanvanklike navorsingsgebied wat gebruik is om die programmeringsmodelle te verifieer, is verder uitgebrei en beslaan nou die hele Klein Tugelarivieropvanggebied tot by die samevloeiing van die Sterkspruit (Sub1). Vervolgens word daar na dié gebied as die modelleringsopvanggebied (MO) verwys.

2.2 KEUSE VAN NAVORSINGSGBIED

Die Klein Tugelarivieropvanggebied het sekere eienskappe wat die ontwikkeling en toepassing van prosedures om die ekonomiese effekte van wisselvallige waterbeskikbaarheid met inagneming van BSV te modelleer, geskik maak.

Die navorsingsgebied is in die oorsprong van die Klein Tugelarivier geleë. Daar is dus geen ontwikkeling stroom-op van die navorsingsgebied wat stroomvloei kan verander en wat in berekening gebring moet word nie. Wisselvallige afloop en 'n gebrek aan opgaardamme in die bolope van die Klein Tugelarivier veroorsaak dat boere langs die rivier in vergelyking met die boere van die Sterkspruit meer dikwels probleme met wisselvallige watertekorte ondervind. Geen navorsing is al in die Klein Tugelarivier opvanggebied gedoen om die watervereistes van die omgewing te kwantifiseer nie. Die belangrikheid om prosedures te ontwikkel wat die impak van 'n beleid om 'n BSV te handhaaf, kan kwantifiseer, word benadruk. 'n Aktuele saak, wat in die toekoms meer belangrik gaan word, is die gebruik van watermarkte om water op 'n meer doeltreffende wyse tussen mededingende gebruikers en verbruikers van water te allokeer. 'n Moontlikheid bestaan ook om kapasiteitsdeling (Dudley en Musgrave, 1988) as alternatief ekonomies te ontleed.

Heelwat navorsing is reeds in die gebied voltooi en kan as inligtingsbronne vir die navorsing dien. Schulze (1989) het die gebied se hidrologie reeds met behulp van ACRU gesimuleer. Jewitt en Kienzie (1993) het die model gebruik om die optimale kapasiteite van voorgestelde damme in die Klein Tugelarivier te bepaal. 'n Wye toepassingsveld, 'n sterk ontwikkelde besproeiingsmodule en simulering van beperkte gewasse se opbrengste gee aanleiding tot die keuse van ACRU bo ander hidrologiese modelle. Botes (1994) het die waarde van meer

gesofistikeerde besproeiingsinligting vir besproeiingsboere met verskillende risikohoudings ontleed. Breytenbach (1994) het tipiese plase en besproeiingstelsels vir die gebied opgestel om alternatiewe energiebestuurstrategieë ekonomies te ontleed. Die verteenwoordigende boerderye word gebruik om die hulpbronbeperkings af te baken en word later in meer detail bespreek.

2.3 KLIMAAT

Klimatologiese faktore word aan die hand van inligting wat deur die Departement Landbou-ingenieurswese aan die Universiteit van Natal voorsien is, bespreek. Dieselfde inligting is in ACRU gebruik om die waarskynlikheidsverdelings van waterbeskikbaarheid tot by die basis van ACRU-opvanggebied 40 (AO40) langs die Klein Tugelarivier te simuleer. Verskille tussen die suidelike bergagtige dele word telkens vergelyk met die data wat gebruik is om die besproeiingsbehoefte van koring wat in die noordelike deel van die MO verbou word, te simuleer.

2.3.1 REËNVAL

Reënval is die enkele faktor wat die produksie van gewasse en afloop die meeste beïnvloed. 'n Relatiewe groot variasie kom in die gemiddelde jaarlikse reënval (GJR) oor die relatiewe klein MO van 415 km² voor. Die Drakensberg vorm 'n reënskaduwee aan Lesotho se kant waar die GJR tussen 600-800 mm varieer. Namate in 'n noordoostelike rigting beweeg word, neem die reënval eers toe waarna dit stelselmatig afneem. In die beragtige dele wissel die GJR tussen 1 000-1 400 mm, terwyl dit in die opvanggebiede met besproeiing tussen 600-1 000 mm wissel.

Die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboere en handhawing van 'n BSV word meer direk deur die verspreiding van reënval en dus afloop gedurende die jaar beïnvloed. Die gebied is in 'n somerreënvalstreek geleë en ongeveer 80% van die reënval kom tydens dié maande (Oktober tot Maart) voor. Aangesien afloop primêr deur reënval bepaal word, kan verwag word dat stroomvloei dieselfde tendens sal volg. Probleme met waterbeskikbaarheid kan dus in die wintermaande verwag word.

Droogtes kom periodiek einde Januarie en begin Februarie voor. Gedurende dié tyd is die temperatuur by hul maksimum en begin die droë bergwinde waai wat stremming op gewasproduksie plaas met gevolglike verliese in opbrengste.

2.3.2 TEMPERATUUR

Die hoogste maksimum temperatuur kom gedurende Desember, Januarie en Februarie voor, terwyl die laagste minimum temperatuur gedurende Junie en Julie voorkom. Die bergagtige dele

se gemiddelde maksimum temperatuur is ongeveer 24°C, terwyl die besproeiingsgebied se gemiddeld ongeveer 4°C hoër is. Gemiddelde minimum temperatuur daal feitlik tot zero gedurende Junie en Julie.

Lae minimum temperature gedurende die winter veroorsaak dat ryp algemeen in die gebied voorkom. Ryp kan al so vroeg as 15 Mei verwag word met swaar neerslae tot so laat as einde Julie tot vroeg Augustus. Indien ryp laat voorkom, kan dit skade aan die koring veroorsaak aangesien dit dan gedurende die blomtyd van die koring voorkom.

2.3.3 VERDAMPING

Temperatuur saam met wind, relatiewe vogtigheid en die versadigingstekort in die lug het 'n direkte invloed op verdamping vanaf 'n vrywateroppervlak. Verdamping vanuit 'n A-pan word gebruik om die potensiële evapotranspirasie-aanvraag van gewasse te bepaal. Jaarlikse A-pan verdamping van die besproeiingsgebied is oor die algemeen hoër as in die berge. In die wintermaande wanneer reënval en temperature oor die algemeen baie laag is, neig die verdamping om dieselfde te wees vir die twee gedeeltes. Aansienlike verskille kom egter in die somer voor. Weeklikse gemiddelde verdamping wissel tussen 6.8 mm/dag in Januarie en 3.1 mm/dag in Junie. Hierdie relatief lae aanvraag word weerspieël in die ontwerpkapasiteite van besproeiingstelsels wat tussen 5.1 en 6.8 mm/dag lê.

2.4 GRONDTIPE

Oor die algemeen kan die gebied in of 'n Hutton of 'n Avalon tipe grond ingedeel word, alhoewel daar beperkte hoeveelhede Clovelly, Griffin, Westleigh, Longlands en Estcourt grondvorme voorkom. Besproeiing vind egter hoofsaaklik op die Hutton en Avalon gronde plaas. Marginale grondsoorte, soos Griffin, Westleigh, Longlands en Estcourt kom egter meer gereeld in die suide voor. In die noordelike dele is die kleipersentasies oor die algemeen hoër as in die suide. Kleipersentasies wissel tussen 25% tot 55%. Die diverse aard van die gronde maak grondvoorbereiding, plant en besproeiingskedulering baie gekompliseerd.

2.5 ALLOKERING VAN WATERHULPBRONNE

In die toekoms sal die nuwe Nasionale Waterwet (No. 36 van 1998) die benutting van water in Suid-Afrika bepaal. Ten einde die wet te implementeer moet waterverbruik geregistreer word. Sodoende kan bepaal word hoeveel water deur 'n spesifieke verbruiker in 'n spesifieke geografiese gebied benut word. Nadat alle gebruike geregistreer is, sal die gebruike gelisensieer word. Dié lisensie is 'n wetlike dokument wat die houer daarvan die reg gee om water binne die terme en voorwaardes daarvan te benut. Aangesien die proses nog nie afgehandel is nie word die wette en regulasies wat tot en met 1998 van krag was en tot op hede

nog gebruik word om water volgens die leerstelling van oewereienaarskap te allokeer in die navorsing gebruik.

Soos reeds aangedui vorm die Lindequespruit en die Sterkspruit die belangrikste sytakke van die Klein Tugelarivier. Gesamentlik vorm die riviere die hoofbron van water vir besproeiingsboere in die Wintertongebied. In die somermaande dra reënval betekenisvol by tot die gewasse se waterbehoefte en gevolglik is die beskikbare riviervloei gewoonlik voldoende om in die verbruik te voldoen. Vanweë lae afloop in die wintermaande moet die boere koring vir die volle groeiseisoen besproei. Lae reënval en die besproeiingsdruk wat op die rivier uitgeoefen word, veroorsaak dat tekorte in die winter algemeen is.

Tekorte in die winter noodsaak die bestuur van wisselvallige tekorte en in 1992 is 'n waterfiskaal vir dié doel in die Klein Tugelarivierbesproeiingsgebied aangestel. Watervlakke word alleenlik tydens tekorte gemonitor en geallokeer (Schlanders, 1996). Vroeër is stroomvloei op 'n weeklikse basis aan die basis van AO9 gemeet. Vanweë ou strukture is die meetstasie nie baie akkuraat nie wat die allokasie van water bemoeilik. Onlangs is die meetstasie na die eerste plaas langs die Klein Tugelarivier by basis van AO40 verskuif. Gemete stroomvloei word met 'n faktor aangepas om voorsiening te maak vir verdamping, moontlike addisionele afloop en enige ander verliese ten einde die beskikbare hoeveelheid water wat tussen die besproeiingsboere verdeel moet word, te bepaal. Hierdie faktor word op die ondervinding van die waterfiskaal gegrond. Nadat die totale beskikbare hoeveelheid besproeiingswater bepaal is, word dit volgens die leerstelling van oewereienaarskap proporsioneel tussen die boere verdeel op grond van die hoeveelheid ingelyste oppervlakte wat elke boer geregistreer het, verdeel. Laasgenoemde veroorsaak dat water tydens tekorte proporsioneel tussen besproeiingsboere verdeel word.

Ondergrondse water is van 'n goeie kwaliteit. Daar is egter geen boorgat wat sterk genoeg is sodat dit vir besproeiing aangewend kan word nie. Boorgatwater word hoofsaaklik vir huishoudelike gebruike en veesuiplings gebruik.

2.6 GEBRUIK VAN PLAASDAMME OM DIE EKONOMIESE EFFEKTE VAN WISSELVALLIGE WATERTEKORTE TE VERMINDER

Wisselvallige waterbeskikbaarheid veroorsaak dat wisselvallige watertekorte in die wintermaande voorkom. 'n Opname is in 1996 aangaande die besproeiingsbestuurspraktyke van besproeiingsboere in die Wintertongebied uitgevoer. Resultate van die opname het getoon dat plaasdamme deur 67% van die boere as belangrike strategie beskou word om te verseker dat genoeg water beskikbaar is om aan die gewasse se waterbehoefte te voldoen, terwyl 71% van die boere 'n verdere behoefte daaraan het. Ongeveer die helfte (48%) van die boere se damme het nie aan die einde van die reënseisoen genoeg water om aan die gewasse se behoeftes te voldoen nie en 'n "buffer" hoeveelheid water word uit die rivier in die dam gepomp.

Indien verwag word dat die beskikbare hoeveelheid water minder as vir 'n normale jaar sal wees, verminder 47% van die boere hul oppervlakte om te verseker dat daar genoeg water vir die verboude gewasse is, terwyl 28% van die boere die praktyk slegs gedeeltelik toepas. Ses en sestig persent van die boere het 'n behoefte getoon om die praktyk meer gereeld toe te pas. Plaasdamme blyk dus 'n belangrike bestuurshulpmiddel te wees wat deur boere gebruik word om die impak van wisselvallige waterbeskikbaarheid te verminder. Die gebruik van plaasdamme sal dus as alternatiewe strategie saam met tekortbesproeiing en 'n verhoging in watertoedieningsdoeltreffendheid ontleed word.

2.7 BESTUURSFAKTOR

Hierdie afdeling word aan die hand van 'n opname wat deur Kühne en Oosthuizen (1994) uitgevoer is, bespreek. Ongeveer die helfte (52%) van die besproeiingsboere in die Wintertongebied het 'n ouderdom wat tussen 30-50 jaar wissel. Tien persent van die boere is jonger as 30 jaar, terwyl 38% 50 jaar en ouer is. Ses en twintig persent van die boere het 10 jaar of minder boerdery-ondervinding terwyl die grootste groep (32%) boere tussen 10 en 20 jaar ondervinding het. Twee en veertig persent van die boere het meer as 20 jaar boerdery-ondervinding. Die boere is goed opgelei en 64% van die boere het tersiêre opleiding ontvang. Slegs 4% van die boere het nie gematrikuleer nie. Oor die algemeen is boere se bestuursvermoë volgens Burger (1971) se bestuursaanleg skaal gemiddeld, terwyl 17% van die boere se bestuursvermoë goed is en 44% van die boere se bestuursvermoë ruimte vir verbetering laat.

Beoordeel volgens die bestaande besproeiingsbestuurskennis, is die praktyke ten opsigte van beplanning, innovering en beheer, organiserings, personeel, grondbewerking en gewasverbouing, besproeiingskedulering, besproeiingstelselgebruik, asook finansiering en bemaking nog nie op die peil van gevorderdheid wat nodig is nie. Daar is verskeie praktyke (beplanning, organiserings, personeel, grondbewerking asook water- en besproeiingstelselgebruik) wat beduidend saamhang met minder besproeiingsprobleme in 'n onderneming wat nog nie in 'n voldoende mate in gebruik is by boere in die Wintertongebied nie. Die volledige besonderhede verskyn in Bylae A.

Optimering van wins word deur 45% van die boere in die Wintertonbesproeiingsgebied as motief gebruik om te boer, terwyl ongeveer 30% dit as geringe of geen motivering beskou het nie. Minimalisering van risiko is 'n belangrike doelwit wat deur 64% van die boere onderskryf word. Kans-bepaalde programmering kan dus gebruik word om die risiko te minimaliseer aangesien sekere veiligheidsvlakke gewaarborg word dat 'n plan uitvoerbaar sal wees. Die keuse van die sekerheidspeil is egter 'n probleem op sy eie (Hardaker *et al.*, 1991:19) en sal beïnvloed word deur die boere se risikohouding. Ten einde risiko te minimaliseer, is dit belangrik om te weet watter risikobronne deur die boere as die belangrikste geag word.

Besproeiingsboere beskou, in volgorde van belangrikheid, die koste van bedryfsinsette, weerwisselvallighede, produsentepryse en beskikbaarheid van besproeiingswater as die belangrikste risikobronne (Kühne en Oosthuizen, 1994). Boere het 'n gemiddelde waarde van 3.875 met 'n standaard afwyking van 1.468 op 'n vyfpunt-skaal vir laasgenoemde aangedui waar vyf op baie belangrik en drie op redelik belangrik dui. Die relatief hoë standaard afwyking dui daarop dat boere nie baie eensgesind is oor beskikbaarheid van besproeiingswater as risikobron nie. Waterbeskikbaarheid is egter meer wisselvallig langs die Klein Tugelarivier in vergelyking met die Sterkspruit en besproeiingsboere langs die Klein Tugelarivier sal dus die risikobron as meer belangrik ag. Verskeie boere maak van plaasdamme gebruik om die effek van wisselvallige waterbeskikbaarheid te verswak en boere met groot damme sal wisselvallige waterbeskikbaarheid as 'n minder belangrike risikobron beskou.

Botes, Bosch en Oosthuizen (1994:378) het gevind dat die meeste besproeiingsboere in die Wintertonbesproeiingsgebied risikoneutraal is. Verskeie van die boere is egter sterk risikosoekend en risikovermydend. 'n Risikovermydende persoon sal nie tekortbesproeiing toepas nie aangesien die risiko van vogstremming en gevolglike verlaging in opbrengste toeneem indien water wat deur tekortbesproeiing bespaar word, gebruik word om groter oppervlakte te besproei. So 'n persoon sal eerder meer water aan die gewas toedien om sodoende die waarskynlikheid van stremming en opbrengsverliese te minimaliseer. Aangesien die meeste van die boere risikoneutraal en risikosoekend is, kan die meeste boere hulle dus vereenselwig met die resultate wat vir tekortbesproeiing bepaal word.

2.8 VERTEENWOORDIGENDE BOERDERYE

Breytenbach (1994) het nege verteenwoordigende boerderye (VB) vir die Wintertonbesproeiingsgebied saamgestel om energiebestuurstrategieë ekonomies te ontleed. Die geformuleerde verteenwoordigende boerderye is vervat in 'n finale verslag aan die Waternavorsingskommissie (Oosthuizen, Botes, Bosch en Breytenbach, 1995). Die GIS-databasis wat vir die Klein Tugelarivieropvanggebied opgetel is, is gebruik om die vastehulpbronne van elke AO te identifiseer. Sodoende kon elk van die nege AO's aan 'n VB toegedeel word. Al nege die AO's het in VB5 of VB6 geval en 'n kort oorsig van die twee verteenwoordigende boerderye word vervolgens gegee.

VB5 bestaan uit 100 ha besproeiingsgrond waarvan 60 ha met spilpunte en 40 ha met handlyne besproei word. VB6 is veel groter en bestaan uit 200 ha besproeiingsgrond wat in 170 ha spilpunte en 30 ha handlyne opgedeel kan word. Die netto toedieningskapasiteit van die spilpunte wissel tussen 5.1 mm/dag en 6.8 mm/dag. Mielies en sojabone is die belangrikste gewasse wat in die somer onder spilpunte verbou word, terwyl koring in die winter verbou word. Die handlyne word uitsluitlik vir die verbouing van aangeplante weiding benut.

Genoeg water is in die somer vir besproeiing beskikbaar en die handhawing van 'n BSV sal geringe indien enige kostes vir besproeiingsboere veroorsaak. In die wintermaande is reënval en afloop min en gevolglik kom watertekorte algemeen voor. As gevolg van gebrekkige reënval word koring ten volle besproei en word 750 mm.ha water toegedien. Weens 'n gebrek aan modelle en inligting om die netto besproeiingsbehoefte en die effek van watertekorte op die produksie van weidingsgewasse te kwantifiseer, word slegs koring in die ontledings in berekening gebring.

Weens die keuse van twee VB'e met koring onder spilpuntbesproeiing en die gevolglike uitlating van handlynstelsels (Bylae B) en daaruit voortvloeiende ekonomiese en risiko ontledings op geheelondernemingsvlak (Bylae C en D), is dit beter vir verslagdoeleindes om hierdie bykomende navorsing as bylaes in te sluit.

HOOFSTUK 3

PROSEDURES VIR DIE BEPALING VAN DIE EKONOMIESE KOSTE VIR DIE HANDHAWING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING ONDER TOESTANDE VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID

43

3.1	SIMULERING VAN STROOMVLOEI-WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS	44
3.1.1	GEBRUIK VAN ACRU	44
3.1.1.1	ACRU-opvanggebiede	44
3.1.1.2	Reënval	45
3.1.1.3	Potensiële verwysingsverdamping	45
3.1.1.4	Grond	46
3.1.1.5	Grondbenutting	46
3.1.1.6	Stroomvloeikoëffisiënte	46
3.1.1.7	Data-invoer	47
3.1.2	SIMULERING VAN STROOMVLOEI EN DATAVERWERKING	47
3.2	DETERMINISTIESE EKWIVALENTE VIR DIE KANS-BEPERKTE PROGRAMMERINGSMODEL MET INAGNEMING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING	48
3.3	GEWASBESPROEIINGSBEHOEFTE	50
3.4	MODELLERING VAN TEKORTBESPROEIING	54
3.4.1	TEKORTBESPROEIING EN MAKSIMUM TOELAATBARE STREMMING	54
3.4.2	TEKORTBESPROEIING EN TOENAME IN WATERTOEDIENINGSDOELTREFFENDHEID	58
3.4.3	KOSTEVERLAGING	61
3.5	CCODI (CHANCE CONSTRAINT OPTIMISING DEFICIT IRRIGATION) - PROGRAMMERINGSMODEL	63
3.5.1	DOELFUNKSIE	64
3.5.2	BEPERKINGS	65
3.5.2.1	Grond	65
3.5.2.2	Gewaswaterverbruik	66
3.5.2.3	Waterbalans	67
3.5.2.4	Opbrengste	69
3.5.2.5	Kosteverlaging	70
3.5.3	BEREKENING VAN KOEFFISIËNTE VIR AANGEPASTE WATERTOEDIENINGSDOELTREFFENDHEID EN WERKING VAN DIE KUNSMATIGE BESPROEIINGSAKTIWITEIT	70
3.6	CCMARK-PROGRAMMERINGSMODEL	73
3.6.1	WATERREGAANDEELOORDRAGTE	74
3.6.2	ALLOKASIE VAN WATER	75
3.7	BEREKENING VAN DIE EKONOMIESE KOSTE VIR BOERE	78

3.7.1	IDENTIFISERING VAN DIE BASIS SITUASIE VIR CCODI-MODEL	79
3.7.2	IDENTIFISERING VAN DIE BASIS SITUASIE VIR CCMARK-MODEL.....	81
3.8	ONTWIKKELING VAN PROSEDURES VIR LANGTERMYN RISIKOSIMULASIE MET FARMS	81
3.8.1	LANGTERMYN DETERMINISTIESE MODEL.....	81
3.8.2	PROSEDURES VIR DIE HANTERING VAN RISIKO	82
3.8.3	VERVANGING VAN MASJINERIE	87

FIGUUR 3.1: GRAFIESE VOORSTELLING VAN DIE WEIBULLVERDELING SE KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELING VIR SEPTEMBER SE ALLOKEERBARE STROOMVLOEI VIR BESPROEINGSBOERE IN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED MET 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING VAN 600 000 M³/MAAND.	49
---	-----------

FIGUUR 3.2: VERGELYKING TUSSEN KORING SE NETTO BESPROEINGSBEHOEFTE OOR TOESTANDE VAN GEEN STREMMING EN 'N MAKSIMUM STREMMING VAN 20% ($PSV_j=0.8$) EN 50% ($PSV_j=0.5$) ONDERSKEIDELIK IN ACRU-OPVANGGEBIED 78.	58
--	-----------

FIGUUR 3.3: GRAFIESE VOORSTELLING VAN DIE VERWANTSAP TUSSEN WATER-TOEDIENINGSDOELTREFFENDHEID EN MAKSIMUM TOELAATBARE TEKORTBESPROEING ($1-PSV_j$) BY VERSKILLENDE DOELTREFFENDHEIDSPELE OOR TOESTANDE VAN GEEN STREMMING ($\epsilon_{V_{IT}}$) VIR ACRU-OPVANGGEBIED 78.	61
--	-----------

FIGUUR 3.4: KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN OPBRENGSTE OOR TOESTANDE VAN RISIKANTE WATERBESKIKBAARHEID VIR 'N VASTE OPPERVLAK VAN 103 HA, 67 HA EN 47 HA ONDERSKEIDELIK IN ACRU OPVANGGEBIED 78 MET 'N PLAASDAM.	80
--	-----------

TABEL 3.1 OPSOMMENDE STATISTIESE MAATSTAWWE VAN GESIMULEERDE NETTO BESPROEINGSBEHOEFTE VIR KORING IN NEGE VERSKILLENDE ACRU-OPVANGSGEBIEDE BINNE DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED.	52
---	-----------

TABEL 3.2: ILLUSTRERING VAN DIE WERKING VAN DIE KUNSMATIGE BESPROEINGSAKTIWITEIT DEUR MIDDEL VAN 'N NUMERIESE VOORBEELD VIR EEN HEKTAAR KORING.	73
--	-----------

TABEL 3.3 PERSENTASIE AANDEEL VAN ELKE SUB-OPVANGGEBIED IN TERUGVLOEI ($RFALLO_{RF,A}$) VIR HIPOTETIESE VOORBEELD MET VIER SUB-OPVANGGEBIEDE.	78
---	-----------

TABEL 3.4: VERGELYKING TUSSEN GESTELDE EN GESIMULEERDE KORRELASIE MATRIKSE VIR 150 ITERASIES	86
---	-----------

**PROSEDURES VIR DIE BEPALING VAN DIE EKONOMIESE KOSTE
VIR DIE HANDHAWING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOR-
SIENING ONDER TOESTANDE VAN WISSELVALLIGE
WATERBESKIKBAARHEID**

Ten einde die ekonomiese koste vir boere by toenemende sekerheidspeile om 'n binnestroomvloeivoorsiening (BSV) te handhaaf, te bepaal, moet die volgende stappe uitgevoer word. *Eerstens* moet die wisselvalligheid van waterbeskikbaarheid gekwantifiseer word. Waarskynlikheidsverdelings wat met ACRU gesimuleer is, word vir die doel gebruik. *Tweedens* moet deterministiese ekwivalente inaggenome 'n BSV vir die kans-beperkte programmeringsmodel (KBP-model) gespesifiseer word. Hierdie deterministiese ekwivalente sal verseker dat die optimale boerderyplanne wat met die KBP-model bepaal word nie meer water uit die rivier onttrek as wat benodig word om die BSV teen 'n sekere waarskynlikheidspeil te handhaaf nie. Die *derde* stap is om optimale boerderyplanne vir alternatiewe waterbestuurstrategieë met die KBP-model te bepaal. Die alternatiewe waterbestuurstrategieë wat ontleed word, sluit tekortbesproeiing, verhoging in water toedieningsdoeltreffendheid, opberging van water en wateroordragte in. Ontwikkeling van prosedures om die alternatiewe waterbestuurstrategieë te modelleer, word gekompliseer deur wisselvallige watertekorte wat voorkom. Die prosedures om die komplekse gevolge van tekortbesproeiing (verandering in opbrengste, opbrengs- en besproeiingsveranderlike koste en watertoedieningsdoeltreffendheid) binne 'n programmeringsraamwerk te modelleer, word volledig uiteengesit. Die ekonomiese koste vir boere verbonde aan die handhawing van 'n BSV word as netto geleentheidskoste gekwantifiseer deurdat die besproeiingsboere nie meer dieselfde hoeveelheid hektaar onder toestande van geen stremming as voorheen kan besproei nie. As *vierde* stap moet die basis situasie waarvan die geleentheidskoste bereken word, bepaal word. *Laastens* moet die bruto marges van die optimale boerderyplanne wat met die KBP-model verkry is van die basis situasie afgetrek word om die netto geleentheidskoste te bepaal. 'n Tekortkoming van voorafgaande prosedures is dat dit die langtermyn aard van byvoorbeeld wateroordragte buite rekening laat. Prosedures om die langtermyn, ekonomiese effek van wateroordragte uit te wys, word ook in die gedeelte bespreek.

3.1 SIMULERING VAN STROOMVLOEI-WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS

Waarskynlikheidsverdelings van stroomvloei is met behulp van ACRU (Schulze, 1995) gesimuleer en gebruik om die wisselvalligheid daarvan uit te beeld. ACRU is 'n meervlakkige model wat vir verskillende vlakke van databeskikbaarheid voorsiening maak. Vervolgens word die prosedures uiteengesit om die waarskynlikheidsverdelings met ACRU te simuleer.

3.1.1 GEBRUIK VAN ACRU

3.1.1.1 ACRU-opvanggebiede

Die Klein Tugelarivieropvanggebied is gediversifiseer ten opsigte van grondbenutting. ACRU word dus as 'n verspreide model gebruik ten einde voorsiening te maak vir die ruimtelike verskille wat in die opvanggebied voorkom. Die eerste stap is om die waterskeiding van die tersaaklike opvanggebied te bepaal. Vervolgens is die groter opvanggebied in kleiner ACRU-opvanggebiede (AO'e) op grond van topografiese verskille onderverdeel. Hierdie proses is grootliks subjektief van aard en afhanklik van die spesifieke doel waarvoor die simulaties uitgevoer word. Indien hidrologiese inligting op 'n spesifieke plek byvoorbeeld 'n meetstasie of 'n dam verlang word, moet die AO se grens so bepaal word dat die basis daarvan by die spesifieke punt is. Elke AO moet verder ook redelike homogene aflopeienskappe vertoon.

Aanvanklik is 46 AO'e vir die totale opvanggebied vanaf 1 : 50 000 topografiese kaarte geïdentifiseer, afgetas en op 'n geografiese inligtingstelsel (GIS) gestoor. Stroomvloei is tot by die eerste AO met besproeiing (AO12) gesimuleer en gebruik om die KBP-model op plaasvlak te verifieer en tekortkominge van ACRU te identifiseer. 'n Gebrek aan prosedures in ACRU om die wateronttrekking van 'n spesifieke AO ooreenkomstig sy waterreg te beperk, het daartoe gelei dat die effek van wisselvallige waterbeskikbaarheid op opbrengste nie korrek gemodelleer word nie. Laasgenoemde het aanleiding daartoe gegee dat Lecler (1998) 'n navorsingsweergawe van ACRU ontwikkel het wat die allokasie van water na elke AO moontlik maak. Ten einde voorsiening te maak vir die diversifiteit in watervoorsieningsmetodes en die allokasie van water te vergemaklik, is besluit om AO'e met besproeiing op grond van watervoorsieningsmetodes en die hoeveelheid geallokeerde waterregte te klassifiseer. Laasgenoemde het veroorsaak dat van die bestaande AO herverdeel moes word. Op aanbeveling van Lecler (1998) is verder besluit om aparte AO'e vir elke grondbenutting te spesifiseer eerder as om 'n geweegde gemiddelde vir 'n groter AO te gebruik. Gevolglik is daar 100 AO'e gespesifiseer waarvan nege vir die verbouing van koring gebruik word.

Nadat die AO'e gespesifiseer is, word die vloei rigting van die rivier gespesifiseer deur telkens vir die model aan te dui watter AO se afloop in die volgende AO inloop.

Invoer moet vervolgens vir elk van die AO'e verwerk en ingevoer word.

3.1.1.2 Reënval

Reënval is die belangrikste invoer aangesien dit die hoeveelheid afloop meer as enige ander veranderlike beïnvloed. ACRU maak gebruik van die “drywer stasie” beginsel om elke AO van klimatologiese inligting te verskaf. Indien verskillende weerstasies gebruik word, moet ooreenstemmende rekordlengtes beskikbaar wees ten einde stroomvloeï vir die hele opvanggebied te simuleer.

Die databasis van die Rekensentrum vir Waternavorsing (RSWN) in Pietermaritzburg is met behulp van die rekenaar geskandeer om alle weerstasies in en om die gebied te identifiseer. Uit die stasies is dié met die langste ooreenstemmende rekords gekies. Aangesien stroomvloeï aanvanklik eers net tot by die eerste AO met besproeiing gesimuleer is, word daar dus minder drywerstasies benodig as wanneer die totale Klein Tugelarivieropvanggebied gesimuleer word. Gevolglik is daar slegs 17 jaar se ooreenstemmende weerdata beskikbaar indien die totale opvanggebied gemodelleer word teenoor 31 jaar se data indien die opvanggebied tot by die eerste AO met besproeiing gemodelleer word. 'n Weerstasie is vervolgens aan elke AO op grond van die stasie se ligging, hoogte bo seevlak en gemiddelde jaarlikse reënval (GJR) in vergelyking met die van die AO toegewys.

Die GJR vir elke AO is met GIS bepaal deur die minuut-by-minuut GIS rooster van GJR oor die GIS gestoorde databasis van die opvanggebied te plaas. Deur die prosedure te volg, is vyf stasies gekies om die AO'e met reënvaldata te voorsien.

Ten einde 'n meer realistiese voorstelling van reënval in elke AO te verkry, is die mediaan vir maandelikse reënval vir elke AO met GIS bepaal. Hierdie waardes is vervolgens gebruik om 'n korreksiefaktor vir elke AO uit te werk waarmee reënval van die weerstasie vir gebruik in die spesifieke AO aangepas is.

3.1.1.3 Potensiële verwysingsverdamping

ACRU maak gebruik van verdamping uit 'n A-pan as aanduiding van die atmosferiese aanvraag wat gebruik word om die waterbehoefte van plante te bepaal. Verskeie opsies is in ACRU beskikbaar om potensiële verwysingsverdamping te beraam. Weens 'n gebrek aan inligting oor windspoed en straling het Lecler (1996) aanbeveel dat die gemiddelde maandelikse A-pan verdampingsyfers vanaf die databasis van die Departement Landbou-ingenieurswese aan die Universiteit van Natal (DLIN) as invoer gebruik moet word. Hiermee saam is die gemiddelde minimum en maksimum temperature vir elke AO vanaf die DLIN verkry en ingevoer.

3.1.1.4 Grond

Koëffisiënte vir versadigde vloei, porositeit, verwelkpunt en veldkapasiteit vir die verskillende horisonte, asook die diepte van die horisonte waarin wortels voorkom en die kritiese gronddiepte wat die hoeveelheid stormafloop bepaal, word benodig om die grondwaterbegroting in ACRU te modelleer.

Grondinligting is vanaf die Instituut van Grondwater en Klimaat verkry en net so gebruik.

3.1.1.5 Grondbenutting

Grondbenutting het 'n betekenisvolle invloed op die daaglikse grondwaterbegroting deurdat dit die hoeveelheid water wat uit die grond verdamp en deur die plant verbruik word, bepaal. Koëffisiënte vir elke tipe van grondbenutting word vir gewasgroei, blaarindeks, hoeveelheid water wat plante tydens reën onderskep en die proporsie van die wortels in die bogrond benodig. Die effektiewe gronddiepte, wat bepaal hoe diep die wortels die grond kan binnedring, moet ook vir elke AO gespesifiseer word.

Verskillende tipes van grondbenutting is vanaf die nuutste beskikbare 1 : 50 000 topografiese en 1 : 10 000 ortofoto's vir elke AO geïdentifiseer. Met 'n besoek aan die Klein Tugelarivieropvanggebied is die inligting geverifieer. Hierdie inligting is vervolgens afgetas en op GIS gestoor.

'n Versuimwaarde is gebruik om die effektiewe diepte wat die gewasse se wortels die grond kan binnedring, te spesifiseer. Indien die versuimwaarde gekies word, word die diepte aan die diepte van die A- en B-horisonte gelyk gestel. Die res van die koëffisiënte is uit 'n databasis, wat met die verloop van tyd vir verskillende tipes van grondbenutting saamgestel is, verkry. Hierdie koëffisiënte is saam met Schulze (1996) aangepas ten einde die spesifieke omstandighede van die gebied te weerspieël.

3.1.1.6 Stroomvloei koëffisiënte

'n Reeks koëffisiënte word benodig om die generering van stroomvloei te beheer. Die deel van reënval wat dieselfde dag afloop en deel vorm van stroomvloei, die effektiewe gronddiepte wat gebruik word in die grondwaterbegroting om stormafloop te bereken en die deel van die grondwater wat as vertraagde vloei op 'n spesifieke dag deel vorm van stroomvloei moet gespesifiseer word. Hiermee saam moet koëffisiënte gespesifiseer word wat afloop vanaf oppervlakte wat geen infiltrasie toelaat, modelleer. 'n Voorbeeld van so 'n oppervlakte is 'n huis se dak.

Ten einde die omvang van bogenoemde koëffisiënte te bereken, is van Jewitt en Kienzle (1993) se data en versuimwaardes gebruik gemaak.

3.1.1.7 Data-invoer

Data-invoer geskied deur middel van 'n nutsprogram die "menu bouer". Aangesien ACRU verskillende vlakke van inligting kan hanteer, word die gebruiker telkens gevra watter vlak van inligting beskikbaar is. Invoer geskied net vir die vlak van inligting wat beskikbaar is. Indien die model as 'n verspreide model aangewend word, is die proses tydsam aangesien koëffisiënte vir elk van die AO'e gespesifiseer moet word. Vanweë die vermeerdering in die hoeveelheid AO'e waarvoor data ingelees moes word, het Lecler (1999) prosedures wat die invoer van data vanaf spreivelle en die oorspronklike klimatologiese datalêers hanteer vir gebruik in die navorsing ontwikkel.

3.1.2 SIMULERING VAN STROOMVLOEI EN DATAVERWERKING

Nadat alle data ingevoer en vir korrektheid gekontroleer is, kan die simulase geaktiveer word. Die opsie om die gesimuleerde stroomvloeivaardes van AO9 met die waargenome waardes te oorskryf, is vir AO9 gekies. Met die opsie word die afloop van AO9 vir die hele periode waarvoor weerdata beskikbaar is, gesimuleer. Die gesimuleerde waardes word vervolgens deur waargenome data in die jare waarvoor waargenome data beskikbaar is, oorskryf voordat die afloop van AO9 in AO10 inloop. Tien jaar se waargenome stroomvloei is by stuwal V1M38A aan die basis van AO9 beskikbaar wat in die simulase gebruik is. Die opsie om die gesimuleerde stroomvloei van AO9 met die waargenome stroomvloei te oorskryf, is gekies omdat die oppervlakte van die grootste stroom-op AO vanaf AO9 130 km² beslaan, terwyl die voorgestelde oppervlakte van 'n AO nie 30 km² moet oorskryf nie (Smithers en Schulze, 1995:AM1-5).

Deur die gesimuleerde waardes met die historiese data te oorskryf, word verseker dat die afloop wat die sisteem binnegaan, korrek is. Gebruik van historiese stroomvloei is geregverdig deurdat AO9 in die berge geleë is en geen ontwikkeling stroomop van stuwal V1M38A beplan word nie. Die gemete waardes by V1M38A sal dus nie deur nuwe ontwikkelings of beleide beïnvloed word nie en is dus die beste invoer vir die model.

Nadat die opsie gekies is om die gesimuleerde waardes vir AO9 met die historiese stroomvloei te oorskryf, is stroomvloei vir die totale opvanggebied gesimuleer. 'n Afvoerlêer met 'n tydreeks van maandelikse afloop in millimeter per eenheidoppervlakte is met die afvoernutsprogram van ACRU geskep en in die Excel (Microsoft Corporation, 1994) spreivel ingevoer. Die data is na kubieke meter waardes omgeskakel deur die afloop in verband te bring met die oppervlakte van

die opvanggebied wat bydra tot stroomvloeitot by AO40. Nadat die data gesorteer is sodat elke maand se gesimuleerde waardes onder mekaar is, is die data in BestFit (Palisade Corporation, 1995) ingevoer ten einde die algemene statistiese maatstawwe van die empiriese stroomvloeivaarskynlikheidsverdelings te bepaal. AO40 se stroomvloeitot is gebruik aangesien dit tans dien as basis vir die allokasie van water in die Klein-Tugelarivier.

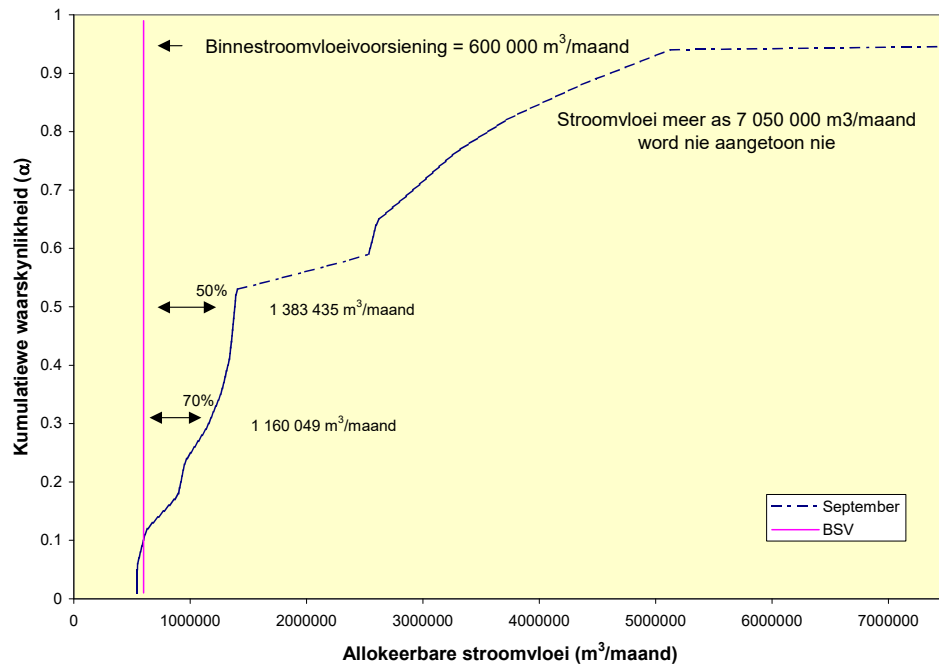
3.2 DETERMINISTIESE EKWIVALENTE VIR DIE KANS-BEPERKTE PROGRAMMERINGSMODEL MET INAGNEMING VAN 'N BINNESTROOM-VLOEIVOORSIENING

Deterministiese ekwivalente verwys na die waarskynlike voorkoms van 'n spesifieke hoeveelheid water op 'n waarskynlikheidsverdeling. Identifikasie van die regte tipe funksie en die akkurate skatting van die geïdentifiseerde funksie vir stroomvloeitot is wiskundig voordelig aangesien die berekening van die deterministiese ekwivalente vir maandelikse stroomvloeitot dan voor die hand liggend is (Willis, 1993:234). Hierdie proses word vereenvoudig deur van BestFit gebruik te maak.

Die mees algemene funksies wat in hidrologiese simulering gebruik word, is die normaal-, lognormaal-, Weibull-, gamma- en Gumbelfunksies (Keith *et al.*, 1989:91). BestFit maak egter nie voorsiening vir die Gumbelfunksie nie. Die nulhipotese dat stroomvloeitot van 'n spesifieke maand nie beduidend van die vorm van die waarskynlikheidsverdeling wat gepas word, verskil nie is vir Mei tot Oktober, wat die kritiese maande in die navorsing is, vir al die ander funksies geskat.

Die vorm van die waarskynlikheidsverdeling word op die totale hoeveelheid water wat beskikbaar is vir allokasie gegrond. Nadat die beste funksie geïdentifiseer is, kan die ooreenstemmende waarde van totale allokeerbare stroomvloeitot vir 'n spesifieke waarskynlikheid met BestFit bereken word waarna dit aangepas word om vir die BSV voorsiening te maak. Geen navorsing is al in die Wintertongebied aangaande BSV-vereistes gedoen nie en daar word aangeneem dat die BSV-vereiste 600 000 m³/maand is.

Ten einde die prosedures wat gevolg is om deterministiese ekwivalente met inagneming van 'n BSV daar te stel, te bespreek, word daar van Figuur 3.2 gebruik gemaak wat die empiriese verdeling se kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling van September se allokeerbare stroomvloeitot tesame met 'n BSV van 600 000 m³/maand grafies voor stel.



Figuur 3. 1: Grafiese voorstelling van die empiriese kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling vir September se allokeerbare stroomvloei vir besproeiingsboere in die Klein Tugelarivieropvanggebied op grond van 17 jaar se gesimuleerde data met 'n binnestroomvloeivoorsiening (BSV) van 600 000 m³/maand.

'n Waarskynlikheidsverdeling word gebruik om die voorkoms van 'n spesifieke hoeveelheid water met die waarskynlike voorkoms daarvan te assosieer. In Figuur 3.1 is die waarskynlikheid om 'n stroomvloei van 1 383 400 m³/maand en minder te realiseer 50% (α). Aangesien met kumulatiewe waarskynlikhede gewerk word, daal die waarskynlikheid om minder stroomvloei te realiseer en die waarskynlikheid om 'n stroomvloei van 1 160 000 m³/maand en minder te realiseer, is 30% (α). Die waarskynlike voorkoms van water kan ook omgekeerd geïnterpreteer word. So byvoorbeeld is die waarskynlikheid om 'n stroomvloei van 1 160 000 m³/maand en meer te realiseer 70% ($1-\alpha$). Deur 'n waarde van 1 160 000 m³/maand as regterkantse waarde in 'n gewone LP-model in te stel, kan boerderyplanne ontwikkel word wat sal verseker dat daar 70% van die kere genoeg water is om stremming te vermy. Wanneer daar 'n waarskynlike voorkoms aan die beskikbaarheid van 'n hulpbron in 'n programmeringsmodel gekoppel kan word, is so 'n model kans-beperkend.

Ten einde te verseker dat 'n BSV teen 'n sekere waarskynlikheid gehandhaaf word, moet bogenoemde deterministiese ekwivalente aangepas word om vir 'n BSV voorsiening te maak. Uit Figuur 3.1 is dit duidelik dat daar 10% (α) van die kere te min water is om die BSV van 600 000 m³/maand te handhaaf. Indien geen water aan die besproeiingsboere geallokeer word nie en daar dus niks water uit die rivier onttrek word nie sal die BSV 90% van die kere

gehandhaaf word aangesien daar 90% ($1-\alpha$) van die kere 600 000 m³/maand en meer water beskikbaar is. Indien water uit die rivier onttrek word, sal die waarskynlikheid waarteen die BSV gehandhaaf kan word, daal. Deur die BSV-vereiste deurgaans van die hoeveelheid water wat by 'n spesifieke waarskynlikheid beskikbaar is, af te trek, kan die hoeveelheid water wat deur die boere onttrek kan word om die BSV teen die spesifieke waarskynlikheidspeil te handhaaf, bepaal word. Indien die BSV van 600 000 m³/maand 50% van die kere gehandhaaf moet word, kan 783 400 m³/maand (1 383 400 - 600 000) en minder onttrek word en teen 70% kan 560 000 m³/maand (1 160 000 - 600 000) en minder onttrek word. Hierdie hoeveelhede verteenwoordig die horisontale afstand tussen die BSV en die kumulatiewe waarskynlikheid van allokeerbare stroomvloeï soos in Figuur 3.1 aangedui. Namate die waarskynlikheid om die BSV te handhaaf, toeneem, daal die hoeveelheid water wat vir besproeiing onttrek kan word.

Deur bogenoemde prosedures te volg, is tabelle vir elke waarskynlikheidspeil bereken. Hierdie waardes verteenwoordig die deterministiese ekwivalente wat sal verseker dat die BSV teen die spesifieke waarskynlikheidspeil gehandhaaf sal word.

3.3 GEWASBESPROEIINGSBEHOEFTE

Gewasbesproeiingsbehoefte word benodig om die hoeveelheid water wat deur 'n gegewe oppervlak gewaskombinasie benodig word, te bepaal.

Weerdata vir elk van die AO'e met besproeiing is in ACRU se besproeiingsmodule gebruik om die netto besproeiingsbehoefte van koring oor 'n periode van 17 jaar te simuleer. Die netto besproeiingsbehoefte het dus spesifiek betrekking op koring wat in die gespesifiseerde AO verbou word. Benewens weerdata word invoere aangaande die grond, koëffisiënte wat die groei van die gewas modelleer, skeduleringsstrategie wat gevolg word en die aanbod van water benodig. Grondinligting is vanaf die Instituut vir Grondwater en Klimaat verkry en in die navorsing gebruik.

Spesifisering van die korrekte gewasgroekoëffisiënte is belangrik aangesien ACRU gewasgroei modelleer deur gewasgroei met gewasgroekoëffisiënte in verband te bring. Alle koëffisiënte wat benodig word om die groei van koring te simuleer, is vanaf Lecler (1996) verkry. Aangesien maandelikse gewasgroekoëffisiënte deur ACRU met behulp van Fourier-analise na daaglikse waardes omgeskakel word (Smithers en Schulze, 1995:AT2-2), kan dit gebeur dat die gewas oor langer periodes transpireer as wat werklik die geval is. Lecler (1996) het aanbeveel dat die maandelikse gewasgroekoëffisiënt in die eerste en laaste maand stelselmatig vergroot of verklein moet word totdat die daaglikse waardes oor die regte periode transpireer. Die daaglikse afvoerwaardes moet egter 'n egalige kromme verteenwoordig.

Die netto hoeveelheid water wat toegedien moet word, is 'n funksie van die beskikbare hoeveelheid water en die spesifieke skeduleringsstrategie wat gevolg word. 'n Onttrekking van 50% van die plantbeskikbare water word toegelaat alvorens die gewas besproei moet word en genoeg water word voorsien om waterstremming te vermy. Hierdie onttrekkingsvlak stem ooreen met die waarde wat deur Green (1985) en Dent *et al.* (1988) gebruik is. Ten einde die waterbehoefte van gewasse tussen jare te vergelyk, is dit essensieel dat die gewaswaterbehoefte op dieselfde grondslag gesimuleer word. Besproeiingsboere in die Wintertongebied volg die praktyk waar die grondprofiel aan die begin van die groeiseisoen tot veldkapasiteit gevul word (De Jager en Mottram, 1995:303). ACRU is nie primêr met die doel ontwikkel om gewasse se waterbehoefte te simuleer nie en geen opsie bestaan om die grondprofiel aan die begin van die maand tot veldkapasiteit te vul nie. ACRU het wel 'n opsie om die maande waarin die gewas besproei moet word, aan te dui. Deur fiktiewe hoë gewasgroeikoëffisiënte in die maande waarin geen besproeiing plaasvind, in te stel, word verseker dat die grondprofiel in die maand waarin die gewas geplant word, leeg is. Die model sal dan in die eerste maand waarin besproeiing toegelaat word die grondprofiel tot by veldkapasiteit vul. Hierdie besproeiingshoeveelhede word buite rekening gelaat wanneer die gewas se waterbehoefte bereken word aangesien fiktiewe koëffisiënte gebruik word om die profiel leeg te trek.

Netto besproeiingsbehoefte kan aan die hand van die volgende vergelyking bereken word:

$$FNIR_{jt} = (Es_{jt} + Etm_{jt}) - ER_{jt} \quad (3.1)$$

Waar:

$FNIR_{jt}$	netto besproeiingsbehoefte van gewas j in maand t indien geen stremming voorkom nie
Es_{jt}	evaporasie vanaf die grondoppervlakte waarop gewas j in maand t verbou word
Etm_{jt}	maksimum transpirasie van gewas j in maand t
ER_{jt}	effektiewe reënval wat deur gewas j in maand t benut kan word

Etm_{jt} en Es_{jt} verteenwoordig die hoeveelheid water wat in 'n spesifieke maand aan die gewas toegedien moet word om te verseker dat die gewas geen stremming ondervind nie en staan algemeen as maksimum evapotranspirasie-aanvraag (Etm_{jt}) bekend. 'n Sekere deel van Etm_{jt} kan deur effektiewe reënval voorsien word. Effektiewe reënval word gedefinieer as die deel van totale reënval wat tot Etm_{jt} bydra (Dent *et al.*, 1988:18). Alle verliese moet dus verreken word. Die veranderlike ER_{FLIR} , wat effektiewe reënval in ACRU bereken, verteenwoordig egter net die gedeelte van reënval wat in die grondwaterbegroting opgeneem word (Lecler, 1996). Al die water dra nie by tot Etm_{jt} nie, aangesien 'n deel van die water verby die wortelsone kan

dreineer. Aangesien besproeiing plaasvind as 50% van die plantbeskikbare water onttrek is en ACRU met netto waardes werk, word die water wat diep dreineer as deel van reënval gereken. Effektiewe reënval moet dus aangepas word met die gedeelte wat in elke maand diep dreineer.

Tabel 3.1 gee die opsommende statistiek van die maandelikse netto besproeiingsbehoefte van nege AO'e vir koring, geplant op 15 Mei met 'n groeilengte van 150 dae soos met ACRU gesimuleer.

Tabel 3.1 Opsommende statistiese maatstawwe van gesimuleerde netto besproeiingsbehoefte vir koring in nege verskillende ACRU-opvangsgebiede binne die Klein Tugelarivieropvanggebied.

	Netto besproeiingsbehoefte					
	Mei	Junie	Julie	Augustus	September	Oktober
AO50						
Gemiddeld (mm.ha/maand)	25.88	60.18	83.01	107.85	89.21	18.64
Minimum (mm.ha/maand)	16.10	28.50	6.40	69.40	0.00	0.00
Maksimum (mm.ha/maand)	32.40	67.70	97.70	123.90	110.50	32.40
Standaard afwyking	4.66	11.01	23.90	19.20	29.90	10.92
Koëffisiënt van variasie	0.18	0.18	0.29	0.18	0.34	0.59
Kurtosis	0.42	3.15	6.45	-0.05	4.67	-0.99
Skeefheid	-0.92	-1.81	-2.44	-1.15	-2.18	-0.62
AO62						
Gemiddeld (mm.ha/maand)	27.04	61.38	83.02	107.62	92.29	20.39
Minimum (mm.ha/maand)	12.80	30.10	6.70	68.90	0.00	0.00
Maksimum (mm.ha/maand)	35.50	68.90	97.50	123.70	112.00	35.70
Standaard afwyking	6.52	10.81	23.71	19.23	29.56	11.76
Koëffisiënt van variasie	0.24	0.18	0.29	0.18	0.32	0.58
Kurtosis	-0.41	3.32	6.58	-0.11	5.80	-0.89
Skeefheid	-0.56	-1.84	-2.45	-1.13	-2.38	-0.59
AO71						
Gemiddeld (mm.ha/maand)	26.45	63.58	86.52	107.22	90.34	20.00
Minimum (mm.ha/maand)	12.90	40.00	27.90	68.40	0.00	0.00
Maksimum (mm.ha/maand)	34.80	69.30	97.30	123.30	112.00	34.80
Standaard afwyking	6.74	7.94	18.21	19.33	30.91	12.29
Koëffisiënt van variasie	0.25	0.12	0.21	0.18	0.34	0.61
Kurtosis	-0.77	3.91	6.59	-0.04	4.25	-1.09
Skeefheid	-0.55	-1.92	-2.47	-1.16	-2.13	-0.58
AO78						
Gemiddeld (mm.ha/maand)	27.85	58.85	81.17	96.70	81.47	18.41
Minimum (mm.ha/maand)	6.90	36.00	0.00	32.70	0.00	0.00
Maksimum (mm.ha/maand)	33.90	69.60	98.10	162.80	112.30	35.60
Standaard afwyking	6.80	12.13	31.52	35.01	37.61	13.73
Koëffisiënt van variasie	0.24	0.21	0.39	0.36	0.46	0.75
Kurtosis	5.20	-0.99	4.42	-0.51	0.78	-1.60
Skeefheid	-2.12	-0.74	-2.33	-0.31	-1.36	-0.49

Tabel 3.1: Vervolg

	Netto besproeiingsbehoefte					
	Mei	Junie	Julie	Augustus	September	Oktober
AO79						
Gemiddeld (mm.ha/maand)	27.49	59.26	81.46	96.85	80.92	19.26
Minimum (mm.ha/maand)	4.40	36.30	0.00	32.80	0.00	0.00
Maksimum (mm.ha/maand)	34.80	70.40	98.50	163.40	112.60	35.70
Standaard afwyking	7.50	12.09	31.64	35.06	38.08	13.36
Koëffisiënt van variasie	0.27	0.20	0.39	0.36	0.47	0.69
Kurtosis	5.15	-1.01	4.41	-0.50	0.54	-1.46
Skeefheid	-2.09	-0.73	-2.32	-0.29	-1.30	-0.55
Skeefheid	-1.82	-0.65	-2.33	-0.27	-1.33	-0.45
AO86						
Gemiddeld (mm.ha/maand)	28.29	58.52	80.86	96.10	81.02	17.62
Minimum (mm.ha/maand)	4.20	35.50	0.00	32.50	0.00	0.00
Maksimum (mm.ha/maand)	35.30	70.00	97.70	162.70	113.10	34.80
Standaard afwyking	8.07	12.00	31.43	35.34	38.19	13.02
Koëffisiënt van variasie	0.29	0.21	0.39	0.37	0.47	0.74
Kurtosis	4.17	-0.97	4.39	-0.56	0.53	-1.51
Skeefheid	-1.89	-0.71	-2.32	-0.30	-1.30	-0.47
AO92						
Gemiddeld (mm.ha/maand)	27.49	59.26	81.46	96.85	80.92	19.26
Minimum (mm.ha/maand)	4.40	36.30	0.00	32.80	0.00	0.00
Maksimum (mm.ha/maand)	34.80	70.40	98.50	163.40	112.60	35.70
Standaard afwyking	7.50	12.09	31.64	35.06	38.08	13.36
Koëffisiënt van variasie	0.27	0.20	0.39	0.36	0.47	0.69
Kurtosis	5.15	-1.01	4.41	-0.50	0.54	-1.46
Skeefheid	-2.09	-0.73	-2.32	-0.29	-1.30	-0.55
AO99						
Gemiddeld (mm.ha/maand)	26.85	61.81	90.44	102.09	94.38	24.39
Minimum (mm.ha/maand)	5.00	35.60	35.60	38.40	0.00	0.00
Maksimum (mm.ha/maand)	35.40	70.40	98.70	123.80	113.80	36.20
Standaard afwyking	8.81	11.10	16.15	26.39	30.52	10.87
Koëffisiënt van variasie	0.33	0.18	0.18	0.26	0.32	0.45
Kurtosis	2.32	1.00	8.70	0.28	5.71	0.09
Skeefheid	-1.73	-1.37	-2.81	-1.04	-2.40	-0.96

Opvallend is die mate waartoe sekere van die AO'e se netto besproeiingsbehoefte in Tabel 3.1 ooreenstem en daar kan op grond van die ooreenstemming drie groepe onderskei word, naamlik AO'e 50-71, 78-92 en AO99.

Die drie groepe is onderskeibaar aangesien elke groep deur dieselfde drywerstasie van reënval voorsien word. Die verskille wat wel binne elke groep voorkom, is as gevolg van verskille in die grond en algemene weersomstandighede byvoorbeeld temperature. Laasgenoemde verskil egter nie baie oor die totale opvanggebied nie en daarom kom relatief min verskille binne die groepe voor.

Augustus het die hoogste gemiddelde en maksimum besproeiingsbehoefte wat daarop dui dat die meeste water in dié maand uit die rivier onttrek word. Afhangende van die rivier se vlak sal

die grootste druk in die maand op die handhawing van 'n minimum BSV geplaas word. In vergelyking met die ander maande is Augustus se koëffisiënt van variasie relatief laag en min verskille kom dus in die maand se netto besproeiingsbehoefte voor. Die ongereelde voorkoms van lentreë in September en Oktober veroorsaak dat die maande se koëffisiënt van variasie die hoogste is. Breytenbach (1994) het tipiese spilpuntbesproeiingstelsels vir die Wintertongebied saamgestel. Die stelsels se netto toedieningskapasiteite wissel tussen 5.1 mm/dag tot 6.8 mm/dag. Indien die maandelikse waardes na daaglikse waardes omgeskakel word, is die besproeiingstelselkapasiteite deurgaans groter as enige van die maande se daaglikse netto besproeiingsbehoefte.

Ten einde te verseker dat daar aan die gewaswaterbehoefte voldoen word, moet daar vir ondoeltreffendhede voorsiening gemaak word. Die aanname word gemaak dat 'n swak ontwerpte stelsel, verdamping, windsproei en minder goeie bestuur daartoe lei dat 33% van die toegediende water ondoeltreffend is. Aangesien boere direk uit die rivier besproei, word die doeltreffendheid van die verspreiding van water na die spilpunt as 100% geneem. Die algemene besproeiingsdoeltreffendheid is dus 67%. Netto besproeiingshoeveelhede moet dus deur 67% gedeel word ten einde die hoeveelheid water wat uit die rivier onttrek moet word, te bepaal. Volgens Mottram en De Jager (1995:44) kan watertoedieningsdoeltreffendheid tussen 30% en 100% wissel met 'n mees waarskynlike waarde van 65% vir sprinkelbesproeiingstelsels.

3.4 MODELLERING VAN TEKORTBESPROEING

Die prosedures wat deur Willis (1993) gebruik is om tekortbesproeiing vanaf toestande van geen stremming te modelleer, word in die navorsing gebruik. Laasgenoemde prosedures is egter aangepas sodat die effek van waterstremming in verskillende groeistadiums op opbrengste gemodelleer kan word. Die ontledingstyd is daardeur vergroot aangesien die insluiting van die Stewart opbrengsvergelyking daartoe gelei het dat die model nie-lineêr is.

3.4.1 TEKORTBESPROEING EN MAKSIMUM TOELAATBARE STREMMING

Hierdie gedeelte het *eerstens* ten doel om die twee opbrengsvergelykings wat gebruik word om die effek van watertekorte op opbrengste te kwantifiseer, te bespreek. *Tweedens* word die maksimum hoeveelheid stremming wat deur die KBP-model toegelaat word voordat oppervlaktes verlaag moet word, bepaal.

Die effek van watertekorte op opbrengste word met die Stewart-vermenigvuldigende (SM) en Stewart-Hagan seisoenale (SH) opbrengsvergelykings gemodelleer wat die relatiewe opbrengsverlaging ($1-Y_a/Y_m$) met die relatiewe evapotranspirasietekort ($1-ET_a/ET_m$) in verband bring deur die opbrengsresponsie faktor (k_y) (De Jager, 1994; Doorenbos en Kassam, 1979). Die twee opbrengsvergelykings word as volg wiskundig voorgestel:

a) Stewart-Hagan seisoenale (SH-model)

$$Ya_j = Ym_j \times \left(1 - ky_j \left(1 - \frac{\sum_{t=1}^n ETa_{jt}}{\sum_{t=1}^n ETm_{jt}} \right) \right) \quad (3.2)$$

b) Stewart-vermenigvuldigende (SM-model)

$$Ya_j = Ym_j \times \left(\prod_{stage=1}^4 1 - ky_{j,stage} \left(1 - \frac{\sum_{t=1}^n ETa_{jt,stage}}{\sum_{t=1}^n ETm_{jt,stage}} \right) \right) \quad (3.3)$$

Waar:

Ya	geskatte opbrengs
Ym	maksimum potensiële opbrengs onder toestande van geen waterstremming
ky	opbrengsresponsie faktor
ETa	werklike gewaswaterverbruik
ETm	maksimum potensiële evapotranspirasie (verbruik) onder toestande van geen waterstremming
j	gewas
t	maande
$stage$	groeistadium
n	aantal maande in groeiseisoen

Met die SM-model word die effek van waterstremming in verskillende gewasgroeistadiums in ag geneem deurdat 'n ky-faktor vir elke gewasgroeistadium gespesifiseer moet word. 'n Meer as proporsionele verlaging in opbrengste word verder gemodelleer indien die gewas in meer as een groeistadium waterstremming ondervind vanweë die vermenigvuldigende wyse waarop die effek van waterstremming op opbrengste in ag geneem word. Aangesien die SM-model nie-lineêr is en meer as proporsionele verlagings in opbrengste kan modelleer, is dit nie nodig om 'n maksimum stremmingsvlak vir die SM te spesifiseer nie. Die SM-model sal dus tekortbesproeiing toepas solank dit ekonomies voordelig is om die gewas te strem. Daarteenoor neem die SH-model nie die effek van waterstremming in verskillende gewasgroeistadiums op opbrengste in ag nie en die opbrengsresponsie faktor (ky) het dus op die hele groeiseisoen betrekking. Verder geld die lineêre opbrengsvergelyking slegs tot by 'n maksimum stremmingsvlak van 50% waarna die verwantskap nie-lineêr word (Doorenbos en Kassam,1979:37).

Ten einde te voorkom dat die gewas met die SH-model vroeg in die seisoen soveel gestrem word dat dit vrek, word 'n perk op die maksimum hoeveelheid waterstremming wat in 'n spesifieke maand toegelaat word, geplaas. In die navorsing word die omvang van die maksimum toelaatbare tekort (ET_{jt}) geneem as die maksimum persentasie wat die verbruik van die gewas onder toestande van geen stremming onder ET_{jt} in 'n spesifieke maand mag daal.

Die minimum netto besproeiingsbehoefte wat aan die gewas toegedien moet word om nie die gespesifiseerde maksimum toelaatbare stremmingsvlak te oorskry nie kan aan die hand van die volgende vergelyking bereken word:

$$MNIR_{jt} = \left(\frac{ET_{jt} \times PSV_j - ER_{jt}}{FNIR_{jt}} \right) \times FNIR_{jt} \quad (3.4)$$

Waar:

$MNIR_{jt}$	netto besproeiingsbehoefte wat aan gewas j in maand t toedien moet word om te verseker dat die gewas se minimum behoeftes by maksimum toelaatbare stremming bevredig word
PSV_j	minimum persentasie van gewas j se volle verbruik (ET_{jt}) wat elke maand aan die gewas voorsien moet word
ET_{jt}	maksimum evapotranspirasie van gewas j in maand t indien geen stremming voorkom nie
ER_{jt}	effektiewe reënval wat deur gewas j in maand t verbruik kan word
$FNIR_{jt}$	netto besproeiingsbehoefte van gewas j in maand t indien geen stremming voorkom nie

Vergelyking (3.4) word gebruik om te verseker dat die mate van stremming wat deur die SH-model in 'n spesifieke maand toegelaat word tot 'n sekere maksimum vlak beperk word, al is die toelaatbare seisoenale stremming nog nie oorskry nie. Die veranderlike PSV_j word gebruik om die mate van stremming wat toegelaat word, te kwantifiseer. Indien geen tekortbesproeiing toegelaat word nie is PSV_j gelyk aan 1, of 100%, en is $MNIR_{jt}$ gelyk aan $FNIR_{jt}$. Indien 20% stremming toegelaat word, neem PSV_j 'n waarde van 0.8 aan en moet 80% van die gewas se verbruik onder toestande van geen stremming voldoen word. In so 'n geval is $MNIR_{jt}$ dus minder as $FNIR_{jt}$. Aangesien effektiewe reënval ook in berekening gebring word, lei 'n persentasie afname in verbruik nie tot dieselfde persentasie afname in $FNIR_{jt}$ nie. In gevalle waar die teller van die breuk negatief raak, word $MNIR_{jt}$ gelyk aan zero gestel.

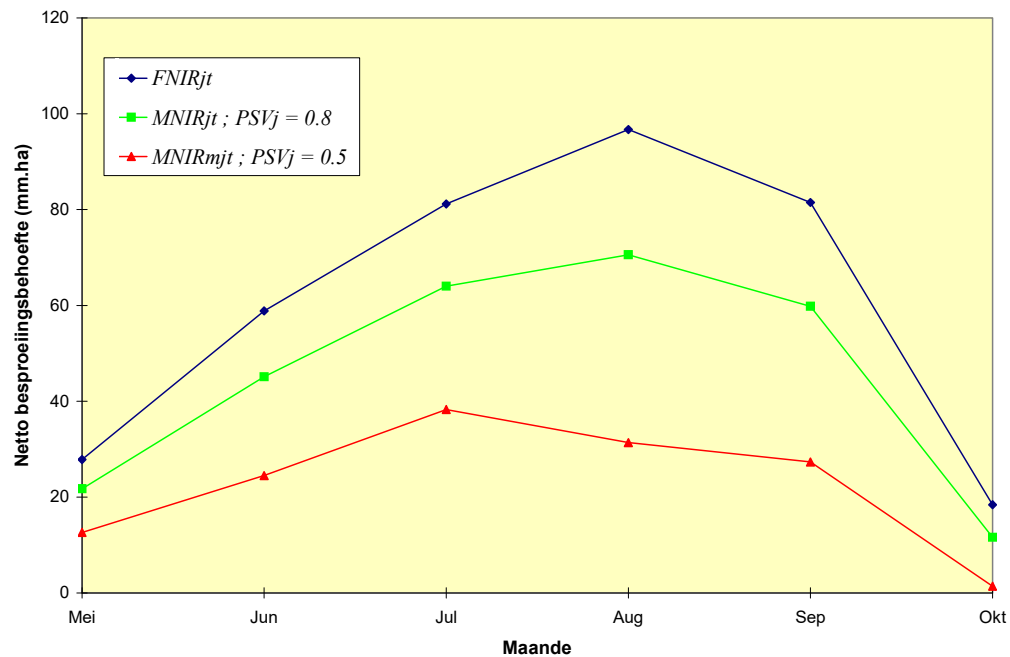
Die volgende voorbeeld word aan die leser voorgehou om vergelyking (3.4) toe te lig. Gestel dat die hoeveelheid water wat deur 'n gewas onder toestande van geen stremming verbruik word

555.3 mm.ha is en dat 105.11 mm.ha deur effektiewe reënval voorsien word. Die netto seisoenale gewasbesproeiingsbehoefte is dus 450.19 mm.ha ($555.3 - 105.11$). Indien die SH-model 'n maksimum stremmingsvlak ($I-PSV_j$) van 20% toelaat ($555.3 \times 0.8 = 444.24$ mm.ha), is die minimum netto besproeiingsbehoefte wat toegedien moet word 339.12 mm.ha ($444.24 - 105.11$). Die maksimum hoeveelheid stremming (verbruikstekort) wat per hektaar oor die hele groeiseisoen toegelaat kan word, is dus 111.06 mm.ha ($450.19 - 339.12$). Veronderstel dat koring in September in 'n gemiddelde jaar waarin geen stremming voorkom 131.67 mm.ha water verbruik en dat 32.47 mm.ha deur effektiewe reënval voorsien word. Die netto besproeiingsbehoefte van koring in September onder toestande van geen stremming is dus 99.2 mm.ha wat minder is as die totale hoeveelheid stremming van 111.06 mm.ha wat oor die hele groeiseisoen toegelaat kan word. Indien September die enigste maand is waarin waterbeskikbaarheid beperkend op produksie inwerk, kan 'n mens verwag dat die gewas in September met die volle 99.2 mm.ha gestrem kan word. Die modelleringsbenadering sal egter nie meer as 20% stremming of 26.33 mm.ha toelaat nie. September se minimum netto besproeiingsbehoefte is dus 72.87 mm.ha ($0.8 \times 131.67 - 32.47$).

Die modelleringsbenadering verhoed dus dat 'n droogte vroeg in die seisoen die plant laat vrek al word die maksimum toelaatbare seisoenale stremming nie oorskry nie. Indien die tekort wat voorkom tot die lineêre deel van SH-opbrengsvergelyking beperk word, kan die verlaging in opbrengste deur 'n LP-model bereken word. Die gebruik van afsonderlike aktiwiteite of integer-aktiwiteite om die verlaging in opbrengste te modelleer, word dus uitgeskakel.

Die vraag ontstaan tot watter mate waterstremming met die SH-model toegelaat moet word voordat oppervlaktes ingekort moet word. Die prosedures wat gevolg is om die maksimum toelaatbare tekort ($I-PSV_j$) te bepaal, word vervolgens bespreek.

Die aanname dat die afname in opbrengste tot by 'n maksimum stremmingsvlak van 50% lineêr is, raak meer krities namate die 50% peil genader word (Botes, 1996). By toenemende stremmingsvlakke raak die interaksie tussen die mate van stremming in verskillende groeistadiums meer belangrik. Die maksimum toelaatbare hoeveelheid stremming wat deur die SH-model toegelaat kan word voordat oppervlaktes verlaag moet word, kan deur grafiese inspeksie bepaal word. Die volgende voorbeeld waar die waarde van PSV_j tussen 1 en 0.5 geparametriseer is en die afwykings vanaf die $FNIR_{jt}$ -kurwe grafies in Figuur 3.2 voorgestel is, word gebruik om die prosedure te verduidelik.



Figuur 3.2: Vergelyking tussen koring se netto besproeiingsbehoefte onder toestande van geen stremming en 'n maksimum stremming van 20% ($PSV_j=0.8$) en 50% ($PSV_j=0.5$) onderskeidelik in ACRU-opvanggebied 78.

Figuur 3.2 stel slegs koring se $FNIR_{jt}$ en $MNIR_{jt}$ met 'n maksimum toelaatbare seisoenale stremming van 50% en 20% op 'n maandelikse basis voor. Uit die figuur kan gesien word hoe 'n maksimum stremming van 50% van die vorm van $FNIR_{jt}$ afwyk, sodat die spitsbesproeiingsbehoefte in Augustus laer is as die behoefte in Julie. Na aanleiding van die ontleding is besluit om stremming toe te laat tot waar die vorm van die kurwe nie ooglopend van $FNIR_{jt}$ -kurwe afwyk nie. 'n Maksimum stremming van 20% is op die wyse verkry en stem ooreen met die waarde wat Botes (1990) gebruik het om die winsgewendheid van tekortbesproeiing met vier tipiese besproeiingskeduleringsstrategieë te vergelyk. 'n Maksimum stremmingsvlak van 20% is vir al die AO'e gebruik.

Ten einde 'n direkte vergelyking tussen die SH- en SM-modelle te tref, word die maksimum toelaatbare tekort van die SM-model ook tot 20% beperk. Alhoewel die insluiting van die SM-model die ontledingstyd verhoog het vanweë die nie-lineêre aard van die model word dit as 'n belangrike uitbreiding van die werk van Grové (1997) en Willis (1993) beskou.

3.4.2 TEKORTBESPROEIING EN TOENAME IN WATERTOEDIENINGSDOELTREFFENDHEID

'n Deel van die verliese wat as gevolg van ondoeltreffende besproeiing voorkom, alhoewel verlore vir die spesifieke boer, kan deur ander boere in die vorm van terugvloei benut word

(Gilley *et al.*, 1988). 'n Toename in besproeiingsdoeltreffendheid kan verkry word indien tekortbesproeiing toegepas word aangesien afloopverliese en diep dreinerings verminder word (Murray Biesenbach & Badenhorst Incorporated Engineers, 1992:8). Tekortbesproeiing beïnvloed dus die hoeveelheid water wat as terugvloei vir ander gebruikers beskikbaar is en laasgenoemde effek moet deur die modelleringsbenadering verreken kan word.

ACRU het geen opsie om die hoeveelheid gewasstremming wat toegelaat moet word voordat die gewas besproei moet word, eksplisiet te spesifiseer nie. 'n Module is in Excel ontwikkel om die besproeiingsdoeltreffendheid in elk van die nege AO's te bepaal wat by die maksimum geïdentifiseerde stremmingsvlak ($1-PSV_j = 0.2$) verkry kan word. Hierdie prosedures is later in GAMS geprogrammeer om datahantering te vergemaklik. Die aanname word vervolgens gemaak dat besproeiingsdoeltreffendheid lineêr toeneem tot by die maksimum toelaatbare stremmingsvlak van 20%.

Watertoedieningsdoeltreffendheid by maksimum stremming kan met die volgende vergelyking bereken word:

$$\epsilon m_{jt} = MNIR_{jt} / \left[\frac{MNIR_{jt}}{\epsilon v_{jt}} - x \times \epsilon v_{jt} \right] \quad (3.5)$$

Met die waarde van:

$$\begin{aligned} x &= K_{jt}; \quad \text{indien } K_{jt} < L_{jt} \text{ of} \\ x &= L_{jt}; \quad \text{indien } L_{jt} < K_{jt} \text{ en} \\ K_{jt} &= FNIR_{jt} - MNIR_{jt} \text{ en} \\ L_{jt} &= [(MNIR_{jt} / \epsilon v_{jt}) - MNIR_{jt}] \times PL_{jt} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Waar:

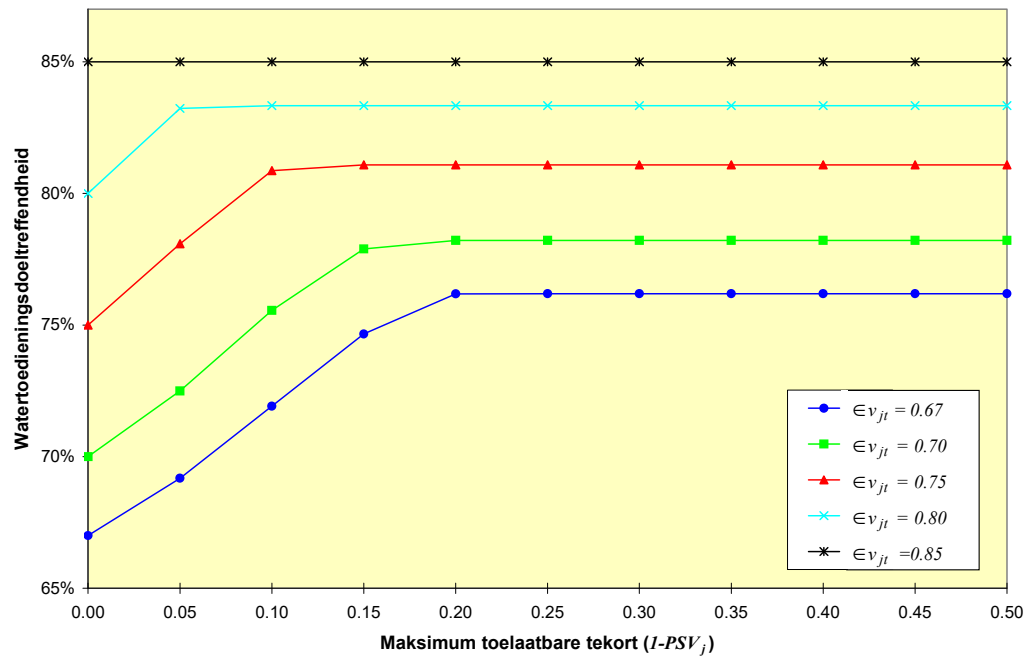
$MNIR_{jt}$	netto besproeiingsbehoefte wat aan gewas j in maand t toegedien moet word om te verseker dat die gewas se minimum behoeftes by maksimum stremming bevredig word
$FNIR_{jt}$	netto besproeiingsbehoefte van gewas j in maand t indien geen stremming voorkom nie
ϵm_{jt}	toedieningsdoeltreffendheid van water wat in maand t aan gewas j toegedien word om aan $MNIR_{jt}$ te voldoen
ϵv_{jt}	toedieningsdoeltreffendheid van water wat in maand t aan gewas j toegedien word om aan $FNIR_{jt}$ te voldoen

K_{jt}	ekstra kapasiteit wat in die grondprofiel in maand t geskep word indien gewas j tekort besproei word
L_{jt}	totale verliese as gevolg van afloop en diep dreinerings wat potensieel deur die gewas benut kan word indien gewas j in maand t tekort besproei word
PL_{jt}	persentasie van totale verliese wat deel vorm van L_{jt} indien gewas j in maand t tekort besproei word

Indien geen toename in doeltreffendheid met 'n toename in die mate van tekortbesproeiing toegelaat word nie, word die waarde van x gelyk aan zero gestel. In so 'n geval is ϵ_{jt}^v gelyk aan $\epsilon_{m_{jt}}$. Met tekortbesproeiing word ekstra kapasiteit (K_{jt}) in die grondprofiel geskep met 'n omvang van $FNIR_{jt}$ minus $MNIR_{jt}$. Wanneer die totale verliese as gevolg van afloop en diep dreinerings wat potensieel deur die gewas benut kan word (L_{jt}), groter is as die kapasiteit wat in die grond geskep is, word die hoeveelheid tot die grootte van die kapasiteit beperk. Aangesien aangeneem is dat besproeiingsboere onder toestande van geen stremming slegs 67% doeltreffend is, word aanvaar dat die kapasiteit wat deur tekortbesproeiing in die grond geskep word met dieselfde doeltreffendheid gevul en benut word.

Vergelyking (3.6) word gebruik om die totale hoeveelheid verliese as gevolg van afloop en diep dreinerings wat potensieel benutbaar is, te bereken. 'n Watertoedieningsdoeltreffendheid van 67% impliseer dat 33% van die water wat deur die stelsel gepomp word, vermors word. Vyftien persent van die totale toegediende water word as werklike verliese gereken en kan nie deur ander gebruikers benut word nie. Die ander 18% (33-15) gaan egter verlore as gevolg van minder goeie bestuur in die vorm van diep dreinerings of afloop. Afloop en diep dreinerings kan deur ander gebruikers benut word. Die aanname word gemaak dat die ekstra kapasiteit in die grondprofiel slegs met die verliese as gevolg van swakke bestuur gevul kan word en die veranderlike PL_{jt} in vergelyking (3.5) neem 'n waarde van 0.5454 (18/33) aan. Indien die watertoedieningsdoeltreffendheid toeneem, neem die waarde van PL_{jt} af. So byvoorbeeld neem PL_{jt} 'n waarde van 0.4 (10/25) aan indien die watertoedieningsdoeltreffendheid 75% is.

Vergelyking (3.5) is gebruik om die verwantskap tussen die toename in watertoedieningsdoeltreffendheid wat verkry word indien die gewas tekort besproei word en die maksimum toelaatbare tekort by verskillende vlakke van aanvangsdoeltreffendhede onder toestande van geen stremming te bepaal. Die resultate word in Figuur 3.3 vir AO78 aangetoon.



Figuur 3. 3: Grafiese voorstelling van die verwantskap tussen watertoedieningsdoeltreffendheid en maksimum toelaatbare tekortbesproeiing ($I-PSV_j$) by verskillende doeltreffendheidspeile onder toestande van geen stremming ($\epsilon_{v_{jt}}$) vir ACRU-opvanggebied 78.

Uit Figuur 3.3 is dit duidelik dat die watertoedieningsdoeltreffendheid vanaf 67% onder toestande van geen stremming tot 76% toeneem by 'n stremmingsvlak van 20% waarna dit konstant bly. Hierdie verwantskap word lineêr deur die model beskryf. Indien $\epsilon_{v_{jt}}$ gelyk is aan 75% kan watertoedieningsdoeltreffendheid tot 'n maksimum van 82% styg. Hierdie maksimum toedieningsdoeltreffendheid word egter al by 'n maksimum stremmingsvlak van 15% verkry. Die KBP-model sal dus die effek van 'n toename in watertoedieningsdoeltreffendheid onderskat aangesien die model eers die maksimum watertoedieningsdoeltreffendheid van 82% by 'n stremmingsvlak van 20% sal bereik. Namate die doeltreffendheid onder toestande van geen stremming ($PSV_j = 1$) toeneem, daal afloop en diep dreineringsverliese by hoër watertoedieningsdoeltreffendheidspeile is dus laer en in totaal is die hoeveelheid afloop en diep dreineringsverliese wat potensieel benutbaar kan word, minder.

3.4.3 KOSTEVERLAGING

Kostebesparings as gevolg van tekortbesproeiing kan in twee groepe verdeel word. *Eerstens* kan oes- en kunsmiskoste verlaag omdat die opbrengste afneem en *tweedens* verlaag besproeiingskoste omdat minder water toegedien word. In die KBP-model daal oes- en

kunsmiskoste lineêr per millimeter hektaar wat die gewas tekort besproei word en dus die opbrengs wat verkry word.

Vergelyking (3.7) kan gebruik word om die waarde van die kostebesparing waarmee oes- en kunsmiskoste daal indien die gewas met een millimeter hektaar tekort besproei word, te bereken:

$$CRED_{bj} = \left(\frac{K_{bj}}{Ym_j} \right) \times \left(\frac{Ym_j - Ya_j}{FNIR_{js} - MNIR_{js}} \right) \times G_{bj} \quad (3.7)$$

Waar:

$CRED_{bj}$	kostebesparing b indien gewas j met een millimeter hektaar tekort besproei word
K_{bj}	opbrengsveranderlike koste b (kunsmis- of oeskoste) om een hektaar van gewas j onder toestande van geen stremming te verbou
Ym_j	maksimum potensiële opbrengs van gewas j
Ya_j	werklike opbrengs van gewas j indien die gewas maksimaal gestrem word
$MNIR_{js}$	minimum netto besproeiingsbehoefte wat per hektaar toegedien moet word om te verseker dat die maksimum toelaatbare seisoenale (s) stremmingsvlak vir gewas j nie oorskry word nie
$FNIR_{js}$	netto seisoenale (s) besproeiingsbehoefte (per ha) van gewas j onder toestande van geen stremming
G_{bj}	gewig wat 'n minder as proporsionele verlaging in koste b van gewas j te weeg bring, waar $0 \leq G_{bj} \leq 1$

Die linkerkantste hakies bereken die oes- en kunsmiskoste per kilogram opbrengs wat verkry word sonder stremming. Die regterkantste hakies bereken die hoeveelheid waarmee die opbrengs verlaag indien een millimeter stremming oor die groeiseisoen voorkom. Deur die koste per kilogram met die afname in kilogram te vermenigvuldig, word die kosteverlaging per millimeter stremming (verbruikstekort) op 'n seisoenale basis bereken. Deur die waarde met 'n gewig (G_{bj}) te vermenigvuldig, word 'n minder as proporsionele verlaging in die koste gemodelleer.

Die volgende voorbeeld word gebruik om vergelyking (3.7) te bespreek. Gestel die kunsmiskoste om Ym_j (7 000 kg/ha) te produseer, is R703.40 /ha. Gevolglik is die kunsmiskoste per kilogram opbrengs onder toestande van geen stremming R0.10 /kg (703.4/7 000). In die voorbeeld in Afdeling 3.4.1 is die maksimum hoeveelheid stremming wat per hektaar oor die hele groeiseisoen toegelaat kan word ($FNIR_{js} - MNIR_{js}$) op 111.06 mm.ha bereken. Gestel die

waarde van Y_{aj} is 5 500 kg/ha en neem verder aan dat 111.06 mm/ha stremming voorkom. Die opbrengste daal dus met 1 500 kg/ha wat 'n kostebesparing van R150 /ha teweegbring. Gestel die werklike kunsmiskoste om 5 500 kg/ha te produseer, is R647.23 kg/ha. Gevolglik moet kunsmiskoste in werklikheid met slegs R56.17 /ha (703.4-647.23) daal. Deur die verlaging in kunsmiskoste per hektaar met 'n gewig van 0.37 (56/150) te vermenigvuldig word 'n besparing van R56.17 /ha gemodelleer.

Energiekoste maak ongeveer 80% van 'n boer se besproeiingskoste uit (Breytenbach, 1994) en relatief tot kunsmiskoste is dit baie groter. Die belangrikheid om energiekoste reg te modelleer, word beklemtoon. Watertoedieningsdoeltreffendheid neem toe namate die gewas tekort besproei word. Indien die verlaging in veranderlike besproeiingskoste op dieselfde wyse as kunsmis hanteer word, sal dit veroorsaak dat die kostes by lae doeltreffendheidspeile oor- en by hoë doeltreffendheidspeile onderskat word. Met die metode word 'n gemiddelde waarde gebruik, terwyl die watertoedieningsdoeltreffendheid eintlik tussen 'n sekere minimum en maksimum vlak varieer.

SPILKOST 2.0 (Meiring, Breytenbach, Oosthuizen en Spies, 1995) is gebruik om die besproeiingsveranderlike koste per millimeter hektaar toegediende water te bereken. Die berekende koste word deur die KBP-model met die hoeveelheid toegediende water vermenigvuldig om totale besproeiingsveranderlike koste te bereken.

3.5 CCODI (CHANCE CONSTRAINT OPTIMISING DEFICIT IRRIGATION) - PROGRAMMERINGSMODEL

Die CCODI-model is 'n KBP-programmeringsmodel wat gebruik word om tekortbesproeiing, 'n verhoging in besproeiingsdoeltreffendheid en opberging van water in plaasdamme as alternatiewe watergebruikstrategieë vir die minimalisering van die ekonomiese koste om 'n BSV te handhaaf, te ontleed. 'n Ander model word gebruik om 'n watermark te ontleed en word in Afdeling 3.6 bespreek.

Die primêre doel van die CCODI-model is om watergebruik oor die totale opvanggebied met inagneming van die handhawing van 'n BSV onder toestande van wisselvallige waterbeskikbaarheid te optimaliseer. Die CCODI-model het dus nie ten doel om te bepaal watter besproeiingsoppervlakte binne gestelde besluitnemingsvoorkeure en fisiese beperkings ontwikkel moet word om oor die langtermyn ekonomies lewensvatbaar te wees nie en daar word hoofsaaklik op waterverbruik binne 'n enkele seisoen in die model gekonsentreer.

Die programmeringsmodel is met behulp van GAMS (Brooke, Kendrick en Meeraus, 1992) ontwikkel en met GAMS/MINOS (Murtagh en Saunders, 1987) opgelos. Weens 'n gebrek aan data en modelle wat die netto besproeiingsbehoefte van raaigras en die effek van

gewaswaterstremming op opbrengste kan kwantifiseer, is die model slegs vir koring opgestel. Bylae E bevat 'n opsomming van die vernaamste veranderlikes wat gebruik is om die KBP-modelle op te stel.

Vervolgens word die vergelyking wat gebruik word om die komplekse gevolge van wisselvallige waterbeskikbaarheid met behulp van die CCODI-model te modelleer, gespesifiseer en bespreek. *Daarna* word die berekeningsprosedures om sekere tegniese koëffisiënte en gebruik van die kunsmatige besproeiingsaktiwiteit om die toename in doeltreffendheid te modelleer, uiteengesit. Deurgaans sal veranderlikes deur hoofletters en parameters deur klein letters aangedui word.

3.5.1 DOELFUNKSIE

Die CCODI-model word opgestel met die aanname dat die besluitnemer bruto marges wil maksimeer, gegewe 'n spesifieke waarskynlikheid van stroomvloei. Alhoewel 'n programmeringsmodel slegs een doelfunksie het, word hier in die afdeling twee vergelykings bespreek aangesien die werklike doelfunksie die bruto marges van elke AO sommeer en optimaliseer. Sodoende word die bruto marge van elke AO dus ook bereken. Die volgende twee vergelykings word vir die doel gebruik.

Maksimeer

$$Z = \sum_{a=1}^9 ZAO_a \quad (3.8)$$

$$\sum_j QCROP_{ja} pc_j + \sum_j \sum_b ZCRED_{jab} - \sum_j TY_{ja} py_j - ZIRC_a = ZAO_a \quad (3.9)$$

Waar:

Z	totale bruto marge vir alle sub-opvanggebiede
ZAO_a	totale bruto marge vir AO a
$QCROP_{ja}$	oppervlak van gewas j in AO a
$ZCRED_{jab}$	totale kostebesparing c indien gewas j in AO a met een millimeter hektaar tekort besproei word
TY_{ja}	berekende totale produksie (kg) van gewas j in AO a
$ZIRC_a$	totale veranderlike besproeiingskoste van AO a
pc_j	direk allokeerbare veranderlike produksiekoste (per ha) van gewas j onder toestande van geen waterstremming, besproeiingskoste uitgesluit
py_j	opbrengsprys van gewas j

Vergelyking (3.9) bereken die bruto marges van elke AO'e wat in vergelyking (3.8) gesommeer en geoptimaliseer word. Aangesien tekortbesproeiing veroorsaak dat opbrengste, veranderlike

besproeiingskoste en opbrengsafhanklike kostes kan verander, word bruto marges nie vooraf gespesifiseer nie maar deur die model self bereken. Inkomste word gegenereer deur graanverkope en die besparing in oes- en kunsmiskoste indien die gewas tekort besproei word, terwyl produksiekoste en veranderlike besproeiingskoste afgetrek word. Geen kostebesparing in oeskoste word toegelaat nie aangesien kontrakteurs in die gebied op 'n per hektaar basis stroop. Besproeiingskoste word deur die model bereken en varieer ooreenkomstig die hoeveelheid toegediende water.

3.5.2 BEPERKINGS

Ten einde die model bevredigend te kan verduidelik word die beperkings in vyf groepe verdeel naamlik grond, gewaswaterverbruik, waterbalans, opbrengste en kosteverlagings.

3.5.2.1 Grond

Die volgende vergelykings modelleer die maksimum en minimum oppervlakte wat 'n sekere gewas mag benut:

$$\sum_j QCROP_{ja} \leq maxha_a \quad (3.10)$$

$$\sum_j QCROP_{ja} \geq minha_a \quad (3.11)$$

Waar:

$QCROP_{ja}$ oppervlak van gewas j in AO a

$maxha$ maksimum oppervlakte wat met gewas j in AO a benut kan word

$minha$ minimum oppervlakte wat met gewas j in AO a benut kan word

Vergelyking (3.10) en (3.11) word gebruik om onderskeidelik die maksimum en minimum hoeveelheid hektaar wat deur gewas j geplant kan word, te spesifiseer. Die maksimum besproeibare oppervlakte wat met koring in elke AO geplant word, is ten volle ontwikkel en daar is geen beperking ten opsigte van enige ander hulpbronne byvoorbeeld arbeid om die maksimum oppervlakte te bewerk nie. 'n GIS is gebruik om die oppervlakte in elke AO te bereken waarna dit met die vraelyste geverifieer is.

3.5.2.2 Gewaswaterverbruik

Watertekorte in sekere maande kan veroorsaak dat daar nie aan gewaswaterverbruik voldoen word nie en gevolglik kom stremming en opbrengsverliese voor. Ten einde die afname in opbrengste en kostes te kan modelleer, is dit nodig om die hoeveelheid water wat deur die gewas verbruik word, te bepaal. Indien gewaswaterverbruik gekwantifiseer kan word, kan die verbruikstekort bereken word wat gebruik word om die afname in kostes te bereken.

Die volgende vergelykings word gebruik om die optimale gewaswaterverbruik per hektaar vir elke gewas op 'n maandelikse basis te bepaal:

$$QCROP_{ja} fnirs_{jta,stage} \geq CU_{jta,stage} \quad (3.12)$$

$$QCROP_{ja} mnirs_{jta,stage} \leq CU_{jta,stage} \quad (3.13)$$

$$SIW_{jta} aies_{jta} + AW_{jta} aiew_{jta} \geq CU_{jta,stage} \quad (3.14)$$

$$QCROP_{ja} msiw_{jta} \geq SIW_{jta} \quad (3.15)$$

$$QCROP_{ja} fnirs_{jta,stage} - CU_{jta,stage} \leq CUDS_{jta,stage} \quad (3.16)$$

Waar:

$QCROP_{ja}$	oppervlak van gewas j in AO a
$mnirs_{jta,stage}$	minimum netto besproeiingsbehoefte (mm.ha) wat in AO a toegedien moet word om te verseker dat die maksimum toelaatbare stremming vir gewas j in maand t , wat in groeistadium $stage$ val, nie oorskry word nie
$fnirs_{jta,stage}$	netto besproeiingsbehoefte (mm.ha) wat in AO a toegedien moet word om te verseker dat gewas j in maand t , wat in groeistadium $stage$ val, geen stremming ondervind nie
$CU_{jta,stage}$	totale hoeveelheid water wat in AO a deur gewas j in maand t , wat in groeistadium $stage$ val, verbruik word
AW_{jta}	totale hoeveelheid water wat in AO a aan gewas j in maand t toegedien word, ongeag die bron (rivier of dam) van watervoorsiening
SIW_{jt}	totale hoeveelheid water wat in AO a deur die kunsmatige besproeiingsaktiwiteit aan gewas j in maand t toegedien word
$aiew_{jta}$	koëffisiënt vir aangepaste watertoedieningsdoeltreffendheid vir water wat in AO a op gewas j in maand t toegedien word

$aies_{jta}$	koëffisiënt vir watertoedieningsdoeltreffendheid vir 'n kunsmatige besproeiings-aktiwiteit in AO a vir gewas j in maand t
$msiw_{jta}$	maksimum hoeveelheid kunsmatige besproeiing wat per hektaar in AO a aan gewas j in maand t toegedien mag word
$CUDS_{jta,stage}$	verbruikstekort (millimeter stremming) in maand t wat in groeistadium $stage$ val vir die totale oppervlakte van gewas j in AO a

Vergelyking (3.12) en (3.13) verseker dat gewaswaterverbruik tussen 'n toestand van geen stremming en 'n sekere maksimum toelaatbare stremmingsvlak per maand kan varieer. $fnirs_{jta,stage}$ verteenwoordig geen stremming, terwyl $mnirs_{jta,stage}$ die vlak van maksimum stremming voorstel. 'n Maksimum toelaatbare tekort van 20% word in elke maand toegelaat, ongeag watter opbrengsvergelyking gebruik word.

'n Wiskundige prosedure wat van 'n kunsmatige besproeiingsaktiwiteit gebruik maak, word in vergelyking (3.14) en (3.15) gebruik om die toename in watertoedieningsdoeltreffendheid te modelleer soos wat die gewas tekort besproei word. Die gebruik van die kunsmatige besproeiingsaktiwiteit en berekening van parameters $aies_{jta}$ en $aiew_{jta}$ is ingewikkeld. 'n Beter beeld van die prosedures word egter verkry nadat die model in sy geheel bespreek is. In Afdeling 3.5.3 word die gebruik van vergelyking (3.14) en (3.15) volledig uiteengesit.

Vergelyking (3.16) word gebruik om die verbruikstekort te bepaal deur die totale verbruik van die gewas van die totale verbruik onder toestande van geen waterstremming af te trek. Die berekende verbruikstekort word in vergelyking (3.23) of (3.24) gebruik om opbrengste te bereken.

3.5.2.3 Waterbalans

Die waterbalansvergelykings word gebruik om te verseker dat die hoeveelheid water wat uit die rivier onttrek word om koring te besproei nie die aanbod teen 'n sekere waarskynlikheidspeil oorskry nie. Water kan direk uit die rivier onttrek word om koring te besproei of eers in 'n dam gepomp word. Die opsie om water eers in 'n dam te pomp, word gebruik om die effek wat die beheer van die aanbod van water op die ekonomiese koste uitoefen, te kwantifiseer. Die aanname word gemaak dat slegs water wat in 'n spesifieke maand nie benut word en andersins sou wegvloei, opgedam kan word. Die waterbalansvergelykings is as volg:

$$AWR_{at} + WPD_{at} pump_{at} = (water_t - bsv) alloc_a \quad (3.17)$$

$$((dcap_a / 10) begin_{at}) + WPD_{at} pump_{at} + DL_{a,t-1} - AWD_{at} = DL_{at} \quad (3.18)$$

$$WPD_{at} pump_{at} + DL_{a,t-1} \leq dcap_a / 10 \quad (3.19)$$

$$\sum_j AW_{jta} = AWR_{at} + AWD_{at} \quad (3.20)$$

$$AWR_{at} cawr_a + WPD_{at} pump_{at} cwpd_a + AWD_{at} cawd_a = ZIRCT_{at} \quad (3.21)$$

$$\sum_t ZIRCT_{at} = ZIRC_a \quad (3.22)$$

Waar:

AWR_{at}	totale hoeveelheid water wat deur AO a in maand t direk uit die rivier vir besproeiingsdoeleindes onttrek word
WPD_{at}	totale hoeveelheid water wat deur AO a in maand t uit die rivier in die dam gepomp word
DL_{at}	totale hoeveelheid water in die dam van AO a aan die einde van maand t
$DL_{a,t-1}$	totale hoeveelheid water in die dam van AO a wat in die vorige maand ($t-1$) nie benut is nie
AWD_{at}	totale hoeveelheid water wat in maand t vir besproeiing in AO a uit die dam onttrek word
AW_{jta}	totale hoeveelheid water wat in AO a aan gewas j in maand t toegedien word, ongeag die bron (rivier of dam) van watervoorsiening
$ZIRCT_{at}$	totale besproeiingskoste van AO a in maand t
$ZIRC$	totale besproeiingskoste van AO a vir die hele seisoen
$water_t$	totale allokeerbare stroomvloei in maand t
bsv	binnestroomvloeivoorsiening wat elke maand gehandhaaf moet word
$alloc_a$	persentasie aandeel van AO a in totale allokeerbare stroomvloei
$pump_{at}$	parameter wat aandui of AO a in maand t water in die dam mag pomp
$dcap_a$	kapasiteit van die dam (m^3) in AO a
$cawr_a$	koste van AO a om direk uit die rivier te besproei
$cwpd_a$	koste van AO a om water in die dam te pomp
$cawd_a$	koste van AO a om uit die dam te besproei

Vergelyking (3.17) word gebruik om te verseker dat besproeiing direk uit die rivier en water wat eers in die dam gepomp word nie die beskikbare hoeveelheid in die spesifieke maand teen 'n sekere waarskynlikheidspeil oorskry nie. Die regterkantste deel van vergelyking (3.17) bereken die deterministiese ekwivalent vir die KBP-model. Onbenutte water wat in die vorige maand in die dam gepomp is, kan in die volgende maand benut word. Hierdie oordrag word deur vergelyking (3.18) gemodelleer. Vergelyking (3.19) beperk die hoeveelheid water wat in die dam gepomp word en die water wat in die dam was tot die kapasiteit van die dam. Indien 'n AO nie 'n dam het nie word die kapasiteit van die dam as zero geneem behalwe waar die effek van plaasdamme ontleed word. In laasgenoemde geval word daar aangeneem dat die AO 'n dam

het, gelykstaande aan die gemiddelde kapasiteit per ingelyste oppervlakte van die ander AO'e. Die hoeveelheid water wat in 'n spesifieke maand aan die gewas toegedien word, ongeag die bron van voorsiening, word deur vergelyking (3.20) bereken. Die totale veranderlike besproeiingskoste asook die koste om eers water in die dam te pomp word deur vergelyking (3.21) bereken.

3.5.2.4 Opbrengste

Opbrengsverlaging vind plaas indien daar in enige maand gedurende die gewas se groeiseisoen nie aan die gewas se waterbehoefte onder toestande van geen stremming voldoen word nie. Deur vergelyking (3.23) in die CCODI-model in te sluit, word opbrengste deur die SM-model gemodelleer, terwyl vergelyking (3.24) van die SH-model gebruik maak. (Vergelyk met vergelykings (3.2) en (3.3)).

$$QCROP_{ja} ym_j \prod_{stage} \left(1 - kys_{j,stage} \left(1 - \frac{\sum_t CU_{jta,stage}}{\sum_t fets_{jta,stage} QCROP_{ja}} \right) \right) = TY_{ja} \quad (3.23)$$

$$QCROP_{ja} ym_j \left(1 - ky_{ja} \left(\frac{\sum_t \sum_{stage} CU_{ja,stage}}{\sum_t \sum_{stage} fets_{jta,stage} QCROP_{ja}} \right) \right) = TY_{ja} \quad (3.24)$$

$QCROP_{ja}$ oppervlak van gewas j in AO a

TY_{ja} totale produksie van gewas j in AO a

ym_j maksimum potensiele opbrengs per hektaar van gewas j onder toestande van geen stremming

$fets_{jta,stage}$ maksimum evapotranspirasie aanvraag van gewas j in AO a vir maand t wat binne groeistadium $stage$ val

$ky_{j,stage}$ responsiefaktor vir gewas j vir elke groeistadium ($stage$)

ky_j responsiefaktor vir gewas j vir die hele groeiseisoen

Die middelste hakie van elke vergelyking bepaal die persentasie verbruikstekort wat met die responsiefaktor gemaal word om die effek van tekortbesproeiing op die opbrengste van 'n spesifieke gewas te modelleer. Die totale hakies bepaal die persentasie van die maksimum opbrengs wat met inagneming van watertekorte kan realiseer. Met die SH-model is dit 'n eenmalige proses aangesien daar met die totale groeiseisoen gewerk word. Die SM-model neem die effek van waterstremming in verskillende groeistadiums in ag en die persentasie van die maksimum opbrengs wat kan realiseer, word vir elke groeistadium bereken. Elk van die faktore word weer met mekaar vermenigvuldig om 'n finale faktor te gee waarmee maksimum

potensiële opbrengs vermenigvuldig moet word om die finale opbrengs te bereken. Aangesien die faktore van elke groeistadium met mekaar vermenigvuldig word, word 'n meer as proporsionele verlaging in opbrengste gemodelleer indien waterstremming in meer as een groeistadium voorkom. Die opbrengsresponsie faktore wat in die ontledings gebruik is, word in Bylae F aangetoon.

3.5.2.5 Kosteverlaging

Die model maak daarvoor voorsiening dat oes- en kunsmiskoste kan verlaag soos wat die gewas tekort besproei word. Die volgende twee vergelykings word gebruik om die omvang van die verlaging vir dié twee veranderlikes te bereken.

$$\sum_t \sum_{stage} CUDS_{jta,stage} = CUD_{ja} \quad (3.25)$$

$$CUD_{ja} cred_{ajc} = ZCRED_{ajc} \quad (3.26)$$

Waar:

$CUDS_{jta,stage}$	verbruikstekort (millimeter stremming) in maand t wat in groeistadium $stage$ val vir die totale oppervlakte van gewas j in AO a
CUD_{ja}	totale verbruikstekort vir die totale groeiseisoen van gewas j in AO a
$cred_{ajc}$	verlaging in koste c per millimeter hektaar wat gewas j in AO a tekort besproei word
$ZCRED_{ajc}$	totale verlaging in koste c indien gewas j in AO a tekort besproei word

Die kosteverlaging van c per millimeter hektaar is op die totale verbruikstekort gegrond wat veroorsaak dat die kosteverlagings wat met die SM-model gemodelleer word, konserwatief is. Die waarde van $ZCRED_{ajc}$ vir oeskoste in die doelfunksie is zero aangesien kontrakteurs in die gebied per hektaar stroop en gevolglik word geen verlaging in oeskoste gemodelleer nie.

3.5.3 BEREKENING VAN KOËFFISIËNTE VIR AANGEPASTE WATERTOEDIENINGSDOELTREFFENDHEID EN WERKING VAN DIE KUNSMATIGE BESPROEIINGSAKTIWITEIT

Soos reeds uiteengesit, word die toename in watertoedieningsdoeltreffendheid soos wat die gewas tekort besproei word deur vergelyking (3.14) in die CCODI-model gemodelleer. Die waardes vir die koëffisiënte van die aangepaste watertoedieningsdoeltreffendheid ($aiew_{jta}$) en die kunsmatige besproeiingsaktiwiteite ($aies_{jta}$) in dié vergelyking kan deur die volgende matriksvergelyking bereken word:

$$\begin{bmatrix} FAW_{jta} & SIW_{jta} \\ MAW_{jta} & SIW_{jta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} AIEW_{jta} \\ AIES_{jta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} FNIR_{jta} \\ MNIR_{jta} \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

FAW_{jta}	hoeveelheid water wat aan gewas j in AO a teen die gespesifiseerde watertoedieningsdoeltreffendheid onder toestande van geen stremming toegedien moet word om te verseker dat die gewas geen stremming in maand t ondervind nie
MAW_{jta}	hoeveelheid water wat aan gewas j in AO a teen die gespesifiseerde watertoedieningsdoeltreffendheid by die maksimum toelaatbare stremmingsvlak toegedien moet word om te verseker dat die gewas se maksimum toelaatbare stremming nie in maand t oorskry word nie
SIW_{jta}	verskil tussen FAW_{jta} en MAW_{jta}
$AIEW_{jta}$	koëffisiënt vir aangepaste watertoedieningsdoeltreffendheid vir water wat in AO a aan gewas j in maand t toegedien word
$AIES_{jta}$	koëffisiënt vir aangepaste watertoedieningsdoeltreffendheid vir 'n kunsmatige besproeiingsaktiwiteit in AO a vir gewas j in maand t
$FNIR_{jta}$	volle netto besproeiingsbehoefte (mm.ha) wat in AO a toegedien moet word om te verseker dat gewas j in maand t geen stremming ondervind nie
$MNIR_{jta}$	minimum netto besproeiingsbehoefte (mm.ha) wat in AO a toegedien moet word om te verseker dat die maksimum toelaatbare verbruikstekort vir gewas j in maand t nie oorskry word nie

Die volgende voorbeeld word voorgehou om die onbekende waardes in vergelyking (3.27) te bereken. Gestel 24.53 mm.ha van die 142.97 mm.ha water wat die gewas j in maand t onder toestande van geen stremming verbruik, word deur reënval voorsien. 'n Maksimum stremmingsvlak van 20% word toegelaat en daar moet dus 89.85 mm.ha ($0.8 \times 143 - 25$) by maksimum tekort aan die gewas voorsien word. Hierdie hoeveelhede verteenwoordig egter nie die hoeveelheid water wat uit die rivier onttrek moet word nie en moet aangepas word met die gegewe watertoedieningsdoeltreffendheid. Gestel die watertoedieningsdoeltreffendheid is 67% by geen stremming en neem toe tot 76% onder toestande van maksimum stremming. Daar moet dus 176.78 mm.ha ($143 - 25 / 0.67$) water by geen stremming en 118.22 mm.ha ($89 / 0.76$) water by maksimum stremming toegedien word om aan die behoeftes van die gewas te voldoen. 'n Verskil van 59 mm.ha kom voor.

Met die inligting kan vergelyking (3.27) as volg omskryf word:

$$\begin{bmatrix} 176.78 & 58.56 \\ 118.22 & 58.56 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} aiew_{jta} \\ aies_{jta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 118.44 \\ 89.85 \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

Matriks algebra word gebruik om die waardes van $AIEW_{jta}$ en $AIES_{jta}$ te bereken en is onderskeidelik 0.4883 en 0.5485. Deur die waardes in vergelyking (3.14) in te stel, word die volgende vergelyking verkry:

$$SIW_{jta} \times 0.5485 + AW_{jta} \times 0.4883 \geq CU_{jta,stage} \quad (3.29)$$

$CU_{jta,stage}$	totale hoeveelheid water wat in AO a deur gewas j in maand t wat in groeistadium $stage$ val, verbruik word
AW_{jta}	totale hoeveelheid water wat in AO a aan gewas j in maand t toegedien word
SIW_{jta}	totale hoeveelheid water wat in AO a deur die kunsmatige besproeiingsaktiwiteit in AO a aan gewas j in maand t toegedien word

Die kunsmatige besproeiingsaktiwiteit is 'n wiskundige prosedure wat gebruik word om die toename in watertoedieningsdoeltreffendheid te bereken soos wat die gewas tekort besproei word (Willis, 1993:197). Vergelyking (3.29) word vervolgens in die CCODI-model gebruik om die toename in doeltreffendheid soos wat die gewas tekort besproei word, te modelleer.

Ten einde die werking van vergelyking (3.29) in die CCODI-model te demonstreer, word dié vergelyking na die volgende vorm omskryf:

$$CU_{jta,stage} = SIW_{jta} \times 0.5485 + AW_{jta} \times 0.4883 \quad (3.30)$$

Vergelyking (3.30) is vervolgens gebruik om gewaswaterverbruik by verskillende hoeveelhede toegediende water vir 'n oppervlak van een hektaar te bereken. Berekenende waardes wissel tussen toestande van geen stremming en maksimum toelaatbare stremming en word in Tabel 3.2 aangetoon. Die waarde van die kunsmatige besproeiingsaktiwiteit word deur vergelyking (3.15) tot 58.56 mm.ha beperk. Sonder die beperking verbruik die gewas slegs kunsmatige besproeiingswater aangesien die kostes om water te voorsien nie direk gekoppel is aan die aktiwiteit nie.

Die eerste ry in Tabel 3.2 verteenwoordig die situasie waar die gewas geen stremming ondervind nie en daar word dus aan die gewas se volle verbruik voldoen. Onder toestande van geen stremming word 118 mm.ha water deur die gewas in die spesifieke maand benodig en 177 mm.ha moet toegedien word om te verseker dat die gewas geen stremming ondervind nie. Watertoedieningsdoeltreffendheid by volle besproeiing is 67% en kan bereken word deur die verbruik van die gewas deur die hoeveelheid toegediende water te deel. Die laaste ry in die tabel stel die maksimum toelaatbare stremmingsvlak van 20% voor. By die vlak word

118 mm.ha water toegedien en 90 mm.ha daarvan deur die gewas verbruik. Die watertoedieningsdoeltreffendheid by maksimum tekort is 76%.

Tabel 3.2: Illustreering van die werking van die kunsmatige besproeiingsaktiwiteit deur middel van 'n numeriese voorbeeld vir een hektaar koring.

Besproeiingswater toegedien (AW_{jta}) (mm.ha)	Kunsmatige besproeiing (SIW_{jta}) (mm.ha)	Gewaswaterverbruik $CU_{jta,stage}$ (mm.ha)	Doeltreffendheid $(CU_{jta,stage} / AW_{jta}) \times 100$ (%)
176.68	58.56	118.44	67
158.12	58.56	109.38	69
144.38	58.56	102.70	71
129.48	58.56	96.44	73
119.24	58.56	90.48	76
118.22	58.56	89.98	76

$$^1 \quad CU_{jta,stage} = SIW_{jta} \times 0.5485 + AW_{jta} \times 0.4883$$

Die kunsmatige besproeiingsaktiwiteit word gebruik om die toename in doeltreffendheid te modelleer. Die omvang van die aktiwiteit word in kolom twee van die tabel aangetoon en is die verskil tussen die hoeveelheid water wat toegedien moet word by volle verbruik en maksimum stremming. Hierdie parameter het 'n konstante waarde van 59 mm.ha. Verbruik kan vervolgens by verskillende watertoedieningsvlakke deur vergelyking (3.30) bereken word. Die berekeningsprosedure om gewaswaterverbruik te bereken, word vir die eerste ry geïllustreer en is: $0.4883 \times 176.78 + 0.5485 \times 58.56 = 118.4$. Watertoedieningsdoeltreffendheid word bereken deur die gewaswaterverbruik deur die hoeveelheid toegediende water te deel en is: $118.44 / 176.78 = 0.67$. Ander waardes in die tabel om verbruik en doeltreffendheid te bereken soos wat die gewas tekort besproei word, word op soortgelyke wyse bereken.

3.6 CCMARK-PROGRAMMERINGSMODEL

Die CCMARK-model is 'n KBP-programmeringsmodel wat gebruik word om die effek van 'n watermark op die ekonomiese koste om 'n BSV onder toestande van wisselvallige waterbeskikbaarheid met inagneming van moontlike eksternaliteite te handhaaf, te kwantifiseer.

Indien water in 'n opvanggebied ten volle geallokeer is en stroom-af gebruikers van terugvloei afhanklik is, sal derdepartyeffekte voorkom indien stroom-op gebruikers water verhandel. Met die CCODI-model wat in die vorige afdeling bespreek is, is slegs stroomvloei geallokeer en geen derdepartyeffekte is gemodelleer nie. Hierdie gedeelte het ten doel om die prosedures wat gebruik is om 'n watermark met inagneming van moontlike derdepartyeffekte te modelleer, te bespreek. Alhoewel regte vir die benutting van terugvloei geallokeer word, word die verhandeling van terugvloeieregte nie deur die model toegelaat nie. Tekortbesproeiing word ook

nie in die model toegelaat nie vanweë die komplekse interaksie tussen tekortbesproeiing wat die watertoedieningsdoeltreffendheid beïnvloed en terugvloei wat deur die watertoedieningsdoeltreffendheid beïnvloed word.

Vervolgens word die vergelykings wat gebruik is om wateroordragte en die allokasie van water te bepaal meer volledig bespreek.

3.6.1 WATERREGAANDEELOORDRAGTE

Aangesien die nuwe Nasionale Waterwet (No. 36 van 1998) nog nie ten volle geïmplementeer is nie, word die ou bedeling waarvolgens water met die leerstelling van oewereienaarskap geallokeer word, aanvaar en gebruik om water te allokeer. Met die leerstelling het elke besproeiingsboer 'n redelike en proporsionele aandeel in stroomvloei volgens sy besproeibare oppervlakte wat by die besproeiingsraad geregistreer is. Ten einde water te kan verhandel, is daar vir die doel van die navorsing aandele gelykstaande aan die hoeveelheid ingelyste oppervlak van elke AO aan elke AO toegeken. Fisiese hoeveelhede water word dus nie verhandel nie maar eerder waterregaandeel wat elke opvanggebied die reg tot benutting van 'n proporsionele deel van totale stroomvloei gee. Sodoende word watertekorte proporsioneel en redelik tussen opvanggebiede verdeel. Die volgende vergelykings is in GAMS gebruik om die oordragte tussen opvanggebiede te modelleer.

$$\sum_s \sum_b SS_{sb} = \sum_s \sum_b BS_{sb} \quad \text{vir alle } a \quad (3.31)$$

$$BS_{sb} = SS_{sb} \quad \text{vir alle } b \text{ en } s \quad (3.32)$$

$$\sum_b SS_{ab} \leq S_a \quad \text{vir alle } a \quad (3.33)$$

$$S_a - \sum_b SS_{ab} + \sum_s BS_{sa} - RFS_a = DS_a \quad \text{vir alle } a \quad (3.34)$$

$$\sum_b SS_{ab} prf = RFS_a effic \quad \text{vir alle } a \quad (3.35)$$

$$small \sum_b SS_{ab} - BIN_a \leq 0 \quad \text{vir alle } a \quad (3.36)$$

$$small \sum_s SS_{sa} - (1 - BIN_a) \leq 0 \quad \text{vir alle } a \quad (3.37)$$

Waar

SS_{sb}	totale hoeveelheid waterregaandeel wat AO s aan AO b verkoop
BS_{sb}	totale hoeveelheid waterregaandeel wat AO b by AO s koop
S_a	totale hoeveelheid waterregaandeel van AO, a , voor oordragte

RFS_a	totale hoeveelheid waterregaande wat as gevolg van terugvloeivereistes nie deur AO, a , verkoop mag word nie
DS_a	totale hoeveelheid waterregaande van elke AO, a , na oordragte
prf	persentasie van toegediende water wat potensieel deur stroom-af gebruikers benut kan word
$effic$	watertoedieningsdoeltreffendheid
BIN_a	binêre zero een veranderlike

Wanneer wateroordragte gemodelleer word, is dit belangrik dat die hoeveelheid verkope en aankope van waterregaande die selfde moet wees. Vergelyking (3.31) en (3.32) verseker dat laasgenoemde die geval is. Ten einde boek te kan hou van waterregaandeeloorragte en die effek van sulke oordragte op terugvloei is dit noodsaaklik om te weet hoeveel waterregaande tussen spesifieke AO verhandel word. Laasgenoemde veroorsaak dat die veranderlikes SS_{sb} en BS_{sb} wat gebruik word om boek te hou van waterregaandeeloorragte tussen AO's in terme van koper (b) en verkoper (s) gespesifiseer moet word wat die dimensies van die model geweldig uitbrei. Die totale hoeveelheid aande wat deur enige AO verkoop mag word, moet verder minder as die beskikbare hoeveelheid aande voor oordragte wees soos deur vergelyking (3.33) gemodelleer. Indien oordragte van waterregte op gewaswaterverbruik gegrond word, kan al die waterregte nie verkoop word nie en moet 'n sekere hoeveelheid water as terugvloei vir ander gebruikers deurgelaat word. Die hoeveelheid regte wat nie verkoop mag word nie word deur die veranderlike RFS_a in vergelyking (3.35) bereken en is 'n funksie van die besproeiingsdoeltreffendheid wat verdampingsverliese insluit. Die uiteindelijke hoeveelheid waterregte wat elke AO besit nadat oordragte plaasgevind het, word deur vergelyking (3.34) bereken. 'n Binêre veranderlike word in vergelykings (3.36) en (3.37) gebruik om te verseker dat elke AO óf water kan koop óf verkoop.

In die volgende gedeelte word aangetoon hoe die hoeveelheid waterregaande van elke AO gebruik word om die hoeveelheid water wat deur die spesifieke AO benut mag word, te bereken.

3.6.2 ALLOKASIE VAN WATER

Ten einde die komplekse gevolge van waterregaandeeloorragte reg te modelleer, word die reg om water te benut afsonderlik aan drie produksie-aktiwiteite geallokeer. Die *eerste* produksie-aktiwiteit het die reg om water direk uit die rivier te benut ($QCROP_{B_{ja}}$), aan die *tweede* word terugvloei geallokeer ($QCROP_{R_{rfja}}$), terwyl die *derde* water wat as gevolg van waterregaandeeloorragte onbenut deurgelaat moet word ($QCROP_{S_{rfja}}$), kan benut. Deur drie afsonderlike aktiwiteite vir elke opvanggebied te gebruik, kan die effek van waterregaandeel-

oordragte duidelik uitgewys word. Die volgende vergelykings word gebruik om watergebruik en waterallokasie vir elk van die drie produksie-aktiwiteite te modelleer.

QCROP_{B_{ja}}

$$\sum_j QCROP_{B_{ja}} gir_{jta} \leq WATER_{B_{at}} \quad \text{vir alle } a \text{ en } t \quad (3.38)$$

$$water_t B_{ALLOC_a} = WATER_{B_{at}} \quad \text{vir alle } a \text{ en } t \quad (3.39)$$

$$DS_a = halist B_{ALLOC_a} \quad \text{vir alle } a \quad (3.40)$$

$$\sum_j QCROP_{B_{ja}} rflows_{jta} = RF_{B_{at}} \quad \text{vir alle } a \text{ en } t \quad (3.41)$$

QCROP_{R_{rf,ja}}

$$\sum_j QCROP_{R_{rf,ja}} gir_{jta} \leq WATER_{R_{rf,at}} \quad \text{vir alle } rf, a \text{ en } t \quad (3.42)$$

$$\begin{aligned} (RF_{B_{rf,t}} + RF_{R_{rf,t}} + RF_{S_{rf,t}}) \\ rfalloc_{rf,a} = WATER_{R_{rf,at}} \end{aligned} \quad \text{vir alle } rf, a \text{ en } t \quad (3.43)$$

$$\sum_j QCROP_{R_{rf,ja}} rflows_{jta} = RF_{R_{at}} \quad \text{vir alle } a \text{ en } t \quad (3.44)$$

QCROP_{S_{rf,ja}}

$$\sum_j QCROP_{S_{rf,ja}} gir_{jta} \leq WATER_{S_{rf,at}} \quad \text{vir alle } rf, a \text{ en } t \quad (3.45)$$

$$S_{WATER_{rf,t}} rfalloc_{rf,a} = WATER_{S_{rf,at}} \quad \text{vir alle } a \text{ en } t \quad (3.46)$$

$$RFS_a = halist S_{ALLOC_a} \quad \text{vir alle } a \quad (3.47)$$

$$water_t S_{ALLOC_a} = S_{WATER_{at}} \quad \text{vir alle } a \text{ en } t \quad (3.48)$$

$$\sum_j QCROP_{S_{rf,ja}} rflows_{jta} = RF_{S_{at}} \quad \text{vir alle } a \text{ en } t \quad (3.49)$$

Waar

$QCROP_{B_{ja}}$ hoeveelheid hektaar wat deur gewas j in AO a met water wat uit die rivier vir besproeiing geallokeer is, besproei word

$QCROP_{R_{rf,ja}}$ hoeveelheid hektaar wat deur gewas j in AO a met terugvloeiwatervan AO rf besproei word

$QCROP_{S_{rf,ja}}$ hoeveelheid hektaar wat deur gewas j in AO a met water wat deur AO rf as gevolg van wateroordragte as terugvloeideurgelaat moet word, besproei word

$WATER_{B_{at}}$ AO a se geallokeerde stroomvloe in maand t

$WATER_R_{rf,at}$	totale hoeveelheid terugvloeiwat van AO rf wat deur AO a in maand t benut mag word
$WATER_S_{rf,at}$	totale hoeveelheid water van AO rf wat as gevolg van wateroordragte 95 terugvloeï vir benutting deur AO a in maand t deurgelaat moet word
B_ALLOC_a	AO a se berekende persentasie aandeel in stroomvloeï
S_ALLOC_a	AO a se berekende persentasie aandeel in stroomvloeï wat as gevolg van wateroordragte as terugvloeï deurgelaat moet word
$S_WATER_{rf,t}$	totale hoeveelheid water wat in maand t deur AO rf as gevolg van wateroordragte as terugvloeï deurgelaat moet word
$halist$	som van alle AO'e se waterregaandeel
$rflows_{jta}$	hoeveelheid terugvloeï van AO a indien een hektaar van gewas j maand t besproei word
$rfalloc_{rf,a}$	AO a se persentasie aandeel in AO rf se terugvloeï
RF_B_{at}	totale hoeveelheid terugvloeï van produksie-aktiwiteit $QCROP_B_{ja}$ in AO a in maand t
RF_R_{at}	totale hoeveelheid terugvloeï van produksie-aktiwiteit $QCROP_R_{ja}$ in AO a in maand t
RF_B_{at}	totale hoeveelheid terugvloeï van produksie-aktiwiteit $QCROP_S_{ja}$ in AO a in maand t
gir_{jta}	bruto besproeiingsbehoefte van gewas j in maand t wat in AO a besproei word
$water_t$	totale allokeerbare stroomvloeï in maand t

Die eerste vergelyking (3.38; 3.42; 3.45) vir elk van die afsonderlike produksie-aktiwiteite modelleer watergebruik deurdat watergebruik minder as die totale geallokeerde waterbeskikbaarheid vir elke aktiwiteit moet wees. Daarteenoor word die laaste vergelyking van elke produksie-aktiwiteit gebruik om die hoeveelheid terugvloeï te bereken. Terugvloeï is as 'n funksie van toegediende water, besproeiingsdoeltreffendheid en verdampingsverliese bereken. Aangesien tekortbesproeiing nie in die model in ag geneem word nie is terugvloeï konstant. Die ander vergelykings modelleer waterallokasie en sal vervolgens in meer detail bespreek word.

Vergelyking (3.40) bereken die persentasie aandeel van stroomvloeï wat deur $QCROP_B_{ja}$ in elke AO gebruik kan word deur die hoeveelheid aandeel wat elke AO besit deur die totale hoeveelheid van alle aandeelhouers te deel. Die persentasie aandeel van stroomvloeï word vervolgens met die beskikbare stroomvloeï in vergelyking (3.39) vermenigvuldig om sodoende die geallokeerde hoeveelheid water vir benutting deur die spesifieke aktiwiteit te bereken. Deur DS_a te verander, word die effek van wateroordragte op waterbeskikbaarheid gemodelleer.

Terugvloeï word op grond van bestaande waterregaandeel proporsioneel aan stroom-af opvanggebiede geallokeer. Die beskikbare hoeveelheid besproeiingswater wat deur

$QCROP_{R_{rfja}}$ in 'n spesifieke AO benut kan word, word bepaal deur terugvloei van al die produksie-aktiwiteite met die proporsionele persentasie aandeel ($rfalloc_{rf,a}$) in terugvloei wat deur die spesifieke AO benut mag word, te vermenigvuldig. Ten einde meer lig te werp op die allokering van terugvloei en die berekening van $rfalloc_{rf,a}$ word die prosedure vir 'n hipotetiese opvanggebied met vier sub-opvanggebiede aan die hand van Tabel 3.3 verduidelik.

Tabel 3.3 Persentasie aandeel van elke sub-opvanggebied in terugvloei ($rfalloc_{rf,a}$) vir hipotetiese voorbeeld met vier sub-opvanggebiede.

Opvanggebied (<i>a</i>)	Aandele	Terugvloei opvanggebied <i>rf</i>			
		AO1	AO2	AO3	AO4
AO1	100	-	-	-	-
AO2	130	130/430	-	-	-
AO3	120	120/430	120/300	-	-
AO4	180	180/430	180/300	180/180	-
Totale aandele	530	430	300	180	-
AO	subopvanggebied				

Uit Tabel 3.3 is dit duidelik dat terugvloei van 'n spesifieke sub-opvanggebied slegs deur stroom-af opvanggebiede benut kan word. Die proporsionele aandeel van elke stroom-af opvanggebied vanaf AO1 word byvoorbeeld bereken deur elke stroom-af opvanggebied se aandeel te deel deur die som van die aandele van al die opvanggebiede wat die reg het om terugvloei van AO1 te benut. Die terugvloeiereg van 'n spesifieke opvanggebied verskil dus afhange van watter stroom-op opvanggebied se terugvloei benut word. So byvoorbeeld het AO3 'n 120/430 aandeel van AO1 se terugvloei en 'n 120/300 aandeel van AO2 se terugvloei. Ten einde die allokasie van water korrek te modelleer, is dit dus belangrik om presies te weet watter AO se terugvloei vir produksie benut word en om die rede is $QCROP_{R_{rfja}}$ in terme van rf, j en a gedefinieer.

Allokering van water wat as gevolg van wateroordragte as terugvloei deurgelaat moet word, word op presies dieselfde wyse as terugvloei geallokeer met die verskil dat die hoeveelheid water wat as terugvloei deurgelaat word eers bepaal moet word. Laasgenoemde hoeveelheid water word weer bepaal deur van die prosedures wat gebruik word om stroomvloei te allokeer, gebruik te maak (Vergelyk vergelykings (3.47) en (3.48) met (3.39) en (3.40)). Nadat die hoeveelheid terugvloeiwater bepaal is, word die hoeveelheid water met $rfalloc_{rf,a}$ vermenigvuldig om die hoeveelheid water wat deur $QCROP_{R_{rfja}}$ benut kan word, te bepaal.

3.7 BEREKENING VAN DIE EKONOMIESE KOSTE VIR BOERE

Ten einde 'n BSV teen hoë waarskynlikheidspeile te handhaaf, sal besproeiingsboere 'n groter deel van hul normale geallokeerde water onbenut in die rivier moet laat wat ekonomiese kostes veroorsaak. Dié ekonomiese koste kan as die netto geleentheidskoste vir besproeiingsboere om nie meer dieselfde hoeveelheid hektaar as voor die instelling van die BSV te besproei nie, gekwantifiseer word. Meer spesifiek word die netto geleentheidskoste vir boere om die BSV by 'n gespesifiseerde waarskynlikheidspeil te handhaaf, bepaal deur die bruto marges van die optimale boerderyplanne wat vir 'n spesifieke strategie met een van die KBP-modelle bepaal is van 'n gegewe basis situasie af te trek. Die basis situasie waarvan die afwykings gekwantifiseer word, moet reg bepaal word ten einde te verseker dat die kostes nie oor- of onderskat word nie.

Twee afsonderlike basis situasies word vir elk van die twee KBP-modelle bereken aangesien terugvloei met die CCMARK-model geallokeer word, terwyl slegs stroomvloei met die CCODI-model geallokeer word.

3.7.1 IDENTIFISERING VAN DIE BASIS SITUASIE VIR CCODI-MODEL

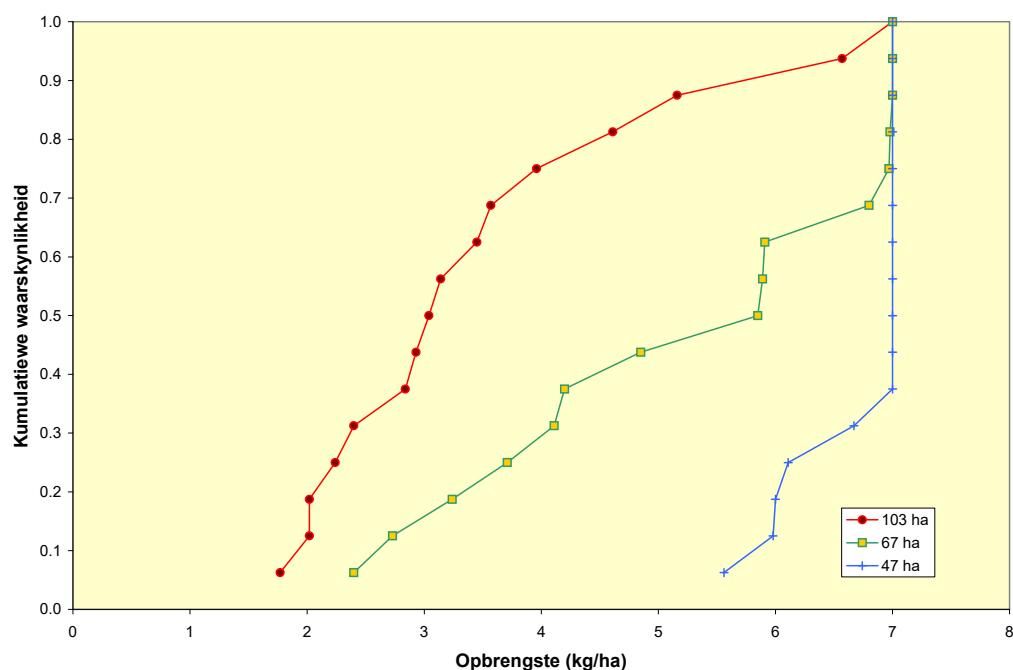
Gegewe die waarskynlikheidsverdeling van beskikbare stroomvloei vir besproeiing, moet die boer besluit watter oppervlakte besproei moet word. Indien 'n boer 'n vaste oppervlakte jaar na jaar besproei, sal daar in sommige jare genoeg en in ander te min water wees om waterstremming te vermy. Die grootte van die oppervlakte sal bepaal in hoeveel persent van die jare waterstremming sal voorkom. FARMS R 1.0 (Firm-level Agricultural Risk Management Simulator) wat deur Meiring (1994) ontwikkel is, word gebruik om verdelings van kontanteindsaldo's op boerderyondernemingsvlak vir drie verskillende besproeide oppervlaktas in elk van die AO's te simuleer. Die verteenwoordigende boerderye wat deur Breytenbach (1994) opgestel is en aan elke AO toegedeel is, is as invoere vir die ontleding gebruik. Stogastiese dominansie met betrekking tot 'n funksie word vervolgens gebruik om die alternatiewe strategieë (besproeide oppervlakte) in voorkeurrangorde vir besluitnemers met verskillende kategorieë van risikogevoeligheid te plaas. Die stogastiese dominansie rekenaarprogram wat deur Robison (1988) ontwikkel is en deur Botes (1990) toegepas is, word vir die doel gebruik. Dieselfde absolute risikovermydingsintervalle wat deur Botes (1990) gebruik is, is in die navorsing gebruik.

Verskille in die gesimuleerde waarskynlikheidsverdelings van kontanteindsaldo's is geleë in die oppervlaktas wat besproei word. 'n Groter oppervlakte sal teweegbring dat die gewas gouer stremming ondervind. Opbrengsverdelings wat die effek van watertekorte as gevolg van 'n vaste oppervlak wat jaarliks besproei word, gegewe 'n waarskynlikheidsverdeling van stroomvloei, is dus kritiese invoer vir FARMS R 1.0. Tans integreer ACRU die aanvraag en aanbod van water deurdat die hoeveelheid water wat deur 'n gegewe gewas oppervlak kombinasie benodig word uit die rivier onttrek kan word, gegewe dat daar water in die rivier is.

Allokasiereëls wat verhoed dat waterstremming eers by stroom-af opvanggebiede gesimuleer word, ontbreek dus.

In samehang met Lecler van die Departement Landbou-ingenieurswese aan die Universiteit van Natal is 'n navorsingsweergawe van ACRU ontwikkel wat die benutting van gesimuleerde stroomvloeie deur 'n spesifieke AO tot 'n sekere maksimum vlak wat op die waterregte van die AO gegrond is, beperk. Sodoende kan die opbrengste van 'n vaste oppervlakbenutting met 'n sekere waterreg wat as invoere in FARMS R 1.0 gebruik word, gesimuleer word. Die ACRU model is ook verder ontwikkel sodat 'n plaasdam en die rivier gelyktydig as waterbron vir besproeiing benut kan word. Laasgenoemde ontwikkeling het plaasgevind aangesien baie boere plaasdamme gebruik om hul waterbeskikbaarheid te vermeerder.

Opbrengsverdelings is vervolgens vir 3 verskillende oppervlakbenuttings van koring vir elk van die AO's met inagneming van die AO se waterreg en teenwoordigheid van plaasdamme gesimuleer. Ten einde die verwantskappe tussen oppervlakbenutting en opbrengste vir 'n gegewe hoeveelheid waterregte toe te lig, word die opbrengsverdelings van AO78 in Figuur 3.4 aangedui.



Figuur 3.4: Kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van opbrengste onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid vir 'n vaste oppervlak van 103 ha, 67 ha en 47 ha onderskeidelik in ACRU opvanggebied 78 met 'n plaasdam.

Uit Figuur 3.4 is dit duidelik dat die kans om 'n maksimum potensiële opbrengs van 7 ton te realiseer, toeneem soos wat die besproeide oppervlakte verklein. Die minimum opbrengste wat

verkry kan word, neem ook toe soos wat kleiner oppervlaktes besproei word wat 'n aanduiding is dat die effek van ernstige watertekorte op opbrengste verminder kan word indien plaasdamme aan die begin van die seisoen vol water gepomp kan word. Alhoewel die minimum opbrengs vir AO'e sonder opgaarddamme ook toeneem, neem dit nie so baie soos in die teenwoordigheid van damme toe nie en ernstige watertekorte benadeel opbrengste dus meer indien daar nie beheer oor die aanbod van water uitgeoefen kan word nie.

Die gesimuleerde opbrengste en gemiddelde hoeveelheid toegediende water is saam met elke AO se besproeiingskoste in FARMS R 1.0 gebruik om die kontanteindsaldo's vir elke AO te genereer.

3.7.2 IDENTIFISERING VAN DIE BASIS SITUASIE VIR CCMARK-MODEL

Met die ontleding van watermarkte word terugvloei ook geallokeer. ACRU is egter nie aangepas sodat terugvloei aan elke AO geallokeer kan word nie. Waterbenutting en dus ook opbrengste van koring wat met terugvloeiwater besproei word, kan dus nie gesimuleer word nie. Die prosedures wat gebruik is om die basis situasie vir die CCODI-model te bepaal, kan dus nie gebruik word om die basis situasie vir die CCMARK-model te bereken nie.

Die basis situasie vir die ontleding van watermarkte waar terugvloei ook geallokeer is, is bepaal deur die optimale benutting van water met die MARK-model vir die mediaan stroomvloei te bereken. Verhandeling van waterregeerders is nie vir die berekening van die basis situasie toegelaat nie. Met die benadering kan die hoeveelheid hektaar wat met terugvloeiwater besproei kan word, bepaal word.

3.8 ONTWIKKELING VAN PROSEDURES VIR LANGTERMYN RISIKOSIMULASIE MET FARMS

Hierdie gedeelte het ten doel om die prosedures wat in die nuwe navorsingsweergawe (R 2.0) van FARMS wat vir langtermyn ekonomiese risiko-ontledings gebruik kan word, te bespreek. Die model word toegepas om die impak van wateroordragte tussen AO50 en AO78 op die langtermyn ekonomiese winsgewendheid van die twee opvanggebiede uit te wys.

Uitbreiding van die FARMS R 1.0 tot FARMS R 2.0 het in drie stappe geskied. Met *stap 1* is 'n langtermyn deterministiese model ontwikkel, *stap 2* voeg risiko by en met *stap 3* is masjinerieërvanging hanteer. Die drie stappe word vervolgens bespreek.

3.8.1 LANGTERMYN DETERMINISTIESE MODEL

As vertrekpunt is die navorsingsweergawe van FARMS R 1.0 wat in Lotus® 3.4 vir DOS ontwikkel is tot 'n Excel® 97 weergawe opdateer en alle nuwe ontwikkeling het in die Excel omgewing plaasgevind. FARMS R 1.0 is as drie modules elk met sy eie spesifieke funksie ontwikkel ten einde geheue probleme te oorkom (Meiring, 1998). Oordrag van data tussen modules is deur makro's verrig wat nie versoenbaar met Excel is nie en die drie modules is in die nuwe model geïntegreer.

Soorgelyke herhalende prosedures wat in FLIPSIM (Richardson en Nixon, 1986) vervat is, is gebruik om 'n langtermyn model daar te stel. Die prosedures wat in FARMS R 1.0 gebruik word om kontantvloei-begrotings vir 'n enkele jaar te genereer, is net so gebruik om elke jaar in die beplanningshorison te ontleed deur elke jaar nuwe invoere vir die model te spesifiseer. Van die invoere soos banksaldo's word deur die model self gegenereer, terwyl ander soos die inflasie op pryse vir elke jaar in die beplanningshorison gespesifiseer moet word. Nadat elke jaar ontleed is, word die afvoer as resultate gestoor. Deur van die herhalende prosedures gebruik te maak, word die ontwikkeling van 'n kontantvloei-begroting vir die volle beplanninghorison uitgeskakel wat die ontwikkeling en verifiëring van die langtermyn model vereenvoudig.

Programmering van die herhalende prosedures is vergemaklik deurdat Excel makro's van Visual Basic programmeringsprosedures gebruik maak. Laasgenoemde het ook die programmering van die risiko iterasies vergemaklik wat in die volgende gedeelte bespreek word.

3.8.2 PROSEDURES VIR DIE HANTERING VAN RISIKO

Vanweë die herhalende aard van die langtermyn model is daar nie 'n aaneenlopende kontantvloei-begroting vir die volle beplanningshorison ontwikkel nie en gevolglik kan @Risk (Palisade Corporation, 1992) nie direk gebruik word om risiko in ag te neem nie. Alhoewel @Risk gebruik kan word om datastelle van gekorreleerde riskante veranderlikes vir elke periode daar te stel, is daar besluit om prosedures in Excel te ontwikkel vir die generering van gekorreleerde veranderlikes en die uitvoering van die risiko-analise. Min kennis aangaande laasgenoemde prosedures is in Suid-Afrika beskikbaar en die meeste navorsers gebruik bestaande prosedures wat in statistiese modelle vervat is. Die ontwikkelde prosedures om gekorreleerde riskante veranderlikes in Excel te genereer, sal deursigtig wees wat die insluiting daarvan in geprogrammeerde ekonomiese modelle moontlik maak.

FARMS R2.0 maak voorsiening vir die karakterisering van risiko deur middel van die driehoek-, empiriese verdeling en punte op 'n kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling. Invers transformasie word gebruik om gekorreleerde veranderlikes uit die gespesifiseerde kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van sodanige veranderlikes te genereer en word vervolgens bespreek.

Die kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling, $F(x)$, van die driekhoekverdeling kan met die volgende vergelyking benader word en is volledig in terme van minimum (a), maksimum (b) en mees waarskynlike of modus (m) gespesifiseer (Hardaker, Huirne en Anderson, 1997):

$$\begin{aligned} F(x) &= (x-a)^2 / (b-a)(m-a), \quad x \leq m \\ F(x) &= 1 - (b-x)^2 / (b-a)(b-m), \quad x > m \end{aligned} \quad (3.50)$$

Deur elke keer 'n x -waarde tussen die minimum en maksimum in vergelyking (3.50) in te stel, kan die ooreenstemmende waarskynlikheid, p , bereken word. Aangesien uniforme gegenereerde waardes (u) net soos p , waardes tussen nul en een aanneem, kan die waarde van x vir u bereken word indien vergelyking (3.50) deur middel van inverse transformasie na $x = f(u)$ omskryf word. Die invers getransformeerde funksie vir die driehoeksverdeling kan as volg voorgestel word:

$$\begin{aligned} x &= a + \left(u (b-a)(m-a) \right)^{0.5}, \quad 0 \leq (m-a)/(b-a) \\ x &= a - \left((1-u)(b-a)(b-m) \right)^{0.5}, \quad (m-a)/(b-a) < u \leq 1 \end{aligned} \quad (3.51)$$

Empiriese verdelings het nie 'n vaste funksie vir $F(x)$ nie en word as diskrete punte op 'n kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling voorgestel. Deur interpolasie kan 'n kontinue funksie van $F(x)$ met die volgende vergelyking verkry word:

$$F(x) = \frac{(x-x_i)}{(x_{i+1}-x_i)}(p_{i+1}-p_i) + p_i, \quad x_i \leq x < x_{i+1} \quad (3.52)$$

As invoere moet die waardes van x en die ooreenstemmende berekende waardes van p van klein na groot rangskik wees. In vergelyking (3.52) stel i en $i+1$ onderskeidelik die onderste en boonste grense waarvoor die waarde van x geïnterpoleer moet word, voor. Aangesien die minimum waarde 'n 20% kans het om te realiseer indien daar vyf uitkomstte van 'n riskante veranderlike moontlik is, word van 'n pseudo minimum gebruik gemaak om tussen die punte te interpoleer (Richardson, 1999). 'n Kumulatiewe waarskynlikheid van zero en een word onderskeidelik aan die pseudo minimum en maksimum toegeken, terwyl die waargenome minimum in die spesifieke geval 'n p -waarde van 10% ($1/n$ -waarnemings/2) en die maksimum 'n waarde van 1-10% of 90% aanneem. Die pseudo minimum en maksimum is onderskeidelik 'n breukdeel kleiner of groter as die waargenome minimum en maksimum.

Die invers getransformeerde kontinue empiriese funksie wat gebruik word om kansveranderlike waardes uit 'n empiriese verdeling te trek, kan as volg geskryf word:

$$x = \frac{(u - p_i)(x_{i+1} - x_i)}{(p_{i+1} - p_i)} + x_i, \quad p_i \leq u < p_{i+1} \quad (3.53)$$

Waar die risiko verbonde aan 'n veranderlike direk as punte op 'n kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling gespesifiseer is, word vergelyking (3.53) ook toegepas.

Deur vergelykings (3.51) en (3.53) toe te pas, kan riskante veranderlikes onderskeidelik uit die driehoek-, empiriese verdeling en punte op 'n kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling gesimuleer word deur univorm gegenereerde waardes in die gepaste vergelykings in te stel. Indien 'n bepaalde korrelasie tussen die veranderlikes gesimuleer wil word, moet die uniform gegenereerde waardes gekorreleer word. Laasgenoemde is moontlik deur van die standaard normaal vergelyking en 'n proses wat as Cholesky faktorisasie bekend staan, gebruik te maak. Meer spesifiek word gekorreleerde waardes met die volgende prosedures genereer.

Genereer 'n aantal onafhanklike ewekansige waardes wat standaard normaal verdeel is (ISND, Independent **S**tandard **N**ormal **D**eviates), gelykstaande aan die aantal iterasies wat uitgevoer wil word, vermenigvuldig met die hoeveelheid riskante veranderlikes. Vir die doel kan van Excel, @Risk of enige statistiese sagteware gebruik gemaak word. Die korrelasiestruktuur wat gesimuleer wil word, word deur die korrelasiematriks (V) gespesifiseer. Cholesky faktorisasie word vervolgens gebruik om vanuit die korrelasiematriks 'n unieke boonste of onderste driehoekige matriks daar te stel waarmee die ISND vermenigvuldig moet word om ewekansig gegenereerde standaard normaal waardes met 'n bepaalde korrelasiestruktuur (CSND, **C**orrelated **S**tandard **N**ormal **D**eviates) daar te stel. Die Cholesky matriks vir die onderste driehoekige matriks word deur die volgende vergelykings herhaaldelik toe te pas, verkry (Dagpunar, 1988:157):

$$c_{ii} = \sqrt{V_{ii} - \sum_{m=1}^{i-1} c_{im}^2} \quad (3.54)$$

$$c_{ij} = (V_{ij} - \sum_{m=1}^{i-1} c_{im} c_{jm}) / c_{ii}, \quad j > i$$

Indien $i-1 = 0$ word die som van die veranderlikes as zero geneem. Hierdie proses is gerekenariseer deur 'n routine in Excel te ontwikkel wat die Cholesky matriks genereer. Die geldigheid van die Cholesky matriks kan getoets word deurdat $cc' = V$ moet wees. Bylae G bevat die korrelasiematriks (V) en die gegenereerde Cholesky matriks wat aan laasgenoemde voorwaarde voldoen. Deur die CSND uniform te maak, kan die uniforme waardes in die invers getransformeerde vergelykings gebruik word om gekorreleerde waardes van meer as een riskante veranderlikes te genereer. Die CSND kan uniform gemaak word deur van die

NORMDIST funksie in Excel wat die oppervlak onder die standaard normaal funksie integreer, gebruik te maak.

Tabel 3. 4: Vergelyking tussen gestelde en gesimuleerde korrelasie matrikse vir 150 iterasies

	Produksie						Prys					
	Mielies	Mielies	Soja	Koring	Kalwers	Melk	Mielies	Mielies	Soja	Koring	Kalwers	Melk
Gespesifiseerde												
Mielies	1.00	1.00	0.74	0.74	0.00	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mielies		1.00	0.74	0.74	0.00	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Soja			1.00	0.68	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Koring				1.00	0.00	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kalwers					1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Melk						1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.10
Mielies							1.00	1.00	0.76	0.48	0.00	0.34
Mielies								1.00	0.76	0.48	0.00	0.34
Soja									1.00	0.84	0.00	0.41
Koring										1.00	0.00	0.01
Kalwers											1.00	0.00
Melk												1.00
Gesimuleerde												
Mielies	1.00	1.00	0.71	0.67	0.06	- ¹	0.04	0.04	0.02	0.10	0.00	-0.12
Mielies		1.00	0.71	0.67	0.06	-	0.04	0.04	0.02	0.10	0.00	-0.12
Soja			1.00	0.58	-0.02	-	0.01	0.01	-0.05	0.00	0.00	-0.09
Koring				1.00	0.06	-	0.02	0.02	-0.04	0.02	0.00	-0.11
Kalwers					1.00	-	-0.07	-0.07	0.02	0.07	0.00	0.06
Melk						1.00	-	-	-	-	-	-
Mielies							1.00	1.00	0.72	0.43	0.00	0.34
Mielies								1.00	0.72	0.43	0.00	0.34
Soja									1.00	0.74	0.00	0.51
Koring										1.00	0.00	0.15
Kalwers											1.00	0.00
Melk												1.00

1. Korrelasie kan nie uitgewerk word nie aangesien die standaard afwyking zero is.

Bogenoemde prosedure is gebruik om tabelle van gekorreleerde waardes vir elke jaar daar te stel wat gebruik word om die risikosimulasie uit te voer. 'n Belangrike toets vir enige prosedure wat gekorrelleerde riskante veranderlikes genereer, is om te bepaal of die gegenereerde waardes wel aan die gestelde korrelasiestruktuur voldoen. Tabel 3.4 toon vervolgens 'n vergelyking tussen die gesimuleerde korrelasiematriks en die gestelde korrelasiematriks wat as invoer verskaf is.

Uit Tabel 3.4 is dit duidelik dat die gestelde korrelasiematriks goed benader word deur die prosedure wat gebruik is om die gekorreleerde waardes te genereer. Die grootste verskil kom voor by die produksie van kalwers waar daar geen korrelasie uitgewerk kon word nie aangesien produksie konstant gehou is en gevolglik is die standaard afwyking ook zero.

Resultate van voorafgaande ontleding het getoon dat die ontwikkelde prosedures voldoende is om gekorreleerde datastelle van riskante veranderlikes daar te stel.

3.8.3 VERVANGING VAN MASJINERIE

Die ontwikkelde model hou automaties boek van die leeftyd van masjinerie deurdat die aantal jare wat 'n spesifieke masjien gebruik word elke jaar vergroot word. Aan die einde van elke jaar word daar op grond van die kontantbalans (krediet en kontantvloei) bepaal of daar genoeg kapitaal beskikbaar is vir die vervanging van masjinerie in die daarop volgende jaar. Indien die kontantbalans bo 'n gespesifiseerde perk is, word die masjinerie waarvan die ekonomiese leeftyd verstrekket, vervang. Aankope word egter beperk tot die verskil tussen die kontantbalans wat gehandhaaf wil word en die gerealiseerde kontantbalans van die vorige jaar. Ou masjinerie word teen markwaarde ingeruil en die aankoopprys verminder dus met die bepaalde bedrag.

Deur bogenoemde prosedure te volg, kan masjinerie nie in die eerste jaar van die beplanningshorison vervang word nie al is die begin kontantbalans bo die gespesifiseerde kontantbalans en al is daar masjinerie waarvan die ekonomiese leeftyd verstryk het.

In die volgende hoofstuk word die prosedures wat in die hoofstuk ontwikkel is, gebruik om die ekonomiese koste om 'n BSV by toenemende vlakke van sekerheid te handhaaf, te kwantifiseer.

HOOFSTUK 4

RESULTATE, BESPREKING EN GEVOLGTREKKINGS

87

4.1	DETERMINISTIESE EKWIVALENTE VIR HANDHAWING VAN BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING	87
4.1.1	STROOMVLOEI-WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS	87
4.1.2	IDENTIFISERING VAN DIE VORM VAN DIE STROOMVLOEI-WAARSKYNLIKHEIDS-VERDELING EN BEREKENING VAN DETERMINISTIESE EKWIVALENTE	90
4.2	BELANGRIKHEID VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID AS RISIKOBRON EN DIE EFFEK DAARVAN OP DIE EKONOMIESE KOSTE VIR DIE HANDHAWING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING	92
4.3	MODELLERING VAN ALTERNATIEWE WATERBESTUURSTRATEGIEË MET INAGNEMING VAN DIE EFFEK VAN WISSELVALLIGE WATERTEKORTE	96
4.3.1	TEKORTBESPROEING EN VERHOOGING VIR BESPROEINGSDOELTREFFENDHEID	97
4.3.2	DAMME	102
4.3.3	ALTERNATIEWE GEWASAKTIWITEITE	106
4.4	IDENTIFISERING VAN DIE BASIS SITUASIE	109
4.5	EKONOMIESE KOSTE EN HANDHAWING VAN BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING VIR DRIE ALTERNATIEWE WATER-GEBRUIKSTRATEGIEË	112
4.5.1	TOTALE OPVANGGEBIEDVLAK	112
4.5.2	SUB-OPVANGGEBIEDVLAK	116
4.6	WATERMARKTE	118
4.7	LANGTERMYN EKONOMIESE EVALUERING VAN WATEROORDRAGTE MET FARMS R2.0.	123

NAVORSINGSIMPLIKASIES

126

BRONNELYS

130

BYLAE A: DIE VERWANTSKAPPE TUSSEN BESPROEINGSPROBLEME EN BESPROEINGSBESTUURSPRAKTYKE EN -BELEIDE OP PLASE EN STAND VAN BESPROEINGSBESTUUR IN DIE WINTERTON BESPROEINGSGEBIED	141
--	-----

BYLAE B: DIE ONTWIKKELING EN ILLUSTRERING VAN 'N KOSTEBEREKENINGS- PROSEDURE VIR SLEEPLYNBESPROEIINGSTELSELS.....	163
BYLAE C: DIE FORMULERING EN EKONOMIESE EVALUERING VAN ENERGIE- BESTUURSTRATEGIEË VIR BESPROEIINGSBOERDERY.....	174
BYLAE D: DIE GENERERING EN GEBRUIK VAN KUMULATIEWE WAARSKYNLIK- HEIDSVERDELINGS VIR DIE EVALUERING VAN DIVERSIFIKASIE AS RISIKOBESTUURSWYSE IN DIE WINTERTONGEBIED.....	188
BYLAE E: OPSOMMING VAN BELANGRIKSTE TEGNIESE KOËFFISIËNTE VIR DIE PROGRAMMERINGSMODELLE.....	200
BYLAE F: OPBRENGSRESPONSIE FAKTORE.....	202
BYLAE G: KORRELASIE EN CHOLESKY MATRIKS.....	204
BYLAE H: BEPALING VAN DIE VORM VAN DIE STROOMVLOEIWAARSKYNLIK- HEIDSVERDELINGS: BestFitUITVOER.....	207
BYLAE I: KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN ALTERNATIEWE OPPERVLAKBENUTTINGS VAN KORING.....	214
BYLAE J: EKONOMIESE KOSTE OP SUB-OPVANGGEBIEDVLAK.....	220

TABEL 4.1:	KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS EN STATISTIESE MOMENTE VAN TOTALE GESIMULEERDE ALLOKEERBARE STROOMVLOEI VIR DIE PERIODE 1980 TOT 1996 VIR BESPROEINGSBOERE IN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED.	88
TABEL 4.2:	IDENTIFISERING VAN DIE BESTE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGVORM (WEIBULL, GAMMA, NORMAAL EN LOGNORMAAL) VIR STROOMVLOEI OP GROND VAN BESTFIT-VOORKEURRANGORDES.	91
TABEL 4.3:	DIE EFFEK VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID OP DIE BESPROEIDE OPPERVLAKTES VAN NEGE SUBOPVANGGEBIEDE IN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED ONDER TOESTANDE VAN GEEN WATERSTREMMING	93
TABEL 4.4:	EKONOMIESE KOSTES VIR NEGE SUB-OPVANGGEBIEDE IN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED VIR DIE HANDHAWING VAN 'N BSV VAN 600 000 M³/MAAND ONDER TOESTANDE VAN GEEN WATERSTREMMING EN VOLMAAKTE STROOMVLOEI INLIGTING.	95
TABEL 4.5	KWANTIFISERING VAN DIE EFFEK VAN WATERTEKORTE OP DIE AFWYKING IN DIE HOEEVEELHEID WATERVERBRUIK, WATER TOEGEDIEN, WATERTOEDIENINGSDOELTREFFENDHEID VANAF TOESTANDE VAN GEEN STREMMING VIR TEKORTBESPROEINGSTRATEGIE EN 'N VERHOGING IN BESPROEINGSDOELTREFFENDHEID VAN 8 PERSENTASIEPUNTE MET 'N VASTE OPPERVLAKBENUTTING VAN 89 HA KORING IN AO78.	98
TABEL 4.6	VERGELYKING TUSSEN DIE STEWART (SM) EN STEWART-HAGAN (SH) OPBRENGSMODELLE IN TERME VAN DIE EFFEK VAN WATERTEKORTE OP DIE VERANDERING IN DIE TOTALE HOEEVEELHEID WATERVERBRUIK, WATER TOEGEDIEN, OPBRENGSTE EN VERANDERLIKE KOSTE VANAF TOESTANDE	101
TABEL 4.7	VERGELYKING TUSSEN DIE STEWART EN STEWART-HAGAN OPBRENGSMODEL TEN OPSIGTE VAN DIE EFFEK VAN WATERTEKORTE OP DIE HOEEVEELHEID WATERVERBRUIK, WATER TOEGEDIEN, WATERTOEDIENINGSDOELTREFFENDHEID EN POTENSIËLE TERUGVLOEI WAAR 'N PLAASDAM GEBRUIK WORD OM BEHEER OOR DIE AANBOD VAN WATER UIT TE OEFEN IN AO78 MET 'N OPPERVLAKBENUTTING VAN 89 HA KORING.	103
TABEL 4.8	VERGELYKING TUSSEN DIE STEWART EN STEWART-HAGAN OPBRENGSMODEL TEN OPSIGTE VAN DIE EFFEK VAN WATERTEKORTE OP DIE VERANDERING IN DIE TOTALE HOEEVEELHEID WATERVERBRUIK, WATERTOEGEDIEN, OPBRENGSTE EN VERANDERLIKE KOSTE VANAF TOESTANDE VAN GEEN STREMMING WAAR 'N PLAASDAM IN AO78 MET 'N OPPERVLAKBENUTTING VAN 89 HA KORING GEBRUIK KAN WORD.	105

TABEL 4.9	VERGELYKING TUSSEN DIE STEWART- EN STEWART-HAGAN-OPBRENGSMODEL SE	
	EFFEK OP DIE OPTIMALE EKONOMIESE ALLOKASIE VAN WATER INDIEN TWEE	
	KORINGGEWASSE IN AO78 OM WATER BY 'N WAARSKYNLIKHEIDSVLAK VAN 8,73	
	% MEEDING. _____	107
TABEL 4.10	IDENTIFISERING VAN DIE BASIS SITUASIE SE OPPERVLAKBENUTTING VAN KORING	
	ONDER TOESTANDE VAN RISKANTE WATERBESKIKBAARHEID VIR	
	BESPROEINGSBOERE MET VERSKILLENDEN RISIKOVOORKEURE IN NEGE	
	SUBOPVANGGEBIEDE VAN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED. _____	111
TABEL 4.11	EKONOMIESE KOSTE EN HIDROLOGIESE IMPAK VAN DRIE ALTERNATIEWE	
	WATERBESTUURSTRATEGIEË VIR DIE HANDHAWING VAN 'N	
	BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING _____	113
TABEL 4.12	PERSENTASIE AFWYKINGS IN BRUTO MARGES VANAF DIE BASIS SITUASIE VIR DRIE	
	ALTERNATIEWE WATERBESTUURSTRATEGIEË IN NEGE SUB-OPVANGGEBIEDE	
	VAN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED. _____	116
TABEL 4.13	VERGELYKING TUSSEN 'N MARK VIR TOTALE WATER MET 'N MARK VIR DIE	
	VERHANDELING VAN WATERVERBRUIK IN DIE KLEIN TUGELARIVIER-	
	OPVANGGEBIED BY 'N WAARSKYNLIKE STROOMVLOEI VAN 20% _____	120
TABEL 4.14	EKONOMIESE KOSTE VIR DIE HANDHAWING VAN 'N BINNESTROOM-	
	VLOEIVOORSIENING MET INAGNEMING VAN 'N WATERMARK VIR VERBRUKTE	
	WATER. _____	122
TABEL 4.15	VERWAGTE PRYSE WAARTEEN WATERREGTE TUSSEN AO78 EN AO50 SAL	
	VERHANDEL. _____	126

- FIGUUR 4.1: VERGELYKING TUSSEN AUGUSTUS EN SEPTEMBER SE KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELING VAN TOTALE GESIMULEERDE ALLOKEERBARE STROOMVLOEI VIR BESPROEIINGSBOERE IN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED. _____ 89**
- FIGUUR 4.2: GRAFIESE VOORSTELLING VAN DIE GESKATTE NORMAALVERDELING SE KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELING VAN TOTALE ALLOKEERBARE STROOMVLOEI VIR BESPROEIINGSBOERE IN DIE KLEIN TUGELARIVIEROPVANGGEBIED GEDURENDE AUGUSTUS. _____ 90**
- FIGUUR 4.3 KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN KONTANTVLOEI OP BOERDERYONDERNEMINGSVLAK VIR 'N OPPERVLAKBENUTTING VAN 103 HA, 67 HA EN 47 HA KORING ONDER TOESTANDE VAN RISKANTE WATERBESKIKBAARHEID VIR BESPROEIINGSBOERE IN AO78. _____ 110**
- FIGUUR 4.4 VERGELYKING VAN DIE VERDISKONTEERDE BANKEINDSALDO'S VAN AO78 VOOR EN NA DIE VERKOOP VAN 40 WATERREGAANDELE AAN AO50. _____ 124**
- FIGUUR 4.5 VERGELYKING VAN DIE VERDISKONTEERDE BANKEINDSALDO'S VAN AO50 VOOR EN NA DIE AANKOOP VAN 40 WATERREGAANDELE VANAF AO78. _____ 125**
- FIGUUR 4.6 KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VAN JAAR 5 SE VERDISKONTEERDE BANKEINDSALDO'S VOOR EN NA DIE VERHANDELING VAN 40 WATERREGAANDELE TUSSEN AO50 EN AO78. _____ 126**

RESULTATE, BESPREKING EN GEVOLGTREKKINGS

In die hoofstuk word die prosedures wat in Hoofstuk 3 ontwikkel is, toegepas om die ekonomiese kostes vir besproeiingsboere te kwantifiseer indien 'n binnestroomvloeivoorsiening (BSV) by toenemende sekerheidspeile onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid gehandhaaf moet word.

4.1 DETERMINISTIESE EKWIVALENTE VIR HANDHAWING VAN BINNE-STROOMVLOEIVOORSIENING

Die hoofdoel met die afdeling is om die deterministiese ekwivalente vir die kans-beperkte programmeringsmodelle (KBP-modelle) te spesifiseer wat sal verseker dat 'n gegewe BSV teen 'n sekere waarskynlikheidspeil gehandhaaf word. Hierdie proses behels twee stappe. *Eerstens* moet die wisselvallige aard van stroomvloei deur middel van 'n waarskynlikheidsverdeling gekwantifiseer word en *tweedens* moet die korrekte vorm van die verdeling bepaal word om sodoende die deterministiese ekwivalente te bereken.

4.1.1 STROOMVLOEI-WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS

Die kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van totale allokeerbare stroomvloei wat met ACRU gesimuleer is, asook sekere statistiese momente word vir Mei tot Oktober vir die periode 1980 tot 1996 in Tabel 4.1 aangetoon. Die kumulatiewe waarskynlikhede (α) in die tabel dui die waarskynlikheid om 'n ooreenstemmende hoeveelheid water en minder te verkry. In vergelyking met die ander maande se stroomvloei is Julie, Augustus en September se stroomvloei die laagste, veral by waarskynlikhede van 70% en laer. Hierdie maande stem ooreen met die periodes waarin koring se besproeiingsbehoefte die hoogste is en daar sal dus in die bespreking op die drie maande klem gelê word aangesien daar verwag kan word dat die handhawing van 'n BSV die meeste in die maande onder druk sal kom.

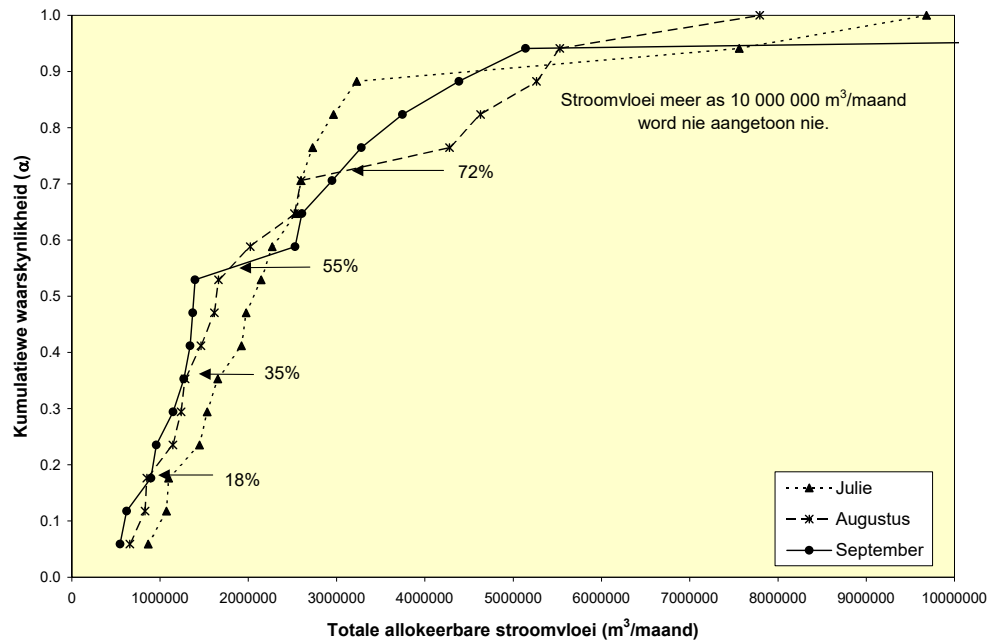
Gegronde op die gemiddelde stroomvloei van September wat ongeveer 'n miljoen kubieke meter per maand hoër as Augustus is en koring se laer besproeiingsbehoefte in September behoort Augustus die beperkendste op koringproduksie in te werk. September se minimum en mediaan is egter laer as Augustus en daar kan dus nie sondermeer aanvaar word dat Augustus altyd die

beperkendste op koringproduksie sal inwerk nie. Indien die waarnemings van die riskante veranderlike wyd verspreid rondom die gemiddeld voorkom, moet die totale verdeling asook die vorm van die verdeling geëvalueer word. Die koëffisiënt van variasie word bereken deur die standaard afwyking deur die gemiddeld te deel en gee dus 'n goeie maatstaf van die variasie wat rondom die gemiddeld voorkom. Julie en Augustus se koëffisiënt van variasie is onderskeidelik 0,84 en 0,78 terwyl September 'n waarde van 1,93 het wat betekenisvol meer as die ander maande is. Aangesien stroomvloeibaie wisselvallig is, word daar vervolgens na die vorm van die waarskynlikheidsverdelings gekyk deur die kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling van totale gesimuleerde allokeerbare stroomvloe vir Julie, Augustus en September in Figuur 4.1 grafies voor te stel.

Tabel 4.1: Kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings en statistiese momente van totale gesimuleerde allokeerbare stroomvloe vir die periode 1980 tot 1996 vir besproeiingsboere in die Klein Tugelarivieropvanggebied.

Kumulatiewe Waarskynlikheid (α)	Totale allokeerbare stroomvloe (m^3 /maand)					
	Mei	Junie	Julie	Augustus	September	Oktober
Minimum	1 498 684	1 010 909	865 839	657 038	546 161	781 973
0.1	1 669 111	1 072 490	1 010 771	777 716	598 711	1 074 536
0.2	1 947 326	1 411 626	1 236 620	968 201	919 950	1 506 811
0.3	2 723 505	1 983 776	1 545 494	1 243 252	1 160 049	2 335 461
0.4	3 285 576	2 426 926	1 868 269	1 427 457	1 324 799	3 024 880
0.5	3 727 382	2 540 587	2 059 734	1 637 422	1 383 435	3 476 728
0.6	4 325 282	2 792 663	2 324 218	2 122 560	2 546 052	4 970 025
0.7	4 965 940	3 227 332	2 589 244	2 590 277	2 914 915	6 679 530
0.8	5 937 791	3 801 481	2 870 933	4 490 040	3 559 558	9 940 318
0.9	6 907 596	4 258 371	4 528 092	5 343 604	4 612 904	13 610 790
Maksimum	8 099 584	7 784 279	9 682 294	7 794 555	33 168 570	20 651 420
Gemiddeld	4 194 743	2 927 842	2 781 275	2 669 476	3 961 773	6 323 874
Standaard afwyking	2 015 528	1 651 853	2 330 384	2 071 809	7 651 120	5 924 774
Variansie($\times 1\,000\,000$)	4 062 353	2 728 620	5 430 688	4 292 392	58 539 630	35 102 940
Skeefheid	0.35	1.34	1.92	1.01	3.24	1.16
Kurtosis	1.82	4.81	5.64	2.81	12.50	3.15
Koëffisiënt van variasie	0.48	0.56	0.84	0.78	1.93	0.94

Uit Figuur 4.1 is dit duidelik dat die algemene vorm van die kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling van stroomvloe vir Julie tot September min of meer dieselfde is. Tot by 'n waarskynlikheid van 55 % vertoon die verdelings relatief regop waarna dit geleidelik na regs en vêr regs buig. Die verskil tussen die minimum stroomvloe en die mediaan is dus baie minder as tussen die mediaan en die maksimum waardes. Laasgenoemde hou belangrike implikasies vir die omvang van die ekonomiese kostes om 'n BSV te handhaaf in. Aangesien die verdelings by lae waarskynlikheidspeile relatief regop is, kan daar verwag word dat ekonomiese koste relatief groot sal wees indien die BSV by toenemende vlakke van sekerheid ($1-\alpha$) gehandhaaf moet word.



Figuur 4.1: Vergelyking tussen Augustus en September se kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling van totale gesimuleerde allokeerbare stroomvloeï vir besproeiingsboere in die Klein Tugelarivieropvanggebied .

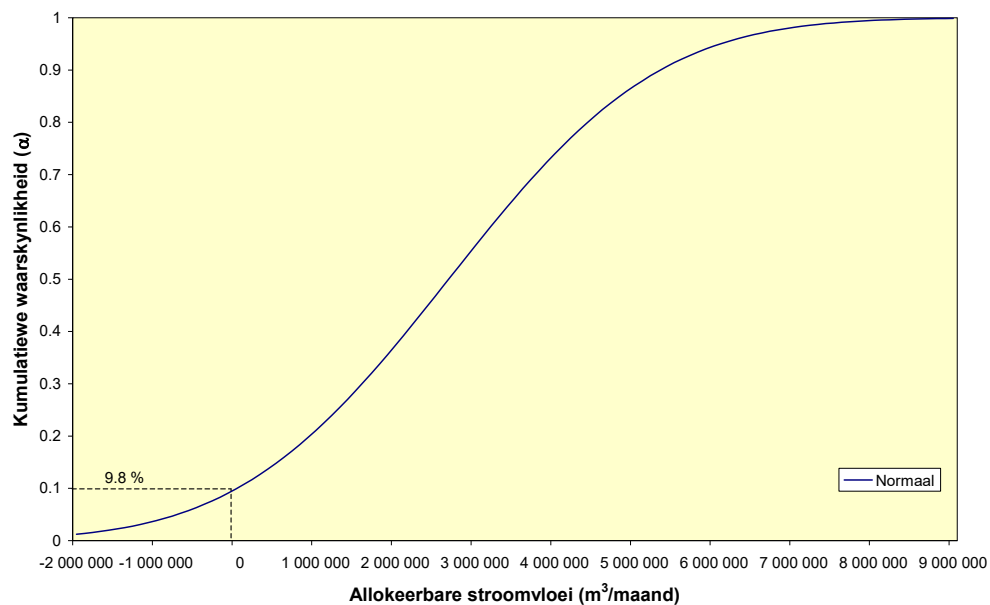
Alhoewel die vorm van die verdelings naastebly dieselfde is, kruis die verdelings wat belangrike implikasies vir koringproduksie inhou deurdat die periode waarin waterstremming voorkom by verskillende waarskynlikheidspeile sal verander. Laasgenoemde word nie genoegsaam deur algemene statistieke soos die gemiddeld, mediaan en minimum in ag geneem nie. Ter verduideliking word September en Augustus se stroomvloeï vergelyk.

Alhoewel September se gemiddelde stroomvloeï hoër as Augustus se stroomvloeï is, is September se stroomvloeï slegs by waarskynlikhede tussen 55% tot 72% en hoër as 94% meer as Augustus se stroomvloeï. Augustus se stroomvloeï is dus 77% ($100 - (72 - 55) - (100 - 94)$) van die kere meer as September se stroomvloeï.

Die gevolgtrekking word gemaak dat gemiddelde stroomvloeï en ander dergelike statistiese maatstawwe soos die minimum en mediaan van min waarde vir waterbestuurders sal wees indien die verspreiding van stroomvloeï wyd verspreid om die maatstawwe voorkom. Hierdie statistiese momente gee geen aanduiding van die waarskynlike voorkoms van stroomvloeï nie en kan dus nie in die KBP-modelle gebruik word om boerderyplanne met inagneming van 'n BSV onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid te optimaliseer nie. Die vorm van die verdeling word dus nie in ag geneem nie. Vervolgens word die vorm van die stroomvloeï-waarskynlikheidsverdelings geskat om sodoende die deterministiese ekwivalente vir die KBP-model te spesifiseer.

4.1.2 IDENTIFISERING VAN DIE VORM VAN DIE STROOMVLOEI-WAARSKYNLIKHEIDSVERDELING EN BEREKENING VAN DETERMINISTIESE EKWIVALENTE

Tradisioneel word aangeneem dat die verdeling van die riskante hulpbron in 'n kans-beperkte programmeringsmodel normaal verdeel is (Paudyal en Das Gupta, 1990:88). Die aanname van normaliteit kan egter nie sonder meer gemaak en aanvaar word nie aangesien die normaalverdeling 'n groot waarskynlikheid aan die voorkoms van 'n negatiewe stroomvloeï kan toeken. Ter ondersteuning van die feit word Augustus se geskatte kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling van totale allokeerbare stroomvloeï vir die normaalverdeling in Figuur 4.2 voorgestel.



Figuur 4.2: Grafiese voorstelling van die geskatte normaalverdeling se kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling van totale allokeerbare stroomvloeï vir besproeiingsboere in die Klein Tugelarivieropvanggebied gedurende Augustus.

Uit Figuur 4.2 is dit duidelik dat die waarskynlikheid om 'n negatiewe stroomvloeï (zero en minder) te realiseer 9.8 % is. Stroomvloeï kan egter nooit negatief wees nie en gebruik van die normaalverdeling sal die skatting van die ekonomiese koste vir boere by lae waarskynlikhede prakties onmoontlik maak. Die t-waardes van die normaalverdeling kan dus nie gebruik word om die deterministiese ekwivalente vir 'n spesifieke waarskynlikheidspeil te bereken nie. Die belangrikheid om die beste waarskynlikheidsverdelingvorm van stroomvloeï te skat, word beklemtoon.

Vervolgens is die Kolmogorov-Smirnov toets gebruik om die hipotese dat stroomvloeï van 'n spesifieke maand nie beduidend van die normaal, lognormaal-, Weibull- of gammaverdelings verskil nie vir Mei tot Oktober getoets. Volledige resultate van die toetse word in Bylae B gegee. Tabel 4.2 toon vervolgens slegs die voorkeurrangorde van die verdelings wat met behulp van BestFit geskat is. 'n Funksie word beter as 'n ander geag indien sy toetsingstatistiek kleiner is.

Tabel 4.2: Identifisering van die beste waarskynlikheidsverdelingvorm (Weibull, gamma, normaal en lognormaal) vir stroomvloeï op grond van BestFit-voorkeurrangordes.

	Voorkeurrangorde			
	Lognormaal	Gamma	Normaal	Weibull
Mei	3	2	1	Verwerp
Junie	2	1	3	Verwerp
Julie	1	2	Verwerp	Verwerp
Augustus	1	2	3	Verwerp
September	1	Verwerp ¹	Verwerp	Verwerp
Oktober	1	2	2	Verwerp

¹ Die nulhipotese (stroomvloeï van die spesifieke maand verskil nie beduidend van die statistiese funksie wat gepas word nie) word teen 'n α van 0.15 verwerp.

Die hipotese dat stroomvloeï in enige van die maande onderskeidelik beduidend van die lognormaalverdeling verskil, kan deurgaans nie verwerp word nie aangesien die aangepaste toetsingswaarde¹ telkens kleiner as die kritieke waarde by 'n α van 0.15 is. 'n Rangorde van een word vier uit die ses maande vir die lognormaalverdeling toegeken, terwyl Junie 'n rangorde van twee en Mei 'n rangorde van drie het. In Junie domineer die gammaverdeling die ander verdelings, terwyl dit in die ander maande behalwe vir September waar dit verwerp word 'n rangorde van twee het. Die normaalverdeling word statisties selgs in Mei bo die ander verdelings verkies, terwyl dit in Julie en September vewerp word en in die ander maande 'n rangorde van drie of twee het. Die Weibullverdeling word deurgaans by 'n α van 0.15 verwerp. Statisties het die lognormaalverdeling die beste gevaar.

Bogenoemde resultate is egter teenstrydig met die van Grové (1997) wat gevind het dat die Weibullverdeling op grond van die Kolmogorov-Smirnov toets bo die ander verkies word. Die volgende verklaring van die teenstrydigheid word aangevoer. 'n Belangrike veranderlike wat die betroubaarheid van die Kolmogorov-Smirnov toets beïnvloed, is die hoeveelheid waarnemings (Palisade, 1995:2-24). In die navorsing is die toetsingstatistiek van die Kolmogorov-Smirnov toets op slegs 17 waarnemings gegrond terwyl Grové (1997) meer as 30 waarnemings gehad het. Met meer waarnemings word die werklike vorm van die kumulatiewe stroomvloeï-waarskynlikheidsverdeling beter benader wat statistiese toetsing vergemaklik. Op grond van die

¹ Die kritieke waardes van die Kolmogorov-Smirnov toets word met Monte Carlo simulase bereken en die toetsingstatistiek moet vervolgens aangepas word om die nulhipotese te toets. Vir die Weibullverdeling moet die toetsingstatistiek (D_n) as volg aangepas word: $\sqrt{n} D_n$ (Palisade Corporation, 1995).

relatief swak statistiese resultate wat met die beperkte hoeveelheid waarneming verkry is, is besluit om die deterministiese ekwivalente vanaf die empiriese verdeling van stroomvloeï te bereken. Die vlak van die BSV wat ontleed word, is van so 'n omvang dat dit slegs 90% van die kere in September gehandhaaf kan word indien geen water uit die rivier onttrek word nie (kyk Hoofstuk 3). In al die ander maande kan die BSV teoreties 100% van die kere gehandhaaf word indien geen water vir besproeiing onttrek word nie.

Die gevolgtrekking kan gemaak word dat algemene statistiese momente geen aanduiding van die waarskynlike voorkoms van 'n veranderlike gee nie. Hierdie momente kan dus nie in 'n programmeringsmodel gebruik word om die ekonomiese koste vir die handhawing van 'n BSV onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid te bereken nie. Die omvang van die deterministiese ekwivalent en dus die handhawing van 'n BSV word betekenisvol deur die vorm van die waarskynlikheidsverdeling beïnvloed. Die belangrikheid om die beste waarskynlikheidsverdelingsvorm van stroomvloeï te skat, kan dus nie genoeg beklemtoon word nie. Normaliteit kan selde aanvaar word aangesien stroomvloeï nooit negatief kan wees nie.

Indien die minimum beskikbare hoeveelheid water meer is as wat deur 'n gegewe oppervlak gewaskombinasie benodig word om stremming te vermy, sal stroomvloeï, ongeag hoe wisselvallig dit is, nie beperkend op produksie inwerk nie. Stroomvloeï moet dus met die produksieplanne van besproeiingsboere in verband gebring word om sodoende te kan bepaal hoe belangrik dié risikobron vir die besproeiingsboere in die Klein Tugelarivieropvanggebied is.

4.2 BELANGRIKHEID VAN WISSELVALLIGE WATERBESKIKBAARHEID AS RISIKOBRON EN DIE EFFEK DAARVAN OP DIE EKONOMIESE KOSTE VIR DIE HANDHAWING VAN 'N BINNESTROOMVLOEIVOORSIENING

Die gedeelte het ten doel om die hoeveelheid water wat vir 'n gegewe oppervlak gewaskombinasie benodig word met die beskikbare besproeiingswater te in verband te bring ten einde te bepaal of wisselvallige waterbeskikbaarheid wel beperkend op produksie is. Die belangrikheid van wisselvallige waterbeskikbaarheid kan sodoende bepaal word. Vir die doel is 'n KBP-model gebruik wat geen gewaswaterstremming toelaat nie aangesien daar aanvaar word dat boere waterstremming sal vermy indien water volop en goedkoop is.

Resultate van die ontleding word by verskillende waarskynlikheidspeile van waterbeskikbaarheid in Tabel 4.3 aangetoon. Elke waarskynlikheidspeil dui op die waarskynlikheid om 'n ooreenstemmende oppervlak en minder onder toestande van geen waterstremming te kan besproei.

Tabel 4.3: Die effek van wisselvallige waterbeskikbaarheid op die besproeide oppervlakte van nege subopvanggebiede in die Klein Tugelarivieropvanggebied onder toestande van geen waterstremming

Kumulatiewe Waarskynlikheid (α)	Besproeiingsoppervlakte onder toestande van geen BSV (ha)								
	AO50	AO62	AO71	AO78	AO79	AO84	AO86	AO92	AO99
Minimum	11	13	13	22	14	4	8	14	12
0.1	12	15	14	24	15	5	8	15	13
0.2	16	20	19	32	21	6	11	21	20
0.3	20	26	24	41	27	8	14	27	25
0.4	23	30	28	48	31	9	17	31	29
0.5	26	34	32	55	35	10	19	35	30
0.6	34	44	41	71	46	14	25	46	43
0.7	42	54	50	86	56	17	30	56	50
0.8	60	55	69	114	73	22	40	66	50
0.9	86	55	100	178	115	34	62	66	50
Maksimum	100	55	100	186	160	100	180	66	50
Gemiddeld	33	36	39	67	43	13	23	39	32
Standaard afwyking	22	16	25	42	27	8	15	19	14
Variansie($\times 1\ 000\ 000$)	463	246	620	1777	742	66	215	354	196
Skeefheid	1.20	0.19	1.19	1.26	1.28	1.26	1.26	0.43	0.17
Kurtosis	0.68	-1.56	0.75	1.13	1.22	1.14	1.14	-1.33	-1.50
Koëffisiënt van variasie	0.65	0.44	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.49	0.43

In die ontleding dui die maksimum oppervlakte op die oppervlakte wat besproei kan word indien water nie beperkend is nie maar besproeiingsgrond wel. Die mate waartoe wisselvallige waterbeskikbaarheid koringproduksie beïnvloed, verskil tussen die opvanggebiede en is 'n funksie van elke opvanggebied se unieke kombinasie van die vraag en aanbod van water. So byvoorbeeld het AO99 'n 30% ($1-\alpha$) kans om 'n maksimum oppervlakte van 50 ha koring sonder waterstremming te besproei. Indien die gemiddelde oppervlakte van 32 ha besproei word, sal daar slegs 50% van die jare waterstremming voorkom. Indien watertekorte egter wel voorkom, kan dit drasties wees deurdat die minimum oppervlakte wat onder toestande van geen stremming besproei kan word 20 ha minder as die gemiddeld is. Daarteenoor het AO78 beperkte potensiaal om sy volle beskikbare oppervlakte sonder waterstremming te besproei deurdat besproeiingsoppervlakte eers by die maksimum waterbeskikbaarheid beperkend is. Waterstremming sal by AO78 ongeveer 60% van die kere voorkom indien daar besluit word om die gemiddelde oppervlakte van 67 ha te besproei. Die effek van waterstremming blyk ook drasties te wees aangesien daar slegs 24 ha koring wat 43 ha minder as die gemiddeld is, besproei kan word indien waterstremming 90% van die kere vermy wil word.

Die omvang waarmee die oppervlakte ingekort moet word om waterstremming te vermy, lei daartoe dat wisselvallige waterbeskikbaarheid wel 'n betekenisvolle invloed op die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerdery in die Klein Tugelarivieropvanggebied uitoefen. Relatief tot water is grond net in sekere opvanggebiede beperkend.

Ten einde meer lig te werp op die ekonomiese kostes wat veroorsaak word, word die ekonomiese koste vir die handhawing van 'n BSV van 600 000 m³/maand by verskillende waarskynlike stroomvloeivlakke en die maand waarin water die beperkendste op koringproduksie inwerk onder toestande van volmaakte inligting in Tabel 4.4 aangetoon. Die ekonomiese kostes is telkens bereken deur die bruto marge voor die instelling van 'n BSV van die bruto marge na die instelling van 'n BSV af te trek.

Indien volmaakte inligting beskikbaar is, kan boere elke jaar die oppervlakte koring wat met die beskikbare hoeveelheid water besproei kan word, bepaal. Waterbestuurders belas met die handhawing van 'n BSV kan vervolgens tot 'n groot mate van sekerheid bepaal wat die ekonomiese koste vir boere beloop indien 'n gegewe hoeveelheid water weg van die besproeiingsboere vir die handhawing van 'n BSV geallokeer word. Na verwagting behoort die kostes konstant te wees aangesien dieselfde hoeveelheid water elke jaar vir die handhawing van 'n BSV geallokeer word.

Uit Tabel 4.4 is dit duidelik dat daar geen ekonomiese kostes voorkom indien water nie beperkend op koringproduksie inwerk nadat water vir die handhawing van 'n BSV geallokeer is nie. By 'n waarskynlikheidsvlak van 80% het die allokasie van water vir die handhawing van 'n BSV veroorsaak dat Augustus se stroomvloeï nou beperkend op die koringproduksie van AO99 inwerk wat 'n ekonomiese koste R36 600 veroorsaak. Stroomvloeï is te min om die BSV meer as 90% te handhaaf en geen koringproduksie is by waarskynlikheidspeile van 10% en laer moontlik nie en gevolglik word relatief groter ekonomiese koste in vergelyking met die ander waarskynlikheidspeile veroorsaak.

Soos verwag bly die ekonomiese koste om 'n BSV by verskillende waarskynlikheidspeile van waterbesikbaarheid te handhaaf vir 'n spesifieke AO konstant indien die waterbeperkende-maand voor en na die instelling van 'n BSV dieselfde bly. Vir AO50 en AO78 beloop die ekonomiese koste onderskeidelik R37 600 en R78 600 indien Augustus die waterbeperkende-maand voor en na die instelling van die BSV is. Alhoewel die waterbeperkende-maand voor en na die instelling van 'n BSV by 'n waarskynlikheidspeil van 80% dieselfde bly, is Julie nou die waterbeperkende-maand wat ekonomiese koste van onderskeidelik R48 900 en R93 600 vir AO50 en AO78 veroorsaak. By 'n waarskynlikheidspeil van 50% veroorsaak die handhawing van die BSV dat die waterbeperkende maand voor die instelling van die BSV van Augustus na September verander nadat die BSV ingestel is en beloop die ekonomiese koste vir AO50 en AO78 onderskeidelik R43 300 en R92 700. Betekenisvolle verskille kom dus nie net oor opvanggebiede voor nie, maar ook as die waterbeperkende-maand verander. Laasgenoemde beklemtoon die belangrikheid van die spesifieke periode waarin watertekorte voorkom.

Tabel 4.4: Ekonomiese kostes vir nege sub-opvanggebiede in die Klein Tugelarivieropvanggebied vir die handhawing van 'n BSV van 600 000 m³/maand onder toestande van geen waterstremming en volmaakte stroomvloei inligting.

Kumulatiewe	Ekonomiese koste (R)								
Waarskynlikheid (α)	AO50 ¹	AO62	AO71	AO78	AO79	AO84	AO86	AO92	AO99
Minimum	41176 (A,g) ²	51874 (S,g)	48870 (S,g)	84930 (S,g)	55158 (S,g)	16356 (S,g)	29590 (S,g)	55158 (S,g)	46674 (S,g)
0.1	45361 (S,g)	56866 (S,g)	53572 (S,g)	93101 (S,g)	60465 (S,g)	17930 (S,g)	32437 (S,g)	60465 (S,g)	51165 (S,g)
0.2	37602 (A,A)	48870 (A,A)	45235 (A,A)	78607 (A,A)	50628 (A,A)	15091 (A,A)	27406 (A,A)	50628 (A,A)	49150 (A,S)
0.3	37602 (A,A)	48870 (A,A)	45235 (A,A)	78607 (A,A)	50628 (A,A)	15091 (A,A)	27406 (A,A)	50628 (A,A)	50361 (A,S)
0.4	37602 (A,A)	48870 (A,A)	45235 (A,A)	78607 (A,A)	50628 (A,A)	15091 (A,A)	27406 (A,A)	50628 (A,A)	50835 (A,S)
0.5	43260 (A,S)	56988 (A,S)	53348 (A,S)	92695 (A,S)	59046 (A,S)	17723 (A,S)	32347 (A,S)	59046 (A,S)	51275 (S,A)
0.6	37602 (A,A)	48870 (A,A)	45235 (A,A)	78607 (A,A)	50628 (A,A)	15091 (A,A)	27406 (A,A)	50628 (A,A)	47403 (A,A)
0.7	37602 (A,A)	48870 (A,A)	45235 (A,A)	78607 (A,A)	50628 (A,A)	15091 (A,A)	27406 (A,A)	50628 (A,A)	36610 (-,A)
0.8	48854 (J,J)	0 (-,)	56058 (J,J)	93647 (J,J)	60194 (J,J)	18024 (J,J)	32571 (J,J)	31443 (-,J)	0 (-,)
0.9	37602 (A,A)	0 (-,)	30936 (-,A)	86987 (A,J)	56821 (A,J)	16403 (A,J)	30840 (A,J)	0 (-,)	0 (-,)
Maksimum	0 (-,)	0 (-,)	0 (-,)	0 (-,)	50628 (A,A)	15091 (A,A)	27406 (A,A)	0 (-,)	0 (-,)
Gemiddeld	36751	37280	42633	76763	54132	16089	29293	41750	34861

1 AO = ACRU opvanggebied

2 (Waterbeperkende-maand sonder BSV, Waterbeperkende-maand met BSV)
A Augustus - Voldoende water om maksimum oppervlakte te besproei
S September g Geen aanplanting moontlik
J Julie

Volmaakte inligting kom egter nie voor nie wat aanleiding gee tot risiko. Risiko veroorsaak dat enige van die stroomvloeivlakke kan voorkom. Gestel 'n boer in AO78 hoop op 'n goeie jaar en plant 89 ha. Indien die jaar se betrokke hoeveelheid water net genoeg is om 30 ha onder geen stremming te plant, sal daar groot druk op die handhawing van die BSV geplaas word. Konflik sal ontstaan aangesien elke party sy eie belange sal wil beskerm. Vir omgewingsbewustes is dit egter van belang om die BSV soveel keer as moontlik te handhaaf aangesien te lae vloei daartoe kan lei dat die biologiese diversiteit van 'n riviersisteem kan verdwyn. Indien die BSV teen hoë waarskynlikheidspeile gehandhaaf moet word, sal besproeiingsboere 'n groter deel van hul geallokeerde water onbenut in die rivier moet laat.

Samevattend kan die gevolgtrekking gemaak word dat wisselvallige waterbeskikbaarheid 'n belangrike risikobron vir besproeiingsboere in die Klein Tugelarivieropvanggebied is wat koringproduksie nadelig beïnvloed. Die ekonomiese koste om 'n BSV te handhaaf, word verder betekenisvol deur die maand waarin stroomvloei die beperkendste is, beïnvloed. Ten einde die ekonomiese koste vir besproeiingsboere realisties te modelleer, is dit dus nodig om die effek van wisselvallige watertekorte op die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerderye maandeliks in ag te neem.

4.3 MODELLERING VAN ALTERNATIEWE WATERBESTUURSTRATEGIEË MET INAGNEMING VAN DIE EFFEK VAN WISSELVALLIGE WATERTEKORTE

Die hoofdoel met die gedeelte is om te bepaal tot watter mate die skalingsfunksies die verwantskap tussen die beskikbare hoeveelheid besproeiingswater in die rivier, water toegedien, waterverbruik en watertoedieningsdoeltreffendheid kan modelleer ten einde die effek daarvan op opbrengste, opbrengs- en besproeiingsveranderlike koste en potensiële terugvloei te bepaal. 'n Belangrike faktor wat laasgenoemde beïnvloed, is die keuse van die opbrengsvergelyking.

Die CCODI-model word aan die hand van drie strategieë naamlik tekortbesproeiing, 'n verhoging in besproeiingsdoeltreffendheid en 'n kombinasie van tekortbesproeiing en 'n plaasdam getoets. Elk van die strategieë is verder met twee verskillende opbrengsvergelykings getoets ten einde die beste opbrengsvergelyking vir gebruik in die navorsing te identifiseer.

Die volgende verwysingsprosedure word gebruik om elk van die strategieë te identifiseer:

Strategie SM67DAM
 1 2 3

1 Opbrengsvergelyking

SM - Stewart

SH - Stewart-Hagan

2 Aanvangsbesproeiingsdoeltreffendheid onder toestande van geen stremming

67 besproeiingsdoeltreffendheid in basis ontleding

75 verhoging in besproeiingsdoeltreffendheid van 8 persentasiepunte

3 DAM dui op teenwoordigheid van plaasdam

Elk van die strategieë is met 'n vaste oppervlakbenutting ontleed aangesien water wat deur tekortbesproeiing bespaar word, gebruik word om groter oppervlaktes te besproei wat die verwantskappe verdoes. Waar die kompetisie vir water deur verskillende gewasse binne die groeiseisoen geëvalueer is, is besproeiingsoppervlaktes egter as veranderlik geneem. Sodoende kon daar vasgestel word of die CCODI-model die verwantskappe tussen gewasse reg modelleer. Resultate van die ontledings word telkens aan die hand van AO78 aan die leser voorgehou.

4.3.1 TEKORTBESPROEIING EN VERHOOGING VIR BESPROEIINGSDOELTREFFENDHEID

Tabel 4.5 word gebruik om te bepaal tot watter mate die skalingsfunksies die effek van tekortbesproeiing en 'n verhoging in die besproeiingsdoeltreffendheid onder toestande van geen waterstremming op die hoeveelheid waterverbruik, water toegedien, watertoedieningsdoeltreffendheid en potensiële terugvloei kan modelleer. Afwykings van eersgenoemde veranderlikes relatief tot toestande van geen stremming word gerapporteer. Ontledings word eerstens met 'n vaste oppervlakbenutting van 89 ha koring uitgevoer aangesien die CCODI-model water wat deur tekortbesproeiing bespaar word, gebruik om groter oppervlaktes te besproei. Bogenoemde verwantskappe word dus verberg indien oppervlaktes as veranderlik hanteer word.

Die resultate in Tabel 4.5 word slegs vir die SM-model aangetoon aangesien daar min verskille tussen die twee opbrengsmodelle voorgekom het indien oppervlaktes as konstant hanteer is. Die enigste twee verskille is dat die SH-model in Julie 0.82mm.ha/ha water minder onder toestande van geen stremming toedien wat veroorsaak dat die ander veranderlikes dienoooreenkomstig aangepas is. Meer belangrik is die feit dat die SM-model deurgaans tekortbesproeiing maksimaal in Oktober toepas teenoor die SH-model wat geen tekortbesproeiing in die maand toelaat nie. Met die SM-model is die effek van waterstremming op opbrengste in Oktober baie klein aangesien die tydigheid van

Tabel 4.5 Kwantifisering van die effek van watertekorte op die afwyking in die hoeveelheid waterverbruik, water toegedien, watertoedieningsdoeltreffendheid vanaf toestande van geen stremming vir tekortbesproeiingstrategie en 'n verhoging in besproeiingsdoeltreffendheid van 8 persentasiepunte met 'n vaste oppervlakbenutting van 89 ha koring in AO78.

Veranderlike	STRATEGIE SM67 ¹					STRATEGIE SM75 ²				
	Kumulatiewe waarskynlikheid (α)					Kumulatiewe waarskynlikheid (α)				
	0.72	0.65	0.62	0.59	0.55	0.65	0.62	0.59	0.55	0.54
Waterverbruik (mm.ha)	Afwyking relatief tot = 0.72					Afwyking relatief tot = 0.65				
Mei	2479	0	0	0	0	2478	0	0	0	0
Junie	5235	0	0	0	0	5238	0	0	0	0
Julie	7224	0	0	-80	-273	7224	0	0	0	0
Augustus	8604	-545	-1095	-1694	-2283	8605	-498	-1237	-1965	-2143
September	7250	0	0	0	-1188	7251	0	0	-792	-1334
Oktober	1218	0	0	0	0	1218	0	0	0	0
Water toegedien (mm.ha)										
Mei	3699	0	0	0	0	3304	0	0	0	0
Junie	7813	0	0	0	0	6983	0	0	0	0
Julie	10782	0	0	-173	-590	9632	0	0	0	0
Augustus	12842	-1079	-2166	-3352	-4518	11474	-798	-1984	-3150	-3436
September	10822	0	0	0	-2468	9667	0	0	-1313	-2210
Oktober	1600	0	0	0	0	1503	0	0	0	0
Watertoedieningsdoeltreffendheid (%)										
Mei	67	0	0	0	0	75	0	0	0	0
Junie	67	0	0	0	0	75	0	0	0	0
Julie	67	0	0	0	1.20	75	0	0	0	0
Augustus	67.	1.51	3.34	5.81	8.93	75	0.94	2.64	4.78	5.40
September	67	0	0	0	5.56	75	0	0	2.31	4.35
Oktober ³	76	0	0	0	0	81	0	0	0	0
Potensiële terugvloei (mm.ha)										
Mei	666	0	0	0	0	330	0	0	0	0
Junie	1406	0	0	0	0	698	0	0	0	0
Julie	1941	0	0	-67	-229	963	0	0	0	0
Augustus	2312	-372	-746	-1155	-1557	1147	-181	-449	-713	-778
September	1948	0	0	0	-909	966	0	0	-324	-545
Oktober	141	0	0	0	0	59	0	0	0	0

1 Tekortbesproeiing met die Stewart opbrengsmodel met aanvangsdoeltreffendheid van 67%
2 Tekortbesproeiing met die Stewart opbrengsmodel met aanvangsdoeltreffendheid van 75%

3

Gewas word maksimaal gestrem ongeag die feit dat geen water tekorte voorkom nie.
Toestande van geen waterstremming

watertekorte deur die SM-model in ag geneem word. Die verlaging in inkomste via die verlaging in opbrengste is met die SM-model minder as die kostes wat bespaar word deur tekortbesproeiing toe te pas en om laasgenoemde rede word koring maksimaal in Oktober gestrem. Met die SH-model is die effek van watertekorte gedurende die hele groeiseisoen dieselfde en kan geen ekonomiese voordele verkry word indien oppervlaktes nie vergroot kan word nie.

In Tabel 4.5 word toestande van geen stremming deurgaans deur die eerste kolom van elke strategie (gearseer) voorgestel en word eerste bespreek. Onder toestande van geen stremming is waterverbruik vir albei strategieë dieselfde. Waterverbruik is die hoogste in Augustus, September en Julie en die meeste druk sal gevolglik in die maande op die handhawing van 'n BSV uitgeoefen word. Strategie SM75 modelleer die effek van 'n 8 persentasiepunt toename in watertoedieningsdoeltreffendheid en gevolglik word 11% minder water onder toestande van geen stremming toegedien. Terselfdertyd daal afloop en diep dreinerings en gevolglik die hoeveelheid water wat potensieel kan terugvloei met ongeveer 50%. Die waarskynlikheid vir die eerste kolom van elke strategie dui op die persentasie van die kere wat daar te min water is om waterstremming te vermy. Met Strategie SM67 sal stremming 72% van die kere voorkom teenoor Strategie SM75 se 65%. 'n Verhoging in die watertoedieningsdoeltreffendheid van 67% tot 75% veroorsaak dat dieselfde oppervlak met minder water besproei kan word. Sodoende word die waarskynlike voorkoms van waterstremming verlaag en dus ook risiko.

Namate die waarskynlikheidspeil vanaf toestande van geen stremming verlaag word, daal die beskikbare hoeveelheid besproeiingswater. Watertekorte kom dus voor en die gewas moet tekort besproei word. Aangesien die resultate vir 'n vaste oppervlakte van 89 ha opgestel is, kan die verbruikswaardes in die tabel gebruik word om 'n aanduiding van die mate van stremming te verkry. By laer waarskynlikhede as die laaste kolom vir elke strategie moet die oppervlaktes ingekort word om te verseker dat die maksimum hoeveelheid stremming ($1-PSV_j$) wat in 'n spesifieke maand toegelaat word nie oorskry word nie.

By alle waarskynlikhede is waterverbruik in Mei, Junie en Oktober by Strategie SM67 en Strategie SM75 dieselfde. Met die uitsondering van Oktober waar dit onder toestande van geen watertekorte ekonomiese voordelig is om koring maksimaal te strem, kom daar geen stremming in Mei en Junie by alle waarskynlikheidspeile voor nie. Gevolglik bly die hoeveelheid toegediende water, watertoedieningsdoeltreffendheid en potensiele terugvloei ook dieselfde. Augustus se stroomvloeï werk die beperkendste op produksie in by alle waarskynlikheidspeile en waterverbruik daal met 2 283 mm.ha en 2 143 mm.ha onderskeidelik vir Strategie SM67 en Strategie SM75 by die laagste waarskynlikheidspeil. Watertoedieningsdoeltreffendheid neem onderskeidelik met 8.9 en 5.4 persentasiepunte vir Strategie SM67 en Strategie SM75 toe. Die

verhoging in watertoedieningsdoeltreffendheid veroorsaak dat potensiële terugvloeï in Augustus met 1 557 mm.ha en 778 mm.ha onderskeidelik vir Strategie SM67 en Strategie SM75 by die laagste waarskynlikheidspeil van elke strategie daal. Potensiële terugvloeï van Strategie SM67 daal meer aangesien die totale verliese wat potensieel benut kan word, meer is en die waarde van PL_{jt} hoër is. Om die rede styg watertoedieningsdoeltreffendheid by Strategie SM67 met 8.9 persentasiepunte teenoor 'n styging van 5.4 persentasiepunte vir Strategie SM75.

Uit bostaande gedeelte is dit duidelik dat die skalingsfunksies die verwantskappe tussen toegediende water, waterverbruik, besproeiingsdoeltreffendheid en potensiële terugvloeï kan modelleer. Alhoewel laasgenoemde verwantskappe nie betekenisvol deur die opbrengsvergelyking wat in die CCODI-model ingesluit word, beïnvloed word nie word die ekonomiese winsgewendheid van besproeiingsboerdery egter daardeur beïnvloed. Vervolgens word die totale hoeveelheid toegediende water, waterverbruik, opbrengste, veranderlike koste en die bruto marges vir albei opbrengsvergelykings in Tabel 4.6 weergegee.

Toestande van geen waterstremming word weer deur die eerste waarskynlikheidspeil voorgestel en word eerste bespreek. By al vier strategieë word 'n opbrengs van 7 000 kg/ha gerealiseer en word R62 603 se kunsmis oor die totale oppervlak van 89 ha met die SH-model toegedien, terwyl die SM-model se kunsmiskoste ongeveer R345 minder as die SH-model beloop omdat die SM-model tekortbesproeiing maksimaal in Oktober toepas al kom daar geen watertekorte voor nie. Besproeiingskoste verskil egter tussen opbrengsmodelle asook tussen besproeiingsdoeltreffendhede. Laasgenoemde is die gevolg van tekortbesproeiing wat maksimaal deur die SM-model toegepas word en die onvermoë van die SH-model om Julie se waterverbruik korrek te modelleer. Indien die kostebesparing wat in Oktober as gevolg van tekortbesproeiing voorkom buite rekening gelaat word, is die verskil tussen opbrengsmodelle weglaatbaar klein. Ongeag watter opbrengsvergelyking gebruik word, daal die hoeveelheid toegediende water ongeveer 11 % indien besproeiingsdoeltreffendheid met 8 persentasiepunte van 67 % tot 75 % verhoog word. Met die verhoging in besproeiingsdoeltreffendheid word R5 135 (48 889 – 43 754) en R5 294 (49 682 – 44 388) onderskeidelik vir die SM-model en SH-model in besproeiingskoste bespaar.

Die twee opbrengsmodelle word vervolgens by 'n waarskynlikheidspeil van 55% en aanvangsdoeltreffendheid van 67% vergelyk ten einde die effek van watertekorte op die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerdery te bepaal. 'n Verskil van 34 mm.ha (3 745 – 3 711) kom in totale waterverbruik voor wat gelykstaande is aan die hoeveelheid waarmee die SH-model Julie se verbruik verkeerd modelleer. Alhoewel waterverbruik dieselfde is, kom betekenisvolle verskille in opbrengste voor. Met die SM-model daal opbrengste met 409 kg (1 143 – 734) meer as met die SH-model. Die gevolgtrekking word gemaak dat die opbrengsvergelyking 'n betekenisvolle invloed op die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerderye uitoefen.

Tabel 4.6 Vergelyking tussen die Stewart (SM) en Stewart-Hagan (SH) opbrengsmodelle in terme van die effek van watertekorte op die verandering in die totale hoeveelheid waterverbruik, water toegedien, opbrengste en veranderlike koste vanaf toestande van geen stremming vir twee alternatiewe waterbestuurstrategieë met 'n vaste oppervlakbenutting van 89 ha koring, 1996.

Kumulatiewe Waarskynlikheid (α)	Water	Water	Opbrengs	Veranderlike koste ⁵		Bruto marge
	Toegedien	verbruik		Kunsmis	Besproeiing	
	(mm.ha)	(mm.ha)		(kg/ha)	(R)	
STRATEGIE SM67 ¹						
0.72	47 558	32 010	6 998	62 258	48 889	349 017
	Afwyking relatief tot $\alpha = 0.72$					
0.65	-1 079	-545	-197	-488	-1 109	-13 299
0.62	-2 166	-1 095	-395	-979	-2 227	-26 701
0.59	-3 525	-1 774	-619	-1 587	-3 623	-41 584
0.55	-7 576	-3 745	-1 143	-3 350	-7 788	-75 320
STRATEGIE SM75 ²						
0.65	42 563	32 014	6 999	62 262	43 754	354 206
	Afwyking relatief tot $\alpha = 0.65$					
0.62	-798	-498	-180	-445	-820	-12 331
0.59	-1 984	-1 237	-447	-1 107	-2 039	-30 655
0.55	-4 462	-2 756	-911	-2 466	-4 587	-61 861
0.54	-5 647	-3 477	-1 110	-3 110	-5 805	-75 049
STRATEGIE SH67 ³						
0.72	48 330	32 396	7 000	62 603	49 682	347 969
	Afwyking relatief tot $\alpha = 0.72$					
0.65	1 006	511	-101	-458	-1 034	-6 167
0.62	2 093	1 061	-210	-949	-2 152	-12 785
0.59	3 452	1 740	-344	-1 557	-3 548	-20 950
0.55	7 503	3 711	-734	-3 320	-7 713	-44 530
STRATEGIE SH75 ⁴						
0.65	43 179	32 396	7 000	62 603	44 388	353 264
	Afwyking relatief tot $\alpha = 0.65$					
0.62	734	460	-91	-412	-754	-5 723
0.59	1 920	1 200	-237	-1 073	-1 973	-14 916
0.55	4 398	2 719	-538	-2 432	-4 521	-33 754
0.54	5 583	3 439	-681	-3 077	-5 739	-42 679

1 Toestande van geen stremming.

2 Tekortbesproeiing met Stewart opbrengsmodel en aanvangsdoeltreffendheid van 67%.

3 Tekortbesproeiing met Stewart opbrengsmodel en aanvangsdoeltreffendheid van 75%.

4 Tekortbesproeiing met Stewart-Hagan opbrengsmodel en aanvangsdoeltreffendheid van 67%.

5 Tekortbesproeiing met Stewart-Hagan opbrengsmodel en aanvangsdoeltreffendheid van 75%.

6 Oeskoste word as oppervlak-afhanklik hanteer aangesien kontrakteurs in die gebied per hektaar stroop.

Die kostes om die watertoedieningsdoeltreffendheid tot 75% te verhoog, is nie in die ontledings in berekening gebring nie. Deur die netto voordeel as gevolg van 'n verhoging in besproeiingsdoeltreffendheid te bereken, kan die hoeveelheid wat 'n boer vir beter bestuur kan betaal om ten minste nie slegter af te wees as die oorspronklike situasie nie, bepaal word. Die

bedrag moet egter nie vanaf die inkomste onder geen stremming afgetrek word nie aangesien die voordeel dan onderskat word. 'n Verhoging in watertoedieningsdoeltreffendheid lei nie net daartoe dat besproeiingskoste verlaag nie, maar ook dat risiko verminder. By 'n waarskynlikheidspeil van 55% beloop die netto voordeel R19 559 en R12 357 onderskeidelik vir die SM-model en SH-model. Die relatief groter voordeel wat met die SM-model verkry word, is geleë in die wyse waarop opbrengste met die model bereken word. Aangesien die tydigheid van besproeiing in ag geneem word, verhoog opbrengste relatief meer indien meer water deur 'n verhoging in besproeiingsdoeltreffendheid beskikbaar is. Met die SM-model styg opbrengste met 215 kg/ha en met die SH-model met 199 kg/ha.

4.3.2 DAMME

Betekenisvolle verskille kom tussen die die SM-model en SH-model in terme van die hoeveelheid waterverbruik, water toegedien, watertoedieningsdoeltreffendheid en potensiële terugvloei voor indien daar beheer oor die aanbod van water uitgeoefen kan word en die besproeiingsboere onbenutte water kan opgaar totdat dit benodig word. Tabel 4.7 toon die verskille tussen die opbrengsmodelle aan indien 'n vaste oppervlakte van 89 ha besproei word.

By albei opbrengsmodelle stel die eerste waarskynlikheidsvlak (72%) 'n situasie voor waar geen water in die dam gepomp hoef te word om waterstremming te vermy nie. Waterstremming sal egter slegs 38% van die kere voorkom indien die water wat andersins verlore sou gaan in 'n dam opgeberg kan word om sodoende later in die seisoen gebruik te word. Hierdie drastiese verlaging in die hoeveelheid kere stremming kan aan die beheer wat oor die aanbod van water uitgeoefen word deur dit op te berg, toegeskryf word. Sodoende word water wat sou wegvloei later in die seisoen benut. Uitgesonder die feit dat die SH-model deurgaans nie koring in Oktober tekort besproei nie word daar geen verskille tussen die twee opbrengsmodelle onder toestande van geen waterstremming gemodelleer nie.

Betekenisvolle verskille kom egter voor namate water skaarser word en daar oor die optimale waterbenutting van die beskikbare water binne die jaar besin moet word. Die twee modelle word by 'n waarskynlikheidspeil van 26% met mekaar vergelyk om die punt te illustreer. Koring is die gevoeligste vir waterstremming gedurende Augustus gevolg deur September. Aangesien die SM-model die gekombineerde effek van waterstremming in verskillende groeistadiums in ag neem, sal die effek op opbrengste drasties wees indien koring in Augustus en September tekort besproei word. Om die rede word waterstremming gedurende Augustus vermy met die SM-model en word koring vroeg in die seisoen maksimaal gestrem om sodoende water te bespaar wat in die mees kritieke groeiperiodes aangewend kan word. Daarteenoor word groeistadia deur die SH-model buite rekening gelaat en koring word tekort besproei in die maande waarin water

die skaarste is. Die gevolg is dat koring se waterverbruik onderskeidelik in Augustus 1 733 mm.ha en in September 107 mm.ha laer is as met die SM-model. As gevolg van die

Tabel 4.7 Vergelyking tussen die Stewart en Stewart-Hagan opbrengsmodel ten opsigte van die effek van watertekorte op die hoeveelheid waterverbruik, water toegedien, watertoedieningsdoeltreffendheid en potensiële terugvloei waar 'n plaasdam gebruik word om beheer oor die aanbod van water uit te oefen in AO78 met 'n oppervlakbenutting van 89 ha koring.

Veranderlike	STRATEGIE SM67DAM ¹					STRATEGIE SH67DAM ²				
	Kumulatiewe waarskynlikheid (α)					Kumulatiewe waarskynlikheid (α)				
	0.72	0.38	0.33	0.26	0.21	0.72	0.38	0.33	0.26	0.21
Waterverbruik (mm.ha)	Afwyking relatief tot = 0.72					Afwyking relatief tot = 0.72				
Mei	2 479	0	-160	-543	-543	2 479	0	0	0	-543
Junie	5 235	0	0	-1 221	-1 221	5 235	0	0	-24	-1 198
Julie	7 224	0	-1 526	-1 526	-1 526	7 190	0	-1 492	-1 492	-1 492
Augustus	8 604	0	0	0	-2 301	8 604	0	0	-1 733	-2 324
September	7 250	0	0	-1 601	-1 708	7 250	0	-165	-1 708	-1 708
Oktober	1 218	0	0	0	0	1 638	0	0	0	0
Water toegedien (mm.ha)										
Mei	3 699	0	-342	-1 159	-1 159	3 699	0	0	0	-1 159
Junie	7 813	0	0	-2 544	-2 544	7 813	0	0	-51	-2 497
Julie	10 782	0	-3 301	-3 301	-3 301	10 709	0	-3 228	-3 228	-3 228
Augustus	12 842	0	0	0	-4 552	12 842	0	0	-3 429	-4 599
September	10 822	0	0	-3 324	-3 547	10 822	0	-342	-3 547	-3 547
Oktober	1 600	0	0	0	0	2 445	0	0	0	0
Watertoedieningsdoeltreffendheid (%)										
Mei	67	0	2.05	9.20	9.20	67	0	0	0	9.19
Junie	67	0	0	9.17	9.17	67	0	0	0	8.92
Julie	67	0	9.16	9.16	9.16	67	0	9.02	9.02	9.02
Augustus	67	0	0	0	9.04	67	0	0	6.00	9.18
September	67	0	0	8.35	9.19	67	0	0.61	9.19	9.18
Oktober	76	0	0	0	0	67	0	0	0	0
Potensiële terugvloei (mm.ha)										
Mei	666	0	-130	-442	-442	666	0	0	0	-442
Junie	1 406	0	0	-941	-941	1 406	0	0	-19	-924
Julie	1 941	0	-1 279	-1 279	-1 279	1 912	0	-1 251	-1 251	-1 251
Augustus	2 312	0	0	0	-1 569	2 312	0	0	-1 182	-1 585
September	1 948	0	0	-1 225	-1 307	1 948	0	-126	-1 307	-1 307
Oktober	141	0	0	0	0	440	0	0	0	0

1 Toestande van geen stremming.
Tekortbesproeiing met Stewart opbrengsmodel en aanvangsdoeltreffendheid van 67%.

2 Tekortbesproeiing met Stewart opbrengsmodel en aanvangsdoeltreffendheid van 75%.

tekortbesproeiing wat die SH-model in Augustus toelaat, neem die watertoedieningsdoeltreffendheid met 6 persentasiepunte toe en daal terugvloei in Augustus met 1 181mm.ha meer as met die SM-model. Uit die voorafgaande ontleding is dit duidelik dat die opbrengsmodel wat in die CCODI-model ingesluit word die hoeveelheid toegediende water, watertoedieningsdoeltreffendheid en potensiële terugvloei betekenisvol beïnvloed indien water opgegaar kan word.

Die effek van wisselvallige waterbeskikbaarheid op die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerdery word vervolgens vir die SM-model en SH-model in Tabel 4.8 vergelyk.

Tabel 4.8 Vergelyking tussen die Stewart en Stewart-Hagan opbrengsmodel ten opsigte van die effek van watertekorte op die verandering in die totale hoeveelheid waterverbruik, watertoegedien, opbrengste en veranderlike koste vanaf toestande van geen stremming waar 'n plaasdam in AO78 met 'n oppervlakbenutting van 89 ha koring gebruik kan word.

Kumulatiewe Waarskynlikheid (α)	Water Toegedien	Water verbruik	Opbrengs	Veranderlike koste ³		Bruto marge
	(mm.ha)	(mm.ha)		Kunsmis	Besproeiing	
			(kg/ha)	(R)	(R)	(R)
STRATEGIE SM67DAM¹						
0.72	47 558	32 010	6 999	62 603	48 889	349 017
Afwyking relatief tot $\alpha = 0.72$						
0.38	0	0	0	0	14 136	-14 136
0.33	-3 643	-1 686	-158	-1 509	8 674	-19 098
0.26	-10 327	-4 891	-741	-4 375	249	-51 944
0.21	-15 103	-7 299	-1 510	-6 530	-7 368	-100 301
STRATEGIE SH67DAM²						
0.72	48 330	32 396	7 000	62 603	49 683	347 969
Afwyking relatief tot $\alpha = 0.72$						
0.38	0	0	0	0	14 061	-14 061
0.33	-3 569	-1 657	-328	-1 482	8 398	-31 726
0.26	-10 254	-4 958	-981	-4 435	-3 430	-66 370
0.21	-15 029	-7 266	-1 438	-6 500	-7 341	-94 955

¹ Toestande van geen stremming.

² Tekortbesproeiing met Stewart opbrengsmodel en aanvangsdoeltreffendheid van 67%.

³ Tekortbesproeiing met Stewart Hagan opbrengsmodel en aanvangsdoeltreffendheid van 67%.

Oeskoste word as oppervlak-afhanklik hanteer aangesien kontrakteurs in die gebied per hektaar stroop.

Toestande van geen stremming word weereens deur die eerste waarskynlikheidspeil voorgestel. Laasgenoemde word nie weer bespreek nie aangesien dit dieselfde is as die vorige afdeling se resultate. Indien 'n opgaardam beskikbaar is waarin onbenutte water opgegaar kan word, sal waterstremming slegs 38% van die kere voorkom. Die kostes om die dam vol te pomp, verlaag die bruto marge met ongeveer R14 000 by albei die opbrengsmodelle. Vervolgens word die twee opbrengsmodelle by 'n waarskynlikheidspeil van 26% vergelyk. Alhoewel die daling in hoeveelheid toegediende water vir albei strategieë ongeveer dieselfde is, daal die besproeiingskoste van die SH-model met R3 430 terwyl die besproeiingskoste van die

SM-model met R250 toeneem. Laasgenoemde is die gevolg van groter hoeveelhede water wat met die SM-model in die opgaardamme gepomp moet word om stremming later in die seisoen te vermy. Deurdat die SM-model waterstremming in die mees kritieke groeistadiums vermy, verlaag opbrengste met 240 kg/ha minder as met die SH-model. Die netto effek word in die bruto marges weerspieël en die SM-model en SH-model se bruto marges verminder onderskeidelik met R51 900 en R66 400.

Die gevolgtrekking word gemaak dat die opbrengsmodel wat in die CCODI-model gebruik word waterbenutting sowel as die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerdery betekenisvol beïnvloed indien daar beheer oor die aanbod van water deur gebruik van damme uitgeoefen word.

4.3.3 ALTERNATIEWE GEWASAKTIWITEITE

Alhoewel slegs koring in die winter verbou word, is dit belangrik om te demonstreer dat die CCODI-model geskik is om water optimaal aan verskillende gewasse binne dieselfde seisoen te allokeer. Vir die doel word twee koringgewasse gemodelleer wat op verskillende plantdatums geplant word. Uit die voorafgaande gedeeltes is daar klem op die werking van die skalingsfunksies gelê. In die gedeelte word daar klem gelê op die kompetisie van verskillende gewasse vir water en die effek van opbrengsvergelykings op die verwantskappe. Tabel 4.9 dui vervolgens die optimale gewaskombinasies, gepaardgaande kostes en mate van tekortbesproeiing vir twee vlakke van waterbeskikbaarheid aan.

Die optimale produksiepatrone, opbrengste, kostes en mate van tekortbesproeiing van koring wat in Mei (Koring M) of Junie (Koring J) geplant word, asook die geval waar Koring M en Koring J in dieselfde seisoen geplant kan word, word vervolgens in Tabel 4.9 aangedui. Ten einde die mededinging vir water tussen die gewasse beter te verstaan, word die geval waar Koring M of Koring J geproduseer word eerste bespreek.

Uit Tabel 4.9 is dit duidelik dat die opbrengsmodel nie die totale oppervlak van produksie beïnvloed nie en kan onderskeidelik 'n maksimum oppervlak van 147 ha en 134 ha van Koring M of Koring J by 'n stroomvloeawaarskynlikheidspeil van 73% aangeplant word. Die oppervlaktes bly dieselfde aangesien die opbrengsmodel soos reeds in Afdeling 4.3.1 verduidelik, nie waterverbruik en dus die mate van tekortbesproeiing in die maand waarin water die skaarste is, beïnvloed nie. Laer opbrengste wat weer aanleiding gee tot laer bruto marges word met die SM-model gemodelleer aangesien die model die gekombineerde effek van waterstremming in verskillende groeistadiums op opbrengste in ag neem en die gewas maksimaal in die laaste produksiemaand gestrem word. Die verskil in totale bruto marges tussen die twee opbrengsmodelle vir Koring M en Koring J beloop onderskeidelik R20 900 en R32 500.

Die

Tabel 4.9 Vergelyking tussen die Stewart- en Stewart-Hagan-opbrengsmodel se effek op die optimale ekonomiese allokasie van water indien twee koringgewasse in AO78 om water by 'n waarskynlikheidsvlak van 73 % meeding.

Waarskynlikheidsvlak(α): 0.73						
	SH-model ¹			SM-model ²		
	Koring M ³	Koring J ⁴	Beide ⁵	Koring M	Koring J	Beide
Bruto Marges: (R)	488 936	452 947	492 911	468 076	420 444	455 925
Oeskoste vermindering						
Koring Mei	6 357		4 119	6 976		4 710
Koring Junie		5 550	3 911		6 897	4 415
Besproeiingskoste						
Koring Mei	66 851		34 940	65 418		33 528
Koring Junie		58 382	29 424		55 313	28 383
Hektare geplant						
Koring Mei	147		80	147		80
Koring Junie		134	73		134	73
Opbrengs: (Ton/ha)						
Koring Mei	6.14		5.99	5.96		5.65
Koring Junie		6.18	5.95		5.86	5.67
Tekort Indeks						
Koring Mei						
Julie	1.00		0.79	1.00		1.00
Augustus	0.77		0.96	0.77		0.96
September	0.59		0.98	0.59		0.98
Koring Junie						
Julie		0.23	1.00		0.23	0.73
Augustus		0.86	1.00		0.86	1.00
September		0.99	0.99		0.99	0.99
1	Stewart-Hagan-opbrengsmodel			4	Koring geplant in Junie	
2	Stewart opbrengsmodel			5	Koring M en Koring J	
3	Koring geplant in Mei			6	'n Indeks van 1 dui op maksimum stremming	

relatiewe groot verskil wat tussen Koring M en Koring J voorkom, is omdat die twee gewasse se besproeiingsbehoefte en gevoelige stremmingsperiodes verskil.

Deur die twee gewasse saam te verbou kan daar 153 ha in totaal besproei word wat meer is as wat met enige van die gewasse afsonderlik besproei kan word. Die oppervlak van Koring M is egter tot 'n maksimum van 80 ha beperk aangesien Koring M deurgaans bo Koring J verkies word soos deur die hoër opbrengste en bruto marges van Koring M weerspieël word. Met die SH-model word Koring J maksimaal in Julie tot September gestrem en die water wat sodoende bespaar word, word gebruik om waterstremming van Koring M te beperk. Koring M word egter deurgaans meer gestrem as wanneer dit nie vir water met Koring J hoef mee te ding nie. Alhoewel beide gewasse meer gestrem word, maak die ekstra oppervlak wat besproei word op vir die verlies in opbrengste en is die totale bruto marge wat realiseer indien beide gewasse besproei word, meer as wanneer enige van die twee gewasse afsonderlik besproei word. In teenstelling met die SH-model word Koring M maksimaal in Julie met die SM-model tekort besproei en die water wat bespaar word gebruik om waterstremming by Koring J in Julie tot 'n indeks van 0.73 te beperk. In die ander maande word die gewasse tot dieselfde mate as met die SH-model gestrem.

Die gevolgtrekking word gemaak dat die SM-opbrengsvergelyking die mees geskikte is om waterbenutting te optimaliseer waar verskillende gewasse om water meeding. Verder sal die keuse van opbrengsverdeling wat in die CCODI-model ingesluit word die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerdery betekenisvol beïnvloed. Laasgenoemde het weer 'n betekenisvolle invloed op die handhawing van 'n BSV deur veranderende wateronttrekking en terugvloei.

Uit die voorafgaande ontleding is dit duidelik dat 'n strategie wat die aanbod van water beheer groter potensiaal bied om die nadelige effekte van watertekorte teen te werk. Met Strategie SM67DAM moet oppervlaktes slegs 21% van die kere verlaag word om te voorkom dat die maksimum toelaatbare stremmingsvlak ($I-PSV_j$) in enige van die maande nie oorskry word nie. Strategie SM67 en Strategie SM75 moet onderskeidelik 55% en 54% van die kere oppervlaktes verlaag. Tekortbesproeiing wat in 'n sisteem waarin water meer ondoeltreffend aangewend (67%) word, blyk dus meer voordelig te wees as een waarin water doeltreffend aangewend (75%) word aangesien eersgenoemde die hoeveelheid kere wat oppervlakte moet verminder 17% en laasgenoemde 10% is.

Whittlesey en Huffaker (1995) wys daarop dat terugvloei in berekening gebring moet word indien waterbesparingstrategieë geëvalueer word. Water kan slegs bespaar word indien die waterverbruik minder is as die aanvanklike hoeveelheid verbruik. Tekortbesproeiing sal dus water bespaar aangesien waterverbruik deurgaans minder is. Boonop daal waterverbruik deurgaans meer as potensiële terugvloei. 'n Verhoging in watertoedieningsdoeltreffendheid van

8 persentasiepunte onder toestande van geen stremming, het geen invloed op die hoeveelheid water wat verbruik word nie, terwyl afloop met ongeveer 50% daal. 'n Verhoging in water-toedieningsdoeltreffendheid sal dus nie noodwendig daartoe lei dat water bespaar word nie.

Samevattend kan die gevolgtrekking gemaak word dat die keuse van opbrengsvergelyking 'n betekenisvolle invloed op die optimale benutting van water en die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerderye uitoefen. Ten einde die ekonomiese koste verbonde aan die handhawing van 'n BSV korrek te modelleer, moet die effek van waterstremming in verskillende groeistadiums in ag geneem word. Laasgenoemde impliseer die gebruik van die Stewart opbrengsvergelyking om die netto geleentheidskoste vir besproeiingsboere te kwantifiseer. Dié geleentheidskoste moet vanaf die oppervlakte en gepaardgaande inkomste wat ekonomies die doeltreffendste is, bereken word. Indien 'n kleiner of groter waarde gebruik word, sal die kostes onderskeidelik onder- en oorskot word.

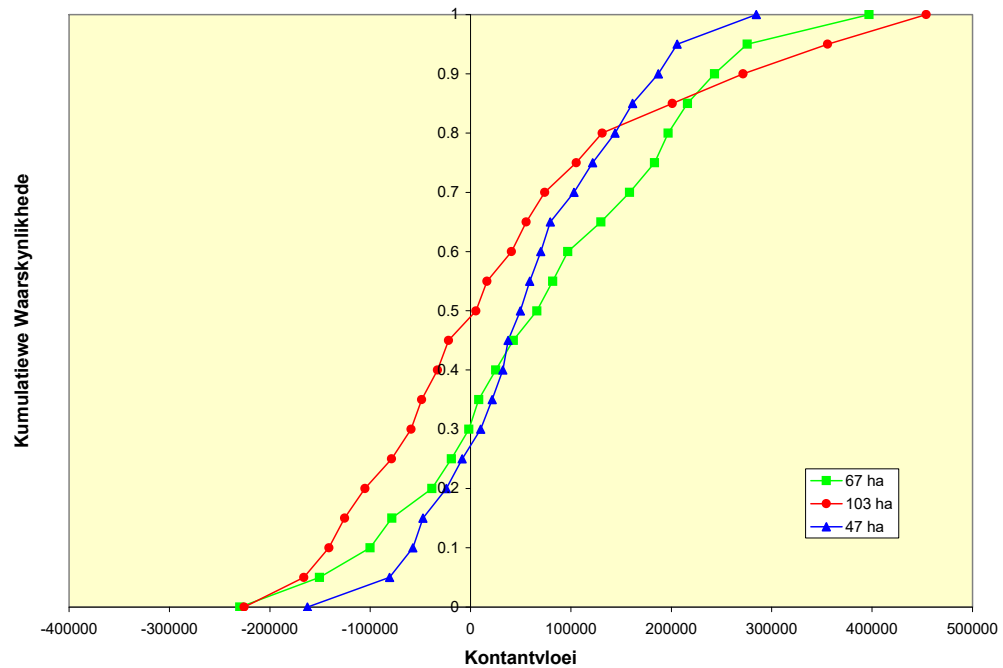
4.4 IDENTIFISERING VAN DIE BASIS SITUASIE

Ten einde die impak van die alternatiewe waterbestuurstrategieë met inagneming van die handhawing van 'n BSV onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid te evalueer, word die strategieë met die oppervlakbenutting en gepaardgaande waterbenutting wat in die afwesigheid van die strategieë wat ontleed word ekonomies die doeltreffendste is, vergelyk. Laasgenoemde oppervlakbenutting en gepaardgaande waterbenuttingspatroon word na as die basis situasie verwys.

In die gedeelte word slegs die oppervlakbenuttings wat in die basis situasie van die CCODI-model gebruik word, bespreek aangesien die basis situasie van die CCMARK-model voor die hand liggend is.

ACRU is gebruik om koringopbrengste vir 'n reeks oppervlakbenuttings in elke AO te simuleer wat vervolgens in FARMS gebruik is om kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van kontantvloeï op boerderyondernemingsvlak vir elk van die AO'e te simuleer. Stogastiese dominansie met betrekking tot 'n funksie is gebruik om die ekonomies doeltreffendste oppervlakbenutting vir besluitnemers met verskillende risikovoorekeure te identifiseer.

Hierdie deel het nie ten doel om elke opvanggebied afsonderlik te behandel nie maar om die verwantskappe wat tussen oppervlakbenutting en kontantvloeï risiko aan die hand van AO78 te verduidelik. Die breë beginsels is egter op elke opvanggebied van toepassing. (Bylae H bevat die kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van kontantvloeï vir al nege die opvanggebiede.) Die gesimuleerde kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van kontantvloeï word vervolgens in Figuur 4.3 vir AO78 aangetoon.



Figuur 4.3 Kumlatiewe waarskynlikheidsverdelings van kontantvloei op boerderyondernemingsvlak vir 'n oppervlakbenutting van 103 ha, 67 ha en 47 ha koring onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid vir besproeiingsboere in AO78.

Die verskille tussen die verdelings kom voor as gevolg van die wisselwerking tussen die besproeiende oppervlaktes, opbrengs risiko, produksiekoste en geallokeerde koste op boerderyondernemingsvlak. 'n Oppervlakbenutting van 67 ha word eerstens met een van 47 ha vergelyk om bogenoemde wisselwerking te bespreek. Die twee verdelings kruis net een keer en vanaf 'n waarskynlikheid van 43% en meer, domineer 67 ha se uitkomst die van 'n oppervlakbenutting van 47 ha. Indien groter oppervlaktes besproei word, verhoog die waarskynlikheid dat waterstremming sal voorkom en dus ook risiko. By hoë waarskynlikhede (43% en meer) is die netto inkomste vir 'n oppervlakbenutting van 67 ha meer aangesien die groter besproeiingsoppervlakte vir die verlaging in opbrengste vergoed sonder dat die koste te groot raak. In swak jare kan groter oppervlaktes egter nie vir die verliese in opbrengs per hektaar vergoed nie en domineer die kleiner oppervlakte in terme van netto inkomste.

Namate die besproeiingsoppervlakte toeneem, verhoog die waarskynlikheid dat waterstremming kan voorkom en so ook die persentasie van die kere wat kleiner oppervlaktes groter oppervlaktes domineer. So byvoorbeeld domineer die 47 ha oppervlakbenutting die van 67 ha 43% van die kere teenoor 80% indien dit met 'n oppervlak van 103 ha vergelyk word.

Stogastiese dominansie met betrekking tot 'n funksie is vervolgens gebruik om tussen die verskillende oppervlakbenuttings te diskrimineer. Resultate wat met behulp van Robison (1988) se stogastiese dominansie program verkry is, word in Tabel 4.10 aangedui.

Tabel 4.10 Identifisering van die basis situasie se oppervlakbenutting van koring onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid vir besproeiingsboere met verskillende risikovoorkure in nege subopvanggebiede van die Klein Tugelarivieropvanggebied.

AO	Waterbron	Basis	Risiko vermydingsinterval		
			Soekend	Neutraal	Vermydend
			-0.0005 tot -0.0001	-0.0001 tot 0.0001	0.0001 tot 0.0003
AO 50	Rivier	23	43	43,23,33	33
AO 62	Rivier	25	46	46,25,36	36
AO 71	Rivier & Dam	51	63	63,51,39	39
AO 78	Rivier & Dam	67	103	103,67,47	47
AO 79	Rivier & Dam	76	96	96,76	76
AO 84	Rivier & Dam	40	40	40,50,30	30
AO 86	Rivier & Dam	23	30	30,23,16	16
AO 92	Rivier & Dam	29	50	50,40,29	29
AO 99	Rivier	42	42	42,23,32	42

AO ACRU-opvanggebied

Uit Tabel 4.10 is dit duidelik dat 'n risikosoekende persoon 'n groter oppervlak sal besproei indien so 'n persoon nut wil maksimeer. 'n Risikosoekende persoon sal die groter oppervlak besproei met die verwagting dat die uitkoms wat realiseer groter is as die ander oppervlakbenuttings. So 'n persoon lê dus meer klem op hoë inkomste en is meer ongevoelig ten opsigte van sy houding oor uitkomst wat laer is as die ander twee oppervlaktes. 'n Risikovermydende persoon sal meer klem lê op die deel van die verdeling wat, in vergelyking met die ander twee oppervlaktes, laer uitkomst lewer. So 'n persoon sal dus gewoonlik kleiner oppervlaktes besproei ten einde laer uitkomst te vermy, ongeag die feit dat hy by hoër waarskynlikheidspele meer inkomste kan verdien deur groter oppervlaktes te besproei. 'n Risikoneutrale persoon staan ongevoelig teenoor die hoeveelheid hektaar wat besproei word en die geïdentifiseerde risikodoeltreffende strategie sluit alle oppervlaktes in. Slegs twee oppervlakbenuttings word vir die risiko neutrale groep by AO79 ingesluit aangesien die 56 ha oppervlak eerste orde stogasties deur 'n oppervlakte van 76 ha gedomineer word. Vanaf 'n waarskynlikheidspeil van 40% en minder, het die twee verdelings egter feitlik dieselfde uitkomst gelewer.

Twee aspekte verg verdere melding voordat die oppervlakbenutting wat in die basis situasie van die CCODI-model ingesluit word, geselekteer word. *Eerstens* is die prosedures in ACRU om besproeiing uit die dam en rivier te besproei nog gebrekkig aangesien besproeiing uit die dam geskied sodra riviervloei nie voldoende is om aan die gewaswaterbehoefte te voldoen nie. 'n Opsie moet dus nog in ACRU ingebou word om aan te toon dat water eers later in die seisoen wanneer die gewas meer gevoelig vir stremming is, toe te dien. Die opbrengste wat gebruik is, is dus te laag. *Tweedens* hanteer FARMS nie besproeiingshoeveelhede en dus besproeiingsveranderlike koste as veranderlik nie. Besproeiingskoste varieer dus nie na gelang van die opbrengs wat verkry word nie al word die gewas tekort besproei. Op grond van die

resultate in Tabel 4.10 en bogenoemde tekortkominge is besluit om 'n oppervlakte wat nie deur 'n risikovermydende of risikosoekende persoon verkies word in die basis situasie in te sluit.

4.5 EKONOMIESE KOSTE EN HANDHAWING VAN BINNESTROOMVLOEI-VOORSIENING VIR DRIE ALTERNATIEWE WATERGEBRUIKSTRATEGIEË

Hierdie gedeelte het ten doel om die ekonomiese koste vir besproeiingsboere met die CCODI-model te kwantifiseer indien 'n deel van hul water vir die handhawing van 'n BSV onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid geallokeer word. Die ekonomiese koste word as die netto geleentheidskoste vir boere gekwantifiseer deurdat hulle nie meer die oppervlakte wat in die basis situasie ingesluit is, sonder dat waterstremming voorkom, kan besproei nie. Daar word eerstens na die ekonomiese koste en hidrologiese impak van die alternatiewe watergebruikstrategieë op totale opvanggebiedvlak gekyk waarna die effek op sub-opvanggebiedvlak ontleed word.

4.5.1 TOTALE OPVANGGEBIEDVLAK

Die ekonomiese koste en hidrologiese impak van sleutelveranderlikes wat vir elke AO in Bylae J aangetoon word, is oor sub-opvanggebiede gesommeer en in Tabel 4.11 aangedui.

Uit Tabel 4.11 is dit duidelik dat die ekonomiese koste vir boere toeneem namate die BSV van 600 000 m³/maand teen hoër waarskynlikheidspeile gehandhaaf moet word. Hierdie kostes spruit voort uit waterstremming wat voorkom en oppervlakte wat verlaag moet word. Meer inkomste kan aanvanklik tot by 'n waarskynlikheid van 70% ($1-\alpha$) verkry word indien Strategie SM67DAM gevolg word aangesien groter oppervlakte besproei kan word. Die beheer wat deur dié strategie op die aanbod van water uitgeoefen word deurdat onbenutte water en water wat deur tekortbesproeiing bespaar word, opgeberg kan word, veroorsaak dat meer water beskikbaar is en gevolglik kan 'n groter oppervlak besproei word. Die omvang van die toename in die inkomste daal totdat dit toenemend negatief word. Alhoewel daar by 'n waarskynlikheidspeil van 80% ($1-\alpha$) 4 ha meer besproei word, beloop die ekonomiese koste R167 102 om die BSV te handhaaf. Laasgenoemde is die gevolg van tekortbesproeiing wat opbrengste verlaag en die ekstra besproeiingskoste om water in die damme te pomp.

Met strategie SM67DAM word daar aangeneem dat die opvanggebied wat nog nie opgaardamme het nie wel damme het. Damkapasiteite is op grond van die gemiddelde kapasiteit per hektaar ingelyste oppervlakte van die AO's met damme toegeken. Deur Strategie SM67 en Strategie SM67DAM met mekaar te vergelyk, kan die ekonomiese voordeel van opgaardamme vir die AO's wat nie damme het nie bereken word. By 'n waarskynlikheidspeil van 80% ($1-\alpha$) beloop die ekonomiese koste om die BSV te handhaaf R441 216 indien Strategie SM67 gevolg word wat ongeveer R274 000 meer is as vir Strategie SM67DAM. Op

Tabel 4.11 Ekonomiese koste en hidrologiese impak van drie alternatiewe waterbestuurstrategieë vir die handhawing van 'n binnestroomvloeivoorsiening

	P ⁴ (1- α)	B-Marge ⁵ (R)	Oppervlak (ha)	Water onttrek (mm.ha)						Potensiële terugvloei (mm.ha)					
				Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt
BASIS SITUASIE	Geen	1 488 684	387	14 878	31 146	34 858	33 543	29 412	7 309	2 823	6 250	8 644	10 399	8 834	644
Afwyking relatief tot die basis situasie															
STRATEGIE SM67¹	0.50	274 576	150	32 249	7 774	-1 034	-6 970	-9 345	2 646	-735	-1 272	-3 319	2 119	-3 521	233
	0.60	130 954	110	25 816	5 151	-5 136	-12 348	-10 847	1 898	-1 056	-2 194	-3 807	848	-3 873	167
	0.70	-112 746	34	17 854	-3 394	-12 437	-17 067	-15 067	473	-1 353	-3 022	-4 672	-788	-4 644	42
	0.80	-441 216	-70	7 002	-14 939	-20 447	-24 112	-21 217	-1 461	-1 764	-3 931	-5 797	-2 983	-5 670	-129
	0.89	-685 317	-150	2 309	-22 973	-27 331	-29 940	-29 118	-3 089	-2 149	-4 790	-6 847	-4 196	-6 430	-263
STRATEGIE SM75²	0.50	460 033	176	33499	5 717	-1 510	-6 970	-9345	2 505	-1 811	-3 758	-6 132	-3 919	-4 658	-260
	0.60	298 534	134	27 091	3 148	-5 566	-12 348	-10 847	1 767	-1 977	-4 329	-6 378	-4 633	-4 928	-289
	0.70	32 672	42	18 552	-5 001	-12 770	-17 067	-15 067	160	-2 142	-4 750	-6 837	-5 436	-4 790	-352
	0.80	-329 108	-66	6 811	-15 619	-20 637	-24 112	-21 217	-1 745	-2 346	-5 202	-7 375	-6 456	-5 719	-426
	0.89	-597 068	-145	2 257	-23 085	-27 338	-29 949	-29 118	-3 235	-2 525	-5 603	-7 879	-7 217	-6 312	-482
STRATEGIE SM67DAM³	0.50	631 623	243	46 996	18 442	2 533	-6 970	-9 345	4 477	-369	-435	-3 668	5 720	-1 030	395
	0.60	476 791	202	40 128	15 459	-2 371	-12 348	-10 847	3 724	-668	-1 307	-4 145	4 701	-2 253	328
	0.70	201 976	119	32 500	4 299	-10 639	-17 067	-15 067	2 173	-970	-2 145	-4 826	2 591	-3 207	191
	0.80	-167 102	4	17 998	-10 356	-18 551	-24 112	-21 217	33	-1 732	-3 854	-5 689	-327	-3 936	3
	0.89	-410 177	-72	12 321	-18 660	-23 434	-28 240	-29 118	-1 530	-1 969	-4 376	-6 266	-1 979	-4 667	-125

1 Tekortbesproeiing met Stewart opbrengsmodel en aanvangsdoeltreffendheid van 67%.

2 Tekortbesproeiing met Stewart opbrengsmodel en aanvangsdoeltreffendheid van 75%.

3 Tekortbesproeiing met Stewart opbrengsmodel en aanvangsdoeltreffendheid van 67% tesame met 'n plaasopgaardam.

4 Waarskynlikheid om binnestroomvloeivoorsiening te handhaaf.

5 Bruto marge.

■ Basis situasie.

opvanggebiedvlak moet die kostes om opgaardamme op te rig dus nie R274 000 oorskry nie ten einde nie slegter af te wees nie.

By 'n waarskynlikheidspeil van 50% is bruto marges R460 033 hoër as die basis situasie indien Strategie SM75 gevolg word teenoor R274 576 met Strategie SM67 wat 'n verskil van R185 457 teweegbring. 'n Verhoging in watertoedieningsdoeltreffendheid van 8 persentasiepunte blyk dus ekonomies voordelig te wees. By 'n waarskynlikheidspeil van 89% kom daar ekonomiese kostes voor en beloop die verskil tussen die twee strategieë R88 249 (685 317 - 579 068) wat aansienlik laer is as by 'n waarskynlikheidspeil van 50%. By hoër waarskynlikhede om die BSV te handhaaf, is dit dus minder voordelig om watertoedieningsdoeltreffendheid te verhoog, of anders gestel, is dit minder voordelig om tekortbesproeiing toe te pas indien water reeds doeltreffend benut word. Hierdie resultaat stem ooreen met die van Murray Biesenbach & Badenhorst Incorporated Consulting Engineers (1992). Indien tekortbesproeiing toegepas word, neem die watertoedieningsdoeltreffendheid toe aangesien minder water afloop en diep dreineer. By hoër watertoedieningsdoeltreffendheidspeile is daar egter minder water wat verlore gaan en neem die doeltreffendheid minder toe. Die hoeveelheid water wat potensieel benut kan word, is ook minder. Teenoor Strategie SM67 blyk Strategie SM75 die beste te wees aangesien dit die bruto marges vir boere vanaf die basis situasie die minste verlaag. Die effek blyk drasties te wees aangesien 145 ha minder by 'n waarskynlikheidspeil van 89% besproei kan word en bruto marge R597 068 minder as die basis situasie is.

Boere se optredes kan stroomvloei en dus die handhawing van 'n BSV op twee maniere beïnvloed. *Eensyds* bepaal hul optredes en bestuurswyses die hoeveelheid water wat uit die rivier onttrek word en *andersyds* word die hoeveelheid water wat as terugvloei vir ander gebruikers beskikbaar is, beïnvloed. Tabel 4.11 word vervolgens gebruik om te bepaal hoe die optredes van boere die hoeveelheid water onttrek en die water wat potensieel kan terugvloei, beïnvloed.

Indien die drie strategieë by 'n waarskynlikheidspeil van 50% met die basis situasie vergelyk word, word minder druk in Julie tot September op stroomvloeivlakke met Strategieë SM67 en SM75 uitgeoefen deurdat minder water as gevolg van tekortbesproeiing wat in die maande plaasvind, onttrek word. Water wat sodoende bespaar word, word gebruik om groter oppervlaktes te besproei wat veroorsaak dat meer water in Mei, Junie en Oktober uit die rivier onttrek word. Opgaardamme veroorsaak dat 243 ha meer met Strategie SM67DAM by 'n waarskynlikheidspeil van 50% besproei kan word. Laasgenoemde veroorsaak dat meer water in Mei tot Julie en Oktober onttrek word. Augustus en September se stroomvloei is die beperkendste op koringproduksie en sal gevolglik ook die grootste impak op die handhawing van die BSV uitoefen en word vervolgens bespreek. By al drie die strategieë daal die hoeveelheid water onttrek deurgaans meer as die hoeveelheid terugvloei by alle waarskynlikhede. Met Strategie SM67 en Strategie SM67DAM neem terugvloei in Augustus

slegs toe by lae waarskynlikhede om die BSV te handhaaf. Al die strategieë het dus 'n positiewe impak op die hidrologie deurdat terugvloeï minder as die hoeveelheid onttrekte water daal. Meer druk word egter op stroomvloeï en die handhawing van 'n BSV uitgeoefen indien meer water onttrek word en terugvloeï daal soos die geval in Mei vir al die Strategieë by alle waarskynlikheidspeile.

Strategie SM67 en Strategie SM75 word vervolgens met mekaar vergelyk om die effek van 'n toename in watertoedieningsdoeltreffendheid op die hoeveelheid water onttrek en potensiële terugvloeï te kwantifiseer. Ten einde die BSV by toenemende vlakke van sekerheid te handhaaf, moet koring in Julie, Augustus en September tekort besproei word. Die mate van tekortbesproeiing wat nodig is, word deur die gewaswaterbehoefte, besproeide oppervlakte en die beskikbare hoeveelheid besproeiingswater in 'n spesifieke maand en die voorkoms van damme bepaal. Aangesien Augustus en September die beperkendste op produksie inwerk, word al die beskikbare hoeveelheid water maksimaal benut en om die rede is wateronttrekking vir albei strategieë by alle waarskynlikheidspeile dieselfde. Met die uitsondering van September by 'n waarskynlikheidspeil van 89% daal Strategie SM75 se potensiële terugvloeï deurgaans meer as Strategie SM67. Vir al die ander maande waarin wateronttrekking afneem, daal potensiële terugvloeï deurgaans meer as die hoeveelheid onttrekking uit die rivier indien watertoedieningsdoeltreffendheid verhoog word. Neem Junie by 'n waarskynlikheid van 89% as voorbeeld waar 112 mm.ha (23 085-22 973) minder water met Strategie SM75 onttrek word, terwyl terugvloeï met 813 mm.ha afneem (5 603-4 790). 'n Verhoging in die watertoedieningsdoeltreffendheid kan dus daartoe lei dat stroomvloeï negatief beïnvloed word aangesien potensiële terugvloeï ook daal. Hierdie resultate stem ooreen met Willis (1993:267) se bevindings.

Strategie SM67DAM plaas deurgaans druk op die handhawing van 'n BSV in Mei en tot 'n waarskynlikheidspeil van 70% in Junie deurdat meer water onttrek word en potensiële terugvloeï daal. Alhoewel waterbesikbaarheid in Mei en Junie genoegsaam is om aan koring se besproeiingsbehoefte te voldoen, het water in elke maand 'n skaarsheidswaarde aangesien water wat in Mei en Junie uit die rivier onttrek word, opgeberg kan word om later in die groeiseisoen benut te word. Koring word met Strategie SM67DAM in al die maande tot by die maksimum toelaatbare vlak gestrem om sodoende water te bespaar wat later in die seisoen benut kan word om groter oppervlakte te besproei.

Die volgende gevolgtrekkings word gemaak. Elk van die waterbestuurstrategieë beïnvloed die ekonomiese koste en handhawing van die BSV verskillend. Van al die strategieë blyk Strategie SM67DAM die voordeligste te wees indien die ekonomiese koste vir boere geminimaliseer wil word. Groter druk word egter op die handhawing van die BSV uitgeoefen aangesien boere hul plaasopgaardamme aan die begin van die seisoen vol pomp. Die netto voordeel om watertoedieningsdoeltreffendheid te verhoog, daal namate die

waarskynlikheidspeil om die BSV te handhaaf, verhoog word. By hoë waarskynlikheidspeile blyk die strategie dus nie ekonomies voordelig te wees nie. Verder sal 'n toename in watertoedieningsdoeltreffendheid nie noodwendig tot hoër stroomvloeï lei nie aangesien potensiële terugvloeï ook daal.

'n Belangrike aspek by die implementering van waterbestuurstrategieë vir die minimalisering van die ekonomiese koste om 'n BSV te handhaaf, is dat dit in die sub-opvanggebiede aangemoedig moet word waar die grootste potensiële voordele verkry kan word. Vervolgens word daar bepaal hoe die ekonomiese koste om die BSV te handhaaf tussen opvanggebiede verskil.

4.5.2 SUB-OPVANGGEBIEDVLAK

Die hoofdoel met die gedeelte is om te bepaal hoe die ekonomiese koste verbonde aan die handhawing van 'n BSV tussen sub-opvanggebiede verskil.

Aangesien betekenisvolle verskille in klimaat en beskikbare hulpbronne tussen subopvanggebiede voorkom, word die afwykings in bruto marges vanaf die basis situasie as persentasies in Tabel 4.12 aangedui.

Tabel 4.12 Persentasie afwykings in bruto marges vanaf die basis situasie vir drie alternatiewe waterbestuurstrategieë in nege sub-opvanggebiede van die Klein Tugelarivieropvanggebied.

Waterbron	α	Bruto Marges									
		Totaal	AO50	AO62	AO71	AO78	AO79	AO84	AO86	AO92	AO99
		R ¹	R	R & D ²	R & D	R & D	R & D	R & D	R & D	R & D	R
Strategie SM67³	0.50	18	-24	-11	48	53	31	8	74	-7	-50
	0.60	9	-35	-23	36	42	22	3	59	-17	-57
	0.70	-8	-50	-40	17	19	8	-5	33	-31	-67
	0.80	-30	-71	-66	-9	-13	-11	-16	0	-49	-81
	0.89	-46	-99	-99	-24	-31	-22	-22	-19	-64	-99
Strategie SM75⁴	0.50	31	-17	-2	65	69	45	20	93	0	-45
	0.60	20	-30	-17	52	57	36	15	76	-10	-53
	0.70	2	-46	-36	30	32	19	5	48	-25	-64
	0.80	-22	-69	-63	2	-4	-2	-6	11	-44	-79
	0.89	-40	-99	-98	-15	-24	-14	-14	-11	-61	-99
Strategie SM67DAM⁵	0.50	42	156	98	48	53	31	8	74	-7	8
	0.60	32	134	86	36	42	22	3	59	-17	1
	0.70	14	97	62	17	19	8	-5	33	-31	-12
	0.80	-11	49	26	-9	-13	-11	-16	0	-49	-31
	0.89	-28	22	-6	-24	-31	-22	-22	-19	-64	-49

1. Rivier

2. Rivier en Dam
3. Tekortbesproeiing met Stewart opbrengsmodel en aanvangsdoelreffendheid van 67%.
4. Tekortbesproeiing met Stewart opbrengsmodel en aanvangsdoeltreffendheid van 75%.
5. Tekortbesproeiing met Stewart opbrengsmodel en aanvangsdoeltreffendheid van 67% tesame met 'n plaasopgaardam.

Die enigste verskil tussen Strategie SM67 en SM67DAM is dat daar aanvaar word dat die opvanggebiede wat nie plaasdamme het nie wel opgaardamme het. Die resultate van AO71 tot AO92 is dus dieselfde vir die twee strategieë aangesien die AO'e reeds oor opgaardamme beskik.

Alhoewel dieselfde tendense as op totale opvanggebiedvlak op sub-opvanggebiedvlak voorkom, verskil die omvang van die kostes tussen opvanggebiede aansienlik. Die voordeel wat sub-opvanggebiede met damme bo dié sonder damme het, is opvallend indien daar na Strategieë SM67 en SM75 gekyk word. Damme veroorsaak dat ekonomiese koste om die BSV te handhaaf eers by hoë waarskynlikheidspeile voorkom met die uitsondering van AO92 wat 'n relatiewe klein dam het. Ekonomiese koste om die BSV te handhaaf kom egter deurgaans by opvanggebiede sonder damme voor en blyk drasties te wees aangesien bruto marges by 'n waarskynlikheidspeil van 89% vir al drie die opvanggebiede met 99% daal. By lae waarskynlikhede om die BSV te handhaaf, word die ekonomiese koste slegs deur opvanggebiede sonder damme gedra indien die ander opvanggebied volgens die basis situasie koring verbou en die BSV dus geen impak op hulle het nie.

Die voordeel van die bou van opgaardamme wat die aanbod van water beheer is duidelik indien daar na Strategie S67DAM gekyk word. Indien AO50 oor 'n opgaardam beskik, sal die opvanggebied se bruto marge deurentyd groter as die basis situasie wees. Alhoewel die omvang van die bruto marges afneem soos wat die waarskynlikheid om 'n BSV te handhaaf, toeneem, is die bruto marge van AO50 22% hoër as die basis situasie by 'n waarskynlikheidspeil van 89%. Aangesien die koste van die opgaardam nie in berekening geneem is nie moet die koste van die dam nie meer as 22% van die bruto marge van die basis situasie wees nie ten einde nie slegter af as die basis situasie te wees nie. Alhoewel ekonomiese koste by AO62 en AO99 met inagneming van opgaardamme voorkom, het opgaardamme die koste onderskeidelik met 93% en 50% by 'n waarskynlikheidspeil van 89% vir die twee opvanggebiede verlaag. Verdamping vanaf die damoppervlakte is egter nie in berekening gebring nie wat kan veroorsaak dat die voordeel van damme oorskat word.

Die gevolgtrekking word gemaak dat die impak van 'n BSV op die ekonomiese doeltreffendheid van die totale opvanggebied die meeste beperk kan word deur die oprigting van plaasopgaardamme in die AO'e wat nog nie damme het nie.

Die verskille wat tussen die ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboere wat op sub-opvanggebiedvlak voorkom, veroorsaak dat water tussen verskillende opvanggebiede verhandel kan word ten einde die ekonomiese koste vir die handhawing van 'n BSV te minimaliseer. Aangesien boere se optredes stroomvloei direk deur wateronttrekking en indirek

deur veranderde terugvloei wat deur stroom-af gebruikers benut kan word, beïnvloed, is dit noodsaaklik om die effek van wateroordragte op die waterbesikbaarheid van ander gebruikers in ag te neem.

4.6 WATERMARKTE

Die hoofdoel met die afdeling is om te bepaal tot watter mate 'n watermark die ekonomiese koste vir besproeiingsboere kan minimaliseer ten einde 'n BSV by toenemende vlakke van sekerheid te handhaaf. Net soos in die vorige deel word kans-beperkings in die CCMARK-model gebruik om voorsiening te maak vir 'n BSV. Ontledings is met die inagneming van derdepartyeffekte uitgevoer en die hidrologiese impak van wateroordragte op ander gebruikers is dus in die ontleding in ag geneem.

Verskeie navorsers propageer dat baie van die derdepartyeffekte uitgeskakel kan word deur wateroordragte op werklike verbruik te grond. Ten einde meer lig te werp op die werking van 'n watermark waar oordragte op werklike verbruik gegrond is, word 'n vergelyking tussen geen markte (NO_M), 'n mark gebaseer op werklike watervverbruik (Strategie CU_M) en 'n mark vir totale water (Strategie AW_M) in Tabel 4.13 getref.

Indien 'n watermark afwesig is, kan daar in totaal 165 ha op grond van die besproeiingsboere se stroomvloeireg besproei word (*QCROP_B*). Terugvloei is egter ook ten volle volgens elke sub-opvanggebied se proporsionele aandeel van stroomvloei toegedeel. Met terugvloei kan in totaal 52 ha addisioneel besproei word (*QCROP_R*). AO50 het geen reg op terugvloei nie, want daar is geen stroom-op gebruikers van besproeiingswater nie. Met die uitsondering van AO99 wat byna 100% van die beskikbare besproeiingsoppervlakte in die AO besproei, besit die ander opvanggebiede potensiaal om groter oppervlakte te besproei indien meer water beskikbaar is. In totaal word 'n bruto marge van R831 254 verkry.

Indien wateroordragte toegelaat word, maar beperk word tot werklike verbruik (Strategie CU_M) is die totale bruto marge oor die opvanggebied ongeveer R17 500 meer as in die afwesigheid van wateroordragte. Ten einde die effek van wateroordragte op ander gebruikers te kwantifiseer, word AO50 en AO62 met mekaar vergelyk. Alhoewel AO50 slegs 67 van sy 100 waterregaandeel verkoop, kan geen oppervlakte besproei word nie. Laasgenoemde is die gevolg van terugvloei wat vir gebruik deur stroom-af AO'e deurgelaat moet word. Geen opvanggebiede is stroom-op van AO50 geleë nie en geen terugvloeiwater is aan die AO geallokeer nie. AO62 kan egter nou 0,75 ha (*QCROP_S*) met die water wat as terugvloei in die rivier gelaat word, besproei wat meer is as die 0,69 ha in die afwesigheid van wateroordragte. Die rede hiervoor is die volgende. Die besproeiingsbehoefte van koring in die waterbeperkende maand van Oktober is relatief laag en die totale waterreg word nie opgebruik nie. Vanweë die klein hoeveelhede water toegedien, is terugvloei ook minder en kan 0,69 ha in die afwesigheid

van 'n mark (Strategie NO_M) met terugvloei besproei word. Wanneer water as terugvloei as gevolg van watervoordragte deurgelaat moet word, het stroom-af boere die reg op die totale waterreg wat meer is as die werklike terugvloei en gevolglik kan 0,06 ha ekstra besproei word.

Tabel 4.13 Vergelyking tussen 'n mark vir totale water met 'n mark vir die verhandeling van waterverbruik in die Klein Tugelarivieropvanggebied by 'n waarskynlike stroomvloei van 20%

Veranderlike		AO50	AO62	AO71	AO78	AO79	AO84	AO86	AO92	AO99	TOTAAL	
STRATEGIE NO_M ¹												
	Bruto Marge	59674	79672	77304	139164	101709	33856	62919	131165	145790	831254	
	<i>QCROP_B</i> (ha) ⁵	15.56	20.27	18.78	31.24	20.80	6.19	11.24	20.80	19.73	164.61	
	<i>QCROP_R</i> (ha) ⁶	0.00	0.69	1.69	4.36	5.87	2.74	5.36	12.56	18.77	52.04	
	<i>QCROP_S</i> (ha) ⁷	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Oppervlakbenutting (%)	59	60	60	61	65	70	71	76	99	69	
	Verhandel ⁴	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
STRATEGIE CU_M ²												
	Bruto Marge	0	20887	6733	227738	156605	48452	88190	152436	147691	848732	
	<i>QCROP_B</i> (ha)	0.00	4.74	0.00	53.25	32.93	8.87	15.49	20.80	14.21	150.29	
	<i>QCROP_R</i> (ha)	0.00	0.00	0.27	0.57	5.18	3.03	6.18	15.02	21.98	52.23	
	<i>QCROP_S</i> (ha)	0.00	0.75	1.51	4.44	2.96	0.88	1.60	2.96	2.81	17.91	
	Oppervlakbenutting (%)	0	16	5	100	100	100	100	88	100	70	
	Verhandel	-67	-67	-80	127	70	15	24	0	-22	236	
STRATEGIE AW_M ³												
	Bruto Marge	0	88852	4412	227767	156623	48457	88199	173171	91916	879397	
	<i>QCROP_B</i> (ha)	0.00	23.37	0.00	56.39	35.01	9.48	16.63	28.14	0.16	169.18	
	<i>QCROP_R</i> (ha)	0.00	0.00	1.17	1.88	6.06	3.30	6.64	15.90	24.11	59.06	
	<i>QCROP_S</i> (ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Oppervlakbenutting (%)	0	67	3	100	100	100	100	100	62	73	
	Verhandel	-100	20	-120	145	82	19	31	42	-119	339	
1	Geen mark	4	+ aankope, - verkope				7	Oppervlak besproei met water wat as terugvloei deurgelaat word				
2	Mark vir werklike waterverbruik	5	Oppervlak besproei met stroomvloeiregte									
3	Mark vir totale water	6	Oppervlak besproei met geallokeerde terugvloei									

Die hoeveelheid sal egter slegs in die maande waarin water nie opgebruik word, meer wees. Indien die waterbeperkende-maand egter voor en na die verhandeling van waterregte vir die twee betrokke AO'e dieselfde is, sal die hoeveelheid terugvloei wat benut kan word dieselfde wees.

Stroom-op wateroordragte veroorsaak dat die hoeveelheid kere wat water herbenut kan word, vermeerder deurdat groter oppervlakte besproei word wat weer terugvloei lewer. Hierdie voordelige eksternaliteit word die beste uitgewys deur na AO92 te kyk. In die afwesigheid van 'n watermark kan AO92 slegs 76% van sy totale oppervlakte vir koringproduksie benut waarvan 12.56 ha (*QCROP_R*) met terugvloei geproduseer kan word. In die teenwoordigheid van 'n mark kan 2.5 ha (*QCROP_R*) meer met terugvloei as gevolg van groter oppervlakte wat stroomop besproei word, besproei word. Addisioneel hierby kan 2,96 ha (*QCROP_S*) met water wat as gevolg van waterverkope as terugvloei deurgelaat moet word, besproei word. As gevolg van die voordelige eksternaliteit verhoog AO92 se oppervlakbenutting tot 88%.

Met Strategie AW_M word daar geen perk op die totale hoeveelheid water wat verhandel kan word, geplaas nie. Laasgenoemde veroorsaak dat die effek van wateroordragte op ander gebruikers buite rekening gelaat word. AO62 illustreer die punt die beste. Aangesien die watermark slegs vir stroomvloei geld, beïnvloed die aankoop van 20 waterregaandele deur AO62 nie die opvanggebied se reg op terugvloei benutting nie. Die aankoop van water veroorsaak dat 3 ha (*QCROP_B*) meer koring met stroomvloei geproduseer kan word. Alhoewel AO62 die reg het om 'n proporsionele aandeel van AO50 se terugvloei te benut, lewer AO50 geen terugvloei wat benut kan word nie. Laasgenoemde is as gevolg daarvan dat AO50 al 100 sy waterregaandele verkoop het. Die verhandeling van waterregte deur AO50 het dus nadelig op AO62 via verlaagde terugvloei geïmpakteer.

Die gevolgtrekking word gemaak dat die nadelige eksternaliteite verbonde aan wateroordragte verminder word indien oordragte op waterverbruik gegrond word. Vervolgens word daar bepaal tot watter mate Strategie CU_M die ekonomiese koste om 'n BSV te handhaaf, kan minimaliseer. Laasgenoemde ontledings word in Tabel 4.14 aangetoon.

Uit Tabel 4.14 is dit duidelik dat die ekonomiese koste om die BSV te handhaaf, toeneem soos wat die waarskynlikheidspeil om die BSV te handhaaf, toeneem. Die kostes blyk drasties te wees in die afwesigheid van tekortbesproeiing. Tekortbesproeiing is nie in die model ingesluit nie vanweë die kompleksiteit om tekortbesproeiing en die derdeparty effekte van wateroordragte in dieselfde model te modelleer. In die model word die maksimum oppervlak wat besproei kan word tot die oppervlakte van die basis situasie beperk. Wateroordragte tussen opvanggebiede as gevolg van waterregaandele wat verkoop word, veroorsaak dat daar genoeg water beskikbaar is om dieselfde oppervlakte as wat in die basis situasie vervat is tot by 'n waarskynlikheidspeil van 60% te besproei en gevolglik kom daar geen ekonomiese koste voor

Tabel 4.14 Ekonomiese koste vir die handhawing van 'n binnestroomvloeivoorsiening met inagneming van 'n watermark vir verbruikte water.

Veranderlike	P(1- α)	TOTAAL	AO50	AO62	AO71	AO78	AO79	AO84	AO86	AO92	AO99
BASIS SITUASIE		0.5									
Bruto Marge (R)		1 203 886	100 921	132 357	128 692	227 767	156 623	48 457	88 199	173 171	147 700
$QCROP_B^2$ (ha)		233.00	26.32	33.66	31.26	50.99	31.36	8.36	14.73	24.49	11.83
$QCROP_R^3 + QCROP_S^4$ (ha)		80.66	0	1.16	2.83	7.28	9.71	4.42	8.54	19.55	27.17
Verhandel		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Afwykinge vanaf basis situasie											
STRATEGIE CU_M¹											
Bruto Marge (R)	0.5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
$QCROP_B$ (ha) ⁵		17.95	0	0.12	0.51	1.85	4.79	0	0	10.68	0
$QCROP_R + QCROP_S$ (ha)		-17.95	0	-0.12	-0.51	-1.85	-4.79	0	0	-10.68	0
Verhandel		49.21	0	0	0	0	3.36	45.85	0	0	-49.21
Bruto Marge (R)	0.6	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
$QCROP_B$ (ha)		-1.93	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.93
$QCROP_R + QCROP_S$ (ha)		1.93	0	0	0	0	0	0	0	0	1.93
Verhandel		69.20	14.71	16.39	15.44	19.26	2.74	0.66	0	-16.17	-53.03
Bruto Marge (R)	0.7	-132 123	-24 294	-30 051	-77 777	0	0	0	0	0	0
$QCROP_B$ (ha)		-29.16	-6.34	-7.63	-19.95	1.49	1.02	0.32	0.51	1.02	0.40
$QCROP_R + QCROP_S$ (ha)		-5.72	0	-0.28	-0.66	-1.49	-1.02	-0.32	-0.52	-1.02	-0.41
Verhandel		87.85	0	0	-42.69	55.48	25.50	3.28	3.59	-3.58	-41.58
Bruto Marge (R)	0.8	-355 071	-100 921	-111 467	-121 960	0	0	0	0	-20 724	0
$QCROP_B$ (ha)		-82.71	-26.32	-28.92	-31.26	2.26	1.57	0.51	0.76	-3.69	2.38
$QCROP_R + QCROP_S$ (ha)		-10.52	0	-0.41	-1.05	-2.27	-1.57	-0.51	-0.76	-1.57	-2.38
Verhandel		236.60	-67.00	-66.72	-80.40	126.82	70.02	15.44	24.32	0	-22.49
Bruto Marge (R)	0.89	-563 634	-100 921	-130 252	-123 617	0	-30 908	-17 976	-31 482	-54 692	-73 786
$QCROP_B$ (ha)		-124.01	-26.32	-33.66	-31.26	3.48	-5.74	-3.71	-6.31	-8.77	-11.72
$QCROP_R + QCROP_S$ (ha)		-23.89	0	-0.61	-1.48	-3.48	-2.37	-1.04	-2.00	-5.14	-7.77
Verhandel		314.23	-67.00	-87.10	-80.40	238.65	75.58	0	0	0	-79.73
1	Watermark vir werklike waterverbruik			2	Oppervlak besproei met stroomvloeiregte						
3	Oppervlak besproei met geallokeerde terugvloei			4	Oppervlak besproei met water wat as terugvloei deurgelaat word						

nie. Die totale hoeveelheid aandele wat verhandel word, neem egter toe soos water skaarser word.

Uit die ontleding blyk dit asof AO78 ekonomies die doeltreffendste is. Die AO koop deurgaans meer waterregaandele om maksimale produksie te handhaaf soos wat die waarskynlikheidspeil om die BSV te handhaaf, toeneem. Duidelike tendense ten opsigte van die verhandeling van waterregaandele kom nie by alle ander AO'e voor nie. Laasgenoemde is die gevolg van die ekonomiese doeltreffendheid van die ander AO'e wat verander soos wat die waarskynlike voorkoms van waterbeskikbaarheid verander. Elke jaar moet dus op sy eie geëvalueer word en daar kan nie veralgemeen word nie. AO99 beskik egter oor surplus waterregaandele wat verkoop kan word. Soos wat die waterbeskikbaarheid afneem, verminder die omvang van die surplus en kan minder aandele verkoop word. By 'n waarskynlikheidspeil van 89% is dit egter ekonomies voordelig om 80 waterregaandele te verkoop wat veroorsaak dat 'n kleiner oppervlakte besproei kan word wat ekonomiese koste veroorsaak.

In die ontleding is daar nie 'n prys gekoppel aan die verkoop van 'n waterregaandeel nie en die ekonomiese voordele van die AO'e wat water aankoop moet dus van so 'n omvang wees dat die verkopers vir hul verlies in inkomste as gevolg van wateroordragte deur die kopers vergoed kan word. Laasgenoemde moet met die inagneming van transaksiekoste plaasvind wat nie in berekening gebring is nie. Indien transaksiekoste laag gehou kan word, bied watermarkte potensiaal om die impak van 'n BSV op die ekonomiese doeltreffendheid van die totale opvanggebied te minimaliseer.

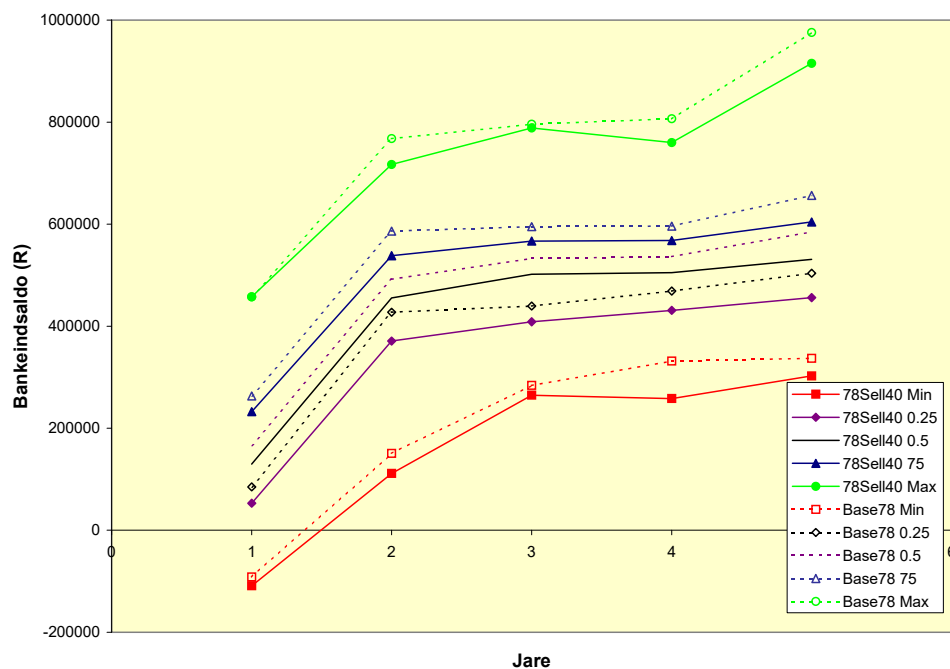
Die gevolgtrekking word gemaak dat elke AO se unieke situasie ten opsigte van die hoeveelheid waterregaandele en dus ook waterbeskikbaarheid en die beskikbaarheid van besproeiingsgrond belangrike faktore is wat die verhandeling van water sal beïnvloed. Die hoeveelheid stroomvloei wat realiseer, is verder 'n belangrike faktor wat laasgenoemde beïnvloed.

In die volgende afdeling word die ekonomiese effekte van die verhandeling van langtermyn waterregte met inagneming van wisselvallige waterbeskikbaarheid ontleed.

4.7 LANGTERMYN EKONOMIESE EVALUERING VAN WATEROORDRAGTE MET FARMS R2.0².

Hierdie gedeelte het ten doel om die langtermyn ekonomiese impak van wateroordragte tussen twee opvanggebiede met behulp van die prosedures wat ontwikkel is om langtermyn ontledings met FARMS uit te voer, te ontleed.

Die ontleding is uitgevoer deur te aanvaar dat AO78 40 van sy waterregaandele om koring te besproei aan AO50 vir 'n periode van 5 jaar verkoop. Die oppervlak wat deur elk van die AO's besproei word, word egter konstant gehou en gevolglik sal AO78 se opbrengste daal en AO50 se opbrengste toeneem. Opbrengste is met behulp van ACRU gesimuleer en in FARMS R2.0 gebruik om die langtermyn ekonomiese effek van wateroordragte te bepaal. AO78 se resultate word eerste en AO50 se resultate daarna bespreek. Figuur 4.4 toon vervolgens die verdiskonteerde bankeindsaldo's vir geselekteerde kumulatiewe waarskynlikhede van AO78 voor en na die verkoop van waterregaandele.

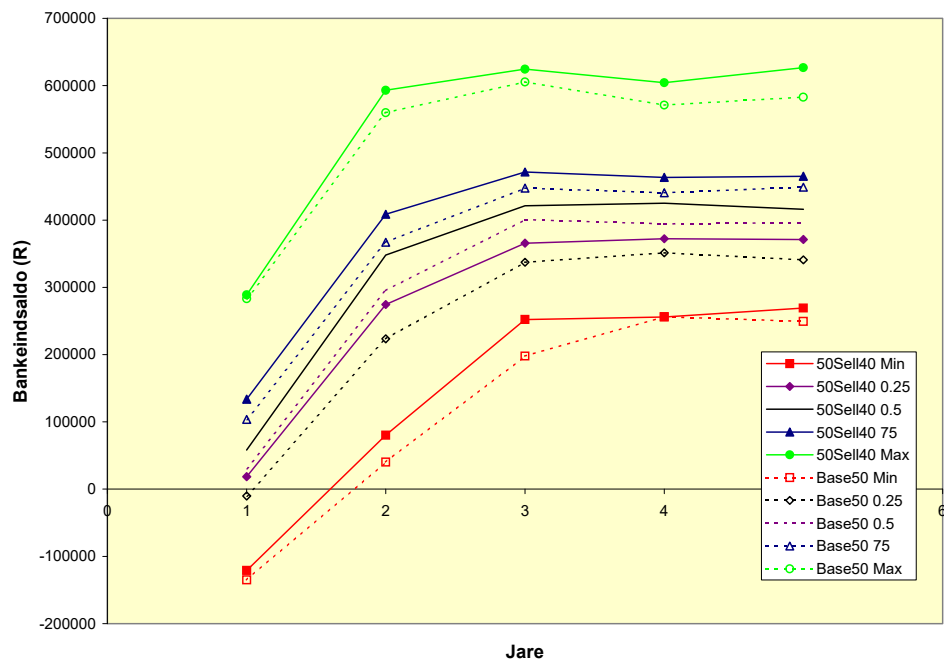


Figuur 4.4 Vergelyking van die verdiskonteerde bankeindsaldo's van AO78 voor en na die verkoop van 40 waterregaandele aan AO50 in 1996 Rande.

'n Duidelike groei in bankeindsaldo's van jaar 1 tot jaar 2 is uit Figuur 4.4 waarneembaar aangesien geen vervanging van bates in die eerste jaar toegelaat word nie. Genoegsame kontantreserwes word egter opgebou om vervanging van masjinerie in die daaropvolgende jare moontlik te maak en gevolglik kom minimale groei tot jaar 4 voor. Vanweë die relatief groot bankeindsaldo's van AO78 word ou masjinerie relatief gouer as by AO50 vervang en om die rede neem die maksimum inkomste in jaar 5 toe. 'n Relatief skerp groei in minimum bankeindsaldo's kom tot jaar 3 voor. Laasgenoemde is as gevolg van geen batevervanging wat plaasgevind het nie aangesien kontantreserwes dit nie toegelaat het nie. Alhoewel die bankeindsaldo's dieselfde tendense toon indien water verkoop word, is die inkomste deurgaans laer as gevolg van die laer opbrengste wat realiseer.

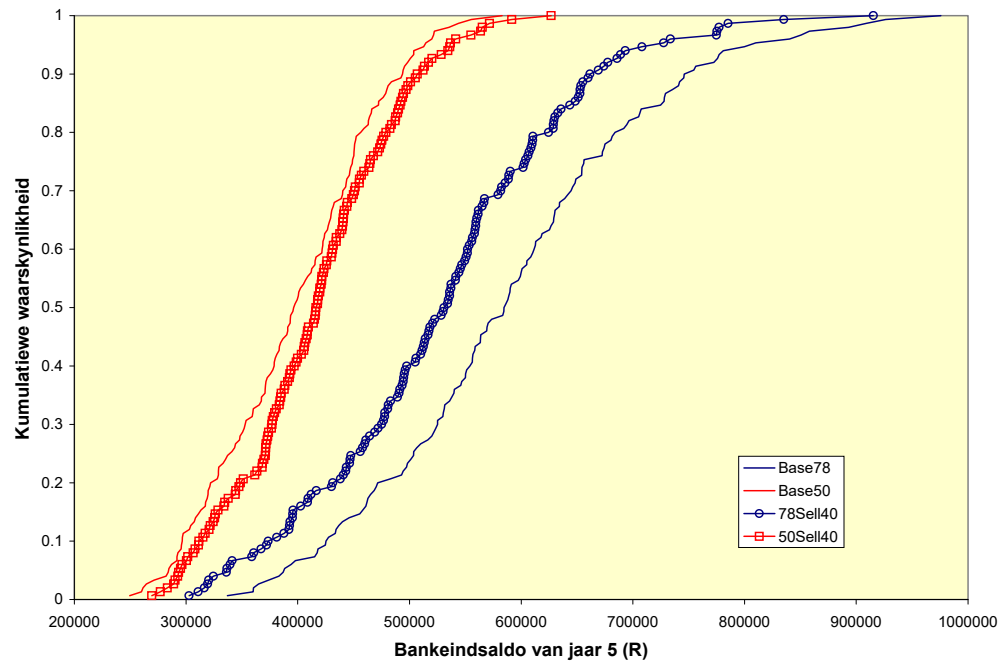
² FARMS R2.0 word slegs vir navorsingsdoeleindes gebruik en is nie komersieel beskikbaar nie.

AO50 se verdiskonteerde kontantvloeï word in Figuur 4.5 aangetoon en word vervolgens bespreek. Aangesien AO50 watterregte koop verhoog opbrengste en gevolglik is die bankeindsaldo's deurgaans hoër as wanneer watterregte nie aangekoop word nie. In teenstelling met AO78 verhoog AO50 se bankeindsaldo's vir twee opeenvolgende jare tot en met jaar 3. Laasgenoemde is as gevolg van die kontantreserwe wat gehandhaaf moet word. In vergelyking met AO78 is AO50 se bankeindsaldo's laer en vervanging van masjinerie vind stadiger plaas. Die gevolg is dat geen merkwaardige groei in banksaldo's tussen jaar 3 tot jaar 5 plaasvind nie.



Figuur 4.5 Vergelyking van die verdiskonteerde bankeindsaldo's van AO50 voor en na die aankoop van 40 waterregaande van AO78 in 1996 Rande.

In die voorafgaande ontledings is daar nie 'n koste aan die oordrag van watterregte gekoppel nie. Ten einde 'n aanduiding te verkry van hoeveel AO78 slegter en AO50 beter daaraan toe is na oordragte word die kumulatiewe waarskynlikhede van jaar 5 se verdiskonteerde bankeindsaldo's voor en na verhandeling van watterregte vir AO78 en AO50 in Figuur 4.6 aangetoon. Alhoewel AO78 AO50 se inkomste eerste orde stogasties domineer, is die verspreiding van inkomste oor 'n wyer band as gevolg van die groter oppervlakte wat in die AO besproei word. Die program van Robison (1988) is gebruik om te bepaal met hoeveel die dominante strategie in elke AO verlaag moet word totdat dit nie meer die ander strategie domineer nie. Die resultate van die ontleding word in Tabel 4.15 aangedui.



Figuur 4.6 Kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van jaar 5 se verdiskonteerde bankeindsaldo's voor en na die verhandeling van 40 waterregaandele tussen AO50 en AO78 in 1996 Rande.

Tabel 4. 15 Verwagte pryse waarteen waterregte tussen AO78 en AO50 sal verhandel, 1996 randwaardes.

Risikohouding	AO78 verkoop	AO50 Koop
Soekend	- ¹	43 824
Neutraal	34 319	50 540
Vermydend	34 312	19 686

1 Program het iterasielimiet bereik en 'n waarde kon nie bereken word

Uit Tabel 4.15 is dit duidelik dat daar min verskille is tussen die prys wat besproeiingsboere met verskillende risikohoudings in AO78 vir die verkoop van hul waterregaandele sal vra. Laasgenoemde is die gevolg van die relatief eweredige verskil wat daar tussen die twee strategieë in AO78 voorkom. Betekenisvolle verskille kom egter tussen risikovoorkure in AO50 voor. So sal 'n risiko vermydende persoon slegs bereid wees om R19 700 vir die 40 ekstra waterregte te betaal wat minder is as waarvoor AO78 waterregte sal verkoop. Verhandeling van waterregte sal dus eerder tussen AO78 en 'n risikosoekende persoon in AO50 plaasvind aangesien so 'n persoon ongeveer R9 500 (43 824 – 34 309) meer vir water kan betaal as waarvoor AO78 sy waterregte sal verkoop.

Die gevolgtrekking word gemaak dat die prosedures wat in FARM R2.0 vervat is, bruikbaar is om langtermyn ekonomiese ontledings mee uit te voer. Alhoewel die ekonomiese resultate getoon het dat daar potensiaal vir die verhandeling van waterregte tussen die twee

opvanggebiede bestaan, moet versigtigheid aan die dag gelê word om kontantvloei as die enigste maatstaf vir evaluering te gebruik. In die spesifieke geval het AO78 meer in masjinerie belê as wat die geval met AO50 is, terwyl die AO nog steeds gegroei het. 'n Totale benadering moet dus gevolg word in die ekonomiese evaluering van alternatiewe strategieë oor die langtermyn.

Die gedeelte word opgedeel in beleidsimplikasies- en implikasies vir verdere navorsing.

Beleidsimplikasies

In die gedeelte word 'n kort oorsig van die waterbeleid gegee, die belangrikste resultate van die navorsing opgesom en die implikasies daarvan vir beleid uitgewys.

Met die nuwe Nasionale Waterwet (No. 36 van 1998) sal daar in die toekoms meer klem op herallokering en bewaring van waterhulpbronne geplaas word om aan die toenemende vraag van water te voldoen. 'n Formele waterbewaringsbeleid gaan vir elk van die groot watergebruiksektore waarvan besproeiingslandbou die grootste is, opgestel word (Department of Water Affairs and Forestry, 1997:21). Besproeiingsbeleide daarenteen is nog nie gefinaliseer nie, terwyl daar reeds begin is om waterwetgewing en watertariewe te hersien wat 'n invloed op besproeiingslandbou uitoefen (Backeberg, 1996). Die debat rondom dié aangeleentheid word dus aansienlik bemoeilik. Institusionele hervorming waardeur operasionele bestuur op grondvlak beïnvloed word, word egter ten opsigte van waterregte en waterwetgewing benodig om gestelde beleidsdoelstellings te bereik (Backeberg, 1996). Volgens die Wêreldbank moet 'n nuwe waterhulpbronbestuursbeleid in die volgende twee rigtings ontwikkel: a) water moet as 'n ekonomiese entiteit bestuur word en; b) groter desentralisatie van dienste moet plaasvind met meer klem op pryse en die betrokkeheid van watergebruikers om waterhulpbronne te bestuur (Easter en Hearne, 1994).

Resultate van die navorsing het getoon dat dieselfde oppervlakte met 11% minder water besproei kan word indien watertoedieningsdoeltreffendheid op plaas met 8 persentasiepunte verhoog. Verhoogde watertoedieningsdoeltreffendheid hou dus ekonomiese voordele vir besproeiingsboere in aangesien waterverbruik en dus opbrengste dieselfde bly, terwyl minder water uit die rivier onttrek word en besproeiingskoste dus verlaag. Terugvloei daal egter met ongeveer 50% indien watertoedieningsdoeltreffendheid verhoog word. Met tekortbesproeiing daal waterverbruik deurgaans meer as potensiële terugvloei ten spyte van die feit dat watertoedieningsdoeltreffendheid toeneem indien die gewas tekort besproei word. Ekonomiese koste word egter deur tekortbesproeiing veroorsaak aangesien die kostebesparings (watertoediening en kunsmis) minder is as die verlaging in inkomste. Substansiële voordele kom egter voor indien besproeiingsboere die water wat deur tekortbesproeiing bespaar word, gebruik om groter oppervlakte te besproei. Vanweë die toename in oppervlakte word 'n groter deel van die water wat onttrek word, verbruik wat daartoe lei dat potensiële terugvloei nadelig beïnvloed word.

'n Waterbewaringsbeleid met verhoogde watertoedieningsdoeltreffendheid as uitgangspunt kan maklik die illusie skep dat water bespaar word. Binne die hidrologiese sisteem van 'n opvanggebied is die water wat as gevolg van lae watertoedieningsdoeltreffendheid verlore gaan nie werklik verlore nie aangesien 'n deel daarvan as terugvloei aan ander gebruikers beskikbaar is. Alhoewel watertoedieningsdoeltreffendheid ekonomies voordelig is en die hoeveelheid water wat uit die rivier onttrek word, verminder, daal die hoeveelheid water wat aan ander gebruikers in die vorm van terugvloei beskikbaar is. 'n Waterbewaringsbeleid wat daarop gemik is om wateronttrekking uit 'n river te verminder, kan dus die teenoorgestelde gevolg hê. Om werklik water in besproeiingslandbou te bespaar, moet huidige waterverbruik verminder (Whittlesey en Huffaker, 1995).

Water kan inderwaarheid bespaar word deur tekortbesproeiing, kleiner besproeiingsoppervlaktes en gewasse wat minder water verbruik, te besproei. Tekortbesproeiing bespaar water aangesien waterverbruik deurgaans meer as potensiële terugvloei daal. Verlaagde waterverbruik bring egter ekonomiese koste mee en besproeiingsboere sal dus alleenlik waterbesparende strategieë volg indien hulle daarvoor vergoed word. Substansiële ekonomiese voordele kom voor indien water wat deur tekortbesproeiing bespaar word, gebruik kan word om groter oppervlaktes te besproei. Onder sulke omstandighede sal 'n waterbewaringsbeleid meer druk op waterhulpbronne plaas deurdat groter besproeiingsoppervlaktes daartoe aanleiding gee dat waterverbruik toeneem.

Watermarkte (Easter & Hearne, 1994) word algemeen as meganisme voorgestel waarvolgens waterhulpbronne herallokeer kan word om optimale hulpbronbenutting te bewerkstellig. Indien 'n besproeiingsboer water wat oënskynlik deur 'n verhoogde watertoedieningsdoeltreffendheid bespaar word (verminderde wateronttrekking) aan 'n ander boer verkoop, sal terugvloei en dus die waterbesikbaarheid van ander gebruikers wat van die terugvloei afhanklik is, nadelig beïnvloed word. Resultate van die watermarkontleding het getoon dat die eksternaliteite verbonde aan wateroordragte verminder kan word deur die verhandelbare reg op werklike waterverbruik te grond. Per implikasie moet slegs water wat werklik bespaar word (verminderde waterverbruik) aan ander gebruikers herallokeer of binne 'n watermark verhandel word.

Ten einde institusionele hervorming en doeltreffende opvanggebiedwaterbestuur te bevorder, word meer inligting benodig aangaande die komplekse wisselwerking wat daar tussen waterwetgewing, waterbeleidsadministrasie, tegnologie, hidrologie en menslike waardestelsels bestaan. Indien alle waterhulpbronne reeds ten volle geallokeer is, raak bogenoemde wisselwerking meer belangrik aangesien water dan 'n skaarsheidswaarde het. Groter bestuursvaardighede gaan van waterbestuurders en watergebruikersverenigings vereis word om optimale waterbestuur en -benutting binne 'n opvanggebied te bewerkstellig. Versigtigheid moet aan die dag gelê word om totale opvanggebied modelle te ontwikkel wat die diversiteit van die opvanggebiede ignoreer en gevolglik die ekonomiese en hidrologiese impak van

alternatiewe watergebruikstrategieë op sub-opvanggebiedvlak verdoes. Laasgenoemde is belangrik aangesien die impak van die watergebruikstrategieë verhoog kan word deur dit in die sub-opvanggebiede waar die impak van die strategieë die grootste is, te implementeer. Ten einde beter waterbestuur in 'n opvanggebied te bevorder, word 'n nuwe generasie besluitnemingsondersteuningsmodelle benodig met 'n interaktiewe koppeling tussen ekonomiese en hidrologiese modelle sodat die effek van alternatiewe institusionele veranderinge of waterbestuursbeleid ekonomies en hidrologies op opvanggebied- en sub-opvanggebiedvlak geëvalueer kan word.

Implikasies vir verdere navorsing

Een van die belangrikste uitsette van die navorsing is die prosedures wat ontwikkel is om tekortbesproeiing met nie-lineêre programmeringsprosedures te modelleer. Alhoewel die CCODI-model terugvloei kan kwantifiseer, is die prosedures wat daarvoor gebruik word nog gebrekkig aangesien die verwantskap reglynig deur die model beskryf word. Vanweë die belangrikheid om terugvloei korrek te modelleer, moet die prosedures verbeter word. Die insluiting van 'n metamodel wat die verwantskappe wat in ACRU gebruik word om terugvloei te bereken op 'n eenvoudige manier te kwantifiseer, moet oorweeg word. Verder kan die model verbeter word deur die insluiting van 'n kostefunksie om sodoende kunsmiskoste sonder die gebruik van 'n proporsionele gewig te modelleer.

Indien rekenaaragtigheid dit toelaat moet die prosedures wat ontwikkel is om tekortbesproeiing te modelleer in die CCMARK-model ingesluit word. Sodoende sal die toepassingsmoontlikhede van die model verhoog word en kan die eksternaliteite van tekortbesproeiing met inagneming van wateroordragte gemodelleer word. Die CCMARK-model moet verder ontwikkel word sodat die impakte van alternatiewe institusionele waterallokasiemaatreëls op die langtermyn ekonomiese doeltreffendheid van besproeiingsboerderye asook die volhoubare bestuur van waterhulpbronne op opvanggebiedvlak te kwantifiseer. Laasgenoemde impliseer die gebruik van stogastiese stroomvloeireekse. Meer navorsing word ook benodig ten einde die effek van ander riskante veranderlikes soos wind, hael, ryp, siektes, plaë en tydigheid van meganiese bewerkings oor die langtermyn in programmeringsmodelle in te bou.

Die prosedures wat in die navorsingsweergawe van ACRU ingesluit is om water te allokeer en opbrengste te simuleer indien meer as een waterbron gelyktydig vir besproeiing gebruik word, behoort deel te vorm van die standaard prosedure in ACRU. 'n Ekspert sisteem moet vir ACRU ontwikkel word sodat water onder beheerde aanbod toestande (gebruik van damme) in die groeistadiums waarin die gewas die gevoeligste vir waterstremming is, toegedien word. Sodoende sal die toepaslikheid van die model vir ekonomiese ontledings verhoog word.

Die ontwikkeling van prosedures vir langtermyn risiko-ontledings met FARMS verhoog die toepassingsmoontlikhede van die model. Alhoewel die vervanging van masjinerie deur die

model hanteer word, is die prosedures nog gebrekkig aangesien masjinerie vervang word as sy ekonomiese leeftyd verby is. In die praktyk word masjinerie egter nie altyd vervang as sy ekonomiese leeftyd verby is nie en vervanging moet eerder op die hoeveelheid ure wat elke masjien gewerk het, gegrond word. Ander strategiese besluite soos byvoorbeeld die aankoop van grond moet ook in die model ingebou word. Meer navorsing word ook benodig aangaande die kwantifisering van langtermyn risiko's en die gepaardgaande korrelasie van die veranderlikes oor tyd.

- ANDERSON, T.L and JOHNSON, R.N, (1986). The problem of instream flows. *Economic Inquiry* 24.
- ANDERSON, J.R., DILLON, J.L. and HARDAKER, B. (1977). *Agricultural decision analysis*. Ames, Iowa : The Iowa State University Press.
- ARMITAGE, R.M. and NIEUWOUDT, W.L. (1999). Discriminant analysis of water trade among irrigation farmers in the lower Orange River of South Africa. *Agrekon*, 38(1):18-45.
- BACKEBERG, G.R. (1984). *Besproeiingsontwikkeling in die Groot-Visriviervallei*. Ongepubliseerde M.Sc.(Agric)-verhandeling. Universiteit van Pretoria, Pretoria.
- BACKEBERG, G.R. (1988). *Beplanning van 'n ekonomies bestaansbare besproeiingsboerdery met behulp van dinamiese lineêre programmering*. Referaat gelewer tydens die 26^{ste} Jaarlikse Konferensie van die Landbou-Ekonomie Vereniging van Suider-Afrika, Stellenbosch, 1988.
- BACKEBERG, G.R. (1994). *Die politieke ekonomie van besproeiingsbeleid in Suid-Afrika*. Ongepubliseerde Ph.D.-proefskrif. Departement Landbou-ekonomie, Voorligting en Landelike Ontwikkeling. Universiteit van Pretoria, Pretoria.
- BACKEBERG, G.R. (1996). *The challenge of irrigation policy reform in the mature water economy of South Africa*. Paper presented at the Pre-Conference Workshop of the Water and Resource Economics Consortium, 12 February 1996, Melbourne, Australia.
- BACKEBERG, G.R. (1997). Water institutions, markets and decentralised resource management: prospects for innovative policy reforms in irrigated agriculture. *Agrekon*, 36(4):350-384.
- BACKEBERG, G.R. and OOSTHUIZEN, L.K. (1995). The economics of irrigation: Present research and future challenges. *Proceedings of the Southern African Irrigation Symposium, 4-6 June 1991, Durban*. WRC Report No TT 71/95. Pretoria: The Water Research Commission.
- BACKEBERG, G.R., BEMBRIDGE, T.J., BENNIE, A.T.P., GROENEWALD, J.A., HAMMES, P.S., PULLEN, R.A. and THOMPSON, H. (1996). *Policy proposal for irrigated*

agriculture in South Africa: discussion paper. WRC Report No KV96/96. Pretoria: The Water Research Commission.

BENDER, D.A., PEART, R.M., BARRETT, J.R., DOSTER, D.H. and BAKER, T.G. (1984). Optimizing cropping systems using simulation and linear programming. *Paper presented at the 1984 Summer Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, 24-27 June 1984.* University of Tennessee, Knoxville. Agricultural Engineering Department, Texas A & M University.

BERNARDO, D.J., WHITTLESEY, N.K., SAXTON, K.E. and BASSETT, D.L. (1986). *Optimal irrigation management under conditions of limited water supply.* Cooperative Extension College of Agriculture and Home Economics, Washington State University, Pullman.

BOEHLJE, M.D. and EIDMAN, V.R. (1984). *Farm management.* New York: Wiley.

BOISVERT, R.N. and McCARL, B. (1990). *Agricultural risk modeling using mathematical programming.* Bulletin No 356. Southern Cooperative Series. Department of Agricultural Economics, Cornell University, Ithaca, N.Y.

BOTES, J.H.F. (1990). *'n Ekonomiese ontleding van alternatiewe besproeiingskeduleringsstrategieë vir koring in die Vrystaatstreek deur middel van stogastiese dominansie.* Ongepubliseerde M.Sc.(Agric)-verhandeling. Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.

BOTES, J.H.F. (1994). *A simulation and optimization approach to estimating the value of irrigation information for decision makers under risk.* Ongepubliseerde Ph.D.-thesis. University of the Orange Free State, Bloemfontein.

BOTES, J.H.F. (1996). *Persoonlike mededeling.* Hoof, Landbou-ontwikkeling, Clover SA, Heilbron.

BOTES, J.H.F., BOSCH, D.J. and OOSTHUIZEN, L.K. (1994). Elicitation of risk preferences for irrigation farmers in the Winterton area: Wealth risk versus annual income risk. *Agrekon*, 33(1):1-7.

BOTHA, P.W., MEIRING, J.A. and VAN SCHALKWYK, H.D. (1999). Quantifying the risk associated with crop rotation systems of an eastern Free State trial. *Agrekon*, 28(2):229-240.

- BREYTENBACH, P. (1994). *'n Ekonomiese evaluering van energiegebruik by besproeiing in die Wintertongebied met inagneming van risiko*. Ongepubliseerde M.Com-verhandeling. Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.
- BREYTENBACH, P., MEIRING, J.A., en OOSTHUIZEN, L.K. (1996). Die belangrikheid van elektrisiteitskoste by besproeiingsboerederye. *Water-SA*, 22(4):333-338.
- BROOKE, A., KENDRICK, D. and MEERAUS, A. (1992). *GAMS: A User's Guide*. Release 2.25. San Francisco: The Scientific Press.
- BROTHERTON, I.A. en GROENEWALD, J.A. (1982). Optimale organisasie op ontwikkelde besproeiingsplase in die Malelane-Komatipoortstreek. *Agrekon*, 21(2):22-29.
- BURGER, P.J. (1971). Die meet van bestuursinsette in die landbou: III: Die opstelling en evaluering van 'n skaal. *Agrekon*, 10(4):5-11.
- CHARNES, A. and COOPER, W.W. (1959). Chance-constrained programming. *Management Science*, 6(1):73-79.
- CROSBY, C.T. (1996). *SAPWAT 1.0 A computer program for estimating irrigation requirements in Southern Africa*. Report to the Water Research Commission on the pilot project: The development of decision making procedures for the estimation of crop water requirements for application in irrigation system design. WRC Report No. 379/1/96. Pretoria: The Water Research Commission.
- DAGPUNAR, J. (1988). Principles of Random Variate Generation. New York: *Oxford Science Publications*.
- DE JAGER, J.M. (1994). Accuracy of vegetation evaporation formulae for estimating final wheat yield. *Water SA*, 20(4):307-314.
- DE JAGER, J.M. and MOTTRAM, R. (1995). Current research on improving water management and water use efficiency on multi-farm irrigation projects. *Proceedings of the Southern African Irrigation Symposium, 4-6 June 1991, Durban*. WRC Report No TT 71/95. Pretoria: The Water Research Commission.
- DENT, M.C., SCHULZE, R.E. and ANGUS, G.R. (1988). *Cropwater requirements, deficits and water yield for irrigation planning in Southern Africa*. Report to the Water Research Commission on the project: A detailed regional soil moisture deficit analysis for irrigation

planning in Southern Africa. WRC Report No 118/1/88. ACRU Report 28. Pretoria: The Water Research Commission.

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL AND WATER SUPPLY. (1989). *Investigations to determine the financial and economic feasibility of irrigation development*. In L.L. Lötter (Ed). Research Highlights: Farming development. Pretoria: Directorate of Agricultural Information.

DE VUYST, E.A., PATRICK, G.F., and ORTMANN, G.F. (1994). *Farm Management software and risk: a review*. Department of Agricultural Economics, Purdue University, Staff Paper 94 –19:25.

DOORENBOS, J. and KASSAM, A.H. (1979). *Yield response to water*. F.A.O. Irrigation and Drainage Paper 33. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

DUDLEY, N.J. (1988). A single decision-maker approach to irrigation reservoir and farm management decision making. *Water Resources Research*, 24(5):633-640.

DUDLEY, N.J. (1990). Alternative institutional arrangements for water supply probabilities and transfers. In: JJ Pigram and BP Hooper (Eds). *Transferability of water entitlements. Proceedings of an International Seminar and Workshop, 4-6 July 1990*. The Centre for Water Policy Research, University of New England, Armidale.

DUDLEY, N.J. (1992). Management models for integrating competing and conflicting demands for water. In: JJ Pigram and BP Hooper (Eds). *Water allocation for the environment. Proceedings of an International Seminar and Workshop, 27-29 November 1991*. The Centre for Water Policy Research, University of New England, Armidale.

DUDLEY, N.J. (1995). *Personal communication*. Professor, The Centre for Water Policy Research, University of New England, Armidale.

DUDLEY, N.J. and HEARN, A.B. (1993). Systems modelling to integrate river valley water supply and irrigation decision-making under uncertainty. *Agricultural Systems*, 42(1&2):3-23.

DUDLEY, N.J. (1999). An introduction to a computer model, SIM-DY-SIM, for deterministic and stochastic dynamig programming. *Vol 1: Text*.

DUDLEY, N.J. and MUSGRAVE, W. (1988). Capacity sharing of water reservoirs. *Water Resources Research*, 24(5):649-658.

- EASTER, K.W. and HEARNE, R. (1994). *Water markets and decentralized water resources management*. Staff Paper Series P94-24. Department of Agricultural and Applied Economics, St Paul, Minnesota.
- ENGLISH, M. and RAJA, S.N. (1996). Review: Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 32(1):1-14.
- GILLEY, J.R., MARTIN, D.L. and SUPALLA, R.J. (1988). Irrigation water management in arid areas: Current and future methodologies. In E.E. Whitehead, C.F. Hutchinson, B.N. Timmermann and R.G. Varady (Eds). *Arid lands: Today and tomorrow*. Tucson, Arizona, USA, 20-25 October 1985.
- GREEN, G.C. (Red.). (1985). *Beraamde besproeiingsbehoefte van gewasse in Suid-Afrika*. Deel 1 Oos-Kaapstreek, Karoostreek, Natalstreek, Winterreënstreek. Navorsingsinstituut vir Grond en Besproeiing, Departement van Landbou en Water Voorsiening, Pretoria.
- GROVÉ, B. (1997). *Modellering van die ekonomiese effekte van wisselvallige waterbeskikbaarheid vir besproeiingsboere in die wintertongebied met inagneming van minimum binnestroomvloeivoorsiening*. Ongepubliseerde M.Sc.(Agric)-verhandeling. Departement Landbou-Ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.
- GROVÉ, B., BENDER, A.G., and OOSTHUIZEN, L.K. (1998). Economic Effects of stochastic water supply and demand at farm level. *South African Institute of Agricultural Engineers*, 30(1):35-37.
- HANCKE, H.P. en GROENEWALD, J.A. (1972). Die effek van bronbeskikbaarheid op optimum organisasie in besproeiingsboerdery. *Agrekon*, 11(3):9-16.
- HARDAKER, J.B., HUIRNE, R.B.M., and ANDERSON, J.R. (1997). *Coping with Risk in Agriculture*. New York: CAB International.
- HARDAKER, J.B., PANDEY, S. and PATTEN, L.H. (1991). Farm planning under uncertainty: A review of alternative planning models. *Review of Marketing and Agricultural Economics*, 59(1):9-22.
- HAZELL, P.B.R. and NORTON, R.D. (1986). *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. New York: Macmillan.

- HOWE, C.W., SCHURMEIER, D.R., and SHAW jr, D.W. (1986). Innovative Approaches to Water Allocation: The Potential for Water Markets. *Water Resources Research*, 22(4):439-445.
- HUFFAKER, R.G. and WHITTLESEY, N.K. (1995). Agricultural water conservation legislation: Will it save water? *Choices*, Fourth quarter:24-28.
- JEWITT, G.P.W. and KIENZLE, S.W. (1993). *Estimation of optimal dam capacities on the Little Tugela River*. Department of Agricultural Engineering, University of Natal, Pietermaritzburg.
- JOHNSON, S.H. (1993). Determining irrigation service area under Monsoonal rainfall conditions: An example from Northeast Thailand. *Water International*, 18(4):200-206.
- JOHNSON, S.L., ADAMS R.M. and PERRY G.P. (1991). The on-farm costs of reducing groundwater pollution. *American Journal of Agricultural Economics*, 73(4):1063-1073.
- KALL, P. (1976). *Stochastic linear programming*. New York: Springer Verlag.
- KEITH, J.E., MARTINEZ-GERSTL, G.A., SNYDER, D.L. and GLOVER, T.F. (1989). Energy and agriculture in Utah: Responses to water shortages. *Western Journal of Agricultural Economics*, 14(1):85-97.
- KING, R.P. (1989). *Agricultural risk management simulator: User manual*. Department of Agricultural and Applied Economics, University of Minnesota, St. Paul.
- KING, J.M. and THARME, R.E. (1994). *Assessment of the instream flow incremental methodology and initial development of alternative instream flow methodologies for South Africa*. Report to the Water Research Commission on the project: Assessment of the instreamflow requirements of rivers. WRC Report No 295/1/94. Pretoria: The Water Research Commission.
- KÜHNE, T.M. en OOSTHUIZEN, L.K. (1994). Risikobronne en bestuursoptredes in die Winterton besproeiingsgebied. In: L.K. OOSTHUIZEN, J.A. MEIRING en J.H.F. BOTES. *Verhoging van ekonomiese doeltreffendheid van water- en energiegebruik vir besproeiing op geheelplaasvlak in die Sentraal RSA*. Vorderingsverslag aan die Waternavorsingskommissie. Verslag no. 3. Departement Landbou-ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.

- LECLER, N.L. (1996). *Personal communication*. Researcher, Department of Agricultural Engineering, University of Natal, Pietermaritzburg.
- LECLER, N.L. (1998). *Personal communication*. Researcher, Department of Agricultural Engineering, University of Natal, Pietermaritzburg.
- LECLER, N.L. (1999). *Personal communication*. Researcher, Department of Agricultural Engineering, University of Natal, Pietermaritzburg.
- LIEBENBERG, G.F. en UYS, P.M. (1995). Waterhulpbronne van Suid-Afrika. *Agrifutura Bulletin*, 2(1):31-34.
- LOUW, A.A. en GROENEWALD, D.J. (1992). *Die verband tussen hidrologie en finansiële kriteria in besproeiingskemas*. Departement Landbou Ontwikkeling. Direktoraat Besproeiing-ingenieurswese, Transvaalstreek, Pretoria.
- LOUW, A.A. en GROENEWALD, D.J. (s.a.). *'n Verwantskap tussen ekonomiese besproeiingswaarde en hidrologiese data in besproeiingsgebiede*. Direktoraat Besproeiingingenieurswese, Pretoria.
- LOUW, A.A., SMAL, H.S. en WESSELS, W. (1991). *Hidrologiese beperkings op die finansiële uitvoerbaarheid van besproeiingsontwikkeling*. Departement Landbou Ontwikkeling, Pretoria.
- LOUW, D.B. and VAN SCHALKWYK, H.D. (1997). The true value of irrigation water in the olifant river basin: Western Cape. *Agrekon*, 36(4):551-560.
- LOUW, D.B., VAN SCHALKWYK, H.D. and GROENEWALD, J.A. (1998). The impact of a potential water market on the wine and deciduous fruit industry in the Olifants River basin. *South African Institute of Agricultural Engineers*, 30(1):63-68.
- MARÉ, H.G. (1995). *Marico-Bosveld Staatswaterskema: Stogastiese waterbronontledings gekoppel aan ekonomiese evaluasies*. BKS Ing. Verslag P5425/95/1. Departement van Landbou, Direktoraat Besproeiingsingenieurswese, Pretoria.
- McCARL, B.A. and SPREEN, T.H. (1994). *Applied mathematical programming using algebraic systems*. Texas A & M University.
- MEIRING, J.A. (1994). *Die ontwikkeling en toepassing van 'n besluitnemingsondersteuningstelsel vir die ekonomiese evaluering van risikobestuur op plaasvlak*. Ongepubliseerde

- Ph.D.-proefskrif. Departement Landbou-ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.
- MEIRING, J.A. (1998). Persoonlike mededeling. Hoof navorser, Departement Landbou-ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.
- MEIRING, J.A., BREYTENBACH, P., OOSTHUIZEN, L.K. en SPIES, C.I. (1995). *SPILKOST 2.0. Handleiding*. Departement Landbou-ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.
- MICROSOFT CORPORATION. (1994). Excell: Version 2.0 : User's guide. Microsoft Corporation.
- MILLAN, J.S. and BERBEL, J. (1994). A multicriteria model for irrigated agricultural planning under economic and technical risk. *Agricultural Systems*, 44(1):105-117.
- MOTTRAM, R. (1995). *Alternative damsites in the Little Tugela*. Mottram Associates.
- MOTTRAM, R. and DE JAGER, J.M. (1994). *Research on maximising irrigation project efficiency in different soil-climate-irrigation situations*. Report to the Water Research Commission. WRC Report No 226/1/94. Pretoria: The Water Research Commission.
- MOTTRAM, R., DE JAGER, J.M., JACKSON, B.J. and GORDIJN, R.J. (1995). Irrigation water distribution management using linear programming. *Proceedings of the Southern African Irrigation Symposium, 4-6 June 1991, Durban*. WRC Report No TT 71/95. Pretoria: The Water Research Commission.
- MURRAY BIESENBACH & BADENHORST INCORPORATED CONSULTING ENGINEERS. (1992). *The development of decision making procedures for the estimation of crop water requirements for application in irrigation system design*. Interim Report. Progress Report for July - Dec. 1991. Pretoria.
- MURTAH, B.A. and SAUNDERS, M.A. (1987). *"Minos 5.1 User's Guide"*. Report SOL 83-20R, December 1983, revised January 1987, Stanford University.
- ONTA, P.R., DAS GUPTA, A. and HARBOE, R. (1991). Multistep planning model for conjunctive use of surface and ground water resources. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 117(6):662-678.

- OOSTHUIZEN, H.J. (1995). *Berekening van die impak van die Marico-Bosveld Staatswaterskema op die nasionale ekonomie van Suid-Afrika en finale gevolgtrekkings oor die rehabilitasie van dié skema*. Departement van Landbou, Direktoraat Landbou-ekonomie, Pretoria.
- OOSTHUIZEN, L.K., BOTES, J.H.F., BOSCH, D.J. and BREYTENBACH, P. (1995). *Increasing economic efficiency of water and energy use for irrigation at whole farm level in the Winterton area*. Department of Agricultural Economics, University of the Orange Free State, Bloemfontein. WRC Report No 347/2/96. Pretoria: The Water Research Commission.
- PALISADE CORPORATION. (1995). *User's guide: BestFit*. Newfield, NY: Palisade Corporation.
- PALISADE CORPORATION. (1992). *@RISK Risk Analysis and Simulation Add-In for Lotus 123, version 2.01 User's guide*. Newfield, NY: Palisade Corporation.
- PAUDYAL, G.N. and DAS GUPTA, A. (1990). Irrigation planning by multilevel optimization. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 116(2):273-291.
- PIGRAM, J.J. (1992). Introduction. In: JJ Pigram and BP Hooper (Eds). *Water allocation for the environment: Proceedings of an International Seminar and Workshop, 27- 29 November 1991*. The Centre for Water Policy Research, University of New England, Armidale.
- PIGRAM, J.J. and HOOPER, B.P. (1992). Outcomes of workshops and discussion forums. In: JJ Pigram and BP Hooper (Eds). *Water allocation for the environment: Proceedings of an International Seminar and Workshop, 27-29 November 1991*. The Centre for Water Policy Research, University of New England, Armidale.
- RAE, A.N. (1971a). Stochastic programming, utility and sequential decision problems in farm management. *American Journal of Agricultural Economics*, 53(3):448-460.
- RAE, A.N. (1971b). An empirical application and evaluation of discrete stochastic programming in farm management. *American Journal of Agricultural Economics*, 53(4):625-638.
- RAE, A.N. (1994). *Agricultural management economics: Activity analysis and decisionmaking*. Wallingford: CAB International.

- RANDALL, A. (1981). Property entitlements and pricing policies for a maturing water economy. *The Australian Journal of Agricultural Economics*, 25(3):195-220.
- RICHARDSON, J.W. (1999). *Simulation: A tool For Decision Making Under Risk* Department of Agricultural Economics, Texas A & M University.
- RICHARDSON, J.W. & NIXON, C.J. (1986). Description of FLIPSIM V: a general firm level policy simulation model. Agricultural and Food Policy Center, Department of Agricultural Economics, Texas A & M University, College Station.
- ROBISON, L.J. (1988). *Stochastic dominance: A computer programme*. Department of Agricultural Economics, Michigan State University.
- SOUTH AFRICA (Republic). DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FORESTRY. (1997). *White paper on a national water policy for South Africa*. Pretoria: Department of Water Affairs and Forestry.
- SCHLANDERS, W. (1996). *Persoonlike mededelings en inligting*. Waterfiskaal: Klein Tugelarivierbesproeiingsraad, Winterton.
- SCHULZE, R.E. (1989). Assessment of irrigation water demand and supply by agrohydrological modelling: The Winterton example. *South African Institute of Agricultural Engineers*. 20(1):92-112.
- SCHULZE, R.E. (1995). *Hydrological and agrohydrology. A text to accompany the ACRU 3.00 Agrohydrological Modelling System*. Report to the Water Research Commission on the project: Hydrological systems model development. WRC Report No TT69/95, ACRU Report 43. Pretoria: The Water Research Commission.
- SCHULZE, R.E. (1996). *Personal communication*. Professor, Department of Agricultural Engineering, University of Natal, Pietermaritzburg.
- SCHULZE, R.E. and GEORGE, W.J. (1987). *Economic implications of deficit irrigation at a proposed Namibian Scheme*. Department of Agricultural Engineering, University of Natal, Pietermaritzburg.
- SCOTT, B. (1997). *Personal communication: e-mail*. Researcher, The Centre for Water Policy Research, University of New England, Armidale.

- SENGUPTA, J.K. and FOX, K.A. (1975). *Economic analysis operations research: Optimization techniques in quantitative economic models*. Studies in mathematical and managerial economics, no. 10. Amsterdam: North Holland.
- SMITHERS, J. and SCHULZE, R.E. (1995). *ACRU Agrohydrological Modelling System. User manual version 3.00*. Report to the Water Research Commission on the project: Hydrological systems model development. WRC Report No TT70/95, ACRU Report 44. Pretoria: The Water Research Commission.
- VAN ROOYEN, C.J. (1979). Waterbeskikbaarheid en arbeid as veranderlike hulpbronne in beplanning vir optimale organisasie in besproeiingsboerdery. *Agrekon*, 18(1):9- 17.
- VAN SCHALKWYK, H.D. (1997). Water policy: An agricultural economic approach. Paper presented at a Forum held by the Centrum of Agricultural Water Management at the University of the Free State, Bloemfontein.
- VILJOEN, M.F. (1994). Research note: The opportunity cost of water for environmental use during water shortages with reference to the Vaal River System. *Agrekon*, 33(2):91-95.
- VIRAG, T. (1988). *Input-output relationships and expected economic returns in crop production with variable water supply*. Unpublished M.Sc.(Agric) dissertation. Department of Agricultural Economics, University of Pretoria, Pretoria.
- WALMSLEY, J.J. (1995). Market forces and the management of water for the environment. *Water SA*, 21(1):43-50.
- WALMSLEY, R.D. (1992). Stream environments and catchment processes - A South African perspective. In: JJ Pigram and BP Hooper (Eds). *Water allocation for the environment. Proceedings: International Seminar and Workshop, 27-29 November 1991*. The Centre for Water Policy Research, University of New England, Armidale.
- WALMSLEY, R.D. and DAVIES, B.R. (1991). An overview of water for environmental management. *Water SA*, 17(1):67-76.
- WEINBERG, M., KLING, C.L. and WILEN, J.E. (1993). Water markets and water quality. *American Journal of Agricultural Economics*, 75(2):278-291.
- WHITTLESEY, N.K. and HUFFAKER, R.G. (1995). Water policy issues for the twenty-first century. *American Journal of Agricultural Economics*, 77(5):1199-1203.

-
- WILLIS, D.B. (1993). *Modeling economic effects of stochastic water supply and demand on minimum stream flow requirements*. Unpublished Ph.D.-thesis. Department of Agricultural Economics, Washington State University, Pullman.
- YOUNG, R.A. (1986). Why are there so few transactions among water users? *American Journal of Agricultural Economics*, 68(5):1143-1151.

DIE VERWANTSKAPPE TUSSEN BESPROEIINGSPROBLEME EN BESPROEIINGSBESTUURSPRAKTYKE EN -BELEIDE OP PLASE EN STAND VAN BESPROEIINGSBESTUUR IN DIE WINTERTONBESPROEIINGSGEBIED

A1 VERWANTSKAPPE TUSSEN BESPROEIINGSPROBLEME EN BESPROE- IINGS-BESTUURSPRAKTYKE EN -BELEIDE

A1.1 INLEIDING

Daar bestaan onsekerheid oor die mate waarin kommersiële boere besproeiingsprobleme in hulle ondernemings ondervind en die verband wat hierdie probleme met bepaalde besproeiingsbestuurspraktyke en -beleide hou (Crosby, 1996 : 2; Backeberg, Bembridge, Bennie, Groenewald, Hammes, Pullen en Thompson, 1996 : 61).

Die hipotese is dat boere met relatief minder en meer besproeiingsprobleme verskil ten opsigte van die klem wat hulle op bestuursbeginsels plaas, die mate waarin wetenskaplike besproeiingsbestuurspraktyke toegepas word en die mate van behoefte wat hulle aan wetenskaplike praktyke ervaar.

Die veronderstelling is dat boere met relatief minder en meer besproeiingsprobleme verskil ten opsigte van die klem wat hulle op bestuursbeginsels plaas, die mate waarin wetenskaplike besproeiingsbestuurspraktyke toegepas word en die mate van behoefte wat hulle aan wetenskaplike besproeiingsbestuurspraktyke ervaar.

A1.2 NAVORSINGSPROSEDURES

'n Opname is gedurende Augustus 1996 by 52 besproeiingsboere in die Wintertongebied uitgevoer waartydens al die besproeiingsboere in die gebied (ongeveer 79) ingesluit is in die steekproef. Inligting is met behulp van 'n gestruktureerde vraelys aangaande die mate van

toepassing van wetenskaplike besproeiingsbestuurspraktyke en -beleide en die mate van behoefte wat kommersiële boere het aan wetenskaplike besproeiingsbestuurspraktyke.

Die doel met Afdeling B van die vraelys was om na te gaan watter van die 43 besproeiingsbestuurspraktyke en -beleide 'n verband toon met minder en meer besproeiingsprobleme. Die boere is in twee groepe verdeel (relatief minder en meer besproeiingsprobleme) op grond van die respondente se eie aanduidings van hoe hulle vergelyk (vyftienpuntskaal) met ander ondernemings in dieselfde omgewing ten opsigte van 30 potensiële probleme met arbeid (8 faktore), grond (3 faktore), gewasse (2 faktore), klimaat (1 faktor), besproeiingstelsel (3 faktore), kapitaalbenutting (8 faktore) en bestuur (5 faktore). Een tot vyf op die skaal dui op ongunstig, ses tot tien is nagenoeg dieselfde en elf tot vyftien op gunstig. Die mediaan is gebruik om die boere in 'n groep met relatief minder (Minpro: 286-398 punte) en meer besproeiingsprobleme (Meerpro: 223-285 punte) te verdeel op grond van die puntetelling van al 30 faktore.

Ten einde meer insig te verkry met betrekking tot die verwantskappe tussen besproeiingspraktyke en besproeiingsprobleme, is die respondente ook verder in vier groepe verdeel volgens inkomste- en skuldaspelle, personeelgrootte en ouderdom van die boer. Die mediaan is gebruik om die groepe te verdeel: lae (R 35 000-775 000) en hoë (R 775 001 – 26 000 000) bruto boerderyinkomste; lae skuldslas (7-39%) en hoë skuldslas (40-70%); kleiner personeelgetal (1-11) en groter personeelgetal (12-50); en jonger (22-41 jaar) en ouer boere (42-63 jaar).

Afdeling C van die vraelys het sosio-ekonomiese en finansiële bestuursinligting ingesluit soos ouderdom, distrik, getal permanente werkers in diens, skuldslaspersentasie, bruto inkomste en belangrikste boerderyvertakking. Die mees algemene bedryfstak is melk - sowat 31.4 % (16) dui dit as hul vernaamste bedryfstak, 27.5 % (14) kontantgewasse; vee deur 9.8 % (5); gemengde boerdery 7.8 % (4); varke 5.9 % (3); groente 3.9 % (2) en rose deur 2 % (1), onderskeidelik.

Die helfte van die boere het minder as 11 permanente werkers in diens terwyl 22 % 20 en meer werkers op die diensstaat het. Die meeste arbeiders in diens is 50 en die minste een.

Wat skuldslas (geleende kapitaal) betref, het slegs 43 boere inligting verskaf. Die gemiddelde skuldslas is 28 % wat redelik is; die modus is 20 persent. Indien verspreiding van die skuldslas ontleed word, kan onderskei word tussen boere met 'n gunstige, 'n gemiddelde en 'n ongunstige skuldslas wat onderskeidelik 0-9,99 persent; 10-29,99 % en 30-100 % verteenwoordig. Sowat 2.3 % (1) val in die gunstige groep; sowat 51.2 % (13) val in die gemiddelde groep en 46.5 % (29) in die ongunstige groep. Sowat 29 boere (67 %) het 'n skuldslas van 30% en minder.

Ontleding

Die Chi-kwadraattoets vir onafhanklikheid by gebeurlikheidstabelle en die t-toets vir die berekening van die beduidenheid van verskille van die gemiddeldes is op 95 % betroubaarspeil vir die ontledings gebruik (Siegel, 1956 : 110). Hoe kleiner p (by die Chi-kwadraattoets) of α (by die t-toets) is hoe groter waarde kan aan die betekenispeil geheg word.

A1.3 RESULTATE EN BESPREKING

In die eerste seksie word die mate waarin boere besproeiingsprobleme ervaar, bespreek. Vervolgens word die verband tussen die toepassing van besproeiingsbestuurspraktyke en besproeiingsprobleme aangetoon. Laastens word ander verwantskappe en tendense aangedui.

A1.3.1 Besproeiingsprobleme

Uit tabel 1 lyk die boere besonder tevrede met hul ondernemings ten opsigte van die vier hoofprobleemgebiede: arbeid, grond of gewasse/klimaat/besproeiingstelsel, kapitaal en bestuur. Slegs 6,7 % het aangetoon dat hul ondernemings ongunstig met ander in hul omgewing vergelyk. Wat die res van die boere betref, is daar sowat 40% wat meen dat hulle gunstig vergelyk en 52% wat nagenoeg dieselfde presteer.

Daar is egter verskille tussen die verskillende kategorieë van probleme asook tussen die verskillende faktore. Dit blyk dat die boere meer selftevrede skyn te wees oor arbeidsprobleme as oor probleme met betrekking tot bestuur, kapitaal, grond, gewasse, klimaat en besproeiingstelsels.

Met betrekking tot bestuursaangeleenthede is slegs 2.7 % van die respondente geneë om te verklaar dat hul ondernemings ongunstig vergelyk met ander terwyl 8.0; 7.9 en 6.5 persent respektiewelik meen dat hul ongunstig vergelyk met ander ten opsigte van (i) grond, gewasse klimaat en besproeiingstelsels, (ii) arbeid en (iii) kapitaal.

Die faktore waaroor die respondente die meeste bereid is om te verklaar dat hul ongunstig vergelyk, is die hulpmiddels om te monitor of genoeg besproei is of nie (26%), beskikbaarheid van arbeiders vir vakante poste (13.5%), arbeidsomset (13.5%), deurlopende waterbeskikbaarheid (11.5 %) en arbeidsintensiwiteit van besproeiingstelsel (11.5%).

Die items waaroor hul die meeste selftevrede skyn te wees, is afwesigheid van hul werkers a.g.v. dronkenskap en bakleiery (75 %) en arbeidsomset (75 %) persoonlike gesondheid (67%), tyd bestee aan bestuursake (48 %) en byvoordele van arbeiders (48 %).

Gemeet aan die bestaande kennis aangaande besproeiingsbestuurspraktyke wat bydra tot en benaderings wat dui op minder besproeiingsprobleme in 'n onderneming, is die boere wat hul ondernemings gunstig met betrekking tot besproeiingsprobleme aanslaan, ooroptimisties in hul subjektiewe beoordeling van die doeltreffendheid en effektiwiteit van hul eie besproeiingsbestuur. Daar is nog te veel praktyke wat beduidend saamhang met minder besproeiingsprobleme in 'n onderneming wat nog nie tot 'n voldoende mate in gebruik is by ondernemings waar die boere van mening is dat hulle relatief gunstig met ander in dieselfde omgewing vergelyk nie.

Baie boere (40%) wat hul ondernemings gunstig beoordeel in vergelyking met ander in hul omgewing besef nie dat hul besproeiingsbestuurspraktyke en -beleide veel te wense oorlaat nie.

A1.3.2 Vermindering van besproeiingsprobleme

Die resultate in tabel 2 toon die verband tussen besproeiingsprobleme en die gebruik van bepaalde besproeiingsbestuurspraktyke.

Beplanning en innovering

Boere kan besproeiingsprobleme verminder deur persoonlike rekenaars en sagteware ter verbetering van beplanning en beheer in die boerdery. Uit tabel 2 blyk dit dat boere met relatief minder probleme ($p=0,064$) en wat jonger is ($p=0,027$) bovermelde praktyk tot 'n groter mate in gebruik het as die boere met meer probleme en ouer boere.

Organiseringspraktyke

Boere kan besproeiingsprobleme verminder deur veevertakkings te skei van gewasvertakkings in terme van besluitneming en bestuur. Dit is die boere wat meen dat hul minder besproeiingsprobleme ervaar wat meer geneig is om veevertakkings te skei van gewasvertakkings ($p=0.045$).

Dit is die boere wat meen dat hul minder besproeiingsprobleme het wat meer van konsultante en spesialiste se dienste koop ($p=0.045$). Verder blyk dit dat boere met 'n hoër inkomste ($p=0.023$) en groter personeel ($p=0.051$) in 'n groter mate hierdie praktyk gebruik.

Personeelpraktyke

Boere kan besproeiingsprobleme verminder deur 'n formele onderhoud met werkaansoekers te voer. Hierdie praktyk word tot 'n baie groter mate toegepas deur boere wat meen dat hulle minder besproeiingsprobleme ervaar ($p=0.067$).

Water

Die praktyk om 'n buffer water in die dam te pomp om vir die winter te voorsien as die plaasdam min water het, kan besproeiingsprobleme verminder. Boere wat meer hul het minder besproeiingsprobleme ($p=0.015$) gebruik die praktyk meer.

Stelsel

Boere kan besproeiingsprobleme verminder deur kennis te dra van die besproeiingstelsel se werksdruk. Boere met relatief minder probleme maak beduidend meer gebruik van hierdie praktyk ($p=0.033$).

Die oorsakeling van elektrisiteitstarief (D of F na Ruraflex) spaar geld word deur boere met minder probleme in 'n groter mate gebruik ($p=0.009$).

A1.3.3 Ander tendense in besproeiingsboerdery

Tabel 3 toon die ander beduidende verwantskappe tussen besproeiingsbestuurspraktyke en ouderdom van boere, boerderyinkomste, skuldlas asook personeelgrootte.

Die boere met 'n relatief hoër inkomste pas die volgende vyf praktyke tot 'n groter mate toe as boere met 'n relatief laer inkomste:

- Die waterstatus van die gewas se wortelsone word op 'n gereelde grondslag met 'n grondboor of graaf gemonitor ($p=0.013$).
- Gebruik koöperasie/kenners vir voorligting t.o.v. grondbewerkingspraktyke ($p=0.013$).
- Die waterhouvermoë van gronde is bekend ($p=0.052$).
- Tyd wanneer besproei moet word, word deur 'n skeduleringsmetode bepaal ($p=0.0009$).
- Die oorsakeling van 'n elektrisiteitstarief (D of F na Ruraflex) spaar geld ($p=0.067$).

Die boere met 'n relatief groter personeelgetal het die volgende vyf praktyke tot 'n groter mate in gebruik as boere met 'n relatief kleiner personeelgetal:

- Salarisstruktuur gegrond op besluitnemingsvlak en verantwoordelikheid van werker. ($p=0.031$).
- Die waterstatus van die gewas se wortelsone word op 'n gereelde grondslag met 'n grondboor of graaf gemonitor ($p=0.011$).
- Gebruik koöperasie/kenners vir voorligting t.o.v. grondbewerkingspraktyke ($p=0.051$).
- Tyd wanneer besproei moet word, word deur 'n skeduleringsmetode bepaal ($p=0.044$).
- Indien verwag word dat die beskikbare water vir besproeiing minder is as vir normale jare word oppervlakte effens verminder in die hoop dat die riviervloei later in die seisoen

voldoende sal wees om aan die gewasse se volle behoeftes oor die hele seisoen te voorsien ($p=0.023$)

Die jonger boere het die volgende twee praktyke tot 'n groter mate in gebruik as boere wat relatief ouer is.

- Werkers wat nie op die plaas bly nie en permanent in diens is nie bied in ruil daarvoor hul dienste aan om bepaalde take te verrig soos oes en onkruidbestryding ($p=0.070$).

Die boere met 'n relatief laer skuldlas het die volgende praktyk tot 'n groter mate in gebruik as boere met 'n relatief groter skuldlas:

- Dit is belangrik om te weet wat besproeiingskoste per mm water beloop ($p=0.096$).

A1.4 GEVOLGTREKKING

Die vermindering van besproeiingsprobleme op kommersiële plase in Winterton staan grootliks in verband met meer wetenskaplike beplannings-, organiserings-, grondbewerkings, stelsel- en skeduleringspraktyke. Die voorligtingswerk in hierdie besproeiingsgebiede behoort dus op bovermelde aspekte van besproeiingsbestuur te konsentreer.

Gemeen aan die bestaande besproeiingsbestuurskennis wat dui op minder besproeiingsprobleme in 'n onderneming, is die boere wat hulle ondernemings gunstig met betrekking tot besproeiingsprobleme aanslaan, ooroptimisties in hulle subjektiewe beoordeling van die effektiwiteit van hul besproeiingspraktyke. 'n Tegniek waarmee die kwaliteit van besproeiingsbestuur in 'n onderneming gekwantifiseer kan word, kan vir die boere 'n beter aanduiding gee van hoe goed hul bestuur is (Crosby, 1996 : 29). Ten spyte van die tekortkominge van die subjektiewe metode om boere in twee groepe te verdeel met betrekking tot die mate waarin hulle besproeiingsprobleme ervaar, is bruikbare resultate behaal.

A2 DIE STAND VAN BESPROEIINGSBESTUUR

A2.1 INLEIDING

Daar bestaan onsekerheid oor:

- (a) die mate van toepassing van wetenskaplike besproeiingsbestuurspraktyke en -beleide op plase in die gekommersialiseerde landbou asook oor die mate van behoefte wat boere het aan wetenskaplike besproeiingsbestuurspraktyke, en
- (b) die mate waarin kommersiële boere besproeiingsprobleme ondervind en die verband wat hierdie probleme met 43 besproeiingsbestuurspraktyke het.

Die eerste hipotese is dat, beoordeel volgens die bestaande besproeiingsbestuurskennis, wetenskaplike besproeiingspraktyke en -beleide nie in 'n voldoende mate op plase in gebruik is nie. Tweedens word gehipotetiseer dat die boere 'n bewuste behoefte ervaar aan die toepassing van besproeiingspraktyke en -beleide wat nie tans in 'n voldoende mate in gebruik is nie. Laastens word die verband tussen die mate van gebruik van bepaalde besproeiingsbestuurspraktyke en sekere sosio-ekonomiese en bestuursinligting in die ondersoekgebied bepaal.

A2.2 NAVORSINGSPROSEDURES

Die doel met die navorsing was enersyds om die mate van toepassing van besproeiingsbestuurspraktyke vas te stel en andersyds om die mate van behoefte daaraan in die gekommersialiseerde landbou te bepaal. Die eerste afdeling van die vraelys bevat die 43 besproeiingsbestuurspraktyke wat elkeen 'n volledige stelling of beginsel verteenwoordig. Die besproeiingspraktyke staan in verband met 8 aspekte: beplanning, beheer en innovering (6 faktore), organisering (3 faktore), personeel (4 faktore), grondbewerking en gewasverbouing (7 faktore), watergebruik (4 faktore), besproeiingskedulering (4 faktore), besproeiingstelselgebruik (7 faktore) asook finansiering/bemarking (8 faktore). Elkeen van die faktore is gebaseer op wetenskaplike beginsels wat die beste stand van besproeiingskennis weerspieël (Hansen, Israelsen & Stringham, 1980; Heady & Jensen, 1954; Boehlje & Eidman, 1984).

Respondente is gevra om die mate van gebruik asook behoefte aan elke praktyk in hul ondernemings aan te dui. Die mate van gebruik is op 'n vierpunt-skaal aangedui waar een dui op glad nie, twee op soms of gedeeltelik, drie op deurgaans en vier nie van toepassing. Die mate van behoefte is op 'n driepunt-skaal aangedui waar een dui op ja en twee op nee.

Die Chi-kwadraat toets vir onafhanklikheid by gebeurlikheidstabelle is op 95 % betroubaarheidspeil gebruik. Die t-toets vir die berekening van die beduidenheid van verskille

van die gemiddeldes is gebruik om die verband tussen die sosio-ekonomiese veranderlikes en die mate van gebruik van die besproeiingspraktyke deur die boere te ondersoek (Zar, 1984 : 130). Onderskeid is tussen boere getref wat 'n bepaalde praktyk glad nie en wel toepas. Die t-toets is gebruik om te bepaal of die gemiddelde waarde van bruto boerderyinkomste, personeelgetal en boere se ouderdom verskillend is vir die mate van toepassing van die praktyk al dan nie. Die nulhipotese dat die groepgemiddeldes dieselfde is, word verwerp indien die verskil betekenisvol is met α kleiner of gelyk aan 0,05. Alhoewel by die gebruik van die t-toets aangeneem word dat beide groepe uit normale populasies met gelyke variansie kom, word algemeen aanvaar dat die t-toets kragtig genoeg is ten spyte van aansienlike afwykings van die onderliggende teoretiese aannames (Zar, 1984 : 130). Deurgaans word die t-toets aangepas om vir moontlike verskille in die groepe se variansie voorsiening te maak.

A2.3 RESULTATE EN BESPREKING

A2.3.1 Mate van toepassing van besproeiingsbestuurspraktyke en behoefte daaraan

Die boere is gevra om aan te dui tot watter mate (glad nie, soms of gedeeltelik, deurgaans of nie van toepassing nie) hulle die gestelde besproeiingspraktyke in gebruik het en of hulle 'n verdere behoefte daaraan het. Tabel 4 gee 'n opsomming aan die mate van gebruik en behoefte aan al 43 besproeiingspraktyke ten opsigte van 8 aspekte : beplanning en innovering, organisering, personeel, grondbewerking en gewasverbouing, watergebruik, besproeiingskedulering, besproeiingstelselgebruik en finansiering/bemaking.

Ten opsigte van al 8 aspekte is daar te veel noodsaaklike aktiwiteite wat glad nie of net gedeeltelik toegepas word. Oor die algemeen het die boere 'n groter of verdere behoefte aan die praktyke. Slegs die praktyke wat beduidend saamhang met minder besproeiingsprobleme in 'n onderneming wat nog nie tot 'n voldoende mate in gebruik is nie word vervolgens geïdentifiseer.

Beplanning en innovering

Te veel boere (71%) gebruik nie persoonlike rekenaars en sagteware ter verbetering van beplanning en beheer in die boerdery nie terwyl 11% voel dit is nie van toepassing op hulle nie. Uit Tabel 2 blyk dit dat boere met relatief minder probleme ($p=0,064$) en wat jonger is ($p=0,027$) bovermelde praktyk tot 'n groter mate in gebruik het as die boere met meer probleme. Die meerderheid boere (85%) het 'n behoefte aan die toepassing van die praktyk.

Organisering

In verband met organiseringspraktyke is daar te veel boere wat veevertakkings nie skei van gewasvertakkings in terme van besluitneming en bestuur nie, aangesien 29% dit glad nie en

33% dit slegs soms of gedeeltelik doen. Dit is die boere met minder besproeiingsprobleme wat meer geneig is om veevertakkings te skei van gewasvertakkings ($p=0.045$). Ongeveer die helfte van die boere (53%) het 'n behoefte aan die praktyk.

Wat die gebruik van inligting betref blyk dit min boere bereid is daarvoor te betaal. Daar is te veel boere (88%) wat glad nie konsultante of ander spesialiste se dienste en aanbevelings koop nie terwyl die behoefte aan konsultandienste groot is (70.8%). Dit is die boere met minder besproeiingsprobleme wat meer van konsultante en spesialiste se dienste gebruik maak ($p=0.066$). Verder blyk dit dat boere met 'n hoër inkomste ($p=0.023$) en groter personeel ($p=0.051$) in 'n groter mate van hierdie praktyk gebruik maak.

Personeel

Daar is nog te veel boere wat slegs soms of gedeeltelik 40% en glad nie 23% 'n formele onderhoud met werkaansoekers voer, terwyl die behoefte daaraan redelik hoog is (73%). Dit is die boere met minder besproeiingsprobleme wat meer geneig is om wel die praktyk te gebruik ($p=0.067$).

Heelwat boere (34%) meen dat die praktyk om 'n buffer water in die dam te pomp om vir die winter te voorsien as die plaasdam min water het, nie op hulle van toepassing is nie, terwyl 48% van die boere dit wel doen, 7% dit soms doen en 9% dit glad nie doen nie. Sowat 61% boere het wel 'n behoefte aan die praktyk. Boere met minder besproeiingsprobleme ($p=0.015$) gebruik die praktyk tot 'n groter mate, as boere met meer besproeiingsprobleme.

Besproeiingstelselgebruik

'n Besproeiingstelselpraktyk wat tot 'n beduidende groter mate toegepas word, is kennis van die werksdruk van die stelsel: 74% boere gebruik die praktyk terwyl ongeveer 20% dit glad nie of slegs soms gebruik. Sowat 60% boere het 'n behoefte daaraan. Boere met meer besproeiingsprobleme het nie genoeg kennis van die werksdruk van hul stelsels nie ($p=0.033$).

Sowat 61% boere het glad nie oorgeskakel vanaf die bestaande tarief D of F na 'n Ruraflex tarief wat kostebesparings kan bewerk nie terwyl sowat 15% dit soms en gedeeltelik gebruik en sowat 13% meen dat dit nie toepaslik in hul situasie is nie. Slegs sowat (10%) boere maak deurgaans van die praktyk gebruik. Dit is die boere wat meen dat hul minder besproeiingsprobleme het wat in 'n groter mate oorgeskakel het na Ruraflex ($p=0.009$).

Samevattend kan gesê word dat 'n aansienlike mate van bevestiging vir die gestelde hipotese (a) en (b) gevind is. Eerstens, beoordeel volgens die bestaande besproeiingsbestuurskennis, is die praktyke ten opsigte van beplanning/innovering/beheer, organisering, personeel, grondbewerking/gewasverbouing, besproeiingskedulering, besproeiingstelselgebruik, watergebruik asook finansiering en bemarking nie op die peil van gevorderdheid wat nodig is

nie. Tweedens, het die boere 'n bewuste behoefte aan die toepassing van wetenskaplike besproeiingsbestuurspraktyke.

'n Tegniek waarmee die kwaliteit van die besproeiingsbestuursprosesse in 'n onderneming gekwantifiseer kan word, kan vir die boere 'n beter aanduiding gee van hoe goed hul bestuur is voordat ernstige foute voorkom of ondoeltreffendheid ontstaan. Dit is baie belangrik om 'n diagnostiese metode te hê wat in staat is om foute wat die boer nie herken nie, te ontbloot (Crosby, 1996 : 29). Sulke foute is geneig om in veranderende omstandighede mislukkinge of ondoeltreffendhede te veroorsaak. Sommige swak praktyke word nooit geïdentifiseer nie omdat dit agter ander suksesareas in die onderneming verskans is.

A2.3.2 Verband tussen die mate van gebruik van besproeiingsbestuurspraktyke met sosio-ekonomiese veranderlikes

Die invloed van die boer se personeelgetal en ouderdom op die mate van toepassing van die gestelde besproeiingsbestuurspraktyke word in tabel 5 weergegee.

Personeelgrootte

Die boere met 'n groter personeelgetal op hul diensstaat het die volgende praktyke tot 'n groter mate in gebruik:

- konsultante of ander spesialiste se dienste word gekoop ($\alpha=0.01$)
- waterstatus van gewaswortelsone word gereeld gemonitor ($\alpha=0.008$)
- gebruik koöperasie/kenners vir voorligting t.o.v. grondbewerkingspraktyke ($\alpha=0.03$)

Boere met 'n groter personeelmag kan en behoort personeel op te lei om bovermelde besproeiingsbestuurspraktyke te verrig. Crosby (1996 : 120) beklemtoon die rol wat opgeleide werkers in besproeiingsboerdery kan speel.

Ouderdom

Die jonger boere maak tot 'n groter mate gebruik van die volgende praktyke:

- die gebruik van persoonlike rekenaars en sagteware om beplanning en beheer in die boerdery te verbeter ($\alpha=0.005$)
- vooruitskatting van waarskynlike pryse en opbrengste ($\alpha=0.02$)

Die ouer boere gebruik in groter mate koöperasie/kenners vir voorligting t.o.v. grondbewerkingspraktyke ($\alpha=0.02$).

A3 GEVOLGTREKKING

'n Aansienlike mate van bevestiging is gevind vir die gestelde hipoteses. Beoordeel volgens die bestaande besproeiingsbestuurskennis, is die praktyke ten opsigte van beplanning, innovering en beheer, organisering, personeel, grondbewerking en gewasverbouing, besproeiingskedulering, besproeiingstelselgebruik, watergebruik, asook finansiering en bemaking nog nie op die peil van gevorderdheid wat nodig is nie. Daar is verskeie praktyke (beplanning, organisering, personeel, grondbewerking asook water en besproeiingstelsel gebruik) wat beduidend saamhang met minder besproeiingsprobleme in 'n onderneming wat nog nie tot 'n voldoende mate in gebruik is by boere in die Wintertongebied nie.

Verder het die boere oor die algemeen 'n bewuste behoefte aan die toepassing van wetenskaplike besproeiingsbestuurspraktyke. Sekere praktyke wat egter beduidend saamhang met minder besproeiingsprobleme in ondernemings word egter nie tot 'n voldoende mate besef nie.

Voorligtingswerk behoort op die beginsels van beplanning, organisering en personeelbestuur te fokus. Verder moet praktyke betreffende die besproeiingstelsel ook aandag geniet soos kennis van die werskdruk van die stelsel.

Die verwantskappe wat bepaal is tussen bepaalde besproeiingsbestuurspraktyke en sosio-ekonomiese veranderlikes soos boerderyinkomste, personeelgrootte en ouderdom van boere het verdere lig gewerp op die mate van toepassing van die praktyke. Vir voorligtingsdoeleindes behoort gelet te word op watter praktyke deur die verskillende groepe tot 'n groter mate in gebruik is en waar die gevolglike leemtes en behoeftes is.

BRONNELYS

BACKEBERG, G.R., BEMBRIDGE, T.J., BENNIE, A.T.P., GROENEWALD, J.A., HAMMES, P.S., PULLEN, R.A. and THOMPSON, H. 1996. Policy proposal for irrigated agriculture in South Africa: Discussion Paper. Pretoria: Water Research Commission. (Report No KV96/96).

BOEHLJE, M.D. and EIDMAN, V.R. 1984. Farm Management. New York: Wiley.

BREYTENBACH, P., MEIRING, J.A. en OOSTHUIZEN, L.K. 1995. Die formulering en ekonomiese evaluering van energiebestuurstrategieë vir besproeiingsboerdery. Landbouingenieurswese in Suid-Afrika, Vol. 27, pp 10-22.

CROSBY, C.T. 1996. SAPFACT 1.0. A computer program for qualitative evaluation of irrigation farming. Pretoria: Water Research Commission. (Report No 382/1/96).

DEPARTEMENT VAN WATERWESE EN BOSBOU. 1997. Met die oog op 'n besproeiingsbeleid vir Suid-Afrika. Pretoria: Die Nasionale Besproeiingsbeleidsekretariaat.

HANSEN, V.E., ISRAELSEN, O.W. and STRINGHAM, G.E. 1980. Irrigation principles and practices. New York: John Wiley & Sons.

HEADY, E.O. AND JENSEN, H.R. 1954. Farm management economics. New Jersey: Practice-Hall.

OOSTHUIZEN, L.K. 1981. Die ontwikkeling van 'n bestuurstelsel vir beter benutting van swart werkers in 'n boerderyonderneming, met verwysing na personeelbestuurspraktyke in die Brandfort distrik. Ph.D.-proefskrif, Departement Landbou-ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.

SIEGEL, L. 1956. Nonparametric statistics for the behavioral sciences. New York: Mc Graw-Hill.

ZAR, J.H. 1984. Biostatistical analysis. Engelwood Cliffs: Prentice Hall.

Tabel A. 1: 'n Vergelyking van die besproeiingsboerdery-ondernemings in dieselfde omgewing met mekaar op 'n vyftienpuntskaal ten opsigte van vier hoofprobleemgebiede (arbeid, grond/gewasse/klimaat/besproeiingstelsel, kapitaal en bestuur) in die Wintertongebied, 1996.

PROBLEEMGEBIEDE	ONGUNSTIG			DIESELFDE		GUNSTIG	
	n	n	%	n	%	n	%
ARBEID							
1. Produktiwiteit van arbeiders	52	3	5.8	25	48.1	24	46.2
2. Kontantlone	52	2	3.8	27	51.9	23	44.2
3. Byvoordele van arbeiders	52	3	5.8	24	46.2	25	48.1
4. Afwesigheid a.g.v. dronkenskap en bakleiery	52	1	1.9	12	23.1	39	75.0
5. Materiaal- en tydvermorsing	52	6	11.5	30	57.7	16	30.8
6. Beskikbaarheid van arbeiders vir vakante poste	52	7	13.5	20	38.5	25	48.1
7. Vaardighede van werkers	52	4	7.7	31	59.6	17	32.7
8. Arbeidsomset	52	7	13.5	6	11.5	39	75.0
Subtotaal Gemiddeld			7.9		42.1		50.0
GROND, GEWASSE, KLIMAAT EN STELSEL							
9. Gronddiepte	51	4	7.8	27	52.9	20	39.2
10. Waterhouvermoë van gronde	52	2	3.8	34	65.4	16	30.8
11. Infiltrasietempo van gronde	51	1	2.0	36	70.6	14	27.5
12. Deurlopende water beskikbaarheid	52	6	11.5	22	42.3	24	46.2
13. Plantsiektes, insekte en plae	52	0	0	46	88.5	6	11.5
14. Gewasopbrengs per ha	52	1	1.9	31	59.6	20	38.5
15. Besproeiingstelsel: gewasbehoefte kapasiteit	52	4	7.7	25	48.1	23	44.2
16. Arbeidsintensiwiteit van besproeiingstelsel	52	6	11.5	28	53.8	18	34.6
17. Hulpmiddels om te monitor of genoeg besproei is of nie	50	13	26.0	25	50.0	12	24.0
Subtotaal Gemiddeld			8.0		59.0		33.0
KAPITAAL							
18. Verkryging van langtermynlenings (langer as 10 jaar)	46	3	6.5	28	60.9	15	32.6
19. Verkryging van produksie-krediet (1 jaar)	47	4	8.5	21	44.7	22	46.8
20. Totale skuld per hektaar	48	3	6.3	28	58.3	17	35.4
21. Totale produksiekoste per ha	52	4	7.7	36	69.2	12	23.1
22. Instandhouding en oprigting van vaste verbeterings	51	3	5.9	34	66.7	14	27.5
23. Toestand van werktuie en gereedskap	52	5	9.6	25	48.1	22	42.3
24. Prysbedinging van aankope	52	2	3.8	27	51.9	23	44.2
25. Bedinging van gunstige kontrakte	52	2	3.8	31	59.6	19	36.5
Subtotaal Gemiddeld			6.5		57.4		36.1

Tabel A 1: Vervolg

PROBLEEMGEBIEDE	n	ONGUNSTIG		DIESELFDE		GUNSTIG	
		n	%	n	%	n	%
BESTUUR							
26. Tyd bestee aan bestuurstake	52	4	7.7	23	44.2	25	48.1
27. Gebruik van nuwe tegnologie en praktyke	52	2	3.8	26	50.0	24	46.2
28. Oplossing van boerderyprobleme i.v.m. produksie, finansiering, arbeid en bemarking	52	0	0	31	59.6	21	40.4
29. Prestasie in terme van waterbenutting	52	1	1.9	35	67.3	16	30.8
30. Persoonlike Gesondheid	52	0	0	17	32.7	35	67.3
Subtotaal Gemiddeld			2.7		50.8		46.6
Groot Totaal gemiddeld			6.7		52.7		40.6

Tabel A.2: 'n Vergelyking van die mate waarin beplanning, organisering-, personeel-, watergebruik- en stelselpraktyke in gebruik is deur (a) boere met meer (Meerpro-groep) besproeiingsprobleme; (b) boere met lae (LI-groep) en hoë (HI-groep) boerderyinkomste; (c) boere met 'n kleiner (K-Pers) en groter (G-Pers) personeelgetal; (d) jonger (Jong-groep) en ouer (Ouer-groep); (e) boere met laer (L-Skuld) en hoër (H-Skuld) skuldaspersentasies in die besproeiingsgebiede van Winterton (n=52), 1996.

BESPROEIINGSBESTUURSPRAKTYKE		MATE VAN GEBRUIK				
		GROEP		GLAD NIE	SOMS/ALTYD	
			n	fo	fo	p
BEPLANNING						
• Die gebruik van persoonlike rekenaars en sagteware verbeter beplanning en beheer in die boerdery	Minpro	22	6	16		
	Meerpro	24	13	11	0.064	
	Jong	21	5	16		
	Ouer	25	14	11	0.027	
ORGANISERING						
• Vee- en gewasvertakkings word geskei t.o.v. besluitneming en bestuur	Minpro	22	4	18		
	Meerpro	24	11	13	0.045	
• Konsultante of ander spesialiste se dienste en aanbevelings word gekoop	Minpro	22	5	17		
	Meerpro	27	13	14	0.066	
	LI	25	13	12		
	HI	24	5	19	0.023	
	K-Pers	26	5	21		
	G-Pers	24	0	24	0.051	
PERSONEEL						
• 'n Formele onderhoud om te bepaal of die kandidaat vir die pos/werk geskik is, word met nuwe werksoekers gevoer.	Minpro	24	3	21		
	Meerpro	26	9	17	0.067	
WATER						
• 'n Buffer water word in dam gepomp om vir die winter te voorsien as plaasdam min water het	Minpro	18	0	18		
	Meerpro	16	5	11	0.015	
STELSEL						
• Het kennis van stelsels se werksdruk	Minpro	25	2	23		
	Meerpro	25	8	17	0.033	
• Oorskakeling van elektrisiteitstarief (D/of na Ruraflex) spaar geld	Minpro	21	11	10		
	Meerpro	24	21	3	0.009	

Tabel A. 3: 'n Vergelyking van die mate waarin beplanning, stelsel, personeel-, grondbewerking-, skedulering-, watergebruikspraktyke in gebruik is deur (a) boere met lae (LI-groep) en hoë (HI-groep) boerderyinkomste; (c) boere met 'n kleiner (K-Pers) en groter (G-Pers) personeelgetal; (d) jonger (Jong-groep) en ouer boere (Ouer-groep); (e) boere met laer (L-Skuld) en hoër (H-Skuld) skuldaspersentasies in die besproeiingsgebied van Winterton (n=52), 1996.

BESPROEIINGSBESTUURSPRAKTYKE	MATE VAN GEBRUIK				
	GROEP		GLAD NIE	SOMS/ ALTYD	P
		n	fo	fo	
BEPLANNING					
• Werkers wat nie op plaas bly nie en permanent in diens is nie bied in ruil daarvoor hul dienste aan om bepaalde take te verrig soos oes & onkruidbestryding	Jong	16	5	11	0.070
	Ouer	14	9	5	
PERSONEEL					
• Werkers se salarisstruktuur word bepaal deur die vlak van hul besluitneming en verantwoordelikheid wat hul dra	K-Pers	26	5	21	0.031
	G-Pers	24	0	24	
GROND en GEWASSE					
• Die waterstatus van die gewas se wortelsone word op 'n gereelde grondslag met 'n grond-boor of graaf gemonitor	K-Pers	27	9	18	0.011
	G-Pers	25	1	24	
	LI	28	9	19	
	HI	24	1	23	
• Gebruik koöperasie/kenners vir voorligting t.o.v. grondbewerkings-praktyke	K-Pers	26	5	21	0.013
	G-Pers	24	0	24	
	LI	26	5	21	
	HI	24	1	23	
• Die waterhouvermoë van gronde is bekend	LI	27	7	20	0.013
	HI	24	1	23	
SKEDULERING					
• Tyd wanneer besproei moet word, word deur 'n skeduleringsmetode bepaal	K-Pers	27	10	17	0.044
	G-Pers	24	3	21	
	LI	27	12	15	
	HI	24	1	23	
WATER					
• Indien verwag word dat die beskikbare water vir besproeiing minder is as vir normale jare word oppervlakte effens verminder in die hoop dat die riviervloei later in die seisoen voldoende sal wees om aan die gewasse se volle behoeftes oor die hele groeiseisoen te voorsien.	K-Pers	21	6	15	0.023
	G-Pers	15	10	5	

Tabel A 3: Vervolg

BESPROEIINGSBESTUURSPRAKTYKE	MATE VAN GEBRUIK					
	GROEP	n	GLAD NIE	SOMS/ ALTYD	p	
			fo	fo		
STELSEL						
• Oorskakeling van elektrisiteitstarief (D/of na Ruraflex) spaar geld	LI	22	15	7	0.067	
	HI	23	17	6		
	• Dit is belangrik om te weet wat besproeiingskoste per mm water beloop	L-Skuld	40	5	34	0.096
		H-Skuld	10	4	6	

Tabel A. 4: Die mate van gebruik van besproeiingspraktyke en –beleide in boerderyondernemings (n=52) en die verdere behoefte daaraan by boere in die Wintertongebied, 1996.

BESPROEIINGSBESTUURSPRAKTYKE	MATE VAN GEBRUIK				MATE VAN BEHOEFTE			
	N	GLA D NIE	SOMS/GE- DEELTELIK	DEUR- GAANS	N.V.T.	N	JA	NEE
		%	%	%	%		%	%
BEPLANNING, INNOVERING EN BEHEERPRAKTYKE								
1. Genoeg tyd word bestee aan langtermynbeplanning soos die besluite t.o.v. die uitbreiding van die boerdery (huur van grond, oprigting van damme en besproeiingsontwikkeling).	52	1.9	34.6	63.5	-	52	92.3	7.7
2. Wat langtermynbeplanning betref, word advies en inligting afkomstig van instellings soos koöperasies, privaat firmas en konsultante gebruik.	52	1.9	46.2	48.1	3.8	51	86.3	13.7
3. Verskillende tipes begrotings soos kontantvloeï, gelykbreek, inkomste en uitgawes aan gewasse, ens. word gebruik	52	5.8	26.9	67.3	-	52	86.5	13.5
4. Ten spyte van risiko's in die boerdery word op 'n beplande wyse geïnnoveer bv. ten opsigte van keuse van besproeiingstelsel, verbouingspraktyke en beleggingsbesluite.	52	5.8	32.7	61.5	-	52	78.8	21.2
5. Die gebruik van persoonlike rekenaars en sagteware verbeter beplanning en beheer in die boerdery.	52	36.5	34.6	17.3	11.5	46	84.8	15.2
6. Aangesien sukses in boerdery dikwels meer daarvan afhang hoe sake beheer word as die planne wat gemaak is, word verskillende werkprestasie- en beheerstandaarde gebruik soos bv. dat take betyds verrig word, begrotings nie oorskry word nie, voorrade gehou word en mense gekontroleer word.	52	1.9	44.2	53.8	-	52	88.5	11.5
ORGANISERINGSPRAKTYKE								
7. Die organisasiestruktuur van die besigheid is op eenheid van bevel gebaseer sodat ondergeskiktes duidelik weet aan watter meerdere om te rapporteer.	52	1.9	19.2	78.8	-	52	69.2	30.8
8. Die veevertakkings word totaal geskei van die gewasvertakkings in terme van besluitneming en bestuur.	51	29.4	33.3	27.5	9.8	47	53.2	46.8
9. Konsultante of ander spesialiste se dienste en aanbevelings word gekoop.	52	34.6	53.8	5.8	5.8	48	70.8	29.2
PERSONEELPRAKTYKE								
10. Werkers wat op die plaas bly en nie permanent in diens is nie, bied in ruil daarvoor hul dienste aan om bepaalde take te verrig soos oes en onkruidbestryding.	52	26.9	21.2	9.6	42.3	39	25.6	74.4

Tabel A 4: Vervolg

BESPROEINGSBESTUURSPRAKTYKE	MATE VAN GEBRUIK				MATE VAN BEHOEFTE			
	N	GLA D NIE	SOMS/GE- DEELTELIK	DEUR- GAANS	N.V.T.	N	JA	NEE
		%	%	%	%		%	%
11. Werkers se salarisstruktuur word bepaal deur die vlak van hul besluitneming in die take wat hulle verrig en verantwoordelikheid wat hulle dra.	51	9.8	25.5	62.7	2.0	51	66.7	33.3
12. 'n Formele onderhoud met die oog daarop om te bepaal of die kandidaat vir die pos/werk geskik is, word met nuwe werksoekers gevoer.	52	23.1	40.4	32.7	3.8	49	73.5	26.5
13. Die werkers word indiens opgelei om hul werkprestasie in hul huidige werk te verbeter en om dié wat tot meer gevorderde werk in staat is te identifiseer en te bekwaam.	52	5.8	42.3	51.9	-	51	80.4	19.6
14. Die grond word op 'n gereelde basis met behulp van profielgate ondersoek om vas te stel of daar enige fisiese beperkinge soos ondeurdringbare lae of hoë watertafels is.	52	5.8	40.4	53.8	-	52	76.9	23.1
15. Die waterstatus van gewas se wortelsone word op 'n gereelde grondslag met 'n grondboor of graaf gemonitor.	52	19.2	44.2	36.5	-	52	73.1	26.9
16. Wat voorligting oor grondbewerkingspraktyke betref, word op instellings soos koöperasies en ander kenners se advies staat gemaak.	52	9.6	42.3	44.2	3.8	50	90	10
17. Die waterhouvermoë van gronde is bekend.	52	15.4	36.5	46.2	1.9	51	80.4	19.6
18. Die gronde is gekarteer en is as besproeibaar geklassifiseer.	52	11.5	19.2	65.4	3.8	51	68.6	31.4
19. Daar word gedurende die beplanningstadium seker gemaak dat die opvolggewas wel binne die optimum planttyd in die grond kan kom.	52	-	19.2	76.9	3.8	51	76.5	23.5
20. Gewasopvolgstelsels moet nie net binne 'n enkele jaar beplan en uitgevoer word nie maar ook oor jare.	52	3.8	36.5	51.9	7.7	49	79.6	20.4
SKEDULERING								
21. Dwarsdeur die seisoen word gemeet en rekord gehou van die hoeveelheid en wanneer water aan die gewas toegedien word.	52	30.8	40.4	26.9	1.9	49	85.7	14.3
22. Die tyd wanneer besproei moet word, word deur 'n skeduleringsmetode bepaal.	52	25	44.2	28.8	1.9	51	80.4	19.6
23. 'n Skeduleringsstrategie in tye van droogte is belangrik om die verdeling van beskikbare water oor die kritiese groeiperiodes van die gewas te verseker.	52	7.7	17.3	71.2	3.8	52	88.5	11.5
24. Dit is noodsaaklik om van die gewas se tempo van wateronttrekking bewus te wees, omdat die hoeveelheid water wat toegedien moet word, bepaal word deur die groeistadium van die gewas te gebruik.	52	5.8	25	65.4	3.8	51	90.2	9.8

Tabel A 4: Vervolg

BESPROEIINGSBESTUURSPRAKTYKE	MATE VAN GEBRUIK				MATE VAN BEHOEFTE			
	N	GLA D NIE	SOMS/GE- DEELTELIK	DEUR- GAANS	N.V.T.	N	JA	NEE
		%	%	%	%		%	%
WATER								
25. As gevolg van waterskaarste in die winter is plaasdamme belangrik om te verseker dat voldoende water beskikbaar is om aan die gewasse se behoeftes oor die volle groeiseisoen te voldoen.	52	1.9	5.8	67.3	25	48	70.8	29.2
26. Indien die plaasdamme na die reënseisoen min water het, word 'n buffer hoeveelheid water uit die rivier in die damme gepomp sodat daar voldoende water vir die winterseisoen is.	52	9.6	7.7	48.1	34.6	44	61.4	38.6
27. Indien verwag word dat die beskikbare water vir besproeiing minder is as vir normale jare word oppervlaktes sodanig verminder om te verseker dat voldoende water beskikbaar is om aan die gewasse se volle behoeftes oor die hele groeiseisoen te voldoen.	51	7.8	27.5	47.1	17.6	47	66	34
28. Indien verwag word dat die beskikbare water vir besproeiing minder is as vir normale jare word oppervlaktes effens verminder in die hoop dat die riviervloei later in die seisoen voldoende sal wees om aan die gewasse se volle behoeftes oor die hele groeiseisoen te voldoen.	50	32	20	20	28	42	54.8	45.2
29. Dit is belangrik om presies te weet wat die vermoë van elke besproeiingstelsel is sodat vooruit beplan en voorspel kan word wanneer om te besproei; met ander woorde die hoeveelheid mm per dag wat die stelsel op die besproeibare oppervlakte kan plaas.	52	5.8	15.4	76.9	1.9	52	65.4	34.6
30. Dit is belangrik om presies te weet wat die werksdruk van die stelsels moet wees.	51	7.8	13.7	74.5	3.9	52	59.6	40.4
31. Dit is belangrik om te weet wat die besproeiingskoste per mm water beloop.	52	19.2	23.1	53.8	3.8	52	80.8	19.2
32. Dit is belangrik om vanaf die bestaande elektrisiteitstarief (D of F) oor te skakel na 'n tarief (Ruraflex) wat tot koste besparings kan lei ten spyte van bestuursaanpassings (nie spitstydbesproeiing).	52	61.5	15.4	9.6	13.5	47	63.8	36.2
33. Die tuite van die spuite word gereeld vir slytasie nagegaan.	52	11.5	44.2	40.4	3.8	52	67.3	32.7
34. Daar word met die handskuif- of sleeptou sprinkelstelsel op 'n vaste siklus besproei, met ander woorde daar word by die aanvang van 'n siklus ongeag hoe lank dit is, op dieselfde plek in die land begin.	52	11.5	30.8	38.5	19.2	45	57.8	42.2
35. Daar word gesteun op die verkoopsman se integriteit en kennis wanneer uitgebrei of nuwe dele aangekoop word.	52	13.5	57.7	25	3.8	51	66.7	33.3

Tabel A 4: Vervolg

BESPROEIINGSBESTUURSPRAKTYKE	MATE VAN GEBRUIK				MATE VAN BEHOEFTE			
	N	GLA D NIE	SOMS/GE- DEELTELIK	DEUR- GAANS	N.V.T.	N	JA	NEE
		%	%	%	%		%	%
FINANSIERING/BEMARKING								
36. Wanneer geleende fondse gebruik word om besproeiingstelsels aan te koop, word seker gemaak dat die leningsperiode naasteenby ooreenstem met die lewensduur van die stelsel aangesien kontantvloieitekorte wel gedurende die tydperk van rente en kapitaaldelging kan voorkom.	52	19.2	17.3	40.4	23.1	46	54.3	45.7
37. Die gebruik en samestelling van 'n balansstaat, die evaluasie van 'n paar kritieke verhoudings, die identifisering van neigings oor tyd vanuit hierdie verhoudings, is belangrik.	52	11.5	26.9	55.8	5.8	50	82	18
38. Geprojekteerde kontantvloieibegrotings word gebruik om die uitvoerbaarheid van nuwe of selfs bestaande besproeiingsprojekte te evalueer.	52	9.6	25	55.8	9.6	49	77.6	22.4
39. Dit is belangrik om die verwagte produkpryse en opbrengste vooruit te skat omdat wisselende pryse en opbrengste kontantvloei laat fluktueer.	52	5.8	15.4	75	3.8	52	84.6	15.4
40. In tye van teëspoed word skulde herstruktureer, uitstel van betalings verkry en oorbruggingsfinansiering gereël.	52	17.3	40.4	25	17.3	49	65.3	34.7
41. Prysvooruitsigte en marktdense word bestudeer om produksie/bemarkingsbesluite te neem en veranderinge te oorweeg.	52	9.6	30.8	53.8	5.8	51	86.3	13.7
42. Insetaankope vind dikwels plaas en daarom is tydsberekening van aankope asook kwaliteit en prys belangrik.	52	-	15.4	82.7	1.9	51	84.3	15.7
43. Doel van die bestuurstaak is om goeie verhoudinge te handhaaf met insetverskaffers, kredietgewers, vakbonde, agente, owerhede en die breë gemeenskap van verbruikers.	52	-	17.3	80.8	1.9	51	80.4	19.6

Tabel A. 5: Die verband tussen die mate van gebruik van besproeiingsbestuurspraktyke met die gemiddelde personeelgetal en ouderdom van besproeiingsboere (n =52) in die Wintertongebied, 1996.

BESTUURS- ASPEK	NO.	BESPROEIIINGS PRAKTYKE	MATE VAN GEBRUIK		
			Glad nie	Soms/Altyd	α
GEM PERSONEEL GETAL					
Organisering	9	Konsultante of ander spesialiste se dienste word gekoop.	9,0	16,38	0,01
Grond	15	Waterstatus van gewaswortelsone word gereeld gemonitor.	6,1	15,73	0,008
Grond	16	Gebruik koöperasie/kenners vir voorligting t.o.v. grondbewerkingspraktyke	4,6	14,5	0,03
GEM OUDERDOM (JAAR)					
Beplanning	5	Gebruik van persoonlike rekenaars en sagteware verbeter beplanning en beheer in die boerdery	48	39	0,005
Grond	16	Gebruik koöperasie/kenners vir voorligting t.o.v. grondbewerkingspraktyke	33	44	0,04
Finansiering	39	Vooruitskatting van waarskynlike pryse en oprengste.	56	41	0,02

DIE ONTWIKKELING EN ILLUSTRERING VAN 'N KOSTEBEREKENINGSPROSEDURE VIR HANDLYNBESPROEIINGSTELSELS

P. BREYTENBACH, J.A. MEIRING EN L.K. OOSTHUIZEN

ABSTRACT

The objective with this article is the calculation of technical coefficients for drag line irrigation systems, as well as the development and illustration of a drag line costing procedure which is economically acceptable and which gives adequate consideration to technical aspects. The results show that a computerised costing procedure has been developed which can be used as a decision making tool in the determination of fixed and variable irrigation costs as well as the optimum irrigation quantity. Where, in the past, economic analyses were often neglected because of a lack of good financial and technical costing procedures, this procedure provides the means with which to overcome the problem. It can therefore be put to good use by everybody concerned with irrigation.

UITTREKSEL

Die doel van die artikel is die beraming van tegniese koëffisiënte vir handlynbesproeiingstelsels sowel as die daarstelling en illustrering van 'n handlynkosteberekeningsprosedure wat ekonomies goed gefundeer is en die tegniese aspekte tot 'n voldoende mate in ag neem. Die resultate toon dat 'n gerekenariseerde kosteberekeningsprosedure ontwikkel is wat as 'n besluitnemingshulpmiddel aangewend kan word in die bepaling van vaste- en veranderlike besproeiingskoste sowel as die optimale besproeiingshoeveelheid. Die prosedure vul die leemte waar ekonomiese ontledings in die verlede as gevolg van 'n gebrek aan 'n ekonomiese en tegnies goed gefundeerde berekeningsprosedure, afgeskeep is. Hierdie prosedure kan dus deur almal wat met besproeiing te doen het, handig toegepas word.

B1. INLEIDING

Veranderlike besproeiingskoste beloop 16 tot 35 persent van die totale bedryfskoste by die verbouing van aangeplante weiding onder handlynbesproeiingstelsels in die Wintertongebied (Breytenbach, 1994) en is dus 'n belangrike faktor wat in bestuursbesluitneming in ag geneem moet word. Verskille tussen handlynbesproeiingstelsels wat betref die besproeiingsoppervlakte, statiese hoogte, toedieningskapasiteit sowel as die grondtipe veroorsaak groot variasie in bedryfskoste en kan gemiddelde waardes dus nie gebruik word in die besluitnemingsproses nie. Meiring (1989) beklemtoon die feit dat daar in Suid-Afrika nie werklike kosteberekeningsprosedures vir die verskillende besproeiingstelsels wat die tegniese koëffisiënte in ag neem sowel as metodologies korrek is nie. Dus is daar nie 'n kosteberekeningsprosedure wat ekonomies en tegnies goed gefundeerd is nie, behalwe die prosedure wat deur Meiring (1989) vir spilpuntbesproeiing ontwikkel is.

Volgens Selley (1983) word die ekonomiese winsgewendheid van sprinkelbesproeiing grootliks beïnvloed deur die beramings van tegniese koëffisiënte soos die lewensduur van die toerusting, energieverbruik, herstelwerk en arbeidsbehoefte met die bedryf van die stelsel. In Suid-Afrika bestaan daar geen prosedure wat die winsgewendheid van verskillende handlynbesproeiingstelsels teen mekaar kan opweeg nie. Om hierdie leemte te vul moet 'n kosteberekeningsprosedure ontwikkel word wat die tegniese sowel as die ekonomiese veranderlikes in ag neem.

Die doelwit van die artikel is om 'n prosedure vir die berekening van handlynbesproeiingskoste daar te stel en dit aan die hand van 'n dertig-hektaar handlynstelsel te illustreer. Hierdie kosteberekeningsprosedure moet ekonomies goed gefundeerd wees, tegniese aspekte van handlynstelsels tot 'n voldoende mate in ag neem, verskillende bestuursimplikasies uitwys en bruikbaar wees vir enige persoon wat met besproeiing gemoeid is. 'n Verdere doelwit is om die belangrikste tegniese koëffisiënte wat betrekking het op handlynstelsels, te beraam vir insluiting in die prosedure.

B2. METODE

'n Rekenaarprogram is deur Meiring en Oosthuizen (1992a) ontwikkel wat die koste vir spilpuntbesproeiing beraam en gaan uitgebrei word om die Ruraflex elektrisiteitsopsie in te sluit sowel as die kosteberekeningsprosedure vir handlynstelsels. Die bespreking van die ontwikkeling van die kosteberekeningsprosedure word in twee dele hanteer. Eerstens word die tegniese koëffisiënte bereken waarna die beskrywing volg van hoe te werk gegaan is om die berekeningsmetode te ontwikkel. Die bepaling van die tegniese koëffisiënte en die toepassing van die rekenaarmodel word aan die hand van 'n handlynbesproeiingstelsel vir die

Wintertonbesproeiingsgebied gedoen. Hierdie gebied is geselekteer na aanleiding van die diversiteit in die boerderypraktyke en die verskillende besproeiingsmetodes wat daar voorkom.

B2.1 DIE BERAMING VAN TEGNIESE KOËFFISIËNTE

Meiring en Oosthuizen (1992c) het reeds die meeste van die tegniese koëffisiënte beraam en later aangepas om by die Suid-Afrikaanse omstandighede te pas. Van hierdie tegniese koëffisiënte word net so gebruik in die kosteberekeningsprosedure en waar nodig is dit aangevul met die uitstaande gegewens vir handlynbesproeiingstelsels. Met die bepaling van die verskillende tegniese koëffisiënte wat nog nie deur Meiring (1989) bepaal is nie, is verskeie landbou-ingenieurs genader. Verder is boere betrek met die bepaling van die arbeidsbehoefte vir die handlynstelsels sowel as die lone van die arbeiders.

Alhoewel die verskillende tegniese koëffisiënte van stelsel tot stelsel sal verskil as gevolg van die verskillende fisiese omstandighede, die manier van gebruik en hantering van die handlynstelsels sowel as die gebruik per jaar, is dit belangrik om waardes te verkry wat in die kosteberekenings gebruik kan word. Van die tegniese koëffisiënte kan van tabelle afgelees word maar dit is die waardes wat aan die lewensduur, herwinning, doeltreffendheid en herstel en onderhoud gekoppel word, wat wel tussen die verskillende stelsels kan verskil.

B2.2 ONTWIKKELING VAN 'N KOSTEBEREKENINGSPROSEDURE VIR HANDLYNSTELSELS

Die doel met die ontwikkeling van die kosteberekeningsprosedure was om 'n metode daar te stel wat die vaste sowel as die veranderlike besproeiingskoste bereken. Die prosedure moet ook duidelik genoeg wees sodat persone wat nie enige kennis van die jaarlikse koste van die handlynstelsels het nie, die metodes kan volg en self die berekenings kan doen. As eerste stap is die kostekomponente geïdentifiseer wat direk aan die besproeiingstelsel gekoppel kon word en dus nie verbonde is aan die gewas wat verbou word nie. Vervolgens moes die kosteberekenings tegnies korrek hanteer word en is die hulp van Van der Ryst (Persoonlike mededelings, 1994) gebruik gemaak. Terselfdertyd is die kundigheid en ervaring van die boere gebruik. Die nodige elektrisiteitskoste aangaande die nuwe tyd-van-gebruik opsie, Ruraflex, en die reeds bestaande tariewe, is vanaf ESKOM (1994b) verkry.

Dieselfde kapitaalherwinningsmetode word gebruik as wat Thompson, Spiess en Krider (1983), Oosthuizen (1985) sowel as Meiring (1989) gebruik het. Die metode maak voorsiening vir die bedrag geld wat nodig is aan die einde van elke jaar om rente te betaal op die ongedepresieerde kapitaal teen 'n vereiste koers en vir die herwinning van die belegging in 'n sekere aantal jare. Hierdie metode bereken die koste meer akkuraat as die tradisionele metodes (Boehlje en Eidman, 1984). Die basiese vergelyking vir die kapitaalherwinning is as volg:

$$CR = [(PP - RV) \times CRF] + (RV \times i) \quad (1)$$

waar: CR = kapitaalherwinning
 PP = aankoopprys
 RV = eindherwinningswaarde
 i = rentekoers
 CRF = kapitaalherwinningsfaktor

Die kapitaalherwinningsfaktor word as volg bereken:

$$CRF = i(1+i)^n \times [(1+i)^n - 1]^{-1} \quad (2)$$

waar: n = tydperk

Meiring (1989) wys daarop dat vergelyking (1) voorsiening maak vir 'n positiewe herwinningswaarde, wat nie die geval met die metode van Eidman en Bergsrud (1978) is nie. Die eerste gedeelte $((PP - RV) \times CRF)$ van formule (1) konsentreer op die kapitaalherwinning van die depesieerbare gedeelte wat in berekening gebring word om voorsiening te maak vir die vervanging van die bates. Met die tweede gedeelte $(RV \times r)$ van formule (1) word die rente op die eindherwinningswaarde bereken wat voorsiening maak vir die geleentheidskoste wat ter sprake is as gevolg van die feit dat die boer nie die geld belê het nie. Die reële en nominale rentekoers kan albei in renteberekenings gebruik word by beide formules. Daar moet egter gelet word op die feit dat die nominale rentekoers uit die reële rentekoers en 'n inflasiepremie bestaan. Dit is dus 'n belangrike keuse om te maak tussen die twee rentekoerse vir die gebruik in berekenings. Volgens Boehlje en Eidman (1984) gaan die ekonomiese koste oorskat word met die bedrag van die inflasiekoers indien die nominale rentekoers en die huidige vervangingswaarde gebruik word. Dus word die reële rentekoers gebruik in berekenings met die huidige vervangingswaarde, terwyl die nominale rentekoers in berekenings met die historiese kosprys gebruik word.

Die bedryfskoste van 'n handlynstelsel word gegrond op die beplande waterverbruik gedurende 'n jaar. Alle veranderlike koste, wat die water-, elektrisiteits-, arbeids- en instandhoudingskoste insluit, word uitgedruk as 'n koste per kubieke meter water gepomp. Bogenoemde kan dus dien as 'n metode om verskillende stelsels met mekaar te vergelyk aan die hand van die verskillende koste per kubieke meter water gepomp.

B3. RESULTATE

Die resultate word in twee dele aangebied. Die eerste gedeelte handel oor die koëffisiënte wat nodig is vir die beraming van handlynkoste. Tweedens word die resultate wat die gerekenariseerde handlynkosteberekeningsprosedure vir handlynstelsels lewer aan die hand van 'n dertighektar-handlynstelsel geïllustreer. Breytenbach (1994) het die dertig-hektar handlynstelsel as 'n tipiese stelsel vir die Wintertonbesproeiingsgebied geïdentifiseer.

B3.1 BESPROEINGSKOËFFISIËNTE

Die grootte van die toevoerpunte speel 'n belangrike rol by die bepaling van die jaarlikse vaste elektrisiteitskoste. Volgens data wat deur ESKOM (1994a) verskaf is, maak die boere in die Wintertonbesproeiingsgebied tot 'n medere mate van tarief D gebruik. Verder het die boere met 'n vraelys aangedui dat 58 persent van die handlynbesproeiing vanaf toevoerpunte wat in die 26 - 50 kVA kategorie val, plaasvind.

Die toedieningsdoeltreffendheid van besproeiingstelsels is nodig om die pomptempo te bereken sodat verliese tot op die grond in berekening gebring kan word en het koste-implikasies omdat hoër pomphoeveelhede vir toedieningsverliese moet vergoed (Meiring, 1989). Vir handlyne is die deelnemende ingenieurs grootliks eenstemmig dat 'n toedieningsdoeltreffendheid van 75 persent gebruik kan word. Die gebruik van verskillende toedieningsdoeltreffendheidspersentasies onder verskillende omstandighede, sal op spekulasie berus. Verder het Meiring (1989) reeds 'n opsomming van die p-, r- en b-waardes van die wrywingsvergelyking gegee wat in die kosteberekeningsprosedure gebruik gaan word en in Tabel 1 vervat word.

Selly (1983) en Thompson *et al.* (1983), soos aangehaal deur Meiring (1989), wys daarop dat baie faktore die lewensduur van 'n bate kan beïnvloed. Die lewensduur en die herwinningswaarde beïnvloed aan die anderkant weer die depresiasie van 'n bate-komponent. Meiring (1989) het die lewensduur, herwinning en persentasie herstelkoste vir die Suid-Afrikaanse omstandighede bepaal en aangepas (Meiring en Oosthuizen, 1992b). Verdere koëffisiënte vir handlynstelsels is bepaal en bygevoeg. Tabel 2 bevat 'n opsomming van die verskillende waardes. Anders as in die geval van Meiring (1989) word die herstelkoste bereken as 'n funksie van die gebruik van die stelsel en word dus uitgedruk as 'n persentasie van die koopsom per 1 000 uur gepomp. Dit veroorsaak dat die herstelkoste direk gekorreleerd is met die gebruik van die stelsel en neem dus die karakter van veranderlike koste aan. In die geval waar dit jaarliks bereken word as 'n persentasie van die koopsom, kry dit die karaktertrek van vaste koste aangesien dit elke jaar as 'n vaste bedrag bereken word ongeag of die stelsel gebruik word of nie. Die metode het dus die voordeel dat herstelkoste nie onder- of oorberaam word nie. Die lewensduur van die handlyn word op 7 jaar bereken. Twee soorte handlynstelsels word huidig gebruik. Die eerste het 'n 5-jaar waarborg, terwyl die tweede 'n 10-jaar waarborg het. Weens die koste verbonde aan die tweede stel pype gebruik die boere grotendeels die eerste stel pype. Die blootstelling aan die natuur en die hantering van die stelsels, kan die herwinningswaarde van die handlyn na 7 jaar as nul geneem word. Hoewel die staander van die handlynstelsel langer as 10 jaar kan hou, is die spuite se lewensduur korter wat dan veroorsaak dat die lewensduur van die twee komponente as 'n geheel op 10 jaar gereken word.

Tabel B.1: Waardes vir die veranderlikes p , r en b in die wrywingsvergelyking, $h_f = (blqP)/d^r$, 1994

Tipe pyp	p	r	$b \times (10^{-10})$
Scimoni (asbessement, AS)	1,7857	4,7857	4,3828
Lamont (PVC)	1,7715	4,7715	4,5472
Williams (Staal)	1,9200	5,1264	1,8192

Tabel B.2: Lewensduur, herwinningswaarde as persentasie van die aankoopprys en herstelkoste as persentasie per 1 000 uur gepomp van die verskillende komponente van besproeiingstelsels, 1994

Komponent	Lewensduur (jaar)	Herwinning (%)	Herstelkoste (%/1 000h)
Dompelpomp	10	5	2,5
Sentrifugalepomp	15	15	2,0
Elektriese motor	15	20	0,4
Skakelaar	15	20	0,4
Elektriese kables	20	20	0,4
Pype-boggronds	15	20	0,2
Pype-ondergronds	20	30	0,2
Handlyn	7	0	2,0
Staander met spuite	10	10	2,0

Die vergoeding van permanente arbeiders kan beskou word as 'n vaste koste. As daar na bedryfstakke of na die koste verbonde aan 'n besproeiingstelsel gekyk word, moet die koste na die betrokke vertakkings of komponente toegedeel word wat veroorsaak dat dit veranderlik raak. Arbeid benodig vir handlynstelsels is moeilik bepaalbaar en sal afhang of die boer hulle aangestel het met die doel dat hulle slegs na die handlynstelsel kyk, die skoonmaakwerk sowel as die skuifwerk doen. Baie van die boere in die Wintertonbesproeiingsgebied gebruik egter hulle arbeiders vir ander algemene werk op die plaas en nie slegs vir die skuif van handlyne nie. As algemene riglyn is bepaal dat elke keer wat die handlynstelsel geskuif moet word, dit 'n uur lank duur. Dus word daar 6 ure arbeid uit elke 24 uur besproei benodig, indien 'n stelsel se opstelling 3 per 12-uur dag is. Dit sal egter ook afhang van die hoeveelheid arbeiders wat in diens is sowel as die grootte van die stelsel.

B3.2 'N REKENAARPROGRAM VIR HANDLYNKOSTEBERAMING

Breytenbach (1994) het 'n handkosteberekeningsprosedure ontwikkel wat uit vier gedeeltes bestaan. Die eerste gedeelte handel oor algemene inligting. In die tweede gedeelte word die jaarlikse vaste koste van die handlynstelsel bereken, terwyl die bedryfskoste vir die handlynstelsel in deel drie bereken word. In die laaste gedeelte word 'n opsomming van die

berekende koste gegee. Hierdie handprosedure is intussen gerekenariseer en staan bekend as SPILKOST 2.0 (Meiring, Breytenbach, Oosthuizen en Spies, 1995). Die program bestaan uit twee dele wat berekeningsprosedures vir spilpunt- en handlynstelsels insluit. Die invoer wat benodig word vir die twee dele geskied op dieselfde wyse en in die bespreking wat volg gaan daar slegs op die handlyn gedeelte gekonsentreer word.

Die handlyngedeelte bestaan uit drie afdelings. In die eerste afdeling word alle data in twee aparte lêers ingelees. Die eerste lêer benodig data rakende die tegniese- en ekonomiese koëffisiënte. Die tegniese koëffisiënte sluit die waardes in wat vroeër in die artikel verskaf is sowel as die beskikbare motorgroottes. Ekonomiese koëffisiënte omvat alle waardes met betrekking tot versekering, elektrisiteit, water en arbeid. Die waardes in hierdie lêer word slegs een keer per jaar aangepas omdat dit konstant bly deur die loop van die jaar. Die tweede lêer bevat alle waardes wat betrekking het op die bestuur van die stelsel, stelselontwerp en kapitale investering in die stelsel. Hierdie lêer word vir elke stelsel ingevul en is dus direk afhanklik van die stelseienskappe waarvoor die ontledings gedoen word.

In die tweede afdeling word alle kosteberekenings gedoen. Die resultate van die berekenings kan op die rekenaar besigtig word, uitgedruk word of grafies voorgestel word. In die laaste afdeling kan begrotings vir wisselboustelsels onder die betrokke besproeiingstelsel opgestel word. Verder is die program so ontwikkel dat dit nie slegs ekonomiese berekenings doen nie maar ook sekere tegniese berekenings wat kan help met die opstel en keuse van die regte besproeiingstelsel. Hierdie tegniese berekenings sluit die pomptempo, wrywing, pompdruk, minimum drywingsvereiste en motorgrootte in. Dus kan die program aangewend word om bogenoemde te bereken indien dit 'n nuwe stelsel is wat ontwerp word.

Tabel 3 bevat 'n opsomming van die ekonomiese resultate wat deur die program verkry is vir die dertig-hektaar handlynstelsel. Alhoewel hierdie slegs 'n opsomming van die resultate is, word die vaste en veranderlike koste vir die aparte komponente ook bereken en as resultate weergegee. Die vaste versekerings- en arbeidskoste is nul aangesien geen versekering uitgeneem word nie en die arbeid nie aangestel word met die doel om slegs die handlynstelsels te versorg nie. Rente en depresiasie is nie 'n werklike kontantuitgawe nie maar word ingesluit om onderskeidelik voorsiening te maak vir die geleentheidskoste wat verlore gaan omdat die geld nie belê is nie en om die bates te vervang. Die grootste vaste koste item is water aangesien daar 'n vaste bedrag per ingelysde oppervlakte betaal word en die water nie aangekoop word nie. Laasgenoemde kan duidelik bespeur word aangesien die veranderlike waterkoste nul is. Dus kos die water die boere niks en het hulle geen rede om water te bespaar nie. Indien die water gekoop sou word, sal dit in die veranderlike koste weerspieël word en kan dit die boere aanmoedig om water te bespaar. Die vaste elektrisiteitskoste word gekoppel aan die grootte van die toevoerpunt en is betaalbaar of die boere besproei of nie. By die veranderlike besproeiingskoste is elektrisiteitskoste by verre die grootste komponent. Soos in die geval van die veranderlike waterkoste kan die boere elektrisiteitskoste bespaar indien daar

minder besproei word. Die veranderlike elektrisiteitskoste is direk afhanklik van die hoeveelheid kilowatt-uur gebruik en kan dus slegs verminder word indien minder besproei word.

Tabel B.3: 'n Opsomming van die ekonomiese resultate van 'n 30 ha handlynstelsel vir die Wintertonbesproeiingsgebied

Koste komponent	Koste (R)
Vaste koste:	
Rente en depresiasie	2 131
Versekering	0
Elektrisiteit	1 047
Water	10 200
Arbeid	0
Totale vaste koste (A)	13 378
Veranderlike koste:	
Elektrisiteit	16 975
Water	0
Arbeid	750
Herstel en onderhoud	347
Totale veranderlike koste (B)	18 072
Totale besproeiingskoste per jaar (A + B)	31 450

Herstel en onderhoudskoste is laag aangesien die kapitale belegging in handlynstelsels nie so hoog is soos in die geval van spilpuntstelsels nie. Arbeidskoste is relatief laag en dien as 'n goeie basis vir die vergelyking van gemeganiseerde stelsels teenoor handlynstelsels. Die totale besproeiingskoste vir die betrokke besproeiingstelsel beloop R31 450 per jaar waarvan 57.5 persent veranderlik is. Slegs veranderlike koste kan deur die boer verminder word aangesien vaste koste jaarliks betaal moet word of die boer besproei of nie. 'n Verdere baie belangrike resultaat wat die berekeningsprosedure verskaf is die koste per eenheid. Die vaste koste word uitgedruk as 'n koste per hektaar verbou terwyl die veranderlike koste uitgedruk word as 'n koste per kubieke meter water gepomp. Dit gee die boer en/of gebruiker van die program die geleentheid om verskillende stelsels teen mekaar op te weeg deur die koste per eenheid van die verskillende komponente met mekaar te vergelyk. Die laaste resultaat wat deur die program in hierdie afdeling gelewer word, is die marginale faktor koste wat op die bedrag dui wat betaal moet word indien daar 'n addisionele eenheid water aangekoop word. Die koste word uitgedruk in sent per kubieke meter water en in sent per millimeter.hektaar. In die geval van die voorbeeld wat ontleed is, is die koste 7.5 c/m³ water of 75 c/mm.ha. Dus kan die optimale besproeiingshoeveelheid met die berekening van die marginale faktorkoste bepaal word. Hierdie optimale besproeiingshoeveelheid is waar die addisionele koste om 'n eenheid water toe te dien gelykstaande is aan die addisionele inkomste wat deur die ekstra eenheid gelewer word. Daar kan dus uit die voorbeeld afgelei word dat die addisionele inkomste wat gelewer

word deur die laaste besproeiing van 20 mm op die 60 ha stelsel ten minste R900 moet wees anders is dit nie ekonomies voordelig nie.

In die laaste geval waar die koste vir 'n produksiestelsel bereken word, het die gebruiker van die program die keuse om tien verskillende gewasse onder die stelsel in te vul. Die program verdeel die vaste koste tussen die gewasse op grond van die hektare wat die gewas beslaan en die veranderlike koste na aanleiding van die hoeveelheid water wat gebruik word om elke gewas te verbou. Verder is die program verbruikersvriendelik en so ontwikkel dat dit nie slegs vir boere van hulp kan wees nie, maar ook vir ingenieurs, konsultante en enige persoon wat met besproeiing gemoeid is. Die program is in Afrikaans en Engels beskikbaar.

B4. GEVOLGTREKKING

Die tegniese koëffisiënte wat bepaal is, dien as basis by die berekening van handlynbesproeiingskoste. In verdere ontledings hoef aannames nie meer gemaak te word nie en kan berekeninge meer akkuraat en doeltreffend gedoen word. Die gerekenariseerde kosteberekeningsprosedure wat ontwikkel is, maak dit moontlik dat die koste van bestaande sowel as nuwe stelsels bereken kan word. Wat die prosedure uniek maak, is die feit dat ekonomiese prosedures toegepas word in 'n tegniek wat ook die tegniese eienskappe van 'n handlynstelsel in ag neem. Verder word die geleentheid gebied om die optimale besproeiingshoeveelheid te bereken en dus om verskeie ekonomiese resultate te bepaal of te vergelyk.

Hierdie kosteberekeningsprosedure kan deur boere, kundiges en instansies gebruik word in die berekening en ontleding van jaarlikse besproeiingskoste. Die kosteberekeningsprosedure vul veral 'n groot leemte waar ekonomiese berekenings in die verlede as gevolg van 'n gebrek aan 'n ekonomiese en tegnies goed gefundeerde berekeningsprosedure, afgeskeep is.

ERKENNING

Geldelike bystand deur die Waternavorsingskommissie (WVK) word vir hierdie navorsing hiermee erken, maar die menings is dié van die outeurs en word nie noodwendig deur die WVK onderskryf nie.

BRONNELYS

BOEHLJE, M.D. and EIDMAN, V.R., 1984. *Farm management*. New York: John Wiley and Sons.

BREYTENBACH, P., 1994. *'n Ekonomiese evaluering van energiegebruik by besproeiing in die Wintertongebied met inagneming van risiko*. M.Com.-verhandeling, Departement Landbou-ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.

EIDMAN, V.R. and BERGSRUD, F.G., 1978. *Estimating sprinkler irrigation costs*. Water Sources and Irrigation Economics. "DISC" report 150-1978. Agricultural Experiment Station, University of Minnesota, St. Paul.

ESKOM, 1994a. Data verskaf rakende die elektrisiteitsverbruik deur die Wintertonbesproeiingsboere.

ESKOM, 1994b. *Tariewe*. Elektrisiteitspryse effektief vanaf 1 Januarie 1994. Megawatt Park, Johannesburg.

MEIRING, J.A., 1989. *'n Ekonomiese evaluering van alternatiewe spilpuntbeleggingstrategieë in die Suid-Vrystaat substreek met inagneming van risiko*. M.Sc.Agric.-verhandeling, Departement Landbou-ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.

MEIRING, J.A., BREYTENBACH, P., OOSTHUIZEN, L.K. en SPIES, C.I., 1995. *SPILKOST 2.0*. Departement Landbou-ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.

MEIRING, J.A. en OOSTHUIZEN, L.K., 1992a. *SPILKOST: rekenaarprogram vir die beraming van spilpuntbesproeiingskoste*. Landbou-Ingenieurswese in Suid-Afrika, Vol. 24, pp 118-127.

MEIRING, J.A. en OOSTHUIZEN, L.K., 1992b. *SPILKOST 1.0*. Departement Landbou-ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.

MEIRING, J.A. en OOSTHUIZEN, L.K., 1992c. *Die beraming van enkele tegno-ekonomiese koëffisiënte vir spilpuntkosteberekening*. Water SA, Vol. 18, pp 69-72.

OOSTHUIZEN, L.K., 1985. *A procedure for estimating sprinkler irrigation costs*. Department of Agricultural Economics, University of the Orange Free State, Bloemfontein.

SELLEY, R., 1983. The economic analysis of irrigation investment decisions. In: CH Pair (eds.). *Irrigation*. 5 th Ed., Silver Spring: The Irrigation Association.

THOMPSON, G.T., SPIESS, L.B. and KRIDER, J.N., 1983. Farm resources and system selection. In: ME Jensen (ed.). *Design and operation of farm irrigation systems*. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers.

VAN DER RYST, C., 1994. Persoonlike mededelings. Departement Landbou-ingenieurswese, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.

DIE FORMULERING EN EKONOMIESE EVALUERING VAN ENERGIEBESTUURSTRATEGIEË VIR BESPROEIINGSBOERDERY

P. BREYTENBACH, J.A. MEIRING EN L.K. OOSTHUIZEN

ABSTRACT

In a society where rising costs are the order of the day energy management is becoming increasingly important for the irrigation farmer. The aim of this article is to formulate and economically evaluate energy management strategies in the Winterton area. The results from the application of the energy management strategies show that it can be advantageous for farmers with centre pivot systems to change from tariff D to Ruraflex. The extent of the advantage will be different for every farmer's unique management situation and will be determined by the size of the centre pivot system, the crop cultivated, the volume of water precipitated and whether the farmer rotates his crops.

UITTREKSEL

In 'n samelewing van stygende koste word energiebestuur al hoe belangriker vir die besproeiingsboer. Die doel van die artikel is om energiebestuurstrategieë te formuleer en ekonomies te evalueer vir besproeiingsboerdery in die Wintertongebied. Uit die resultate het dit na vore gekom dat boere met spilpuntbesproeiing wel kan baat om vanaf tarief D na Ruraflex oor te skakel. Die mate waartoe die boere baat by die oorskakeling verskil vir elke boer se unieke bestuursituasie. Dit word bepaal deur die spilpuntstelselgrootte, die gewas wat verbou word, die hoeveelheid water wat toegedien word en of die boer wisselbou toepas of nie.

C1. INLEIDING

Energiekoste beloop 61 tot 94 persent van die totale veranderlike besproeiingskoste en sowat 10 tot 29 persent van die totale bedryfskoste in die Wintertongebied (Breytenbach, 1994). Dit lei daartoe dat energiebestuurstrategieë in 'n samelewing van stygende koste al hoe belangriker word. Die besproeiingsboer wil op alle moontlike terreine koste bespaar om sodoende die winsgewendheid van die boerdery te verhoog. Pair (1983) beklemtoon die feit dat stygende energiekoste 'n baie groot probleem vir die hedendaagse besproeiingsboere word.

In die buiteland is die belangrikheid van energiebestuurstrategieë al lankal besef. Heelwat navorsing is gedoen om die vraag na en koste van elektrisiteit te verlaag (Davis, 1984; Edling, 1992; Gilley en Supalla, 1983; Hagan en Roberts, 1981; Sauer en James, 1985; Kranz, Eisenhauer en Retka, 1992; Martin, Cox, Nakamoto en Halloran, 1990 en Buchleiter, Madison, Heerman, Lamb en Steury, 1986). Harman (1986) wys daarop dat die verbetering in die gebruik van energie al sedert 1973 nagevors word. Hoewel daar heelwat navorsing op die besparing van elektrisiteitskoste en die beperking van elektrisiteitsverbruik in die buiteland gedoen is, is daar weinig indien enige navorsing op hierdie gebied in Suid-Afrika onderneem. Met die verskyning van die verskillende tyd-van-gebruik opsies wat deur ESKOM opgestel is, word die ideale geleentheid vir die boer geskep om sy situasie te ontleed en sodoende te bepaal of dié opsies tot sy voordeel aangewend kan word. Volgens Nef (1989) is die belangrikste rede hoekom boere nie van tyd-van-gebruik opsies gebruik maak nie, die gebrek aan inligting oor die verskillende opsies. Verdere faktore is die vermoë van die boer om sy bestuur by die verandering aan te pas sowel as faktore soos veiligheid, ongerief en die kommer oor die besproeiingstelsels wat deur die nag besproei.

Die doel van hierdie artikel is om energiebestuurstrategieë vir besproeiingsboerderye in die Wintertongebied te formuleer en ekonomies te evalueer. Die belangrikste stap vir die formulering is om 'n raamwerk te bepaal waarvolgens dit kan geskied.

C2. METODE

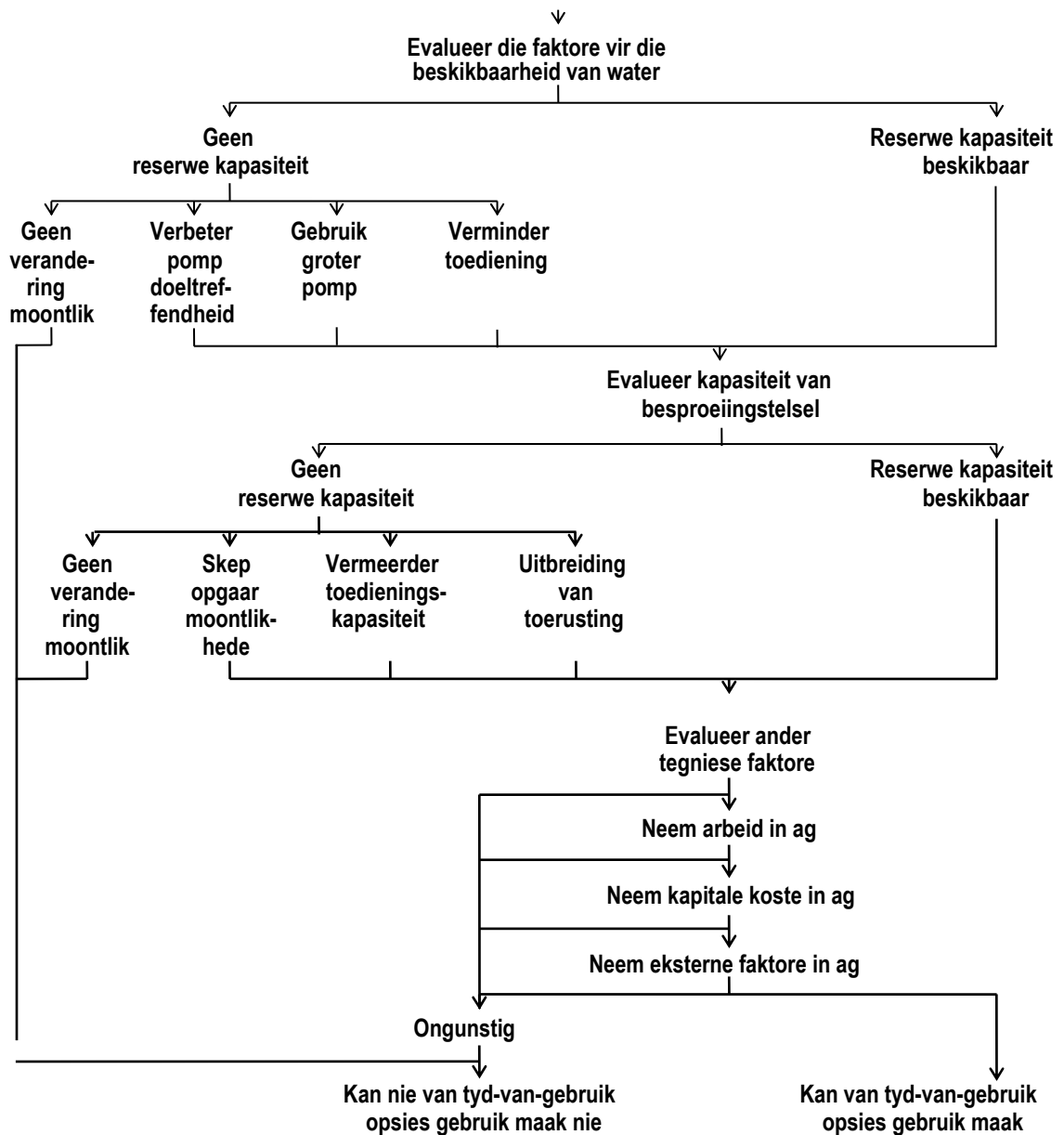
Vyf tipiese spilpuntstelsels en ses tipiese sleeplynstelsels is vir die Wintertongebied geïdentifiseer (Breytenbach, 1994). Vir die doeleindes van hierdie artikel word die energiebestuurstrategieë toegepas op die stelsels wat die kortste en langste tydsduur neem om dieselfde hoeveelheid water toe te dien. Verder dui Breytenbach (1994) aan dat die boere mielies, sojabone en koring as die belangrikste kontantgewasse onder spilpuntbesproeiing geïdentifiseer het. Die algemeenste wisselboustelsel is twee derdes mielies (somer 1), opgevolg deur 'n derde koring (winter 1), opgevolg deur 'n derde sojabone (somer 2). 'n Kikoejoe- en raaigraskombinasie word as aangeplante weidings onder handlynbesproeiing verbou. By die formulering van die verskillende strategieë is mielies, koring sowel as die wisselboustelsel (mielies en koring) in berekening gebring. Sojabone is buite rekening gelaat

aangesien dit resultate sal lewer wat nie baie van die van mielies verskil nie. Verder het die boere deur middel van groepbesprekings aangedui dat hulle met die verbouing van mielies en koring onderskeidelik gemiddeld 400 en 750 mm per jaar besproei terwyl 400 mm per jaar toegedien word op die kikoejoe- en die raaigras. Alhoewel die skedulering van water 'n groot rol tydens die formulering van energiebestuurstrategieë speel, word bogenoemde waardes geneem aangesien dit die waardes is wat as gemiddeld vir die Wintertonbesproeiingsgebied beskou kan word. Vervolgens word 'n raamwerk vir en die prosedure tydens die formulering van energiebestuurstrategieë bespreek.

C2.1 DIE IDENTIFISERING VAN 'N RAAMWERK VIR DIE FORMULERING VAN ENERGIEBESTUURSTRATEGIEË

Figuur 1 stel 'n raamwerk voor van 'n prosedure om te bepaal of besproeiing kan plaasvind deur gebruik te maak van tyd-van-gebruik opsies. Hagan en Roberts (1981) het die raamwerk voorgestel en in hul navorsing toegepas. Hierdie raamwerk is vir die Suid-Afrikaanse omstandighede aangepas en dien as basis vir die formulering van energiebestuurstrategieë. As eerste stap volgens die raamwerk moet die piekmaand besproeiingsbehoefte van die gewasse wat verbou word, bepaal word óf die piek hoeveelheid water wat toegedien gaan word. Die volgende stap bepaal of daardie hoeveelheid water gedurende die piekmaand wel beskikbaar is waarna die benodigde en bestaande kapasiteit van die besproeiingstelsel geëvalueer moet word. Laastens moet ander tegniese faktore, arbeid, kapitale koste en eksterne faktore ook in ag geneem word. Indien al bogenoemde gunstig is, kan daar van tyd-van-gebruik opsies gebruik gemaak word.

As die faktore wat die beskikbaarheid van water bepaal, geen reserwe kapasiteit aantoon nie, is daar verskeie prosedures wat gevolg kan word om hierdie struikelblok te oorkom. Die eerste is om die pompdoeltreffendheid te verbeter deur verweerde onderdele te vervang of deur nuwe tegnologie toe te pas. 'n Tweede moontlikheid is die gebruik van 'n groter pomp tesame met die verhoging in die kapasiteit van die stelsel. As 'n derde moontlikheid kan die hoeveelheid toegediende water verlaag word deur middel van besproeiingskedulering. Indien geen van bogenoemde toegepas kan word nie, is die toepassing van tyd-van-gebruik opsies nie moontlik nie. Wanneer die bestaande besproeiingstelsel geen reserwe kapasiteit het nie, kan die gebruik van opgaardamme die moontlikheid skep dat die probleem oorbrug word. 'n Tweede alternatief is om die stelsel se toedieningskapasiteit te vermeerder as die infiltrasievermoë van die grond die hoër kapasiteit kan hanteer. As 'n laaste moontlikheid beveel Hagan en Roberts (1981) aan dat die toerusting van die besproeiingstelsel uitgebrei moet word sodat 'n groter oppervlakte op 'n slag besproei kan word. Indien nie een van bogenoemde prosedures moontlik is nie, kan daar nie van die tyd-van-gebruik opsies gebruik gemaak word nie.



Figuur C.1: 'n Prosedure om besproeiing na tyd-van-gebruik opsies te verskuif

Laastens moet die ander tegniese faktore, arbeid, kapitaal en eksterne faktore in ag geneem word. Indien enige van hierdie faktore ongunstig is, kan daar nie van tyd-van-gebruik opsies gebruik gemaak word nie. Hier is dit veral belangrik dat die ekstra kapitale koste nie die besparing in elektrisiteitskoste moet oorskry nie. As dit wel gebeur, is dit nie vir die boer finansiële voordelig om oor te skakel na tyd-van-gebruik opsies nie.

C2.2 PROSEDURE TYDENS DIE FORMULERING VAN ENERGIEBESTUURSTRATEGIEË

As eerste stap volgens die geïdentifiseerde prosedure is die besproeiingshoeveelhede wat vroeër aangedui is, toegedeel na die maande wat die besproeiing plaasvind en is die piekvraag van die gewasse sodoende bepaal. Daarna is na die beskikbaarheid van water gekyk en het die boere aangedui dat daar gedurende 'n normale jaar geen probleme ondervind word nie, hoewel 'n dam in die rivier gewens is. Met die evaluering van die kapasiteit van die besproeiingstelsels is die besproeiingshoeveelhede as insette gebruik in die SPILKOST-rekenaarprogram (Meiring, Breytenbach, Oosthuizen en Spies, 1995). Die program bereken die aantal ure wat die verskillende besproeiingstelsels benodig om die bepaalde hoeveelheid water gedurende die seisoen toe te dien waarna dié ure persentasiegewys toegedeel is na aanleiding van die watertoediening gedurende elke maand. Daarna is die beskikbare hoeveelheid buitespits-, standaard- en spits tyd is vir elke maand bepaal (ESKOM, 1994b) en vergelyk met die aantal ure wat elke maand benodig word om te besproei. Sodoende is bepaal dat sowel die kapasiteit van die besproeiingstelsels as alle ander tegniese faktore nie 'n negatiewe effek op die aantal beskikbare ure vir besproeiing het nie.

By die eerste strategie is besluit om tarief D te gebruik wat dan as kontrole dien waarmee die ander strategieë vergelyk kan word. Vir die res van die strategieë word Ruraflex as elektrisiteitsopsie gebruik. Energiebestuurstrategie 2 is 'n ideale strategie en neem nie eksterne faktore in ag nie. Met die formulering van strategie 3 is die boere in die Winterton-besproeiingsgebied gekontak om sekere faktore te identifiseer wat 'n invloed op die beskikbare besproeiingsure het. Hierdie faktore is brekasies, wind, ys, arbeid, verskil tussen besproeiingstelsels en elektriese storms. Om die effek van ys en tot 'n mate verdamping gedurende die wintermaande uit te skakel, word daar van valarms gebruik gemaak by die spilpunte. Om die ekonomiese waarde van die valarms te bepaal, is daar vir die situasies waar koring verbou word en waar die wisselboustelsel van toepassing is, nog 'n energiebestuurstrategie (nr. 4) ontwikkel. Hierdie strategie verskil van strategie 3 in die sin dat die effek van ys, wat beskikbare besproeiingsure verminder, buite rekening gelaat word.

By die formulering van elk van die energiebestuurstrategieë is die hoeveelheid besproeiingsure wat elke maand vir die verskillende gewasse benodig word, vergelyk met die beskikbare buitespits-, standaard- en spits tyd. Na aanleiding daarvan is die persentasie tyd bepaal wat die besproeiing in elke maand gedurende hierdie tyd kan plaasvind, deur eers die goedkoper tyd te benut voordat na die duurder tyd oorbeweeg word. Daarna is die geweegde gemiddelde persentasie vir elk van die drie verskillende tyd bereken wat dus die hoeveelheid besproeiingsure aandui wat gedurende die drie tyd plaasvind vir 'n spesifieke gewas deur die loop van 'n seisoen. Die berekende geweegde gemiddelde persentasies is ingesluit in die verskillende energiebestuurstrategieë en dien dus as die basis vir die formulering van die verskillende strategieë.

Met sleeplynbesproeiing is arbeid 'n probleem wat veroorsaak dat slegs die eerste twee strategieë geformuleer kan word. Indien arbeid in berekening gebring word, kan tyd-van-gebruik opsies nie gebruik word nie en val sleeplyne buite die formulering van energiebestuurstrategieë.

C3. RESULTATE

C3.1 DIE FORMULERING VAN ENERGIEBESTUURSTRATEGIEË

Uit die besproeiingstelsels wat deur Breytenbach (1994) geïdentifiseer is, is S1¹ en S5 die spilpuntstelsels wat die minste en meeste ure gebruik om die beplande water toe te dien. By die evaluering van die energiebestuurstrategieë op die wisselboustelsel is van stelsel S3 en S4 gebruik gemaak. Hierdie stelsels is deur Breytenbach (1994) in verskillende verteenwoordigende boerderye gebruik tydens die toepassing van die wisselboustelsel en dus word mielies en koring onder beide die stelsels verbou. Tabel 1 bevat 'n opsomming van die verskillende energiebestuurstrategieë wat afsonderlik bespreek word.

C3.1.1 Energiebestuurstrategie 1

Die eerste energiebestuurstrategie weerspieël die huidige situasie en word gebruik om te bepaal of die boer finansiële gaan baat om oor te skakel vanaf tarief D na Ruraflex. Hiervoor moet die verhoging in die vaste elektrisiteitskoste sowel as die maandelikse verlaging in die veranderlike elektrisiteitskoste teen mekaar opgeweeg word.

C3.1.2 Energiebestuurstrategie 2

Energiebestuurstrategie 2 kan as 'n ideale strategie beskou word aangesien dit teoreties toegepas kan word, maar nie altyd so prakties uitvoerbaar is nie. Die effek wat die verskil tussen die besproeiingstelsels op die energiebestuurstrategieë het, kan gevolglik waargeneem word. As daar na enkel mielies gekyk word, word gesien dat stelsel S5 ses persent minder gedurende die buitespitstyd kan besproei as wat die geval met stelsel S1 is. Hierdie ure word aangevul deur van standaardtyd gebruik te maak. 'n Verdere verskil wat uitgewys word, is tussen die hoeveelheid water wat toegedien word. As enkel koring met enkel mielies vergelyk word, is dit duidelik dat die hoër toediening van water veroorsaak dat slegs 83 persent en 72

-
1. S1 = 20 ha spilpuntstelsel
S2 = 30 ha spilpuntstelsel
S3 = 40 ha spilpuntstelsel
S4 = 50 ha spilpuntstelsel (ou stelsel)
S5 = 50 ha spilpuntstelsel (nuwe stelsel)

persent van die tyd gedurende buitespitstyd besproei kan word deur onderskeidelik stelsel S1 en S5. Weereens vind die res van die besproeiing gedurende standaardtyd plaasvind.

Tabel C.1: Energiebestuurstrategieë vir spilpuntbesproeiing in die Wintertongebied, 1994

Stelsel	Strategieë	Tarief D (%)	Ruraflex		
			Buitespitstyd (%)	Standaardtyd (%)	Spitstyd (%)
Enkel mielies:					
S1 (20 ha spilpunt)	1 (tarief D)	100	-	-	-
	2 (optimaal)	-	100	0	0
	3 (eksterne faktore)	-	100	0	0
S5 (50 ha spilpunt)	1 (tarief D)	100	-	-	-
	2 (optimaal)	-	94	6	0
	3 (eksterne faktore)	-	92	8	0
Enkel koring:					
S1 (20 ha spilpunt)	1 (tarief D)	100	-	-	-
	2 (optimaal)	-	83	17	0
	3 (eksterne faktore)	-	70	30	0
	4 (valarms)	-	81	19	0
S5 (50 ha spilpunt)	1 (tarief D)	100	-	-	-
	2 (optimaal)	-	72	28	0
	3 (eksterne faktore)	-	58	41	1
	4 (valarms)	-	71	28	1
Mielies en koring:					
S3 (40 ha spilpunt)	1 (tarief D)	100	-	-	-
	2 (optimaal)	-	100	0	0
	3 (eksterne faktore)	-	98	2	0
	4 (valarms)	-	98	2	0
S4 (50 ha spilpunt)	1 (tarief D)	100	-	-	-
	2 (optimaal)	-	87	13	0
	3 (eksterne faktore)	-	77	23	0
	4 (valarms)	-	85	15	0

Met die toepassing van wisselbou (mielies en koring saam) is dit duidelik dat die minder besproeiingsure gedurende die somer kompenseer vir die meer besproeiing wat gedurende die winter plaasvind. Stelsel S3 is 'n 40 ha spilpunt waarvan al 40 ha gebruik word vir die verbouing van mielies en 20 ha vir die verbouing van koring. Daarteenoor is stelsel S4 'n 50 ha spilpunt en word al 50 ha gedurende die somer gebruik vir die verbouing van mielies en gedurende die winter vir die verbouing van koring. Die feit dat stelsel S3 net 50 persent benut word gedurende die winter is duidelik te bespeur in die resultate van strategie 2. By stelsel S4 vind 13 persent meer besproeiing gedurende standaardtyd plaas as in die geval van stelsel S3. Eenhonderd persent en 87 persent besproeiing vind gedurende buitespitstyd plaas vir onderskeidelik stelsel S3 en S4.

C3.1.3 Energiebestuurstrategie 3

Hierdie strategie kan meer prakties toegepas word as wat die geval met strategie 2 is aangesien alle faktore in ag geneem word wat 'n moontlike invloed op die beskikbare besproeiingsure het. Die deelnemende boere het daarop gewys dat die spilpuntstelsels gemiddeld twee keer gedurende 'n jaar breek en dat die stelsels elke keer twee dae buite werking is. Hierdie effek word gedurende Januarie en Julie in berekening gebring en in die geval waar een gewas verbou word, een keer in die gewas se groeiseisoen. Wind is ook geïdentifiseer as 'n faktor wat gedurende Augustus en September voorkom en waartydens twee dae elke maand wegval waarop geen besproeiing kan plaasvind nie. Gedurende die tydperk vanaf einde Mei tot begin Augustus veroorsaak lae nagtemperatuur ryp en ysvorming. Gedurende die tydperk besproei die boere nie tussen 01:00 en 09:00 nie. Hierdie ure word afgetrek vanaf die totale beskikbare besproeiingsure. 'n Verdere faktor wat 'n invloed op die beskikbare besproeiingsure het, is elektriese storms wat gedurende die somermaande in die aande voorkom. Die effek hiervan is bereken deur twee aande per maand vir Januarie en Februarie af te trek vanaf die beskikbare besproeiingsure. Die laaste faktor is arbeid. By spilpuntstelsels speel die arbeid geen werklike rol nie aangesien daar gedurende die dag genoeg tyd is om die stelsels na te gaan en spuite skoon te maak.

As energiebestuurstrategie 3 met 2 vergelyk word, is dit duidelik dat die faktore in die geval van enkel mielies slegs 'n invloed op stelsel S5 het. By die wintergewasse het die geïdentifiseerde faktore 'n groot invloed. By stelsel S1 verskuif 13 persent van die besproeiing vanaf buitespits-na standaardtyd. Veertien persent van die besproeiing verskuif vanaf buitespitstyd na standaard- en spitstyd in die geval van stelsel S5. Waar mielies sowel as koring verbou word, is die effek van die wisselboustelsel duidelik sigbaar. In die geval van stelsel S3 word slegs twee persent besproeiing na standaardtyd verskuif, terwyl tien persent van stelsel S4 verskuif word. Hier vind baie meer besproeiing gedurende buitespitstyd plaas as in die geval waar slegs koring verbou word. In laasgenoemde geval vind besproeiing selfs gedurende spitstyd plaas.

C3.1.4 Energiebestuurstrategie 4

Die doel met die formulering van hierdie strategie is om te bepaal wat die boere vir valarms kan betaal indien die tyd-van-gebruik opsies oorweeg word. Met die formulering van die strategie word die ure wat tydens strategie 3 afgetrek is vir ysvorming nie afgetrek nie. Dit is net van toepassing op die wintergewasse en wisselboustelsel.

In die geval waar slegs koring verbou word, vind meer besproeiing gedurende buitespitstyd plaas tydens strategie 4 as wat die geval was met strategie 3. Dieselfde kan waargeneem word by die wisselboustelsel. By stelsel S3 kan die invloed van die halwe sirkel koring wat verbou

word, duidelik gesien word. Dit veroorsaak dat daar geen verskil tussen strategie 3 en 4 is nie, terwyl 'n groot verskil wel voorkom tussen die twee energiebestuurstrategieë by stelsel S4. Sodoende kan daar bepaal word watter effek valarms op die besparing van elektrisiteitskoste sal hê.

C3.2 DIE EKONOMIESE EVALUERING VAN ENERGIEBESTUURSTRATEGIEË

Die verandering van een tariefstruktuur na 'n ander het 'n verandering in die veranderlike en vaste elektrisiteitskoste tot gevolg. In dié geval moet beide die verandering in die basiese heffing en die ekstra maandelikse huur wat ontstaan as gevolg van die verandering vanaf tarief D na Ruraflex, in ag geneem word. Laasgenoemde koste is vanaf ESKOM (1994a) verkry en sluit 'n aansluitingsfooi, meteringsfooi en afslag in. Die maandelikse huur kan dadelik betaal word, 'n gedeelte dadelik en die res oor 'n periode van 25 jaar of alles oor 'n periode van 25 jaar. In hierdie geval word die maandelikse huur oor 'n periode van 25 jaar afbetaal.

Die verskillende energiebestuurstrategieë is geëvalueer deur van die SPILKOST-rekenaarprogram (Meiring, Breytenbach, Oosthuizen en Spies, 1995) gebruik te maak. Hierdie rekenaarprogram bereken die vaste sowel as die veranderlike koste van besproeiingstelsels en kan die twee dus teen mekaar opgeweeg word om te bepaal of dit finansieel voordelig gaan wees om vanaf tarief D na Ruraflex oor te slaan.

Tabelle 2 en 3 bevat 'n opsomming van die ontledings wat vir die verskillende energiebestuurstrategieë gedoen is. Eerstens word die vaste elektrisiteitskoste en tweedens die styging in die vaste elektrisiteitskoste vir die verskillende energiebestuurstrategieë aangetoon. Hierdie styging is die verskil in die vaste elektrisiteitskoste indien daar vanaf tarief D na Ruraflex oorgeslaan word. Die veranderlike elektrisiteitskoste van die verskillende energiebestuurstrategieë word volgende aangetoon waarna die daling in die veranderlike elektrisiteitskoste bereken word deur die betrokke strategie se veranderlike elektrisiteitskoste van strategie 1 se veranderlike elektrisiteitskoste af te trek. In die vyfde plek word die verskil tussen die daling in die veranderlike elektrisiteitskoste en die styging in die vaste elektrisiteitskoste bepaal. Indien die verskil positief is, is dit voordelig om vanaf tarief D na Ruraflex oor te slaan.

Die ontledings wat vir enkel mielies en enkel koring gedoen is, word in tabel 2 vervat. In die geval van mielies verskil strategie 2 nie van strategie 3 by stelsel S1 nie en is daar dus geen verskil tussen die resultate nie. Die effek wat die verskillende besproeiingstelsels op die elektrisiteitsverbruik het, is duidelik waarneembaar as stelsel S1 met S5 vergelyk word. In die geval van stelsel S5 is die verskil tussen die vaste en veranderlike koste baie groter as in die geval van stelsel S1. Dit dui dus daarop dat boere met groter spilpuntbesproeiingstelsels meer voordeel uit die verskillende energiebestuurstrategieë kan put as boere met kleiner

spilpuntbesproeiingstelsels. Daar moet egter onthou word dat die koste bereken is teen 'n vaste hoeveelheid water besproei. Indien daar minder besproeiing plaasvind, kan dit gebeur dat die verskil tussen die veranderlike en vaste elektrisiteitskoste negatief word wat dus aandui dat dit nie voordelig is om vanaf tarief D oor te slaan na Ruraflex nie. Dus kan daar met sekerheid gesê word dat die verandering vanaf tarief D na Ruraflex meer voordeel inhou vir gewasse waar die waterbehoefte hoog is. By stelsel S5 is daar 'n R49 verskil tussen die veranderlike elektrisiteitskoste van strategieë 2 en 3. Hierdie verskil is as gevolg van die twee persent daling in die besproeiing gedurende buitespitstyd. Nogtans is die verskil baie klein en het die eksterne faktore nie 'n baie groot invloed op die elektrisiteitskoste nie.

Tabel C.2: Die verskil in jaarlikse vaste en veranderlike elektrisiteitskoste vir verskillende energiebestuurstrategieë tydens die verbouing van enkel mielies en enkel koring onder spilpuntbesproeiing in die Wintertongebied, 1994

Stelsel	Item	R/jaar			
		Strategie 1 (tarief D)	Strategie 2 (ideaal)	Strategie 3 (eksterne faktore)	Strategie 4 (valarms)
Mielies:					
S1 ² (20 ha)	Vaste elektrisiteitskoste	1 510	3 524	3 524	-
	Styging ³	-	2 014	2 014	-
	Veranderlike elektrisiteitskoste	3 832	1 167	1 167	-
	Daling ⁴	-	2 665	2 665	-
	Verskil ⁵	-	651	651	-
S5 (50 ha)	Vaste elektrisiteitskoste	1 510	3 524	3 524	-
	Styging ³	-	2 014	2 014	-
	Veranderlike elektrisiteitskoste	9 100	3 638	3 687	-
	Daling ⁴	-	5 462	5 413	-
	Verskil ⁵	-	3 448	3 399	-
Koring:					
S1 (20 ha)	Vaste elektrisiteitskoste	1 510	3 524	3 524	3 524
	Styging ³	-	2 014	2 014	2 014
	Veranderlike elektrisiteitskoste	6 113	2 648	2 863	2 681
	Daling ⁴	-	3 465	3 250	3 432
	Verskil ⁵	-	1 451	1 236	1 418
S5 (50 ha)	Vaste elektrisiteitskoste	1 510	3 524	3 524	3 524
	Styging ³	-	2 014	2 014	2 014
	Veranderlike elektrisiteitskoste	15 991	8 486	9 381	8 733
	Daling ⁴	-	7 505	6 670	7 258
	Verskil ⁵	-	5 491	4 596	5 244

2. S = spilpunt.

3. Word bereken vanaf strategie 1 se vaste elektrisiteitskoste.

4. Word bereken vanaf strategie 1 se veranderlike elektrisiteitskoste.

5. Verandering in veranderlike elektrisiteitskoste - verandering in vaste elektrisiteitskoste.

In die geval van koring is die voordeel wat verkry kan word deur van tarief D na Ruraflex oor te slaan, groter by stelsel S1 as wat die geval was by mielies, ten spyte daarvan dat baie meer elektrisiteitsverbruik gedurende die standaardtyd plaasvind. Weereens beklemtoon dit die feit dat 'n groter voordeel verkry kan word hoe meer water toegedien word. By stelsel S1 (koring) het die verskuiwing van 13 persent van die besproeiing vanaf buitespitstyd na standaardtyd die gevolg dat R215 meer veranderlike elektrisiteitskoste betaal word indien strategie 3 toegepas word in plaas van strategie 2. As strategie 4 met 3 vergelyk word, word gesien dat R182 meer deur die toepassing van strategie 4 bespaar word as wat die geval is met strategie 3. Indien die leeftyd van 15 jaar en 'n inflasiekoers van 10 persent in ag geneem word, is daar bereken dat 'n boer tans nie meer as R5 783 kan betaal vir valarms as hy van die spesifieke stelsel gebruik wil maak nie. Met stelsel S5 kan daar teoreties tot R5 491 bespaar word indien van Ruraflex gebruik gemaak word. Deur die eksterne faktore in ag te neem, daal die syfer egter tot R4 596. Dit is dus 'n aanduiding dat dit wel finansieel voordelig vir die boer kan wees indien hy vanaf tarief D na Ruraflex oorslaan. In die geval van die groter stelsel wat meer ure gebruik om dieselfde hoeveelheid water toe te dien as die kleiner stelsel, kan die gebruik van valarms tot 'n groter besparing van R648 lei as in die geval waar nie valarms gebruik word nie. Dus kan die boere met die betrokke stelsel tot R648 per jaar aan valarms betaal. Die hoeveelheid gaan egter baie wissel tussen verskillende soorte stelsels.

'n Baie belangrike punt om op te let, is die effek wat die koste verbonde aan spitstyd op die veranderlike koste het. As strategie 2 met strategie 4 vergelyk word, kan gesien word dat 'n verskuiwing van 1 persent besproeiing vanaf buitespitstyd na spitstyd 'n verhoging van R247 tot gevolg het. Hierdie syfer sal ook van gewas tot gewas en van stelsel tot stelsel verskil maar dit is belangrik om op die grootte van die syfer te let, veral as dit vergelyk word met die bevindings by mielies waar die verandering van 2 persent vanaf buitespitstyd na standaardtyd gelei het tot 'n verhoging van R49 in die veranderlike elektrisiteitskoste. Dit is dus 'n aanduiding dat besproeiing gedurende spitstyd so ver moontlik vermy moet word.

Die effek wat die wisselboustelsel op die energiebestuurstrategieë het, word in tabel 3 aangedui. In die tabel is dit duidelik dat die verbouing van twee gewasse op dieselfde oppervlakte daartoe lei dat die energiebestuurstrategieë meer voordelig is as in die geval van 'n enkele gewas. Dit is duidelik waarneembaar by die groter verskil by stelsel S3 as in die gevalle waar slegs een gewas verbou word (kyk Tabel 2). Verder moet onthou word dat gemiddeld slegs 50 persent van die oppervlakte jaarliks onder koring is. Weens die feit dat nie soveel besproeiing gedurende die winter plaasvind nie, is daar geen verskil tussen energiebestuurstrategie 3 en 4 nie. Dit dui dus daarop dat as die boer nie van 100 persent benutting gedurende die winter gebruik maak nie, hy geen ekstra koste aan valarms moet spandeer nie.

In die geval van stelsel S4 kan die gebruik van Ruraflex tot 'n besparing van R18 396 lei. Met die inagneming van die eksterne faktore daal die syfer met R1 269. Dit is dus weereens

duidelik dat die oorskakeling vanaf tarief D na Ruraflex tot groot besparings in die elektrisiteitskoste kan lei indien die boer die spesifieke oppervlakte jaarliks 200 persent gaan benut. Verder kan daar afgelei word dat die ekonomiese waarde van die valarms gelyk is aan R1 015 vir hierdie spesifieke geval. As die lewensduur en die inflasiekoers van 10 persent in ag geneem word, kan die boer huidige R32 249 vir valarms betaal.

C4. SAMEVATTING

Weens die feit dat handlyn baie arbeidsintensief is, kan die besproeiing nie na die buitespitstyd verskuif word nie en is geen energiebestuurstrategie geformuleer nie. Met die ekonomiese evaluering van die energiebestuurstrategieë vir spilpunte is dit duidelik dat die boere nie slegs die veranderlike elektrisiteitskoste in ag moet neem nie maar ook die vaste elektrisiteitskoste. Die vaste koste kan tot gevolg hê dat dit in sekere gevalle nie voordelig sal wees om vanaf tarief D na Ruraflex oor te skakel nie aangesien die besparing in veranderlike koste nie die styging in vaste koste oorskry nie. Verder het die grootte van die besproeiingstelsel ook 'n bepalende effek op die finansiële voordeel wat verkry kan word deur die toepassing van die verskillende energiebestuurstrategieë. Hoe kleiner die betrokke stelsel, hoe laer is die voordeel.

Tabel C.3: Die verskil in jaarlikse vaste en veranderlike elektrisiteitskoste vir verskillende energiebestuurstrategieë tydens die verbouing van mielies en koring in wisselbou onder spilpuntbesproeiing in die Wintertongebied, 1994

Stelsel	Item	R\jaar			
		Strategie 1 (tarief D)	Strategie 2 (ideaal)	Strategie 3 (eksterne faktore)	Strategie 4 (valarms)
S36 (40 ha)	Vaste elektrisiteitskoste	1 510	3 524	3 524	3 524
	Styging ⁷	-	2 014	2 014	2 014
	Veranderlike elektrisiteitskoste	14 563	6 149	6 235	6 235
	Daling ⁸	-	8 414	8 328	8 328
	Verskil ⁹	-	6 400	6 314	6 314
S4 (50 ha)	Vaste elektrisiteitskoste	1 510	3 524	3 524	3 524
	Styging ⁷	-	2 014	2 014	2 014
	Veranderlike elektrisiteitskoste	39 903	19 494	20 762	19 747
	Daling ⁸	-	20 419	19 141	20 156
	Verskil ⁹	-	18 396	17 127	18 142

6. S = spilpunt.

7. Word bereken vanaf strategie 1 se vaste elektrisiteitskoste.

8. Word bereken vanaf strategie 1 se veranderlike elektrisiteitskoste.

9. Verandering in veranderlike elektrisiteitskoste - verandering in vaste elektrisiteitskoste.

Hoe meer water gedurende 'n jaar toegedien word, hoe groter is die voordeel om oor te skakel vanaf tarief D na Ruraflex. Die rede hiervoor is veranderlike elektrisiteitskoste wat styg as meer water toegedien word, terwyl die vaste elektrisiteitskoste konstant bly. In hierdie gevalle raak dit

dus voordeliger vir die boere met die kleiner besproeiingstelsels om oor te slaan na Ruraflex. Verder speel eksterne faktore nie 'n baie groot rol in die beskikbaarheid van besproeiingsure gedurende die somer nie, terwyl dit 'n belangriker rol speel by koring wat in die winter verbou word.

Met die verbouing van 'n somer- en wintergewas op dieselfde oppervlakte, is dit heelwat voordeliger om oor te slaan vanaf tarief D na Ruraflex as in die geval waar net een gewas verbou word. Ook in hierdie geval is die veranderlike elektrisiteitskoste heelwat hoër as in die gevalle waar net een gewas verbou word, terwyl die vaste koste konstant bly vir die spesifieke stelsel. Verder is gevind dat daar so min moontlik gedurende spitstyd besproei moet word, aangesien 'n een persent styging in die besproeiingsure gedurende spitstyd tot 'n styging van om en by R200 kan lei, terwyl 'n een persent styging in die besproeiingsure gedurende standaardtyd tot 'n styging van om en by R20 kan lei.

Die gebruik van valarms lei tot 'n geringe voordeel indien die boer se besproeiingsbestuur reg is. Daar is bepaal dat vir die betrokke situasies die boer vanaf R5 783, vir die klein spilpuntstelsel onder koring, tot R32 249, vir die groot stelsel met wisselbou, huidig vir valarms kan betaal. Bogenoemde syfers sluit die lewensduur en 'n inflasiekoers van 10 persent in.

ERKENNING

Geldelike bystand deur die Waternavorsingskommissie (WNK) vir hierdie navorsing word hiermee erken, maar die menings is dié van die outeurs en word nie noodwendig deur die WNK onderskryf nie.

BRONNELYS

BREYTENBACH, P., 1994. *'n Ekonomiese evaluering van energiegebruik by besproeiing in die Wintertongebied met inagneming van risiko*. M.Com.-verhandeling, Departement Landbou-ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.

BUCHLEITER, G., MADISON, M., HEERMAN, D., LAMB, F. and STEURY, T., 1986. *Improving the total farm irrigation system*. Paper presented at the 1986 International Summer Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, June 29-July 2, 1986, San Luis Obispo, California.

DAVIS, M.I., 1984. *Off-peak irrigation rates without minimum monthly billing*. Paper presented at the 1984 International Winter Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, December 11-14, 1984, New Orleans, Louisiana.

EDLING, R.J., 1992. *Feasibility of demand control with irrigation in east central Louisiana*. American Society of Agricultural Engineers, Vol. 8, pp 537-541.

ESKOM, 1994a. Inligting verskaf rakende die koste verbonde aan die oorskakeling vanaf tarief D na Ruraflex.

ESKOM, 1994b. *Tariewe*. Elektrisiteitspryse effektief vanaf 1 Januarie 1994. Megawatt Park, Johannesburg.

GILLEY, J.R. and SUPALLA, R.J., 1983. *Economic analysis of energy saving practices in irrigation*. Transactions of the ASAE, Vol. 26, pp 1784-1792.

HAGAN, R.M. and ROBERTS, E.B., 1981. *Energy, water and cost trade-offs in irrigation system selection and management*. Transactions of the ASAE, Vol. 24, pp 1539-1545.

HARMAN, W.L., 1986. Management systems for improving on-farm energy and water use efficiency. In: NK Whittlesey (ed.). *Energy and water management in western irrigated agriculture*. Boulder, Colorado: Westview Press.

KRANZ, W.L., EISENHAUER, D.E. and RETKA, M.T., 1992. *Water and energy conservation using irrigation scheduling with center-pivot irrigation systems*. Agricultural Water Management, Vol. 22, pp 325-334.

MARTIN, M., COX, L., NAKAMOTO, S. and HALLORAN, J., 1990. *Policy impacts on agricultural irrigation electricity demand in the Columbia basin*. Water Resources Bulletin, Vol. 26, pp 35-39.

MEIRING, J.A., BREYTENBACH, P., OOSTHUIZEN, L.K. en SPIES, C.I., 1995. *SPILKOST 2.0*. Departement Landbou-ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.

NEF, D.L., 1989. *Constraints to managing energy use in irrigated agriculture*. Paper presented at the 1989 International Winter Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, December 12-15, 1989, New Orleans, Louisiana.

PAIR, C.H., 1983. Efficient energy use in irrigation. In: CH Pair (eds.). *Irrigation*. 5 th Ed., Silver Spring: The Irrigation Association.

SAUER, B.W. and JAMES, L.G., 1985. *Adjusting irrigation schedules to reduce peak power requirements*. Paper presented at the 1985 International Winter Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, December 17-20, 1985, Chicago, Illinois.

DIE GENERERING EN GEBRUIK VAN KUMULATIEWE WAARSKYNLIKHEIDSVERDELINGS VIR DIE EVALUERING VAN DIVERSIFIKASIE AS RISIKOBESTUURSWYSE IN DIE WINTERTONGEBIED

P. BREYTENBACH, J.A. MEIRING EN L.K. OOSTHUIZEN

ABSTRACT

Cumulative probability distributions (CPDs) of a few financial criteria were generated with the aid of the FARMS model and used to evaluate diversification as a method of risk management by Winterton farmers. Given the management abilities of the farmer, the efficiency of risk management is influenced by the composition of farming enterprises, the interaction between the enterprises and the debt-burden situation. The use of CPDs serves to portray the uncertainty and nature of the outcome as well as the financial implications of the inclusion of alternative enterprises clearly. Since the decision maker is familiar with the total width of outcome of the financial criteria, the probability of a specific required outcome level being realised can be determined. In addition the model can be used to evaluate cash and credit flow interactively in the decision-making process. With the assistance of the model and the use of the method of approach different management strategies can be evaluated at farming enterprise level.

UITTREKSEL

Kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings (KWV's) van enkele finansiële maatstawwe is met behulp van die FARMS-model gegenereer en gebruik om diversifikasie as risikobestuurswyse deur die Winterton boere te evalueer. Gegewe die bestuursvermoë van die boer word die doeltreffendheid van risikobestuur deur die boerderyvertakkingsamestelling, die interaksie tussen die vertakings en die skuldslasposisie beïnvloed. Met KWV's word die wisselvalligheid en aard van die uitkomste sowel as die finansiële implikasies van die inskakeling van alternatiewe vertakings duidelik uitgebeeld. Aangesien die totale uitkomswydte van die finansiële maatstawwe vir die besluitnemer bekend is, kan die waarskynlikheid om 'n sekere vereiste uitkomstvlak te realiseer, bepaal word. Verder kan die model gebruik word om stogastiese krediet- en kontantvloei in die besluitnemingsproses interaktief met mekaar te evalueer. Met behulp van die model en die benaderingswyse kan verskillende bestuurstrategieë op boerderyondernemingsvlak werklikheidsgetrou geëvalueer word.

D1. INLEIDING

Boere in die Wintertongebied beskou die risiko verbonde aan die koste van bedryfsinsette en weerwisselvallighede as die belangrikste risiko-bronne by gewasproduksie (Kühne en Oosthuizen, 1994:99), terwyl diversifikasie en beperking van skuldverpligtinge as belangrike risikobestuursoptredes beskou word. Gevolglik ontstaan die vraag tot watter mate diversifikasie deur die boere gebruik kan word om risiko te bestuur.

Verskeie navorsers het risikobestuurswyses geïdentifiseer (Penson en Lins, 1980; Eidman, 1983; Jolly, 1983; Fleisher, 1990; en Meiring, 1994). Een van die belangrikste bestuurswyses wat produksie-, prys- en inkomste risiko verminder, is diversifikasie omdat verskillende bedryfstakke verskillend reageer op dieselfde omstandighede (Eidman, 1983; en Fleisher, 1990:71). By besproeiing is die mate waarin die totale oppervlakte deur diversifikasie benut word, belangrik vir die minimisering van die vaste koste (veral meganisasie) per hektaar gewas geproduseer (Meiring, 1994:50). Diversifikasie as risiko-bestuurswyse kan geëvalueer word deur die gebruik van die kumulatiewe waarskynlikheidsverdelingskonsep om die finansiële uitvoerbaarheid op boerderyondernemingsvlak te ontleed (Meiring en Oosthuizen, 1994).

Die hoofdoel van hierdie artikel is om kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van enkele finansiële maatstawwe te genereer vir die evaluering van die inskakeling van droëland mielies of vleisbeeste of beide by besproeiingsboerdery om risiko te hanteer.

D2. PROSEDURE

D2.1 BESPROEIINGSBOERDERTIPES IN DIE WINTERTONGEBIED

Vir die Wintertongebied het Breytenbach (1994) drie groottes tipiese besproeiingsboerderye geïdentifiseer vanaf 53 boere se gegewens. Vir die doel van hierdie navorsing word slegs die kleinste en grootste tipiese besproeiingsboerderye gebruik. Vier en dertig persent van die boere kan hulself met die kleiner besproeiingsboerdery vereenselwig. Dié besproeiingsboerdery sluit 'n melkbeesvertakking in en beslaan 'n besproeiingsoppervlakte van 50 ha waarop kikoejoe en raaigras onder handlyne verbou word. Volgens die boere kan 150 ha droëland mielies of 'n 100 koei vleisbeeskudde of beide vertakkings by die kleiner besproeiingsboerdery ingeskakel word. Die groter besproeiingsboerdery, waarmee 18 persent van die boere hulself kan vereenselwig, sluit ook 'n melkbeesvertakking in terwyl die besproeiingsoppervlakte 200 ha is. Van die 200 ha is 30 ha handlynbesproeiing wat vir kikoejoe en raaigras aangewend word, en 170 ha spilpuntbesproeiing met 'n wisselboustelsel van mielies, koring en sojabone. Volgens die boere in hierdie kategorie kan daar 50 ha droëland mielies of 'n 100 koei vleisbeeskudde of beide vertakkings ingeskakel word.

'n Tipiese skuld:bate verhouding vir die gebied is 40 persent. Die skuld word opgedeel in 40 persent korttermyn-, tien persent mediumtermyn- en 50 persent langtermynlaste. Die korttermynlaste bestaan uit 30 persent oortrokke bank en 70 persent koöperasie maandrekening. Hierdie persentasies is gebruik om die beginsaldo's van die bank en koöperasie wat in die ontledings gebruik word, te bereken.

D2.2 INSAMELING VAN DATA

Die boere het data oor die vertakkingspraktyke, oorhoofse veranderlikes en vir die berekening van meganisasiekoste verskaf. Insetverskaffers het alle pryse voorsien terwyl die banke en koöperasies die nodige rentekoerse betreffende die laste verskaf het. Alle insette word met 'n korttermyn produksie lening (koöperasie rekening), wat oor die produksie-termyn van die vertakkings strek, gekoop en as kredietvloei hanteer. Die inkomste wat deur die vertakkings genereer word, word eerstens gebruik om die kredietrekening te delg waarna die oorskot as kontantinvloei in die bankrekening hanteer word. In die geval van die melkbeesvertakking word die koste en inkomste as kontantvloei hanteer.

Vir die simulering van risiko op boerderyondernemingsvlak is data rakende wisselende rentekoerse, pryse, opbrengste en die korrelasie tussen pryse en opbrengste deur middel van deskundiges verkry. Binding *et al.* (1993) het gevind dat die vermoëns van die bestuurder 'n effek op die risiko van die boerdery tot gevolg het. In hierdie navorsing is die bestuursvermoë konstant gehou.

D2.3 VERWERKING VAN DATA

Die data is verwerk deur die FARMS-model (Firm-level Agricultural Risk Management Simulator) wat risiko op vertakkings- en boerderyondernemingsvlak in berekening bring. Die model is deur Meiring (1994) ontwikkel en kan bestuursbesluite op vertakkings- en boerderyondernemingsvlak interaktief ekonomies evalueer. Hierdie model is die enigste wat vir die Suid-Afrikaanse omstandighede geheelboerderysituasies, inaggenome risiko, kan simuleer.

'n Groot voordeel van die model is dat die resultate in tabelvorm sowel as grafies deur kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings (KVV's) voorgestel word. 'n Kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling is 'n voorstelling van alle moontlike uitkomst van 'n betrokke prestasie-maatstaf met die ooreenstemmende kumulatiewe waarskynlikhede. KVV's is vir die kontantvloei, rentekoste en enkele rentabiliteits- en solvabiliteitsmaatstawwe gegenereer. Rentekoste verwys na die rente wat op die totale skuld betaalbaar is. Fluktuasies in hierdie koste word grootliks deur die kredietvloei veroorsaak aangesien die lang- en mediumtermyn rentekoste baie min varieer.

D3. RESULTATE

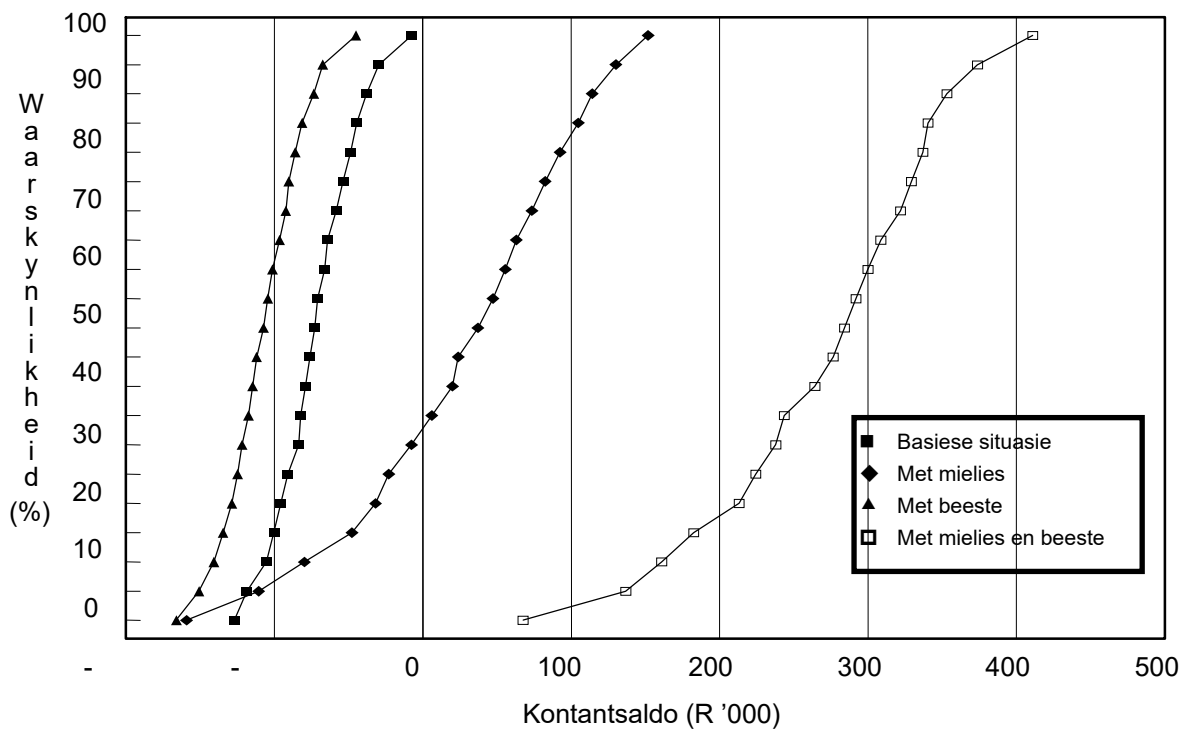
Die riskantheid van die boerdery word deur die koëffisient van variasie, wat die afwyking vanaf die gemiddelde waarde voorstel, aangedui. Ook word die minimum, gemiddelde en maksimum waardes van die betrokke situasie weergegee en die wydtes tussen hierdie waardes is 'n aanduiding van die wisselvalligheid. Indien hierdie waardes vir bestuursdoeleindes bekend is, verval die risiko dat onbekende waardes gerealiseer kan word omdat die grense waarbinne die uitkomst kan wissel, reeds vir die besluitnemer bekend is. Die bespreking van die kontantvloei resultate word aan die hand van KVV's gedoen. Deur die kontantvloei op hierdie wyse voor te stel, word nie net bepaal wat die waarskynlikheid is om 'n spesifieke kontantvloei te behaal nie, maar kan die riskantheid ook uit die aard van die verdeling beoordeel word. Vir vergelykingsdoeleindes word die rentekoste, ondernemingsrentabiliteit en solvabiliteit in tabelvorm voorgestel.

Die resultate van die klein en groot besproeiingsboerdery word afsonderlik bespreek deur die basiese situasie eerste te lys. Die basiese situasie by die klein en groot boerdery is waar nog geen van die addisionele vertakkings ingeskakel is nie. Na die basiese situasie volg die resultate van die boerdery waar die droëland mielies, die vleisbeeste en dan beide ingeskakel is. Die vergelyking en bespreking van die resultate geskied elke keer met verwysing na die basiese situasie.

D3.1 KLEIN BESPROEIINGSBOERDERY

Die effek wat die inskakeling van die verskillende vertakkings op die kontantvloei het, word aan die hand van KVV's in Figuur 1 voorgestel. Indien daar na die basiese situasie gekyk word is die kans 50 persent om 'n saldo van -R75 000 of minder te kry. Die wyer verspreiding wat verkry word met die inskakeling van die droëland mielies dui op 'n hoër wisselvalligheid. Die nadeel van die hoër variasie word egter oortref deur die feit dat die kans op 'n negatiewe saldo met 67 persent daal en dat daar slegs ± 5 persent kans is dat dié boerdery swakker as die basiese situasie sal vaar, met 'n 32 persent kans dat 'n negatiewe eindsaldo gerealiseer sal word. Met die inkomste uit die droëland mielies word die verpligtinge meestal nagekom waarna die addisionele inkomste in die negatiewe banksaldo gedeponeer word. Die funksie van die vleisbeesvertakking is op 'n laer vlak as die basiese situasie wat daarop dui dat die vertakking op die kontantvloei van die onderneming teer om verpligtinge na te kom. Dus genereer die vleisbeesvertakking nie genoeg inkomste om die verpligtinge na te kom nie en is dus nie finansiëel voordelig nie, gegewe 40 persent skuld op die vertakking. Die meeste voordeel word verkry met die inskakeling van beide die vertakkings aangesien die kans op 'n oortrokke saldo tot nul daal en die minimum kontantsaldo groter is as die maksimum kontantsaldo van die basiese situasie. Die droëland mielievertakking lewer voer wat deur die vleisbeesvertakking benut word wat 'n besparing van R33 243 in voerkoste tot gevolg het. Dus is die twee

vertakkings supplementêr tot mekaar wat veroorsaak dat die negatiewe effek van die skuldverpligtinge op vleisbeeste uitgeskakel word.



Figuur D.1: Kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van die kontanteindsaldo's van 'n 50 ha besproeiingsboerdery sonder en met die inskakeling van droëland mielies en/of vleisbeeste in die Wintertongebied met 'n aanvanklike skuld:bate verhouding van 40 persent, 1994

Die keuse van die beste verdeling gaan dikwels afhang van die besluitnemer se risiko-houding. Die KVV's gee egter die besluitnemer die kans om die hele verdeling in aanmerking te neem tydens die besluitnemingsproses. Dit kan dus gebeur dat 'n risiko soekende persoon sy besluit hoofsaaklik op die boonste deel van die uitkomst sal grond en dat 'n risiko vermydende persoon hoofsaaklik op die onderste uitkomst sal konsentreer. Besluitneming is egter 'n komplekse proses maar met behulp van KVV's word dit vergemaklik.

Tabel 1 bevat 'n opsomming van die wisselvalligheid van die begrote rentekoste, ondernemingsrentabiliteit en solvabiliteit. By die rentekoste word die besluite gegrond op die boerdery met die laagste maksimum, -gemiddeld of -minimum waardes. Die boerdery met die vleisbeesvertakking is in al die gevalle die swakste en sal na aanleiding van die rentekoste en kontantvloeï resultate nie gekies word nie. Anders as in die geval met kontantvloeï is die boerdery waar beide vertakkings ingesluit word, nie die beste opsie nie aangesien die minimum, gemiddelde en maksimum vlakke hoër is as by die basiese situasie. Die styging in die vlakke kan toegeskryf word aan die hoër kredietsaldo's waarby hierdie boerderye begin. Dit is egter

nodig om na beide die rentekoste, wat hoofsaaklik deur die kredietvloei beïnvloed word, en kontantvloei te kyk aangesien dit die bestuursbesluit om te bepaal watter een gebruik word, beïnvloed. Die feit dat die kans op 'n negatiewe saldo by die kontantvloei met 100 persent daal oortref egter die nadeel van die hoër rentekoste en is die beste opsie.

Tabel D.1: Die wisselvalligheid van die totale begrote rentekoste, ondernemingsrentabiliteit en solvabiliteit vir 'n 50 ha besproeiingsplaas sonder en met die inskakeling van 150 ha droëland mielies en/of 'n 100-koei vleisbeeskudde in die Wintertongebied met 'n aanvanklike skuld:bate-verhouding van 40 persent, 1994

Boerdery	Koëf. van variasie	Kans op neg. (%)	Wisselvalligheid		
			Minimum	Gemiddeld	Maksimum
Rentekoste (R):					
Basiese situasie	0,04	-	63 495	69 443	76 321
Met mielies	0,08	-	59 633	68 730	87 105
Met beeste	0,04	-	92 871	100 729	109 758
Met mielies en beeste	0,06	-	79 744	88 501	104 276
Ondernemingsrentabiliteit (%):					
Basiese situasie	0,37	0	2,10	9,64	18,57
Met mielies	0,33	0	0,85	19,48	29,19
Met beeste	0,18	0	9,14	15,61	22,47
Met mielies en beeste	0,13	0	21,11	29,83	34,93
Solvabiliteit (%):					
Basiese situasie	0,05	-	60,97	68,52	77,45
Met mielies	0,06	-	61,33	77,24	81,27
Met beeste	0,05	-	49,35	55,82	62,68
Met mielies en beeste	0,01	-	78,88	81,22	82,58

By die ondernemingsrentabiliteit kan daar na 'n veilige minimum waarde gestrewe word en dus die boerdery met die hoogste minimum vlak. 'n Besluit met die maksimum waardes in ag geneem sluit die boerdery met die hoogste maksimum vlak in en dus die boerdery met beide vertakkings, die een met droëland mielies, die een met vleisbeeste en laastens die basiese situasie. Die koëffisiënt van variasie is by al die boerderye waar die vertakkings ingesluit word beter as die basiese situasie maar die grootste voordeel word bereik by die boerdery waar beide vertakkings ingesluit word. Die grootste voordeel op ondernemingsrentabiliteit word dus bereik deur beide vertakkings in te sluit wat veroorsaak dat die boerderywins per R100 kapitaal aangewend, styg. Uit die ondernemingsrentabiliteit blyk dit wel dat vleisbeeste winsgewend is maar dit bevestig nie dat dit die huidige skuld kan dra nie. Die groot verskil tussen die minimum en maksimum vlakke van die boerdery met die droëland mielies dui op die wisselvalligheid van die gewas. 'n Meer as proporsionele voordeel word verkry met die inskakeling van beide die droëland mielies en vleisbeeste wat weereens 'n bewys is dat die vertakkings supplementêr is.

By die solvabiliteit word die grootste voordeel verkry deur beide vertakkings in te skakel gevolg deur die boerdery met droëland mielies, die basiese situasie en die boerdery met vleisbeeste. Die inskakeling van die vleisbeeste veroorsaak dat die minimum, gemiddeld en maksimum vlakke daal en dus verminder die boerdery se kans om sy laste te delg. In hierdie geval word die vreemde kapitaal tot eie kapitaal vergroot wat daarop dui dat die vleisbeeste nie genoeg kontantsurplus kan genereer om die laste te delg nie.

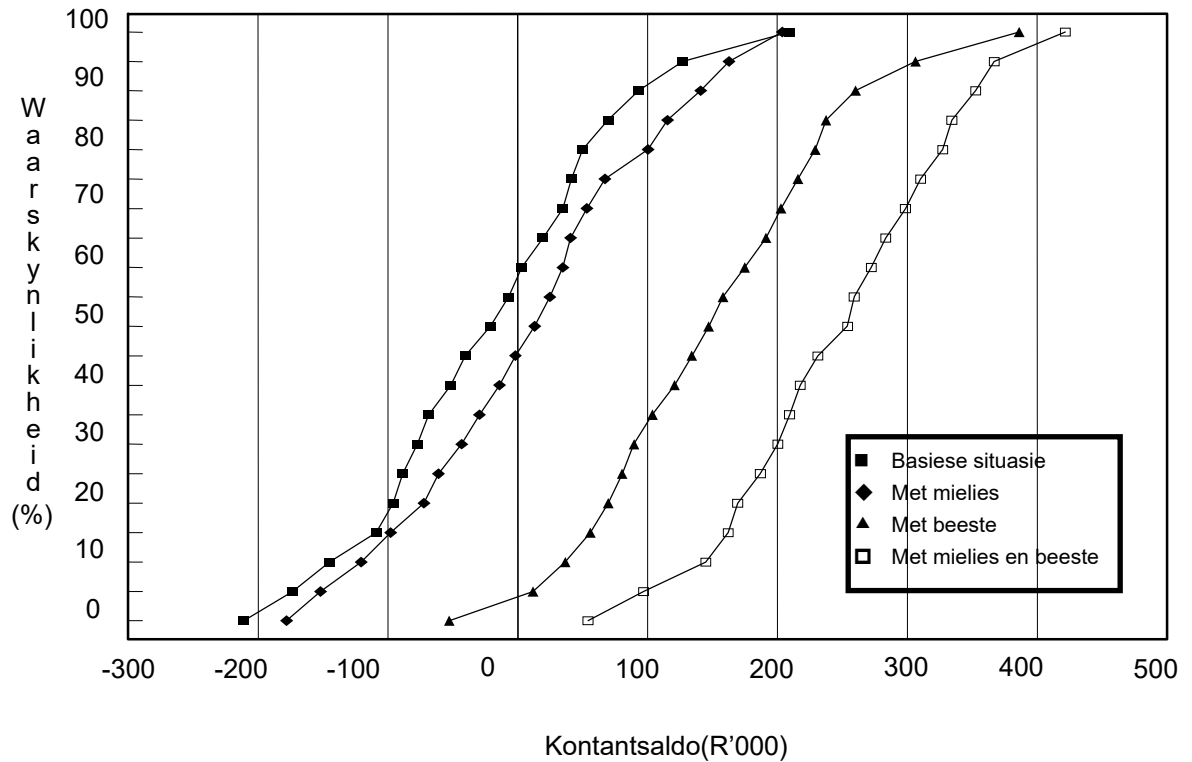
Met inagneming van al vier maatstawwe word die grootste voordeel verkry deur die inskakeling van beide vertakkings gevolg deur die boerdery met die droëland mielies en die basiese situasie. Die inskakeling van 'n vleisbeesvertakking is egter nie finansieel voordelig nie.

D3.2 GROOT BESPROEINGSBOERDERY

Figuur 2 stel die KVV's voor van die groot besproeiingsboerdery se kontantvloei. Al drie die boerderye met die addisionele vertakkings se funksies is beter as die basiese situasie terwyl die wisselvalligheid redelik dieselfde bly. Die waarskynlikheid om 'n saldo van R100 000 of hoër te realiseer is ± 10 persent vir die basiese situasie, ± 20 persent vir die boerdery met droëland mielies, ± 65 persent vir die boerdery met vleisbeeste en ± 95 persent vir die boerdery met albei vertakkings. Die rede hoekom die vleisbeesvertakking by die groter besproeiingsboerdery reeds voordeel inhou (in vergelyking met die kleiner boerdery) is die feit dat daar reeds mielies geproduseer word op die besproeiingsgrond (wat nie die geval met die kleiner boerdery is nie) wat as voer aangewend word en sodoende uitgawes bespaar. Die grootste voordeel, soos in die geval van die kleiner besproeiingsboerdery, word egter verkry indien beide vertakkings ingesluit word wat veroorsaak dat die kans op 'n oortrokke saldo met 58 persent daal. Die supplementêre effek van beide vertakkings veroorsaak dat 'n groter voordeel bereik word as wat die som van die voordele van die twee afsonderlike vertakkings is.

Die wisselvalligheid van die begrote rentekoste, ondernemingsrentabiliteit en solvabiliteit word in Tabel 2 aangedui. Die maksimum rentekostewaardes verskil nie baie nie maar die grootste voordeel word verkry by die boerdery met vleisbeeste, daarna die basiese situasie, die boerdery met beide vertakkings en laastens die boerdery met droëland mielies. By die minimum vlakke word die basiese situasie verkies gevolg deur die boerderye met droëland mielies, vleisbeeste en beide vertakkings. Die boerdery met die droëland mielies word laaste gekies terwyl die basiese situasie eerste gekies sal word indien die keuse op die gemiddelde vlakke gegrond word. Die hoër vlakke van rentekoste by die boerderye waar die addisionele vertakkings ingeskakel word kan weereens toegeskryf word aan die hoër kredietsaldo's waarby hierdie boerderye begin. Die voordeel by kontantvloei dat die kans op 'n negatiewe saldo na nul daal oortref die nadeel van die hoër rentekoste, en dus kredietvloei, by die boerdery met die vleisbeeste en die een met beide vertakkings. Dus sal die boerdery met beide vertakkings eerste gekies word gevolg deur die boerdery met die vleisbeeste. Die voordeel wat die

boerdery met die droëland mielies op kontantvloeivlak verkry, word redelik uitgeskakel deur die nadeel van die hoër rentekoste. Dié boerdery sal egter nog bo die basiese situasie verkies word aangesien genoeg inkomste gegenereer word om die verpligtinge te dek en die negatiewe kontantbalans te verminder.



Figuur D.2: Kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van die kontanteindsaldo's van 'n 200 ha besproeiingsboerdery sonder en met die inskakeling van droëland mielies en/of vleisbeeste in die Wintertongebied met 'n aanvanklike skuld:bate verhouding van 40 persent, 1994

Tabel D.2: Die wisselvalligheid van die totale begrote rentekoste, ondernemingsrentabiliteit en solvabiliteit vir 'n 200 ha besproeiingsplaas sonder en met die inskakeling van 50 ha droëland mielies en/of 'n 100-koei vleisbeeskudde in die Wintertongebied met 'n aanvanklike skuld:bate-verhouding van 40 persent, 1994

Boerdery	Koëf. van variasie	Kans op neg. (%)	Wisselvalligheid		
			Minimum	Gemiddeld	Maksimum
Rentekoste (R):					
Basiese situasie	0,08	-	73 034	92 122	110 889
Met mielies	0,08	-	82 189	98 555	116 695
Met beeste	0,06	-	84 766	95 178	109 532
Met mielies en beeste	0,05	-	85 673	95 012	112 901
Ondernemingsrentabiliteit (%):					
Basiese situasie	0,54	3	-2,09	10,17	22,68
Met mielies	0,44	0	0,54	12,17	22,31
Met beeste	0,17	0	11,03	19,11	26,90
Met mielies en beeste	0,12	0	15,72	22,37	27,76
Solvabiliteit (%):					
Basiese situasie	0,06	-	63,97	75,12	80,67
Met mielies	0,05	-	66,44	76,36	80,53
Met beeste	0,01	-	75,35	79,24	81,27
Met mielies en beeste	0,01	-	78,38	80,09	81,47

By die ondernemingsrentabiliteit en met die minimum vlakke in ag geneem, word die basiese situasie laaste gekies, gevolg deur die inskakeling van die droëland mielies, vleisbeeste en beide die vertakkings. By 'n besluit wat op die gemiddelde vlakke gegrond word, word dieselfde volgorde gevind as by die minimum vlakke. Die maksimum vlakke van die basiese situasie en die boerdery met die droëland mielies het die teenoorgestelde effek as die minimum vlakke. Die verskil is egter baie klein. Die koëffisient van variasie dui daarop dat die risiko afneem soos wat die droëland mielies, vleisbeeste en beide vertakkings ingeskakel word. Dus hou die inskakeling van beide die vertakkings die grootste voordeel in gevolg deur die inskakeling van vleisbeeste en die inskakeling van droëland mielies.

Die boerdery met beide die vertakkings hou in die geval van die solvabiliteit vir alle besluitnemers die grootste voordeel in aangesien die maksimum, gemiddelde en minimum vlakke in al die gevalle die hoogste is. Die inskakeling van droëland mielies, vleisbeeste en beide die vertakkings het tot gevolg dat die boerdery se bydrae tot totale kapitaal verhoog. Ook het die inskakeling van die vertakkings in dieselfde volgorde as bo tot gevolg dat die risiko in die

boerdery daal. Die meeste voordeel word dus verkry indien beide vertakkings ingeskakel word gevolg deur die inskakeling van onderskeidelik vleisbeeste en droëland mielies.

Indien al vier die maatstawwe in aanmerking geneem word, word die meeste voordeel verkry indien beide vertakkings ingesluit word gevolg deur die boerdery met die vleisbeeste, die boerdery met die droëland mielies en die basiese situasie.

D4. GEVOLGTREKKING

Die resultate wat verkry is ondersteun die boere se siening van diversifikasie as risikobestuurswyse. Gegewe die bestuursvermoë van 'n boer hang die doeltreffendheid waarmee risiko bestuur kan word, van die vertakkingsamestelling, die interaksie tussen die vertakkings en die finansiële posisie van die boerdery af. Sommige vertakkings veroorsaak dat wisselvalligheid toeneem maar die toename word egter uitgeskakel deur die finansiële voordeel wat die vertakking veroorsaak. 'n Kombinasie van twee vertakkings wat supplementêr is, veroorsaak dat risiko daal en dat die gesamentlike finansiële voordeel groter is as die somtotaal van die afsonderlike finansiële voordele. 'n Te hoë skuld:bate verhouding veroorsaak dat sekere vertakkings nie finansiële voordelig is nie, al het dit 'n daling in die wisselvalligheid en 'n verhoging in rentabiliteit tot gevolg. Die effek van verskillende skuld:bate verhoudings is egter nie hier ontleed nie. Uit 'n boerderybestuursoogpunt word die meeste voordeel dus verkry deur vertakkings in te sluit wat supplementêr is. Dit kan ook nie as vanselfsprekend aanvaar word dat 'n lae risiko vertakking tot voordeel vir die boerdery sal wees nie voordat 'n geheelboerdery-ontleding gedoen is nie.

Die KVV's skep 'n duideliker beeld van die wisselvalligheid van die uitkomst sowel as die finansiële implikasies en verbeter vorige navorsing waar risiko ontleed is deur 'n enkel waarde (gewoonlik gemiddeld) te gebruik. Wat belangrik is, is dat die totale uitkomswydte van 'n betrokke maatstaf aan die besluitnemer bekend is en hy kan gevolglik bepaal wat die waarskynlikheid is om 'n sekere vereiste vlak te realiseer. Die inskakeling van beide rentekoste en kontantvloei op 'n stogastiese basis is 'n uitbreiding van vorige navorsing waar dit op 'n deterministiese vlak ontleed is. Dit is dus meer werklikheidsgetrou wat die geleentheid skep om krediet- en kontantvloei in die finansiële besluitnemingsproses interaktief met mekaar te evalueer. Die benaderingswyse maak die evaluering van verskillende bestuurstrategieë, -vermoëns, skuld:lasverhoudings en die effek van bedryfstaksamestellings moontlik.

ERKENNING

Geldelike bystand deur die Waternavorsingskommissie (WNK) vir hierdie navorsing word hiermee erken, maar die menings is dié van die outeurs en word nie noodwendig deur die WNK onderskryf nie.

BRONNELYS

BINDING, HR, VAN SCHALKWYK, HD, VAN ZYL, J & SARTORIUS VON BACH, HJ. (1993). Diversification as a risk strategy in times of change: a study in the eastern Orange Free State. *Agrekon*, Vol 32, No 4:182-186.

BREYTENBACH, P. (1994). 'n Ekonomiese evaluering van energiegebruik by besproeiing in die Wintertongebied met inagneming van risiko. Ongepubliseerde M.Com.-verhandeling, Departement Landbou-ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.

EIDMAN, VR. (1983). Quantifying and managing risk in agriculture. *Agrekon*, Vol 29, No 1:11-23.

FLEISHER, B. (1990). *Agricultural risk management*. Colorado, Lynne Rienner Publishers.

JOLLY, RW. (1983). Risk management in agricultural production. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol 65, No 5:1107-1113.

KÜHNE, TM & OOSTHUIZEN, LK. (1994). Risiko-bronne en bestuursoptredes in die Wintertonbesproeiingsgebied. In Oosthuizen, LK, Meiring, JA en Botes, JHF. Verhoging van ekonomiese doeltreffendheid van water- en energiegebruik vir besproeiing op geheelplaasvlak in sentraal RSA. Vorderingsverslag aan die Waternavorsingskommissie: Verslag no. 1: Februarie 1994. Departement Landbou-ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.

MEIRING, JA. (1994). Die ontwikkeling en toepassing van 'n besluitnemingsondersteuningstelsel vir die ekonomiese evaluering van risikobestuur op plaasvlak. Ongepubliseerde Ph.D.-proefskrif, Departement Landbou-ekonomie, Universiteit van die Oranje-Vrystaat, Bloemfontein.

MEIRING, JA & OOSTHUIZEN, LK. (1994). Die finansiële uitvoerbaarheid van spilpuntbesproeiing: die inagneming van risiko met behulp van kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings. *Agrekon*, Vol 33, No 2:61-67.

PENSON, JB & LINS, DA. (1980). *Agricultural finance: An introduction to micro and macro concepts*. Englewood Cliffs: New Jersey, Prentice-Hall.

SUMMARY

Farmers in the Winterton area indicated that diversification is an important method of managing risk. The aim of the research was to generate cumulative probability distributions (CPDs) of a

few financial criteria and to use these to evaluate diversification as a method of risk management by the Winterton farmers.

Data of fifty-three irrigation farmers were collected by means of questionnaires. On the basis of the data, three sizes of representative irrigation farms (RFs) were formulated. Only two of the sizes of RFs, viz. a 50 ha and a 200 ha irrigation farm, were used in the research. Dry-land maize or beef cattle or both were included in the irrigation area. The FARMS model (Firm-level Agricultural Risk Management Simulator) was used to generate the CPDs. The model is the only one which can simulate whole-farm situations for South African circumstances taking risk into account.

The results which were obtained support the farmers' views regarding diversification as method of risk management. Given the management ability of the farmer, the efficiency of risk management depends on the composition of enterprises, the interaction between the enterprises and the financial position of the farm business. Some enterprises result in an increase in variability, but this increase is counteracted by the financial benefits deriving from the enterprise. A combination of two supplementary enterprises results in a decrease in risk and in the joint financial benefit exceeding the sum total of the separate financial benefits. A too high debt:asset ratio results in certain enterprises not being of financial benefit, even though they may result in a decrease in variability and an increase in profitability. The effect of different debt:asset ratios were, however, not analysed during this study. From a farm-management point of view, the greatest benefit is therefore obtained by including enterprises which are supplementary. It can also not be accepted as a matter of course that a low-risk enterprise will be of benefit to the farm before a whole-farm analysis has been carried out.

The CPDs create a clearer picture of the variability of the outcome as well as the financial implications and constitute an improvement on previous research during which risk was analysed on the basis of a single value (usually an average). What is important is that the decision maker is conversant with the whole width of outcome of a specific criterion and that he is consequently able to determine the probability of being able to realise a specific required level. The inclusion of both interest costs and cash flow on a stochastic basis represents an extension of previous research during which it was analysed at a deterministic level. It is therefore more realistic, which creates the opportunity to evaluate cash and credit flow interactively in the financial decision-making process. The method of approach makes it possible to evaluate different management strategies, abilities, debt-burden ratios and the influence of enterprise compositions.

***OPSOMMING VAN BELANGRIKSTE TEGNIESE KOËFFISIËNTE VIR
DIE PROGRAMMERINGSMODELLE***

Tabel E.1: Opsomming van belangrikste tegniese koëffisiënte vir gebruik in die CCODI- en CCMARK-modelle

	ACRU- opvanggebied								
	AO50	AO62	AO71	AO78	AO79	AO84	AO86	AO92	AO99
Maksimum besproeiingsoppervlak (ha)	100	55	100	186	160	100	180	66	50
Ingelyste oppervlakte	100	130	120	180	120	35.63	64.38	120	120
Damkapasiteite (m3)									
Werklik	0	0	250000	215000	399215	239932	95005	30000	0
Aanname	158878	87383							79439
Maksimum potensiele opbrengs (t/ha)	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Koringprys (R)	850	850	850	850	850	850	850	850	850
Produksiekoste (R)	1482	1482	1482	1482	1482	1482	1482	1482	1482
Besproeiingskoste (R/mm.ha)	1.103	1.1405	1.178	1.028	1.2005	1.253	1.253	0.983	1.1405
Kunsmiskoste (R)	703	703	703	703	703	703	703	703	703



OPBRENGSRESPONSIE FAKTORE

Tabel F.1: Opbrengsresponsiefaktore vir die Stewart en Stewart-Hagan opbrengsmodelle vir koring wat in Mei en Junie geplant word.

	Groeistadium				Volle groeiseisoen
	1	2	3	4	
Stewart					
Mei	0.22	0.6	0.39	0	-
Junie	0.24	0.6	0.34	0	-
Stewart Hagan					
Mei	-	-	-	-	1.15
Junie	-	-	-	-	1.15

KORRELASIE EN CHOLESKY MATRIKS

Tabel G.1: Korrelasiematriks

	Produksie						Prys					
	Mielies	Mielies	Soja	Koring	Kalwers	Melk	Mielies	Mielies	Soja	Koring	Kalwers	Melk
Korrelasiematriks												
<u>Produksie</u>												
Mielies	1.00	1.00	0.74	0.74	0.00	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mielies		1.00	0.74	0.74	0.00	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Soja			1.00	0.68	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Koring				1.00	0.00	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kalwers					1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Melk						1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.10
<u>Prys</u>												
Mielies							1.00	1.00	0.76	0.48	0.00	0.34
Mielies								1.00	0.76	0.48	0.00	0.34
Soja									1.00	0.84	0.00	0.41
Koring										1.00	0.00	0.01
Kalwers											1.00	0.00
Melk												1.00

Tabel G.2: Cholesky Matriks

	Produksie						Prys					
	Mielies	Mielies	Soja	Koring	Kalwers	Melk	Mielies	Mielies	Soja	Koring	Kalwers	Melk
Cholesky-matriks												
<u>Produksie</u>												
Mielies	0	0.4572	0.1721	0.0654	0	0.8701	0	0	0	0	0	0
Mielies	0	0.4572	0.1721	0.0654	0	0.8701	0	0	0	0	0	0
Soja	0	0	0.6873	0.2081	0	0.6960	0	0	0	0	0	0
Koring	0	0	0	0.5947	0	0.8040	0	0	0	0	0	0
Kalwers	0	0	0	0	1.0000	0.	0	0	0	0	0	0
Melk	0	0	0	0	0	0.9867	0	-0.0668	0.1118	0.0011	0	-0.0976
<u>Prys</u>												
Mielies	0	0	0	0	0	0	0	0.5323	0.6096	0.4795	0	0.3394
Mielies	0	0	0	0	0	0	0	0.5323	0.6096	0.4795	0	0.3394
Soja	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3528	0.8392	0	0.4139
Koring	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9999	0	0.0118
Kalwers	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0000	0
Melk	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0000

BEPALING VAN DIE VORM VAN DIE STROOMVLOEI- WAARSKYNNLIKHEIDSVERDELINGS: *BestFit* UITVOER

Nota: Die kritieke waardes van die Kolmogorov-Smirnov en Anderson-Darling toets word deur Monte-Carlo simulاسie bereken en die toetsstatistiek moet vervolgens aangepas word om die nulhipotese te toets. Die verdeling met die laagste toetsstatistiek word as die beste geag.

Die Kolmogorov-Smirnov toets se kritieke waarde moet soos volg aangepas word:

Normaal $\left(\sqrt{n} - 0.01 + \frac{0.85}{\sqrt{n}}\right) D_n$

Weibull $\sqrt{n} D_n$

Alle ander $\left(\sqrt{n} + 0.12 + \frac{0.11}{\sqrt{n}}\right) D_n$

Die Anderson-Darling toets se kritieke waarde moet soos volg aangepas word:

Normaal $\left(1 + \frac{4}{n} - \frac{25}{n^2}\right) A_n^2$

Weibull $\left(1 + \frac{0.6}{\sqrt{n}}\right) A_n^2$

Alle ander A_n^2

Tabel H. 1: BestFit uitvoer van Mei se stroomvloeï vir vier verskillende verdelings.

	Invoer	Verdeling			
		Normaal	Gamma	Lognormaal	Weibull
Parameter 1		4 194 743.00	4.34	4 228 872.00	2.00
Parameter 2		2 015 528.00	967 324.30	2 282 303.00	0.00
Statistiese moment					
Minimum	1 498 684				
Maksimum	8 099 584				
Gemiddeld	4 194 743	4 194 743	4 194 743	4 228 872	0
Modes	2 048 759	4 194 743	3 227 419	2 882 028	0
Mediaan	3 927 811	4 194 743	3 877 083	3 721 481	0
Standaard afwyking	2 015 528	2 015 528	2 014 368	2 282 303	0
Variansie (×1 000 000)	4 062 353	4 062 353	4 057 677	5 208 909	0
Skeefheid	0.35	0.00	0.96	1.78	0.59
Kurtosis	1.82	3.00	4.38	9.09	3.02
Toets resultate					
Kolmogorov-Smirnov					
Toetsstatistiek		0.100	0.123	0.128	1.000
Vertroue		>0.15	>0.15 *	>0.15 *	Verwerp
Rangorde		1.000	2.000	3.000	
Anderson-Darling					
Toetsingstatistiek		0.275	0.227	0.285	178.720
Vertroue		>0.15	>0.15 *	>0.15 *	Verwerp
Rangorde		2.000	1.000	3.000	
Vertrouensintervalle					
Kolmogorov-Smirnov					
Aangepaste waarde		0.434	0.525	0.545	4.123
Kritieke waarde 0.1		0.819	1.224	1.224	0.779
Kritieke waarde 0.05		0.895	1.358	1.358	0.843
Kritieke waarde 0.01		1.035	1.628	1.628	0.973
Anderson-Darling					
Aangepaste waarde		0.315	0.227	0.285	179.587
Kritieke waarde 0.1		0.656	1.933	1.933	0.637
Kritieke waarde 0.05		0.787	2.492	2.492	0.757
Kritieke waarde 0.01		1.092	3.857	3.857	1.038

Tabel H. 2: BestFit uitvoer van Junie se stroomvloeï vir vier verskillende verdelings.

	Invoer	Verdeling			
		Normaal	Gamma	Lognormaal	Weibull
Parameter 1		2 927 842.00	3.86	2 929 807.00	2.00
Parameter 2		1 651 853.00	758 557.80	1 636 460.00	0.00
Statistiese moment					
Minimum	1 010 909				
Maksimum	7 784 279				
Gemiddeld	2 927 842	2 927 842	2 927 842	2 929 807	0
Modes	1 575 357	2 927 842	2 169 285	1 949 602	0
Mediaan	2 568 921	2 927 842	2 679 243	2 557 848	0
Standaard afwyking	1 651 853	1 651 853	1 490 281	1 636 460	0
Variansie (× 1 000 000)	2 728 620	2 728 620	2 220 938	2 678 002	0
Skeefheid	1.34	0.00	1.02	1.85	0.59
Kurtosis	4.81	3.00	4.55	9.64	3.02
Toets resultate					
Kolmogorov-Smirnov					
Toetsstatistiek		0.140	0.097	0.131	1.000
Vertroue		>0.15	>0.15 *	>0.15 *	Verwerp
Rangorde		3.000	1.000	2.000	
Anderson-Darling					
Toetsingstatistiek		0.607	0.212	0.211	178.720
Vertroue		>0.05	>0.15 *	>0.15 *	Verwerp
Rangorde		3.000	2.000	1.000	
Vertrouensintervalle					
Kolmogorov-Smirnov					
Aangepaste waarde		0.603	0.413	0.559	4.123
Kritieke waarde 0.1		0.819	1.224	1.224	0.779
Kritieke waarde 0.05		0.895	1.358	1.358	0.843
Kritieke waarde 0.01		1.035	1.628	1.628	0.973
Anderson-Darling					
Aangepaste waarde		0.698	0.212	0.211	179.587
Kritieke waarde 0.1		0.656	1.933	1.933	0.637
Kritieke waarde 0.05		0.787	2.492	2.492	0.757
Kritieke waarde 0.01		1.092	3.857	3.857	1.038

Tabel H. 3: BestFit uitvoer van Julie se stroomvloeï vir vier verskillende verdelings.

	Invoer	Verdeling			
		Normaal	Gamma	Lognormaal	Weibull
Parameter 1		2 781 275.00	2.44	2 693 526.00	2.00
Parameter 2		2 330 384.00	1 138 370.00	1 810 099.00	0.00
Statistiese moment					
Minimum	865 839				
Maksimum	9 682 294				
Gemiddeld	2 781 275	2 781 275	2 781 275	2 693 526	0
Modes	1 600 544	2 781 275	1 642 905	1 540 093	0
Mediaan	2 144 461	2 781 275	2 412 406	2 235 612	0
Standaard afwyking	2 330 384	2 330 384	1 779 359	1 810 099	0
Variansie (×1 000 000)	5 430 688	5 430 688	3 166 119	3 276 458	0
Skeefheid	1.92	0.00	1.28	2.32	0.59
Kurtosis	5.64	3.00	5.46	13.88	3.02
Toets resultate					
Kolmogorov-Smirnov					
Toetsstatistiek		0.306	0.208	0.156	1.000
Vertroue		Verwerp	>0.15 *	>0.15 *	Verwerp
Rangorde			2.000	1.000	
Anderson-Darling					
Toetsingstatistiek		2.143	0.948	0.493	178.720
Vertroue		Verwerp	>0.15 *	>0.15 *	Verwerp
Rangorde			2.000	1.000	
Vertrouensintervalle					
Kolmogorov-Smirnov					
Aangepaste waarde		1.323	0.889	0.666	4.123
Kritieke waarde 0.1		0.819	1.224	1.224	0.779
Kritieke waarde 0.05		0.895	1.358	1.358	0.843
Kritieke waarde 0.01		1.035	1.628	1.628	0.973
Anderson-Darling					
Aangepaste waarde		2.462	0.948	0.493	179.587
Kritieke waarde 0.1		0.656	1.933	1.933	0.637
Kritieke waarde 0.05		0.787	2.492	2.492	0.757
Kritieke waarde 0.01		1.092	3.857	3.857	1.038

Tabel H. 4: BestFit uitvoer van Augustus se stroomvloeï vir vier verskillende verdelings.

	Invoer	Verdeling			
		Normaal	Gamma	Lognormaal	Weibull
Parameter 1		2 669 476.00	2.04	2 659 747.00	2.00
Parameter 2		2 071 809.00	1 308 798.00	2 202 484.00	0.00
Statistiese moment					
Minimum	657 038				
Maksimum	7 794 555				
Gemiddeld	2 669 476	2 669 476	2 669 476	2 659 747	0
Modes	1 251 831	2 669 476	1 360 677	1 215 244	0
Mediaan	1 660 599	2 669 476	2 248 156	2 048 557	0
Standaard afwyking	2 071 809	2 071 809	1 869 172	2 202 484	0
Variansie ($\times 1\,000\,000$)	4 292 392	4 292 392	3 493 805	4 850 934	0
Skeefheid	1.01	0.00	1.40	3.05	0.59
Kurtosis	2.81	3.00	5.94	23.18	3.02
Toets resultate					
Kolmogorov-Smirnov					
Toetsstatistiek		0.220	0.179	0.144	1.000
Vertroue		>0.025	>0.15 *	>0.15 *	Verwerp
Rangorde		3.000	2.000	1.000	
Anderson-Darling					
Toetsingstatistiek		1.091	0.559	0.377	178.720
Vertroue		Verwerp	>0.15 *	>0.15 *	Verwerp
Rangorde			2.000	1.000	
Vertrouensintervalle					
Kolmogorov-Smirnov					
Aangepaste waarde		0.949	0.766	0.613	4.123
Kritieke waarde 0.1		0.819	1.224	1.224	0.779
Kritieke waarde 0.05		0.895	1.358	1.358	0.843
Kritieke waarde 0.01		1.035	1.628	1.628	0.973
Anderson-Darling					
Aangepaste waarde		1.253	0.559	0.377	179.587
Kritieke waarde 0.1		0.656	1.933	1.933	0.637
Kritieke waarde 0.05		0.787	2.492	2.492	0.757
Kritieke waarde 0.01		1.092	3.857	3.857	1.038

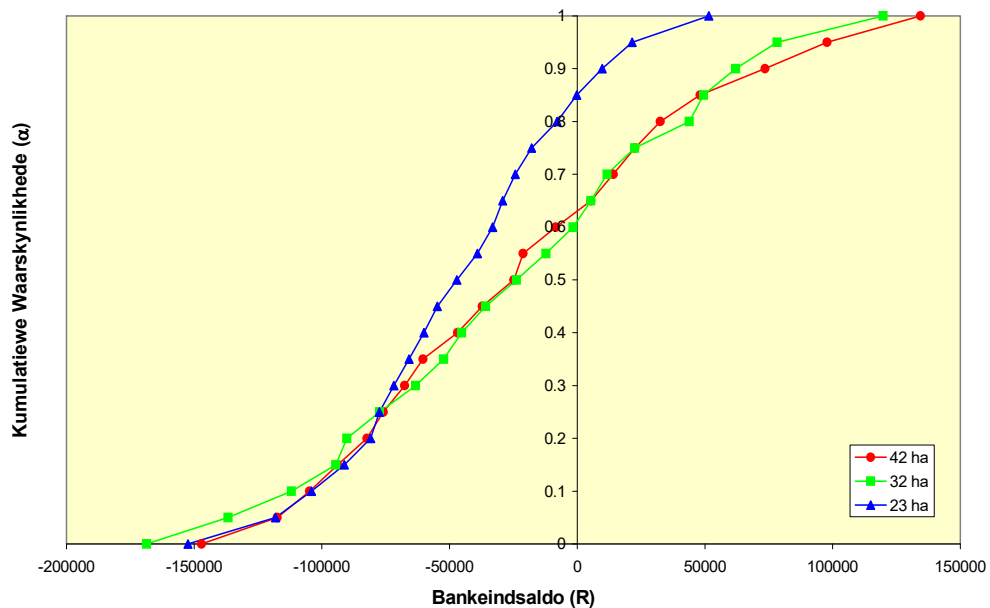
Tabel H. 5: BestFit uitvoer van September se stroomvloei vir vier verskillende verdelings.

	Invoer	Verdeling			
		Normaal	Gamma	Lognormaal	Weibull
Parameter 1		3 961 773.00	0.00	3 227 822.00	2.00
Parameter 2		7 651 120.00	39 617 730 000.00	3 936 707.00	0.00
Statistiese moment					
Minimum	546 161				
Maksimum	33 168 570				
Gemiddeld	3 961 773	3 961 773	3 961 773	3 227 822	0
Modes	3 264 695	3 961 773	0	822 761	0
Mediaan	1 396 887	3 961 773	0	2 046 590	0
Standaard afwyking	7 651 120	7 651 120	396 177 300	3 936 707	0
Variansie ($\times 1\,000\,000$)	58 539 630	58 539 630	156 956 400 000	15 497 670	0
Skeefheid	3.24	0.00	200.00	5.47	0.59
Kurtosis	12.50	3.00	60003.00	84.63	3.02
Toets resultate					
Kolmogorov-Smirnov					
Toetsstatistiek		0.380	0.999	0.185	1.000
Vertroue		Verwerp	Verwerp*	>0.15 *	Verwerp
Rangorde				1.000	
Anderson-Darling					
Toetsingstatistiek		3.906	100.839	0.508	178.720
Vertroue		Verwerp	Verwerp*	>0.15 *	Verwerp
Rangorde				1.000	
Vertrouensintervalle					
Kolmogorov-Smirnov					
Aangepaste waarde		1.641	4.265	0.789	4.123
Kritieke waarde 0.1		0.819	1.224	1.224	0.779
Kritieke waarde 0.05		0.895	1.358	1.358	0.843
Kritieke waarde 0.01		1.035	1.628	1.628	0.973
Anderson-Darling					
Aangepaste waarde		4.487	100.839	0.508	179.587
Kritieke waarde 0.1		0.656	1.933	1.933	0.637
Kritieke waarde 0.05		0.787	2.492	2.492	0.757
Kritieke waarde 0.01		1.092	3.857	3.857	1.038

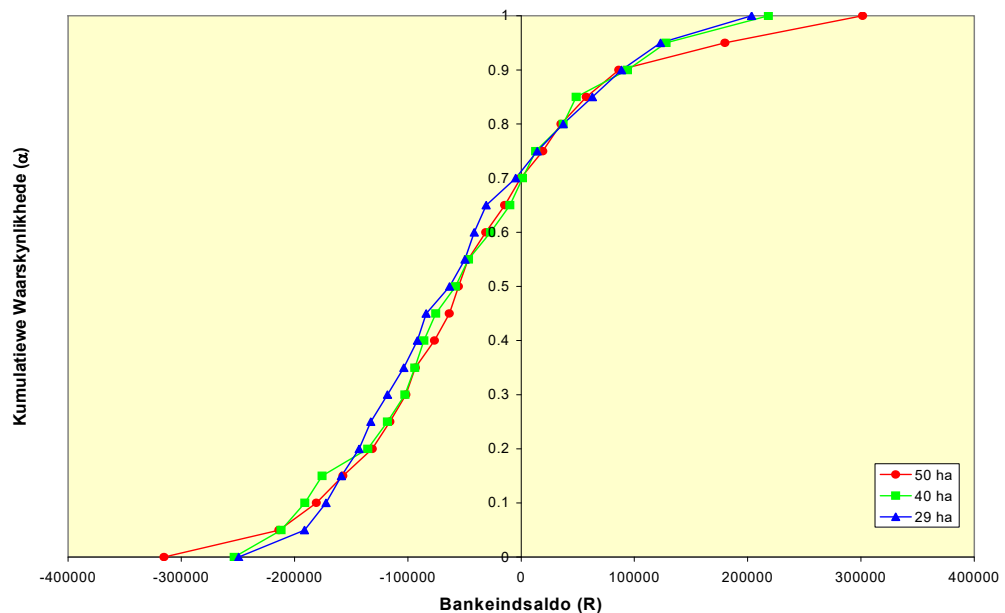
Tabel H. 6: BestFit uitvoer van Oktober se stroomvloei vir vier verskillende verdelings.

	Invoer	Verdeling			
		Normaal	Gamma	Lognormaal	Weibull
Parameter 1		6 323 874.00	1.36	6 474 691.00	2.00
Parameter 2		5 924 774.00	4 647 677.00	7 615 157.00	0.00
Statistiese moment					
Minimum	781 973				
Maksimum	20 651 420				
Gemiddeld	6 323 874	6 323 874	6 323 874	6 474 691	0
Modes	2 437 760	6 323 874	1 676 197	1 759 738	0
Mediaan	3 577 650	6 323 874	4 859 761	4 194 003	0
Standaard afwyking	5 924 774	5 924 774	5 421 377	7 615 157	0
Variansie ($\times 1\,000\,000$)	35 102 940	35 102 940	29 391 330	57 990 620	0
Skeefheid	1.16	0.00	1.71	5.16	0.59
Kurtosis	3.15	3.00	7.41	73.38	3.02
Toets resultate					
Kolmogorov-Smirnov					
Toetsstatistiek		0.208	0.150	0.114	1.000
Vertroue		>0.025	>0.15 *	>0.15 *	Verwerp
Rangorde		3.000	2.000	1.000	
Anderson-Darling					
Toetsingstatistiek		1.110	0.315	0.172	178.720
Vertroue		Verwerp	>0.15 *	>0.15 *	Verwerp
Rangorde			2.000	1.000	
Vertrouensintervalle					
Kolmogorov-Smirnov					
Aangepaste waarde		0.898	0.641	0.486	4.123
Kritieke waarde 0.1		0.819	1.224	1.224	0.779
Kritieke waarde 0.05		0.895	1.358	1.358	0.843
Kritieke waarde 0.01		1.035	1.628	1.628	0.973
Anderson-Darling					
Aangepaste waarde		1.275	0.315	0.172	179.587
Kritieke waarde 0.1		0.656	1.933	1.933	0.637
Kritieke waarde 0.05		0.787	2.492	2.492	0.757
Kritieke waarde 0.01		1.092	3.857	3.857	1.038

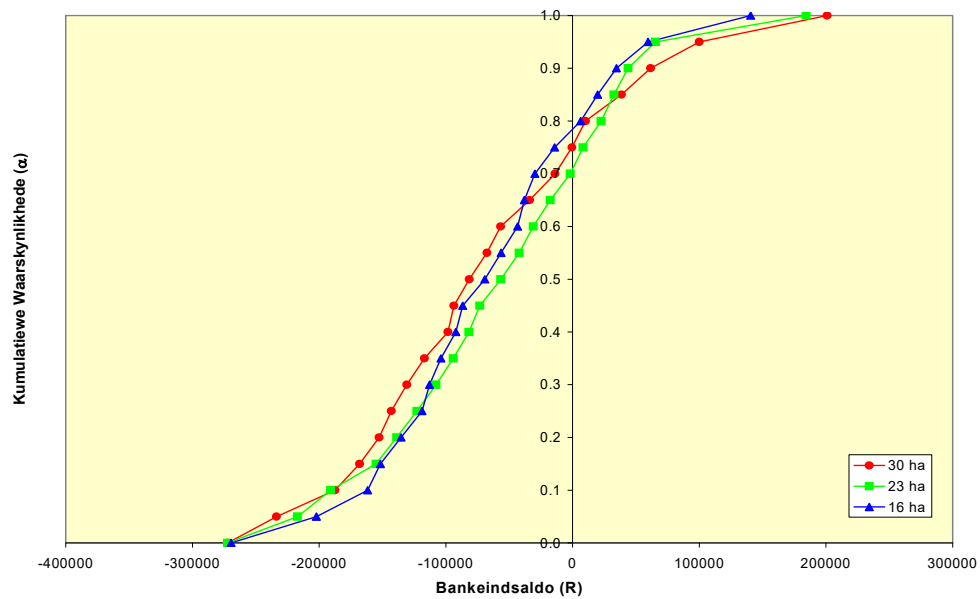
***KUMULATIEWE WAARSKYNNLIKHEIDSVERDELINGS VAN
ALTERNATIEWE OPPERVLAKBENUTTINGS VAN KORING***



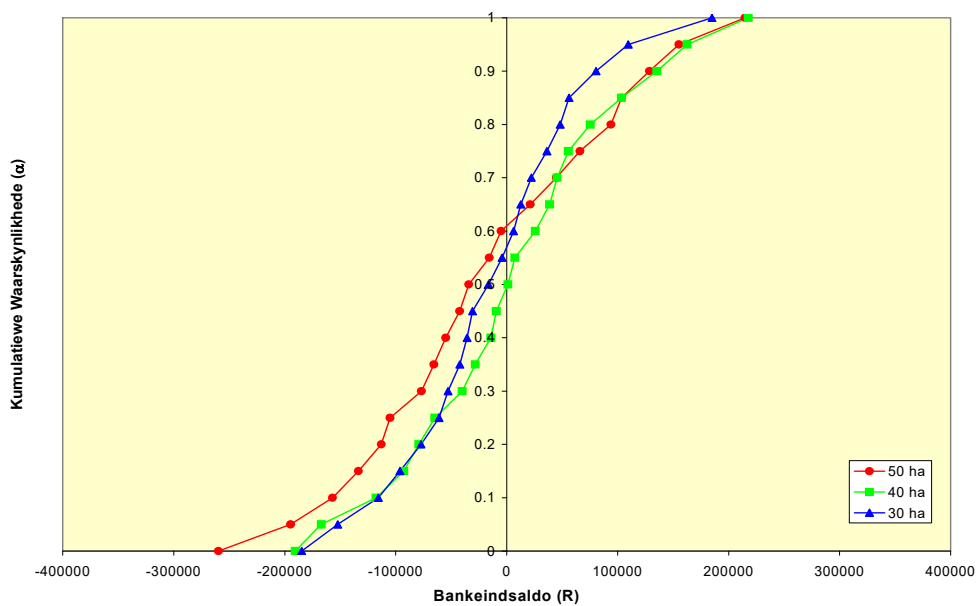
Figuur I.1: Kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling van kontantvloeï op boerderyondernemingsvlak vir 'n oppervlakbenutting van 42 ha, 32 ha, en 23 ha koring onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid vir besproeiingsboere in AO99.



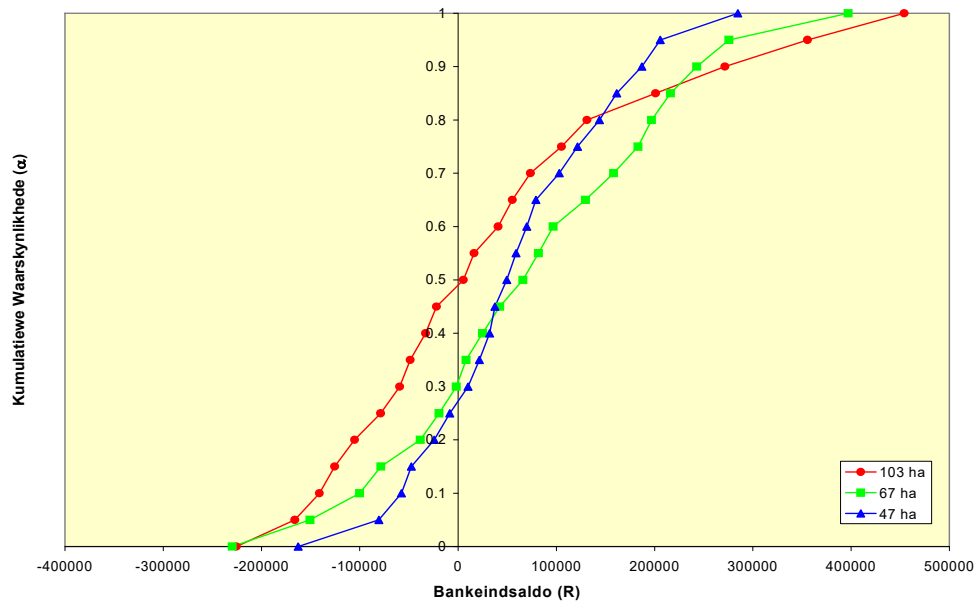
Figuur I.2: Kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling van kontantvloeï op boerderyondernemingsvlak vir 'n oppervlakbenutting van 50 ha, 40 ha, en 29 ha koring onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid vir besproeiingsboere in AO92.



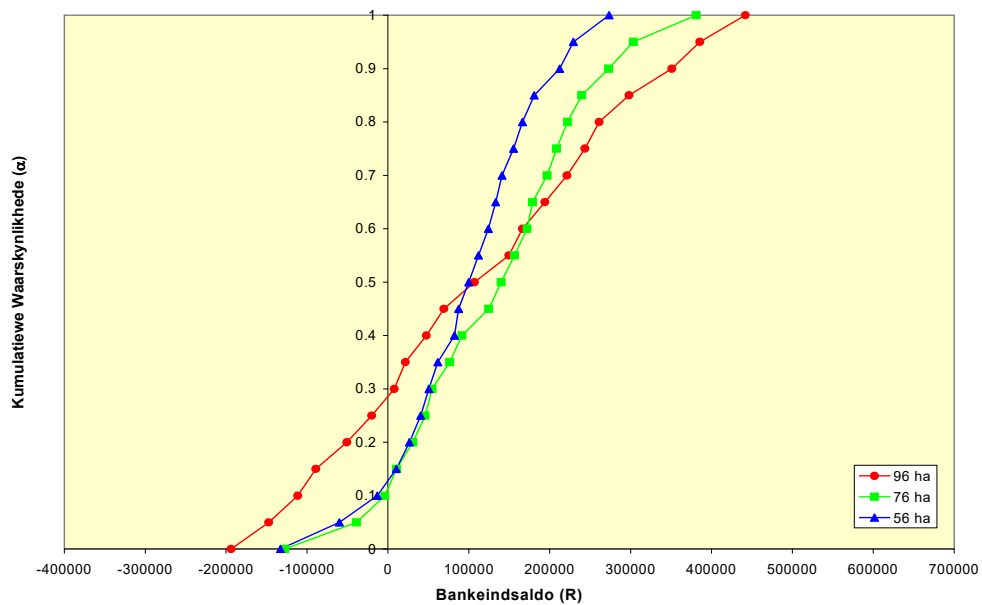
Figuur I.3: Kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling van kontantvloeï op boerderyondernemingsvlak vir 'n oppervlakbenutting van 30 ha, 23 ha, en 16 ha koring onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid vir besproeiingsboere in AO86.



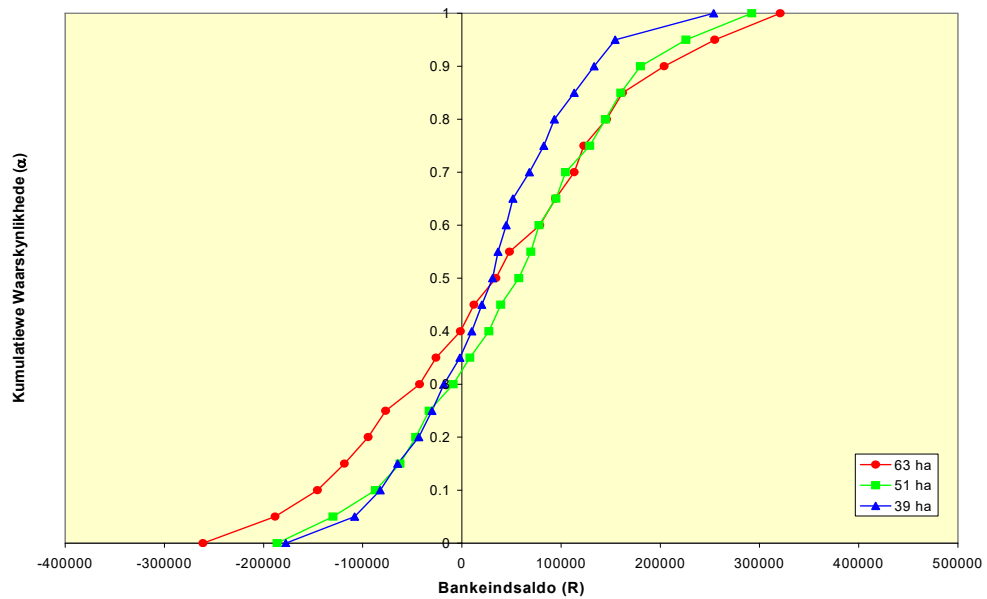
Figuur I.4: Kumulatiewe waarskynlikheidsverdeling van kontantvloeï op boerderyondernemingsvlak vir 'n oppervlakbenutting van 50 ha, 40 ha, en 30 ha koring onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid vir besproeiingsboere in AO84.



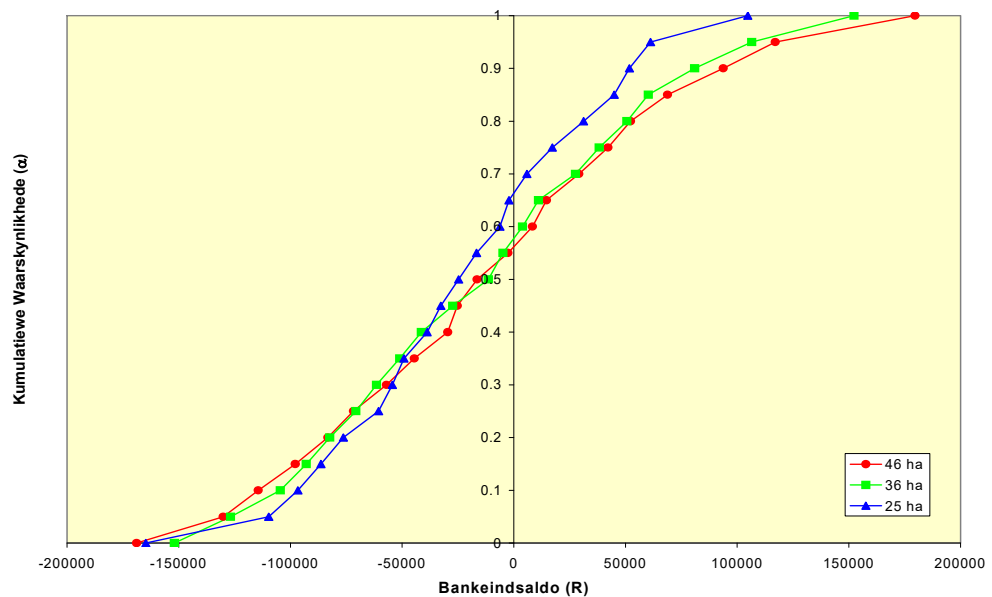
Figuur I.5: Kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van kontantvloeï op boerderyondernemingsvlak vir 'n oppervlakbenutting van 96 ha, 67 ha en 56 ha koring onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid vir besproeiingsboere in AO79.



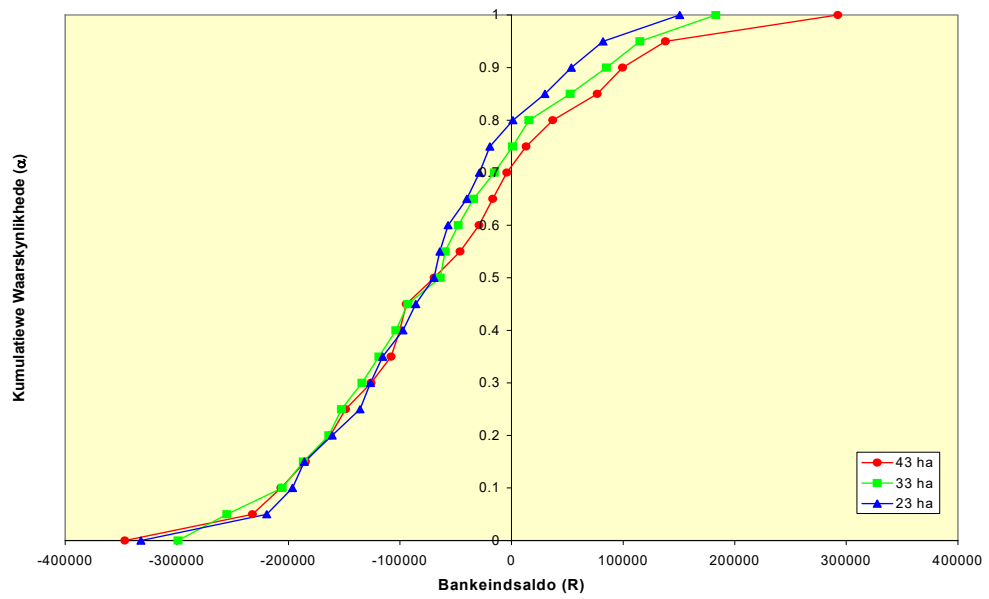
Figuur I.6: Kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van kontantvloeï op boerderyondernemingsvlak vir 'n oppervlakbenutting van 103, 67 ha en 47 ha koring onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid vir besproeiingsboere in AO78.



Figuur I.7: Kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van kontantvloei op boerderyondernemingsvlak vir 'n oppervlakbenutting van 63 ha, 51 ha en 39 ha koring onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid vir besproeiingsboere in AO71.



Figuur I.8: Kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van kontantvloei op boerderyondernemingsvlak vir 'n oppervlakbenutting van 46 ha, 36 ha en 25 ha koring onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid vir besproeiingsboere in AO62.



Figuur I.9: Kumulatiewe waarskynlikheidsverdelings van kontantvloei op boerderyondernemingsvlak vir 'n oppervlakbenutting van 43 ha, 33 ha en 23 ha koring onder toestande van riskante waterbeskikbaarheid vir besproeiingsboere in AO50.

EKONOMIESE KOSTE OP SUB-OPVANGGEBIEDVLAK

Tabel J.1: Ekonomiese koste en hidrologiese impak van AO50 van drie alternatiewe waterbestuurstrategieë vir die handhawing van 'n binnestroomvloeivoorsiening

	P ^{4a} (1- α)	B-Marge ⁵ (R)	Oppervlak (ha)	Water onttrek (mm.ha)						Potensiële terugvloei (mm.ha)					
				Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt
BASIS SITUASIE	Geen	88 534	23	888	2 066	2 849	3 702	3 062	406	160	372	513	666	551	36
Afwyking relatief tot die basis situasie															
STRATEGIE SM67¹	0.50	-21 175	-1	-24	-56	-78	-1 018	-1 035	-11	-4	-10	-14	-364	-372	-1
	0.60	-31 263	-3	-135	-314	-433	-1 561	-1 186	-62	-24	-56	-78	-478	-355	-5
	0.70	-44 079	-8	-303	-704	-971	-2 038	-1 613	-138	-54	-127	-175	-520	-402	-12
	0.80	-63 100	-14	-553	-1 286	-1 774	-2 750	-2 234	-253	-100	-231	-319	-582	-466	-22
	0.89	-87 395	-23	-876	-2 036	-2 809	-3 649	-3 032	-400	-158	-366	-506	-657	-549	-35
STRATEGIE SM75²	0.50	-15 214	1	-67	-155	-214	-1 018	-1 035	-11	-78	-181	-249	-512	-472	-20
	0.60	-26 473	-2	-172	-400	-552	-1 561	-1 186	-62	-88	-205	-283	-583	-455	-22
	0.70	-40 374	-7	-332	-771	-1 063	-2 038	-1 613	-138	-104	-242	-334	-601	-478	-25
	0.80	-60 983	-14	-570	-1 325	-1 827	-2 750	-2 234	-253	-128	-298	-411	-629	-510	-30
	0.89	-87 302	-23	-876	-2 038	-2 811	-3 652	-3 032	-400	-159	-369	-509	-661	-550	-35
STRATEGIE SM67DAM³	0.50	138 425	40	7 203	2 955	927	-1 018	-1 035	711	-13	-29	-40	1169	967	63
	0.60	118 540	35	6 060	2 661	432	-1 561	-1 186	612	-26	-59	-82	1006	832	54
	0.70	85 954	25	4 606	1 515	-403	-2 038	-1 613	448	-48	-110	-152	736	609	39
	0.80	43 725	13	2 598	34	-1 202	-2 750	-2 234	236	-76	-175	-242	387	320	21
	0.89	19 039	7	1 985	-805	-1 695	-3 167	-3 032	116	-91	-212	-292	191	158	10

- 1 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67%.
 - 2 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 75%.
 - 3 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67% tesame met 'n plaasopgaardam.
 - 4 Waarskynlikheid om binnestroomvloeivoorsiening te handhaaf.
 - 5 Bruto marge.
-  Basis situasie.

Tabel J.2: Ekonomiese koste en hidrologiese impak van AO62 van drie alternatiewe waterbestuurstrategieë vir die handhawing van 'n binnestroomvloeivoorsiening

	P ^{4a} (1- α)	B-Marge ⁵ (R)	Oppervlak (ha)	Water onttrek (mm.ha)						Potensiële terugvloei (mm.ha)					
				Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt
BASIS SITUASIE	Geen	95 432	25	1 009	2 290	3 098	4 015	3 443	485	182	412	558	723	620	43
Afwyking relatief tot die basis situasie															
STRATEGIE SM67¹	0.50	-10 301	3	122	276	373	-526	-808	58	22	50	67	-293	-387	5
	0.60	-22 195	0	17	39	52	-1 232	-1 005	8	3	7	9	-477	-391	1
	0.70	-38 582	-5	-211	-480	-649	-1 852	-1 559	-102	-38	-86	-117	-532	-446	-9
	0.80	-62 906	-14	-552	-1 254	-1 696	-2 777	-2 366	-266	-99	-226	-305	-614	-521	-23
	0.89	-94 017	-25	-992	-2 253	-3 047	-3 949	-3 404	-477	-179	-405	-548	-711	-616	-42
STRATEGIE SM75²	0.50	-2 380	5	65	150	202	-526	-808	58	-74	-168	-228	-495	-516	-21
	0.60	-16 146	2	-34	-76	-102	-1 232	-1 005	8	-84	-191	-258	-614	-514	-23
	0.70	-33 904	-4	-251	-569	-769	-1 852	-1 559	-102	-106	-240	-325	-638	-540	-28
	0.80	-60 233	-13	-575	-1 305	-1 765	-2 777	-2 366	-266	-138	-314	-424	-674	-575	-34
	0.89	-93 900	-25	-993	-2 255	-3 049	-3 953	-3 404	-477	-180	-409	-553	-716	-618	-42
STRATEGIE SM67DAM³	0.50	93 699	30	4 091	4 237	1 812	-526	-808	582	218	495	-51	867	160	51
	0.60	81 895	29	4 303	3 855	1 168	-1 232	-1 005	557	209	473	-157	830	-174	49
	0.70	59 294	22	4 915	2 364	83	-1 852	-1 559	428	160	364	-206	637	-229	38
	0.80	25 124	9	3 523	440	-956	-2 777	-2 366	175	-99	-225	-304	260	223	15
	0.89	-5 624	0	2 726	-651	-1 598	-3 319	-3 404	6	-120	-272	-369	9	8	1

- 1 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67%.
 - 2 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 75%.
 - 3 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67% tesame met 'n plaasopgaardam.
 - 4 Waarskynlikheid om binnestroomvloeivoorsiening te handhaaf.
 - 5 Bruto marge.
-  Basis situasie.

Tabel J.3: Ekonomiese koste en hidrologiese impak van AO71 van drie alternatiewe waterbestuurstrategieë vir die handhawing van 'n binnestroomvloeivoorsiening

	P⁴	B-Marge⁵	Oppervlak	Water onttrek (mm.ha)						Potensiële terugvloei (mm.ha)					
	(1- α)	(R)	(ha)	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt
BASIS SITUASIE	Geen	193 396	51	1 891	4 383	3 839	3 006	2 856	982	362	871	1 185	1 469	1 238	87
Afwyking relatief tot die basis situasie															
STRATEGIE SM67¹	0.50	92 741	30	7 819	1 642	693	215	-424	574	-172	-404	-556	858	723	51
	0.60	69 769	23	6 447	1 289	98	-437	-606	446	-187	-443	-608	667	562	39
	0.70	32 158	12	4 702	-86	-904	-1 009	-1 117	235	-213	-506	-693	352	296	21
	0.80	-17 213	-2	2 292	-1 863	-1 863	-1 863	-1 863	-38	-247	-588	-803	-57	-48	-3
	0.89	-45 801	-10	1 557	-2 869	-2 455	-2 363	-2 821	-192	-265	-634	-865	-286	-241	-17
STRATEGIE SM75²	0.50	126 474	38	7 819	1 642	693	215	-424	623	-275	-657	-897	-201	-170	-24
	0.60	100 734	30	6 447	1 289	98	-437	-606	491	-282	-675	-920	-305	-258	-29
	0.70	58 551	18	4 702	-86	-904	-1 009	-1 117	273	-294	-704	-960	-477	-402	-37
	0.80	3 139	3	2 292	-1 863	-1 863	-1 863	-1 863	-8	-309	-741	-1 010	-699	-590	-48
	0.89	-28 759	-6	1 557	-2 869	-2 455	-2 363	-2 821	-167	-318	-762	-1 039	-824	-695	-55
STRATEGIE SM67DAM³	0.50	92 741	30	7 819	1 642	693	215	-424	574	-172	-404	-556	858	723	51
	0.60	69 769	23	6 447	1 289	98	-437	-606	446	-187	-443	-608	667	562	39
	0.70	32 158	12	4 702	-86	-904	-1 009	-1 117	235	-213	-506	-693	352	296	21
	0.80	-17 213	-2	2 292	-1 863	-1 863	-1 863	-1 863	-38	-247	-588	-803	-57	-48	-3
	0.89	-45 801	-10	1 557	-2 869	-2 455	-2 363	-2 821	-192	-265	-634	-865	-286	-241	-17

- 1 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67%.
2 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 75%.
3 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67% tesame met 'n plaasopgaardam.
4 Waarskynlikheid om binnestroomvloeivoorsiening te handhaaf.
5 Bruto marge.
 Basis situasie.

Tabel J.4: Ekonomiese koste en hidrologiese impak van AO78 van drie alternatiewe waterbestuurstrategieë vir die handhawing van 'n binnestroomvloeivoorsiening

	P ⁴ (1- α)	B-Marge ⁵ (R)	Oppervlak (ha)	Water onttrek (mm.ha)						Potensiële terugvloei (mm.ha)					
				Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt
BASIS SITUASIE	Geen	262 744	67	2 298	5 882	6 313	4 975	4 380	1 204	501	1 059	1 461	1 740	1 466	106
Afwyking relatief tot die basis situasie															
STRATEGIE SM67¹	0.50	138 225	52	12 267	3 156	485	-143	-732	928	-39	307	-580	1 340	-612	82
	0.60	111 115	45	10 209	2 626	-406	-1 121	-1 005	803	-221	-303	-631	1 161	-662	71
	0.70	49 495	26	7 592	563	-1 910	-1 979	-1 772	471	-267	-571	-768	681	-795	42
	0.80	-34 037	1	3 977	-2 102	-3 348	-3 260	-2 890	14	-331	-704	-957	21	-978	1
	0.89	-82 489	-13	2 874	-3 612	-4 236	-4 011	-4 327	-243	-367	-779	-1 063	-351	-1 081	-21
STRATEGIE SM75²	0.50	180 032	62	12 267	3 156	485	-143	-732	978	-275	-318	-1 061	-75	-1 079	-20
	0.60	149 204	55	10 209	2 626	-406	-1 121	-1 005	851	-373	-736	-1 084	-172	-1 101	-25
	0.70	83 078	26	7 592	563	-1 910	-1 979	-1 772	366	-404	-856	-1 173	-542	-457	-45
	0.80	-9 373	1	3 977	-2 102	-3 348	-3 260	-2 890	-62	-430	-912	-1 252	-868	-733	-61
	0.89	-63 010	-14	2 874	-3 612	-4 236	-4 011	-4 327	-303	-445	-943	-1 296	-1 052	-887	-71
STRATEGIE SM67DAM³	0.50	138 225	52	12 267	3 156	485	-143	-732	928	-39	307	-580	1 340	-612	82
	0.60	111 115	45	10 209	2 626	-406	-1 121	-1 005	803	-221	-303	-631	1 161	-662	71
	0.70	49 495	26	7 592	563	-1 910	-1 979	-1 772	471	-267	-571	-768	681	-795	42
	0.80	-34 037	1	3 977	-2 102	-3 348	-3 260	-2 890	14	-331	-704	-957	21	-978	1
	0.89	-82 489	-13	2 874	-3 612	-4 236	-4 011	-4 327	-243	-367	-779	-1 063	-351	-1 081	-21

- 1 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67%.
2 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 75%.
3 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67% tesame met 'n plaasopgaardam.
4 Waarskynlikheid om binnestroomvloeivoorsiening te handhaaf.
5 Bruto marge.
 Basis situasie.

Tabel J.5: Ekonomiese koste en hidrologiese impak van AO79 van drie alternatiewe waterbestuurstrategieë vir die handhawing van 'n binnestroomvloeivoorsiening

	P ^{4a} (1- α)	B-Marge ⁵ (R)	Oppervlak (ha)	Water onttrek (mm.ha)						Potensiële terugvloei (mm.ha)					
				Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt
BASIS SITUASIE	Geen	291 092	76	3 079	4 900	4 559	3 627	3 118	1 408	561	1 210	1 663	1 977	1 652	124
Afwyking relatief tot die basis situasie															
STRATEGIE SM67¹	0.50	89 658	39	6 630	1 125	-26	-406	-686	729	-273	-603	-803	1 023	-829	64
	0.60	64 338	31	5 259	772	-621	-1 058	-868	582	-293	-645	-862	817	-886	51
	0.70	21 903	18	3 514	-604	-1 623	-1 630	-1 379	340	-326	-714	-960	477	-979	30
	0.80	-32 889	1	1 104	-2 380	-2 582	-2 484	-2 125	25	-368	-803	-1 086	36	-1 100	2
	0.89	-64 437	-8	368	-3 387	-3 174	-2 984	-3 082	-151	-392	-853	-1 157	-212	-1 168	-13
STRATEGIE SM75²	0.50	131 678	39	6 630	1 125	-26	-406	-686	595	-442	-958	-1 307	-492	-412	-45
	0.60	103 471	31	5 259	772	-621	-1 058	-868	457	-450	-975	-1 331	-594	-497	-51
	0.70	56 267	18	3 514	-604	-1 623	-1 630	-1 379	230	-463	-1 004	-1 372	-763	-638	-60
	0.80	-4 702	1	1 104	-2 380	-2 582	-2 484	-2 125	-65	-481	-1 041	-1 424	-981	-820	-71
	0.89	-39 723	-8	368	-3 387	-3 174	-2 984	-3 082	-230	-491	-1 061	-1 453	-1 104	-923	-78
STRATEGIE SM67DAM³	0.50	89 658	39	6 630	1 125	-26	-406	-686	729	-273	-603	-803	1 023	-829	64
	0.60	64 338	31	5 259	772	-621	-1 058	-868	582	-293	-645	-862	817	-886	51
	0.70	21 903	18	3 514	-604	-1 623	-1 630	-1 379	340	-326	-714	-960	477	-979	30
	0.80	-32 889	1	1 104	-2 380	-2 582	-2 484	-2 125	25	-368	-803	-1 086	36	-1 100	2
	0.89	-64 437	-8	368	-3 387	-3 174	-2 984	-3 082	-151	-392	-853	-1 157	-212	-1 168	-13

- 1 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67%.
 - 2 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 75%.
 - 3 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67% tesame met 'n plaasopgaardam.
 - 4 Waarskynlikheid om binnestroomvloeivoorsiening te handhaaf.
 - 5 Bruto marge.
-  Basis situasie.

Tabel J.6: Ekonomiese koste en hidrologiese impak van AO84 van drie alternatiewe waterbestuurstrategieë vir die handhawing van 'n binnestroomvloeivoorsiening

	P ^{4a} (1- α)	B-Marge ⁵ (R)	Oppervlak (ha)	Water onttrek (mm.ha)						Potensiële terugvloei (mm.ha)					
				Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt
BASIS SITUASIE	Geen	152 254	40	1 551	2 333	1 872	1 502	1 271	696	284	631	869	1 038	872	61
Afwyking relatief tot die basis situasie															
STRATEGIE SM67¹	0.50	12 656	10	1 332	-544	-527	-546	-549	170	-165	-372	-500	254	-515	15
	0.60	5 155	7	924	-649	-703	-739	-603	129	-171	-384	-518	193	-532	11
	0.70	-7 425	4	406	-1 058	-1 001	-909	-755	61	-180	-405	-547	92	-560	5
	0.80	-23 666	-2	-309	-1 585	-1 285	-1 163	-976	-27	-192	-431	-584	-40	-596	-2
	0.89	-33 981	-5	-528	-1 884	-1 461	-1 311	-1 261	-193	-200	-447	-607	-121	-619	-7
STRATEGIE SM75²	0.50	30 647	10	1 332	-544	-527	-546	-549	116	-234	-523	-716	-399	-335	-29
	0.60	22 291	7	924	-649	-703	-739	-603	77	-237	-528	-723	-429	-360	-31
	0.70	8 298	3	406	-1 058	-1 001	-909	-755	13	-241	-537	-735	-479	-403	-33
	0.80	-9 772	-2	-309	-1 585	-1 285	-1 163	-976	-69	-246	-548	-751	-544	-457	-37
	0.89	-20 863	-5	-528	-1 884	-1 461	-1 311	-1 261	-193	-249	-554	-760	-583	-490	-39
STRATEGIE SM67DAM³	0.50	12 656	10	1 332	-544	-527	-546	-549	170	-165	-372	-500	254	-515	15
	0.60	5 155	7	924	-649	-703	-739	-603	129	-171	-384	-518	193	-532	11
	0.70	-7 425	4	406	-1 058	-1 001	-909	-755	61	-180	-405	-547	92	-560	5
	0.80	-23 666	-2	-309	-1 585	-1 285	-1 163	-976	-27	-192	-431	-584	-40	-596	-2
	0.89	-33 981	-5	-528	-1 884	-1 461	-1 311	-1 261	-193	-200	-447	-607	-121	-619	-7

- 1 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67%.
 - 2 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 75%.
 - 3 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67% tesame met 'n plaasopgaardam.
 - 4 Waarskynlikheid om binnestroomvloeivoorsiening te handhaaf.
 - 5 Bruto marge.
-  Basis situasie.

Tabel J.7: Ekonomiese koste en hidrologiese impak van AO86 van drie alternatiewe waterbestuurstrategieë vir die handhawing van 'n binnestroomvloeivoorsiening

	P ^{4a} (1- α)	B-Marge ⁵ (R)	Oppervlak (ha)	Water onttrek (mm.ha)						Potensiële terugvloei (mm.ha)					
				Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt
BASIS SITUASIE	Geen	87 514	23	838	1 931	1 795	1 389	1 131	393	175	361	500	594	501	35
Afwyking relatief tot die basis situasie															
STRATEGIE SM67¹	0.50	64 851	24	4 372	1 301	636	339	174	412	-54	-117	-152	622	-164	36
	0.60	51 237	20	3 636	1 112	317	-11	77	339	-65	-139	-183	512	-195	30
	0.70	28 938	13	2 699	374	-221	-318	-198	219	-83	-176	-235	330	-245	19
	0.80	-122	4	1 406	-579	-735	-776	-598	62	-106	-223	-303	94	-310	5
	0.89	-17 016	-1	1 012	-1 119	-1 053	-1 044	-1 112	-26	-120	-250	-341	-39	-347	-2
STRATEGIE SM75²	0.50	81 662	24	4 372	1 301	636	339	174	361	-124	-260	-355	8	6	-5
	0.60	66 524	20	3 636	1 112	317	-11	77	292	-129	-269	-368	-47	-39	-8
	0.70	41 708	13	2 699	374	-221	-318	-198	180	-137	-284	-390	-137	-115	-12
	0.80	9 512	4	1 406	-579	-735	-776	-598	33	-146	-304	-418	-253	-214	-18
	0.89	-9 239	-2	1 012	-1 119	-1 053	-1 044	-1 112	-49	-152	-315	-434	-319	-269	-21
STRATEGIE SM67DAM³	0.50	64 851	24	4 372	1 301	636	339	174	412	-54	-117	-152	622	-164	36
	0.60	51 237	20	3 636	1 112	317	-11	77	339	-65	-139	-183	512	-195	30
	0.70	28 938	13	2 699	374	-221	-318	-198	219	-83	-176	-235	330	-245	19
	0.80	-122	4	1 406	-579	-735	-776	-598	62	-106	-223	-303	94	-310	5
	0.89	-17 016	-1	1 012	-1 119	-1 053	-1 044	-1 112	-26	-120	-250	-341	-39	-347	-2

- 1 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67%.
 - 2 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 75%.
 - 3 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67% tesame met 'n plaasopgaardam.
 - 4 Waarskynlikheid om binnestroomvloeivoorsiening te handhaaf.
 - 5 Bruto marge.
-  Basis situasie.

Tabel J.8: Ekonomiese koste en hidrologiese impak van AO92 van drie alternatiewe waterbestuurstrategieë vir die handhawing van 'n binnestroomvloeivoorsiening

	P^{4a}	B-Marge⁵	Oppervlak	Water onttrek (mm.ha)						Potensiële terugvloei (mm.ha)					
	(1- α)	(R)	(ha)	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt
BASIS SITUASIE	Geen	157 860	40	1 641	3 487	4 863	4 928	4 236	741	295	637	875	1 040	870	65
Afwyking relatief tot die basis situasie															
STRATEGIE SM67¹	0.50	-11 812	10	402	2 419	-331	-1 707	-1 804	182	72	156	-376	-634	-514	16
	0.60	-26 231	5	205	1 994	-925	-2 359	-1 986	93	37	80	-485	-673	-548	8
	0.70	-48 664	-3	414	810	-1 928	-2 931	-2 497	-47	-19	-40	-596	-734	-602	-4
	0.80	-77 940	-12	907	-967	-2 887	-3 784	-3 243	-231	-92	-198	-670	-815	-673	-20
	0.89	-101 594	-23	561	-1 973	-3 479	-4 285	-4 201	-424	-169	-364	-748	-678	-747	-37
STRATEGIE SM75²	0.50	-568	13	1 802	701	-331	-1 707	-1 804	182	-101	-218	-623	-860	-712	-29
	0.60	-16 165	8	1 614	298	-925	-2 359	-1 986	93	-120	-259	-689	-877	-727	-33
	0.70	-39 188	-3	1 217	-559	-1 928	-2 931	-2 497	-96	-160	-344	-760	-758	-759	-40
	0.80	-70 060	-15	775	-1 511	-2 887	-3 784	-3 243	-306	-204	-439	-798	-718	-795	-48
	0.89	-95 790	-22	511	-2 080	-3 479	-4 285	-4 201	-431	-230	-496	-820	-811	-817	-53
STRATEGIE SM67DAM³	0.50	-11 812	10	402	2 419	-331	-1 707	-1 804	182	72	156	-376	-634	-514	16
	0.60	-26 231	5	205	1 994	-925	-2 359	-1 986	93	37	80	-485	-673	-548	8
	0.70	-48 664	-3	414	810	-1 928	-2 931	-2 497	-47	-19	-40	-596	-734	-602	-4
	0.80	-77 940	-12	907	-967	-2 887	-3 784	-3 243	-231	-92	-198	-670	-815	-673	-20
	0.89	-101 594	-23	561	-1 973	-3 479	-4 285	-4 201	-424	-169	-364	-748	-678	-747	-37

- 1 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67%.
2 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 75%.
3 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67% tesame met 'n plaasopgaardam.
4 Waarskynlikheid om binnestroomvloeivoorsiening te handhaaf.
5 Bruto marge.
 Basis situasie.

Tabel J.9: Ekonomiese koste en hidrologiese impak van AO99 van drie alternatiewe waterbestuurstrategieë vir die handhawing van 'n binnestroomvloeivoorsiening

	P^{4a}	B-Marge⁵	Oppervlak	Water onttrek (mm.ha)						Potensiële terugvloei (mm.ha)					
	(1- α)	(R)	(ha)	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt
BASIS SITUASIE	Geen	159 858	42	1 683	3 874	5 669	6 399	5 915	994	303	697	1 020	1 152	1 065	88
Afwyking relatief tot die basis situasie															
STRATEGIE SM67¹	0.50	-80 266	-17	-671	-1 545	-2 260	-3 178	-3 483	-396	-121	-278	-407	-689	-850	-35
	0.60	-90 970	-19	-747	-1 719	-2 515	-3 830	-3 665	-441	-134	-309	-453	-873	-866	-39
	0.70	-106 490	-24	-959	-2 209	-3 232	-4 402	-4 176	-567	-173	-397	-582	-932	-911	-50
	0.80	-129 343	-32	-1 270	-2 923	-4 277	-5 256	-4 922	-750	-229	-526	-769	-1 025	-977	-66
	0.89	-158 586	-42	-1 668	-3 840	-5 619	-6 343	-5 880	-985	-300	-691	-1 011	-1 141	-1 062	-87
STRATEGIE SM75²	0.50	-72 299	-15	-721	-1 659	-2 429	-3 178	-3 483	-396	-207	-476	-696	-893	-969	-64
	0.60	-84 906	-17	-793	-1 825	-2 671	-3 830	-3 665	-441	-214	-492	-720	-1 013	-977	-66
	0.70	-101 765	-23	-995	-2 291	-3 353	-4 402	-4 176	-567	-234	-539	-788	-1 041	-997	-71
	0.80	-126 637	-31	-1 290	-2 970	-4 346	-5 256	-4 922	-750	-264	-607	-888	-1 088	-1 026	-78
	0.89	-158 481	-42	-1 669	-3 842	-5 621	-6 346	-5 880	-985	-302	-694	-1 015	-1 146	-1 063	-87
STRATEGIE SM67DAM³	0.50	13 181	8	2 880	2 151	-1 137	-3 178	-3 483	189	58	133	-610	219	-245	17
	0.60	973	7	3 084	1 798	-1 731	-3 830	-3 665	163	50	114	-620	189	-650	14
	0.70	-19 676	1	3 652	422	-2 733	-4 402	-4 176	18	6	13	-670	21	-702	2
	0.80	-50 084	-8	2 500	-1 354	-3 692	-5 256	-4 922	-184	-221	-507	-740	-213	-774	-16
	0.89	-78 273	-18	1 765	-2 361	-4 284	-5 756	-5 880	-425	-245	-564	-823	-492	-629	-38

- 1 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67%.
2 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 75%.
3 Tekortbesproeiing met aanvangsdoeltreffendheid van 67% tesame met 'n plaasopgaardam.
4 Waarskynlikheid om binnestroomvloeivoorsiening te handhaaf.
5 Bruto marge.
 Basis situasie.