

**NETWERKBEPLANNING VAN DIE RIVIERVLOEI-
MEETSTASIENETWERK IN DIE OOS-TRANSVAAL**

deur

ENGELBERT JOHAN MEIJER

voorgelê ter vervulling van die vereistes vir
die graad

MAGISTER SCIENTIAE

in die vak

GEOGRAFIE

aan die

UNIVERSITEIT VAN SUID-AFRIKA

STUDIELEIER: PROF. E VERSTER

FEBRUARIE 1994

SAMEVATTING

Water is in 'n relatief droë land soos Suid-Afrika van uiterste belang. Daar is 'n groot behoefte aan inligting oor die potensieel verbruikbare waterbronne. Hierin word voorsien deur 'n netwerk van riviervloeiemeetstasies.

Met veranderende ekonomiese toestande word die effektiwiteit van die netwerk van al hoe groter belang. Dit is hier waar netwerkbeplanning 'n aktiewe rol begin speel.

As gevolg van die groot variasie in die aard van die opvanggebiede in Suid-Afrika, en die feit dat daar 'n bestaande netwerk is, is dit nodig dat netwerkbeplanning stapsgewys benader word. Die Eerste Fase is 'n leerproses. Die verskillende opvanggebiede in die land kan gegroeper word en die meetstasies kan geklassifiseer word.

'n Netwerkbeplanningsmetode, "Die ideale netwerk", is ontwikkel en word op drie opvanggebiede toegepas. Die belangrikste resultaat is die klassifikasie van al die meetstasies in die drie opvanggebiede.

SUMMARY

In a relative dry country like South Africa water is of critical importance. Information on the potential usable water resources is very valuable. This information is supplied by a network of river flow gauging stations.

In changing economic times the effectiveness of this network is of increasing importance. Network design plays a major role in insuring this.

Network design has to be approached in phases because of the variety in catchment characteristics in South Africa, and the fact that there is an existing network. The First Phase can be regarded as a learning phase, in which all the catchments in the country can be grouped and the stations can be classified.

A network design method, "The ideal network", was developed, and is applied in three catchments. The most important result is the classification of all the existing stations in the three catchments.



01549726

INHOUD

Woord vooraf	v
INLEIDING	1
1. MEETSTASIES	1
1.1 Die skerpkrui	2
1.2 Die Parshall- en hidromeetgeut	3
1.3 Die crump	4
1.4 Die ogee	5
2. MEETSTASIENETWERK	7
3. DOELSTELLING	8
4. WOORDELYS	9
Hoofstuk 1 - DIE GESKIEDENIS EN ONTWIKKELING VAN DIE RIVIERVLOEIMEETSTASIENETWERK	12
1.1 INLEIDING	12
1.2 DIE GESKIEDENIS VAN DIE MEETSTASIENETWERK	12
1.3 'n ANALISE VAN DIE GROEI VAN DIE MEETSTASIENETWERK	15
1.4 'n ANALISE VAN DIE VERSPREIDING VAN DIE MEETSTASIENETWERK	17
Hoofstuk 2 - BESPREKING VAN DIE HUIDIGE RIVIERVLOEIMEET- STASIENETWERK	19
2.1 INLEIDING	19
2.2 DIE VASSTELLING VAN DIE PRESIESE AANTAL MEETSTASIES	19
2.2.1 Nommeringstelsel	19
2.2.2 Riviervloeiemeetstasies	21
2.3 NETWERKDIGTHEID EN DIE WMO-STANDAARDE	23
2.4 WMO - NETWERKDIGTHEIDSONES: RSA-INDELING	24
2.5 EVALUERING VAN DIE RSA-NETWERKDIGTHEID TEN OPSIGTE VAN DIE WMO-STANDAARDE	26
2.6 OPSOMMING EN GEVOLGTREKKINGS	27

Hoofstuk 3 - DIE FILOSOFIE EN METODIEK VAN NETWERK- BEPLANNING	29
3.1 INLEIDING	29
3.2 DIE BENADERING TOT NETWERKBEPLANNING	30
3.3 TEGNIEKE EN METODES VIR GEBRUIK IN NETWERK- BEPLANNING	32
3.3.1 Die karteringsmetode	32
3.3.2 Die rivier-orderingtegniek	33
3.3.3 Korrelasie	33
3.3.4 Stapelkaart	34
3.3.5 Die metode van Van der Made	37
3.3.6 Die verteenwoordigende of eksperimen- tele opvanggebied	38
3.4 SAMEVATTING EN GEVOLGTREKKINGS	39
Hoofstuk 4 - NETWERKBEPLANNING IN SUID-AFRIKA	41
4.1 INLEIDING	41
4.2 RIGLYNE EN BENADERING	41
4.2.1 Benadering	41
4.2.2 Opvanggebiede	41
4.2.3 Geïntegreerde netwerke	42
4.2.4 Data	42
4.2.5 Fases	43
4.3 DIE EERSTE FASE	44
4.3.1 Die ideale netwerk	45
4.3.2 Meetstasie-evaluasie	46
4.3.3 Klassifikasiekode	49
4.4 DIE TWEDE FASE	55
4.5 GEVALLESTUDIE	56
4.5.1 Toetsopvanggebied	56
4.5.2 Hantering van die gevallestudie	57
Hoofstuk 5 - DIE KOMATIRIVIEROPVANGGEBIED	58
5.1 INLEIDING	58

5.2	BESKRYWING VAN DIE OPVANGGEBIED	58
5.2.1	Ligging	58
5.2.2	Klimaat	58
5.2.3	Landoppervlak	59
5.2.4	Plantegroei en landgebruik	59
5.2.5	Dreinerings en hidrologie	59
5.3	BESPREKING VAN DIE MEETSTASIENETWERK	60
5.3.1	Die ideale netwerk	60
5.3.2	Evaluasie van die huidige netwerk ten opsigte van die ideale netwerk	61
5.3.3	Meetstasie-evaluasie	63
5.4	DIE KLASSIFIKASIEKODES VAN DIE MEETSTASIES	64
5.5	OPSOMMING	65
Hoofstuk 6 - DIE KROKODILRIVIEROPVANGGEBIED		66
6.1	INLEIDING	66
6.2	BESKRYWING VAN DIE OPVANGGEBIED	66
6.2.1	Ligging	66
6.2.2	Klimaat	66
6.2.3	Geologie	66
6.2.4	Landgebruik	67
6.2.5	Afloop	67
6.2.6	Die Elandsrivieropvanggebied	67
6.2.7	Die Kaaprivieropvanggebied	68
6.2.8	Die Bo-Krokodilrivieropvanggebied	68
6.2.9	Die Onder-Krokodilrivieropvanggebied	68
6.3	BESPREKING VAN DIE MEETSTASIENETWERK	69
6.3.1	Gemiddelde jaarlikse aflope	70
6.3.2	Die ideale netwerk	70
6.3.3	Evaluasie van die huidige netwerk ten opsigte van die ideale netwerk	72
6.3.4	Meetstasie-evaluasie	79
6.4	DIE KLASSIFIKASIEKODES VAN DIE MEETSTASIES	83
6.5	OPSOMMING	84

Hoofstuk 7 - DIE SABIERIVIEROPVANGGEBIED	87
7.1 INLEIDING	87
7.2 BESKRYWING VAN DIE OPVANGGEBIED	87
7.2.1 Ligging	87
7.2.2 Klimaat	87
7.2.3 Landoppervlak, landgebruik en plantegroei	88
7.2.4 Dreinerings en afloop	88
7.3 BESPREKING VAN DIE MEETSTASIENETWERK	89
7.3.1 Die ideale netwerk	89
7.3.2 Evaluasie van die huidige netwerk ten opsigte van die ideale netwerk	89
7.3.3 Meetstasie-evaluasie	91
7.4 DIE KLASSIFIKASIEKODES VAN DIE MEETSTASIES	92
7.5 OPSOMMING	92
Hoofstuk 8 - GEVOLGTREKKINGS	94
8.1 INLEIDING	94
8.2 EVALUASIE VAN DIE GEVALLESTUDIES	94
8.3 DIE TOEPASSING VAN DIE METODIEK	94
8.4 GEVOLGTREKKINGS	96
VERWYSINGS	101
BYLAE 1	107
BYLAE 2	111
BYLAE 3	114

WOORD VOORAF

Hierdie werk is opgedra aan my vrou en kinders.

Ek wil ook graag my dank uitspreek teenoor die volgende persone en instansies:

prof. E. Verster, my studieleier vir sy leiding en aanmoediging;

mev. W. F. Behrens vir die taalkundige versorging;

die Departement van Waterwese en Bosbou, vir die toestemming om die inligting uit die ongepubliseerde beplanningsverslae in hierdie verhandeling te gebruik, en finansiële ondersteuning van my studiereis na Nederland, asook die personeel van die Waterwese biblioteek en die GIS-personeel, by name mnr. H. Harka, vir die hulp met die vervaardiging van die kaarte; en

die NZAV, dat hulle dit vir my moontlik gemaak het om die Nederlandse tegnieke op die gebied van netwerkbeplanning te bestudeer deur die nodige reëlings te tref en finansiële ondersteuning.

Maar bowenal wil ek my Skepper dank dat Hy dit alles moontlik gemaak het.

SOLI DEO GLORIA

INLEIDING

Die eerste gedokumenteerde toekenning van 'n siviele ingenieurskontrak aan 'n privaat bouer in Suid-Afrika was vir die bou van 'n waterskema en dateer vanaf 1670 (Departement van Waterwese, 1987). Ene Wouter Mostaert het onderneem om vir die som van 3 000 Rijksdaalders 'n steenmesselwerk aqaduk van die Jan van Riebeek-opgaardam na die oorspronklike vasmeerplek in Tafelbaai te bou. Die voorsiening van vars water en lewensmiddele aan die skepe het hierdie werk dringend noodsaaklik gemaak. Die klein riviertjies is gekanaliseer en opgedam, en die opgegaarde water gebruik vir besproeiing en watervoorsiening.

Hierdie belangrike rol van water het in die verdere verloop van Suid-Afrika se geskiedenis steeds groter en meer kritiek geword. Die behoefte aan gegewens oor die potensieel bruikbare waterbronne het al hoe groter geword. Om in die behoefte te voorsien is daar van die einde van die vorige eeu af begin om orals meetstasies in die land se riviere op te rig.

1. MEETSTASIES

'n Meetstasie is 'n punt in 'n rivierloop waar die watervlak van die rivier oor tyd gemeet word, sodat 'n rekord verkry kan word van die wisselende waterstand met verloop van tyd. Met behulp van 'n struktuur, 'n dam of kleiner keerwal, of deur middel van stroommetings en helling-area-tegnieke kan die gemete watervlak omgeskakel word na 'n vloei (kubieke meter per sekonde, kumek), wat verder omgerek kan word na volumes oor bepaalde tydperke. Oor die jare is waarnemings by heelwat meetstasies gestaak. Die meetstasies word "toe" meetstasies genoem. Oop meetstasies is dan die meetstasies waar tans nog data ingesamel word.

'n Meetstasie kan ook uit 'n kombinasie van meer as een meetpunt bestaan. 'n Goeie voorbeeld is 'n opgaardam waar die hoofmeetpunt die oorloop van die damwal in die rivier is met ander meetpunte daarby, soos beproeiingskanale en pyplyne. By meet-

stasies wat nie damme is nie, word ook soms kanale uitgekeer, of daar is 'n vloed- of stroommetingseksie stroomop of stroomaf. Hierdie ander meetpunte, wat saam met die hoofmeetpunt een hidrologiese balans by die spesifieke punt in die rivierloop uitmaak, word in hierdie verhandeling komponente genoem.

Daar is 'n paar tipiese meetwalstrukture.

1.1 Die skerpkruin



Foto 1. 'n Skerpkruinmeetwal

Foto 1 toon 'n meetwal met vier skerpkruinkepe en 'n v-keep in die middel. Laasgenoemde is hoofsaaklik om groter akkuraatheid te verseker by die meet van baie lae vloeitempo's.

Die skerpkruinstruktuur is die mees algemene struktuur in die RSA. Dit kom ook in kombinasie met hidrometgeute voor. Verder is daar drie variasies, naamlik die "F-sharp"-struktuur waar die hoekysters skerp gemaak is, die Cipoletti waar die kante van die keep nie loodreg is nie en die V-keep soos in die foto.

1.2 Die Parshall- en hidromeetgeut



Foto 2. Die Parshallmeetgeut



Foto 3. Die hidromeetgeut

Foto 2 toon 'n Parshall-meetgeut in 'n kanaal, en foto 3 'n meetwal met twee skerpkruinkepe weerskante van 'n hidromeetgeut.

Die Parshall-meetgeut word hoofsaaklik aangetref in kanale, en kan nie maklik met ander keeptipes gekombineer word nie. Die hidromeetgeut daarenteen kom meer voor in kombinasie met skerpkruine in 'n riviervloeiemeetstasie, en word gebruik om die effek van toeslikking in die stroomoppoel te verminder.

1.3 Die crump



Foto 4. Die crumpmeetwal

Foto 4 toon 'n meetwal wat bestaan uit vyf crumpkepe. Die crumpstruktuur is 'n meer moderne ontwikkeling en die eerste van die strukture is aan die einde van die sewentiger jare in Suid-Afrika gebou. Die struktuur het duidelike voordele en kry ook voorkeur by die bou van nuwe meetstasies. Van die voordele is dat die struktuur minder sensitief vir versuiping en toeslikking van die stroomop-

poel is.

1.4 Die ogee



Foto 5. Die ogee-meetwal

Foto 5 toon 'n meetwal met twee ogee-tipe kepe. Die ogee-struktuur word hoofsaaklik vir damoorlope gebruik. Daar is slegs enkele riviervloeiemeetstasies wat die struktuur gebruik en dan is dit meestal redelike groot meetstasies.

Vir die doeleindes van hierdie verhandeling word slegs gekyk na die meetstasies wat primêre hidrologiese inligting verskaf, en riviervloeiemeetstasies genoem word. Dit wil sê dat die inligting wat daar ingesamel word, gebruik kan word om die natuurlike hidrologiese prosesse van 'n rivier of 'n opvanggebied te modelleer. Daar bestaan heelwat vloeiemeetstasies wat nie hieronder sorteer nie, byvoorbeeld 'n meetstasie in 'n kanaalstelsel wat die verdere onderverdeling van water aan besproeiingsboere monitor.

Die aantal riviervloeiemeetstasies het oor die jare toegeneem tot die 912 wat tans deur die Departement van Waterwese en Bosbou landswyd bedryf word. Die oprigting van meetstasies het op 'n redelike ad-hoc basis plaasgevind. Meetstasies is opgerig om lokale behoeftes te bevredig. Daar is wel gepoog om te sorg dat die meeste groter en belangrike riviere gemonitor word. Met hierdie poging is daar heelwat bestaande strukture, meestal oewerboere se uitkeerwalle tot meetstasies bevorder deur 'n meetplaat of registreerder op te rig en 'n nommer toe te ken. Heelwat van die strukture kan egter moeilik akkuraat gekalibreer word en die vloesiflers van hierdie meetstasies is oor die algemeen nie baie betroubaar nie.

Dit is duidelik dat daar gestreef is na kwantiteit - hoe meer meetstasies hoe beter. Dit is 'n logiese strewe as in ag geneem word dat daar geen inligting beskikbaar was nie. Langbein (1965) het egter reeds gewaarsku teen eensydige gebruik van hierdie filosofie. "The problem faced by the hydrological community cannot be solved effectively by more and more data uncritically collected. Many national data programmes have been guided by the simplistic principle that any increase in the number of data is useful - when in fact it may not be." en verder, "Not only is data increasingly expensive to obtain, but the result may be that the data is not efficiently related to the need - the wrong kind of data in the wrong place at the wrong time."

Ander faktore, behalwe die behoefte aan inligting, begin met verloop van tyd 'n rol speel. Die belangrikste is ongetwyfeld die ekonomie. Die data-insamelingsproses is baie duur en in meeste gevalle is dit nie moontlik om die voordeel van die insameling direk te verdiskonteer nie. Die fondse wat beskikbaar is, is dus die grootste beperkende faktor. 'n Versadigingspunt word bereik en die klem verskuif van kwantiteit na die kwaliteit van die ingesamelde inligting.

Die behoefte wat daar aan inligting bestaan, moet nou opgeweeg word teen kleiner wordende begrotings, praktiese uitvoerbaarheid

en die eise wat aan die akkuraatheid gestel word. Dit is hier waar netwerkbepanning 'n aktiewe rol begin speel.

2. MEETSTASIENETWERK

Daar is verskillende definisies van wat 'n netwerk van meetstasies presies is en behels. Aan die eenkant van die spektrum is daar die definisie van Van der Made (1988) wat as volg lui: "... a measurement network constitutes a set of gauging stations, distributed over an area (or along a line) in such a way that anywhere within that area a value for the variable considered can be determined. In this context an isolated station is in fact a 'network' for its own sphere of influence. But a set of stations, producing values which are independent from one station to the next do not constitute a network."

Die voordeel van hierdie definisie is dat die veranderlikheid van die gesogte waarde verklein word van die totale of natuurlike veranderlikheid na die veranderlikheid van die beraming. Vir gemete waardes is die veranderlikheid gelyk aan die onsekerheid van die meting, en vir waardes wat afgelei word uit ander gemete waardes kom die onsekerheid van die korrelasies en die metode van interpolasie by.

Die nadeel van die definisie is dat dit baie hoë eise en voorwaardes aan die netwerk stel. Dit is meer 'n definisie van die uiteindelijke "ideale" netwerk en van toepassing op "gevoerde" netwerke - netwerke waarvoor daar reeds heelwat statistiese analyses uitgevoer is.

Aan die anderkant is daar Langbein (1960) se definisie: "A network is an organized system for the collection of information of a specific kind." Die definisie omskryf die huidige netwerk in die RSA die beste.

Die netwerk is ook nie staties nie. Soos reeds genoem, is daar verskillende faktore wat 'n invloed op die netwerk het. Oor die

algemeen beweeg die netwerk deur 'n aantal fases. Aanvanklik is daar 'n groeiperiode, waarna daar 'n tydperk van konsolidasie is. Hierna word die netwerk ge-optimiseer en is daar meestal 'n afname in die aantal meetstasies in die netwerk. In hierdie finale fase bereik die netwerk 'n tydelike optimum toestand - die geringste verandering in behoeftes sal egter 'n skommeling veroorsaak. Die veranderinge in die netwerk as gevolg van die verandering in behoeftes is oor die algemeen maar gering. Slegs in uiterste gevalle sal die netwerk groot gedaanteverwisselinge ondergaan.

Soos reeds hierbo genoem, word die riviervloei-meetstasienetwerk ondersoek. Dit is logies om te veronderstel dat die meting van die rivieraflope die doel van so 'n netwerk sou wees. Dit is egter te vaag. Waarvoor word die inligting gebruik? Word slegs die jaarlikse gemiddelde afloop benodig, of word belanggestel in die maandelikse of selfs daaglikse gemiddeldes? Word daar belanggestel in die primêre, sekondêre of tersiêre dreineringsstreek? Die antwoorde op hierdie en ander vrae is van kritieke belang aangesien dit die akkuraatheidsgrense en manier van meting bepaal.

Die doel van die riviervloei-meetstasienetwerk word as volg omskryf: Die meet van rivieraflope in 'n sekondêre opvanggebied op so 'n manier dat 'n maandelikse gemiddelde afloop enige plek in die betrokke opvanggebied, óf gemeet, óf bereken kan word binne aanvaarbare akkuraatheidsgrense.

Netwerkbepanning word dan gedefinieer as die proses om van die huidige netwerk te vorder tot 'n netwerk wat aan bogenoemde definisie voldoen. Sodra die optimale netwerk bereik is, word Netwerkbepanning 'n bestuursproses wat moet verseker dat die netwerk optimaal sal bly.

3. DOELSTELLING

Omdat watertekorte 'n groot probleem in die RSA is, is die meet

van riviervloei deur 'n doeltreffende meetstasienetwerk van uiterste belang. Vir die rede is netwerkbeplanning noodsaaklik om te verseker dat 'n doeltreffende meetstasienetwerk tot stand kom.

Die doel van hierdie verhandeling is om voorstelle te maak vir die benadering tot, en die hantering van die beplanning van die riviervloei meetstasienetwerk in Suid-Afrika.

Die hoofdoelwit impliseer dat daar eerstens vasgestel moet word wat die huidige situasie is. Tweedens sal die tegnieke en metodes wat wêreldwyd beskikbaar is, bestudeer moet word. Verder moet daar dus 'n benadering en metodiek voorgestel word om die beplanning van die riviervloei meetstasienetwerk in Suid-Afrika te doen. Laastens sal die benadering en metodiek getoets moet word op toetsopvanggebiede, alvorens voorgestel kan word om dit algemeen in Suid-Afrika toe te pas.

Om die doelstellings te bereik, word die verhandeling as volg aangebied: In die eerste twee hoofstukke sal 'n oorsig van die geskiedenis en evaluasie van die huidige netwerk gegee word. Die huidige netwerk word slegs ge-evalueer aan die hand van die WMO-standaarde (kyk woordelys) vir minimum netwerkdigtheid. In die twee hoofstukke word die nodige inligting gegee om 'n beeld van die huidige netwerk te kry. Terselfdertyd word enkele probleme reeds uitgelig en bespreek, onder andere in Hoofstuk 2 die keuse van sekondêre opvanggebiede as die standaard afbakening waarin die netwerk telkens ondersoek word.

In Hoofstuk 3 word van die verskillende benaderings tot netwerkbeplanning toegelig en enkele metodes en tegnieke wat toegepas word, word bespreek.

In Hoofstuk 4 word 'n analise van die Suid-Afrikaanse behoefte aan riviervloeddata gedoen, waarna 'n metode van netwerkbeplanning vir Suid-Afrikaanse doeleindes voorgestel word wat in die daaropvolgende hoofstukke in drie sekondêre opvanggebiede in

Oos-Transvaal prakties toegepas word.

4. WOORDELYS

Aflooptabel

Die een-eenduidige hoogte tot vloeiverhouding wat opgestel kan word vir 'n meetstasie, sodat die gemete watervlakke na vloei omgeskakel kan word.

GJA

Gemiddelde jaarlikse afloop in miljoen kubieke meter.

IAHS

International Association of Hydrological Sciences.

Kumek

Kubieke meter per sekonde. Die eenheid vir vloei.

Meetwallimiet

Die hoogste deel van die struktuur van die meetstasie tot waar nog teoreties gekalibreer kan word. Hierdie limiet kan hoër of laer wees as die limiet van die aflooptabel.

Hoër indien probleme soos versuiping dit teoreties onmoontlik maak om bo 'n hoogte wat laer is as die meetwallimiet, te kalibreer. Laer indien die aflooptabel met behulp van byvoorbeeld helling-area-tegnieke bo die meetwallimiet verleng is.

Opvanggebied

Die Departement van Waterwese en Bosbou gebruik die volgende indeling vir Suid-Afrika se opvanggebiede. Die eerste-orde-opvanggebied, of dreineringsstreek, word 'n primêre opvanggebied genoem. Die primêre opvanggebied word onderverdeel in sekondêre opvanggebiede, wat dus tweede-orde-opvanggebiede is.

Versuiping

Versuiping begin wanneer die watervlak stroomaf die hoogte van die laagste keep bereik. Van hieraf het die watervlak stroomaf 'n invloed op wat stroomop van die meetstasie gebeur. Die beheer van die meetstasie op die stroomop-toestande (kontrole) begin afneem.

WMO

World Meteorological Organization.

Hoofstuk 1

DIE GESKIEDENIS EN ONTWIKKELING VAN DIE RIVIERVLOEIMEETSTASIENETWERK**1.1 INLEIDING**

Die doel van hierdie hoofstuk is om die geskiedenis en groei van die meetstasie netwerk te beskryf. Om presies te dokumenteer hoe die netwerk van die eerste meetstasie tot die huidige toestand ontwikkel het, is 'n onbegonne taak. Meeste van die gegewens om die prentjie volledig te maak, het verlore gegaan. Vir die doel van hierdie studie blyk dit die beste te wees om hier en daar 'n greep uit die vorige en begin van hierdie eeu te neem tot daar vaste grond bereik word, vanwaar die groei en verspreiding van die netwerk sinvol bespreek kan word.

1.2 DIE GESKIEDENIS VAN DIE MEETSTASIENETWERK

Ene P. Fletcher (1860) het van 17 November 1858 tot 19 Januarie 1859 watervlaklesings in die monding van die Olifantsrivier (Wes-Kaap) geneem, en terselfdertyd die windrigtings en getye gemonitor. Dit was deel van 'n spesifieke navorsingsprojek om die bevaarbaarheid en die besproeiingspotensiaal van die Olifantsrivier te ondersoek.

In 1877 is daar deur die loop van die jaar 'n groot aantal reënvalmeters by magistratsposte opgerig en baie gegewens is ingesamel (Hydraulic Engineer Cape of Good Hope, 1877). In dieselfde jaarverslag word ook die noodsaak van verdampingsmeting en kwantitatiewe meting van die water in die seisoenale riviere beklemtoon. Dit is dus klaarblyklik tot op die stadium nog nie gedoen nie.

Reeds in 1899 bestaan daar 'n kaart met dreineringsstreke vir die Kaapkolonie, en is opgestel deur F.R. Johnson (1899). Volgens die verklaring op die kaart word alle meetstasies, reënval en riviervloei op die kaart aangedui. Daar was reeds 236 reënvalmeet-

stasies in bedryf. Dit is egter nie moontlik om vanaf die kaart die aantal riviervloei-meetstasies vas te stel nie. Volgens 'n latere verslag (Director of Irrigation, 1905) was daar aan die einde van 1905, 30 riviervloei-meetstasies, waarvan slegs twee se begindatum van waarnemings terug gaan tot voor 1899. Die twee meetstasies was in die Vaalrivier te Kimberley-pompstasie, vanaf 1 Januarie 1891, en in die Breederivier te Robertson vanaf 8 Augustus 1898. Die ander 28 is van 1902 tot 1905 opgerig.

In 1906 word 'n kaart waarop die hidrografiese distrikte en opvanggebiede onder waarneming in die "Transvaal Colony" aangetoon word, gepubliseer (Department of Irrigation and Water Supply, 1906). Die aantal vloei-meetstasies word nie vermeld nie, maar volgens die kaart word hulle deur 21 rooi kolletjies aangetoon. Die reënvalstasies word deur groen kolletjies aangetoon, waarvan daar 85 is.

Die Direkteur van Besproeiing (Director of Irrigation, 1910) rapporteer in 1910 saam met die Meteorologiese Departement, dat daar 260 waarnemers van rivier en reënvalstasies landwyd is. Hoeveel daarvan riviervloei-meetstasies was, word nie vermeld nie. Uit die verslag van 1911 (Director of Irrigation, 1911) kan afgelei word dat daar in 1910, 20 eersteklas riviervloei-meetstasies was. Daar was ook ander meetpunte maar die aantal is nie noukeurig bygehou nie. Die probleem word hieronder meer breedvoerig bespreek. Daar word verder wel gemeld dat sewe nuwe meetwalle gebou is, waarvan drie in die gebied in die Oos-Transvaal wat in Hoofstukke 5 tot 7 in meer besonderhede ondersoek sal word. Die drie is Komatirivier te Hoogenoeg, Sabie- en Klein-Sabierivier te Sabievalle. Aldrie word tans nog bedryf.

In Bylae 1 word 'n opsomming gegee van die gegewens soos dit in die jaarverslae van die Departement van Besproeiing (Director of Irrigation, 1929-1956; Direkteur van besproeiing, 1957, 1958, 1959); Departement van Waterwese (Sekretaris van Waterwese, 1960-1962, 1963, 1964, 1965, 1966-1970, 1971, 1975, 1976); Departement van Waterwese (1972, 1973, 1974, 1977, 1978, 1979); Departement

van Waterwese, Bosbou en Omgewingsbewaring (1980, 1981); en Departement van Omgewingsake (1982, 1983, 1984) opgeteken is.

Daar is heelwat gapings in die rekords en dit is ook duidelik dat nie van al die meetstasies rekenskap gegee is nie. Om presies te gaan vasstel wat die toedrag van sake was, is 'n navorsingsprojek op sy eie en val buite die bestek van hierdie verhandeling. Met behulp van 'n paar veralgemenings en korreksies kan tog 'n goeie prentjie van die tendense in die groei van die netwerk geskilder word.

Die volgende is 'n paar probleme waarmee rekening gehou moet word: Om te kan vergelyk, moet in ag geneem word dat daar tans geen onderskeid gemaak word sover dit die doel van 'n bepaalde meetstasie aangaan nie. As dit kwantitatief water meet, word 'n H-nommer, of R-nommer vir damme en mere toegeken, ook waar slegs watervlakke gemeet word wat nie na vloei of volumes omgeskakel kan word nie. Die totale aantal meetstasies wat tans in bedryf is, sluit dus al die verskillende tipes in. Omdat daar in vroeëre jare wel onderskeid gemaak is, sal die verskillende totale dus gesommeer moet word om 'n vergelyking moontlik te maak.

Die onderskeid wat gemaak is, het deur die jare verander. Daar word verslag gedoen van eersteklas vloei meetstasies, ander stasies, laagvloei meetstasies, en meetstasies met of sonder strukture. Dan duik daar weer 29 meetstasies op wat spesiaal in die dolomietiese streke opgerig is vir die monitering van die lewering van fonteine en oë. Dié meetstasies word soms by die groottotaal gereken en in ander gevalle nie.

Stasies is opgerig vir 'n spesifieke doel en slegs die oprigting word vermeld en dan verdwyn die meetstasies weer van die toneel sover dit die verslaggewing aangaan. Aangesien die meetstasies in meeste van bogenoemde gevalle bly voortbestaan het, is hulle later in die nuwe nommerstelsels opgeneem en ontstaan onverwags skielike toenames in die totale. Om hierdie spronge ietwat te verdoesel is korreksies aangebring. Hierdie korreksies is

arbitrêr maar geregverdig, en word in meer besonderhede in Bylae 1 toegelig.

Verder blyk dit ook uit verslae dat Sirkel Ingenieurs op eie inisiatief meetpunte kon oprig en monitor buite die hoofnetwerk. Van die oprigting en sluit van hierdie meetpunte is nie volledig rekord gehou nie. Soms word slegs vermeld dat daar 'n aantal van die meetpunte opgerig is. Die werklike aantal meetpunte is dus onbekend.

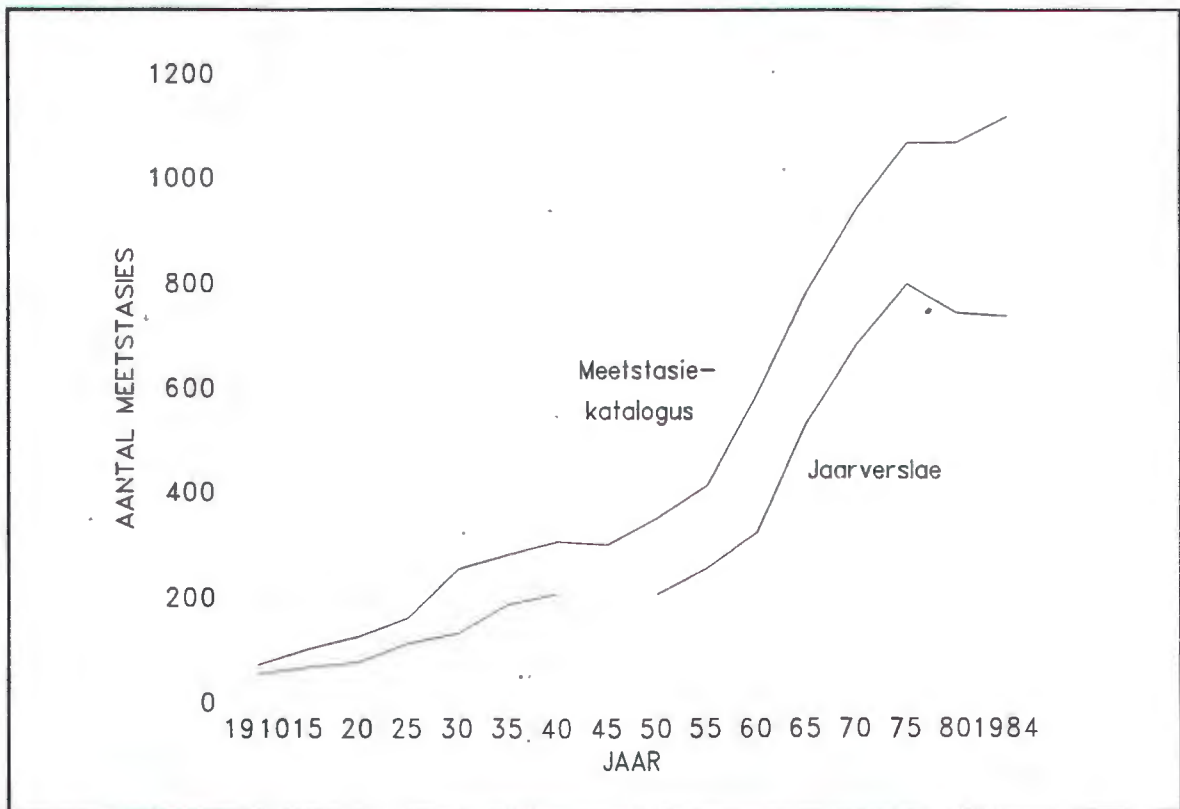
1.3 'n ANALISE VAN DIE GROEI VAN DIE MEETSTASIENETWERK

Daar is twee benaderings gevolg om die groei van die netwerk oor die jare vas te stel. Eerstens is die jaarverslae in die argief deurgewerk en die resultate is in Bylae 1, kolom 2 en 3 opgesom. Tweedens is die bestaande stasiekatalogus op die databanke van die Direktoraat Hidrologie ook deurgewerk. Die aantal oop meetstasies op 31 Maart van elke jaar is getel en word opgesom in Bylae 1, kolom 6. Die spesifieke datum is gekies om saam te val met die jaarverslae wat strek van 1 April tot 31 Maart van die volgende jaar.

Die verskil in die resultate van die twee benaderings laat vrae ontstaan. Soos reeds genoem, is nie al die meetstasies in die jaarverslae opgeneem nie en alhoewel daar 'n korreksie aangebring is, is daar nog 'n groot verskil in die totale. Veral in 1930 waar die totaal volgens die meetstasiekatalogus nagenoeg twee keer meer is as die totaal uit die jaarverslae. Hierdie gaping bly min of meer konstant tot 1975.

Die einddatums van waarneming van stasies soos in die stasiekatalogus opgeteken, is ook nie altyd akkuraat nie. Baie stasies was lankal nie meer in bedryf nie maar die amptelike dokumentasie daarvan is eers baie later afgehandel. Dit verklaar ook heelwat sogenaamde gapings in die datarekords van die betrokke meetstasies in die datakatalogus.

Oor die algemeen moet egter meer waarde aan die resultate van die databankondersoek geheg word, al is dit met voorbehoude. Die huidige nommerstelsel maak dit moeilik om 'n werklik getroue beeld te kry. Meetstasies wat die toevoer van rouwater na rioolwerke monitor of die skoonwater wat gelewer word, of die verdere onderverdeling van water in verskillende besproeiings- en kanaalstelsels ensovoorts, het hoegenaamd geen betekenis vir hidrologiese ondersoeke nie. Laasgenoemde probleem sal in Hoofstuk 2 meer aandag kry.



Figuur 1.1

Die groei van die vloei-meetstasienetwerk

Altwee ondersoeke gee egter wel dieselfde tendense in die groei van die netwerk weer (fig. 1.1). Die groei was aanvanklik maar traag, waarskynlik as gevolg van 'n gebrek aan fondse. Vanaf 1955 was daar egter 'n vinnige uitbreiding. Die tendens het voortgeduur tot die laat sewentiger jare. Ekonomiese faktore

begin dan waarskynlik weer 'n groot rol speel en die groei van die netwerk neem vinnig af tot waar dit die laaste paar jaar feitlik nie meer toeneem nie, maar selfs afneem.

Die groei volgens die stasiekatalogus in die laaste jare is waarskynlik as gevolg van herorganisasie en hernommering, een van die probleme wat onder 1.2 reeds verduidelik is.

1.4 'n ANALISE VAN DIE VERSPREIDING VAN DIE MEETSTASIENETWERK

Daar is nog 'n belangrike aspek van die netwerk wat ondersoek moet word om die geskiedkundige prentjie volledig te maak, en dit is die geografiese verspreiding van die meetstasies. Aangesien dit nie moontlik is om dit met behulp van die jaarverslae te doen nie, word dié analise van die stasiekatalogus as riglyn gebruik. Die resultate word opgesom in Bylae 2, en visueel weergegee in figure 1.2 tot 1.17.

Van 1910 tot ongeveer 1955 versprei die netwerk na al hoe meer opvanggebiede. Slegs enkele opvanggebiede het digthede wat duidelik hoër is as die res. Die verspreiding is duidelik in lyn met die ad hoc-"netwerkbepanning" van die jare. Daar is gepoog om in die meeste riviere meetpunte te vestig, en prioriteit is op grond van plaaslike belange toegeken.

In die tydperk 1955 tot 1970 is daar 'n geweldige toename van die netwerkdigtheid in enkele opvanggebiede, terwyl die verspreiding van die netwerk nog wel aandag kry, maar nou 'n meer ondergeskikte rol speel. Watertekorte, of geprojekteerde tekorte, vloede en waterkwaliteit in sensitiewe, en nasionaal belangrike opvanggebiede soos A2 (Krokodilrivier, Wes-Transvaal) en C2 (Middel-Vaalrivier), waar die PWV-gebied geleë is, vestig die aandag op die gebiede.

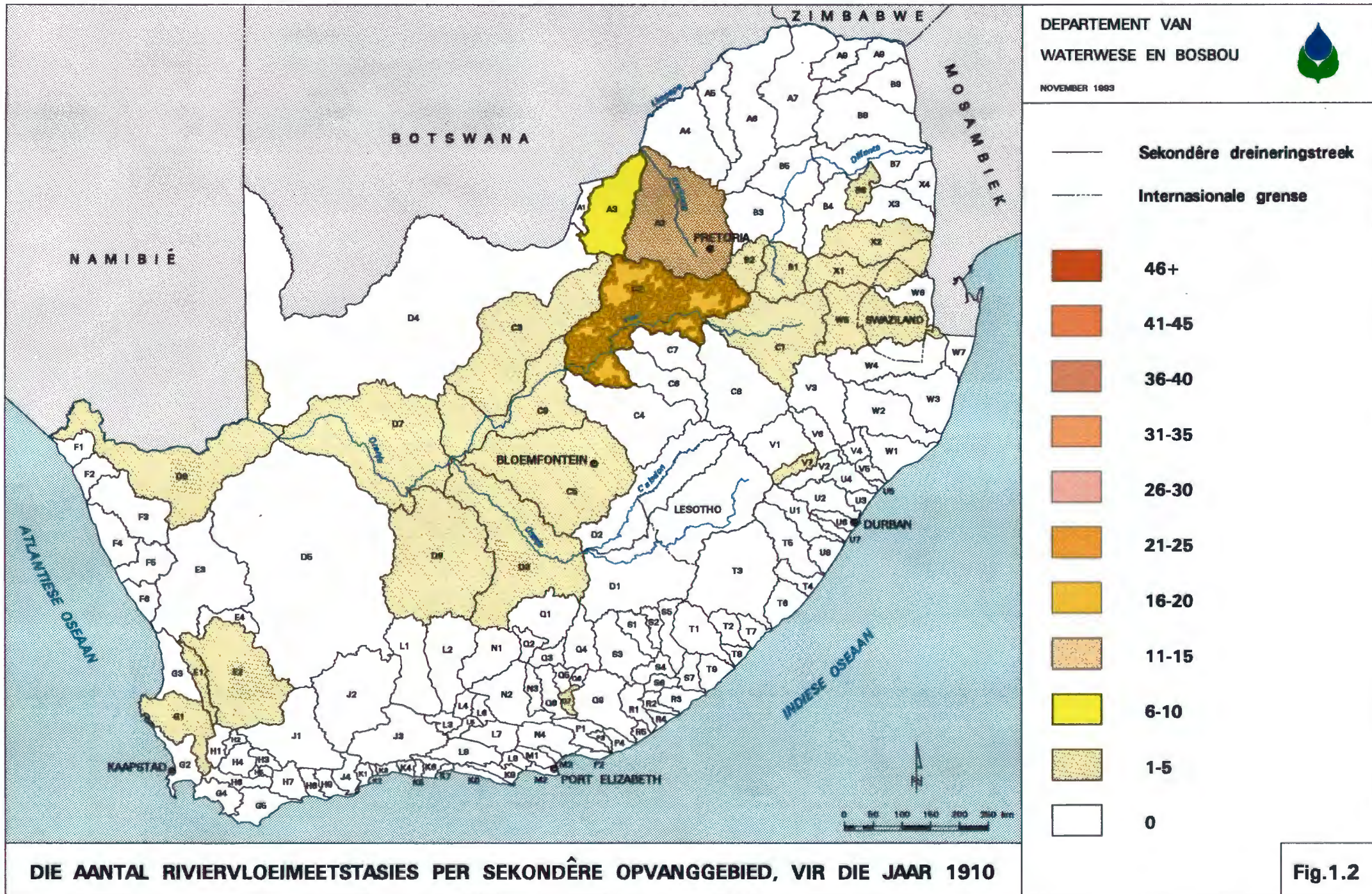
Na 1970 is daar verder min uitbreiding na opvanggebiede wat nog nie voorheen gemonitor is nie. Die digtheid in meer opvanggebiede toon 'n toename, met dié dat die faktore wat in die

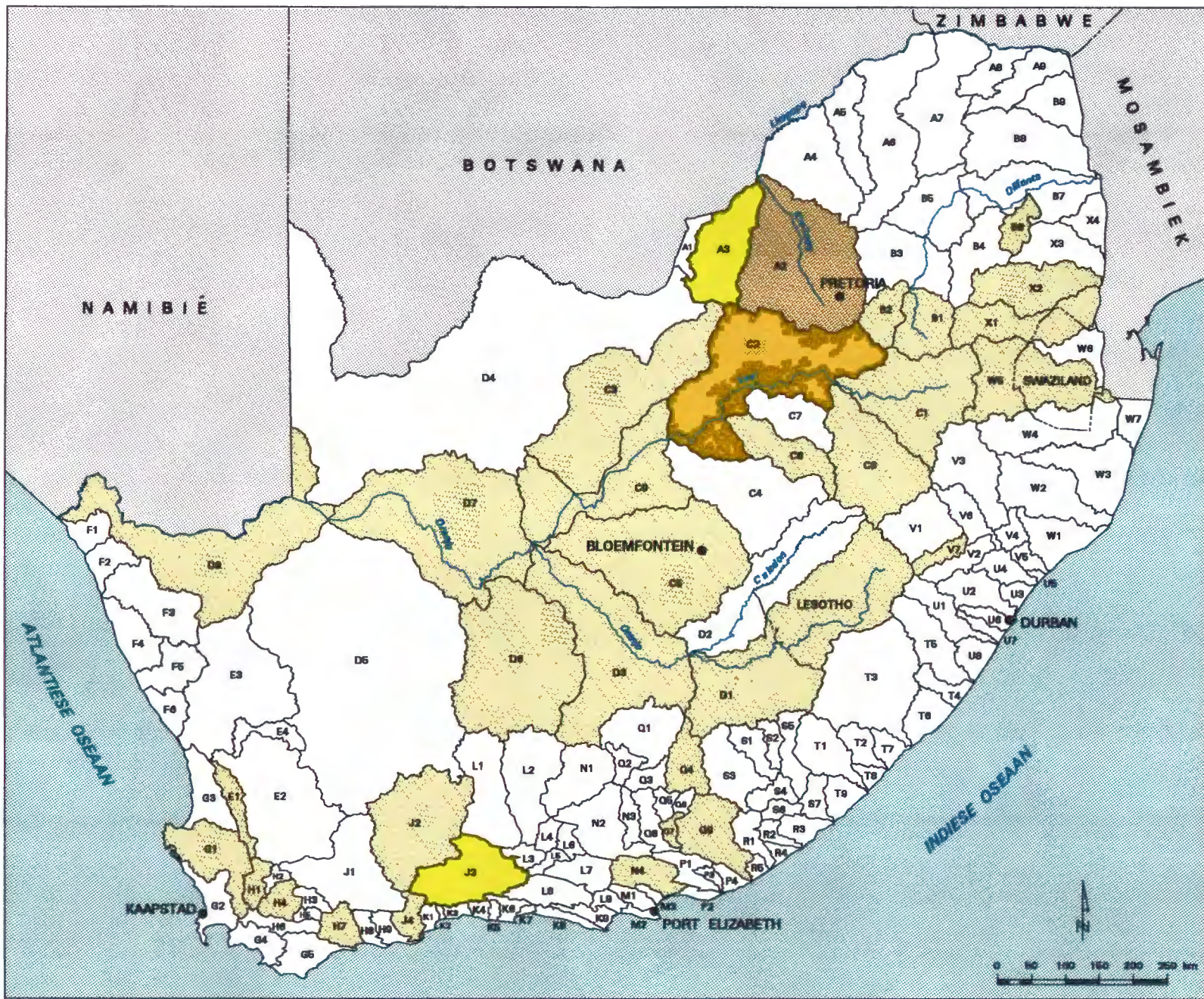
vorige paragraaf genoem is ook daar van belang word.

Die Oranje-Vaal-opvanggebied (D- en C-dreineringsstreek respektiewelik) kry van die begin af die meeste aandag, terwyl die X-dreineringsstreek (Incomatirivier) dit in 'n mindere mate kry. In 1915 tree die J-dreineringsstreek (Gouritsrivier) ook op die voorgrond, en handhaaf die posisie regdeur as gevolg van die hoë digtheid wat die streek reg van die begin af gehad het. Waarskynlik is dit as gevolg van lokale belange, veral politiese belange. Die J3-opvanggebied (Olifantsrivier) is 'n goeie voorbeeld hiervan.

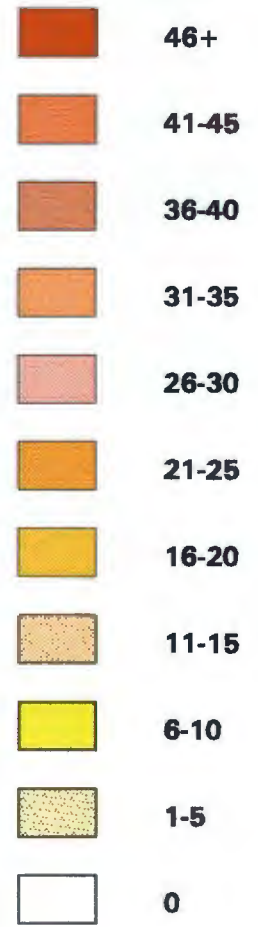
Die Oos-Kaapstreek (L-, N- en Q-dreineringsstreek) begin van 1920 af ook al hoe meer aandag kry. Vanaf 1940 kom die res van die Laeveld, die opvanggebiede in die B-dreineringsstreek (Olifantsrivier), ook onder die soeklig, asook Natal na 1950 met die klem op die Umgeni- (U2-opvanggebied) en die Tugelariviere (V-dreineringsstreek). Soos reeds genoem, word die A2- en C2-opvanggebiede na 1955 baie belangrik, maar ook die G- en H-dreineringsstreek in die Wes-Kaap tree dan sterk na vore. In 1984 is die belangrikste opvanggebiede, na aanleiding van die aantal meetstasies, soos volg: A2, A3 en A6, die hele C-dreineringsstreek (behalwe C4), G-, H- en V-dreineringsstreek en U2-, X1-, X2- en X3-opvanggebiede. Die J- en Q-dreineringsstreek neem 'n tweede plek in (kyk fig. 1.17).

Dit is ook interessant om daarop te let dat die Weskusgebiede hoegenaamd geen aandag gekry het nie. Na 1960 is daar ook 'n groot aantal meetstasies in die D4- en D5-opvanggebiede (Oranje-rivier) opgerig wat 'n baie droë streek met 'n lae bevolkingsdigtheid is. Die waterryke K-dreineringsstreek (Suid-Kaap) kry ook eers na 1960 meetstasies. 'n Moontlike verklaring is dat daar soveel water was dat niemand enige sorg gehad het nie. 'n Laaste opmerking is die skielike toename in 1975 in die C1-, C8-, D1-, D2- en D3-opvanggebiede. Hierdie toename kan waarskynlik aan die vloed van 1974 toegeskryf word. Die digtheid in die D1- en D2-opvanggebied neem later egter weer af.



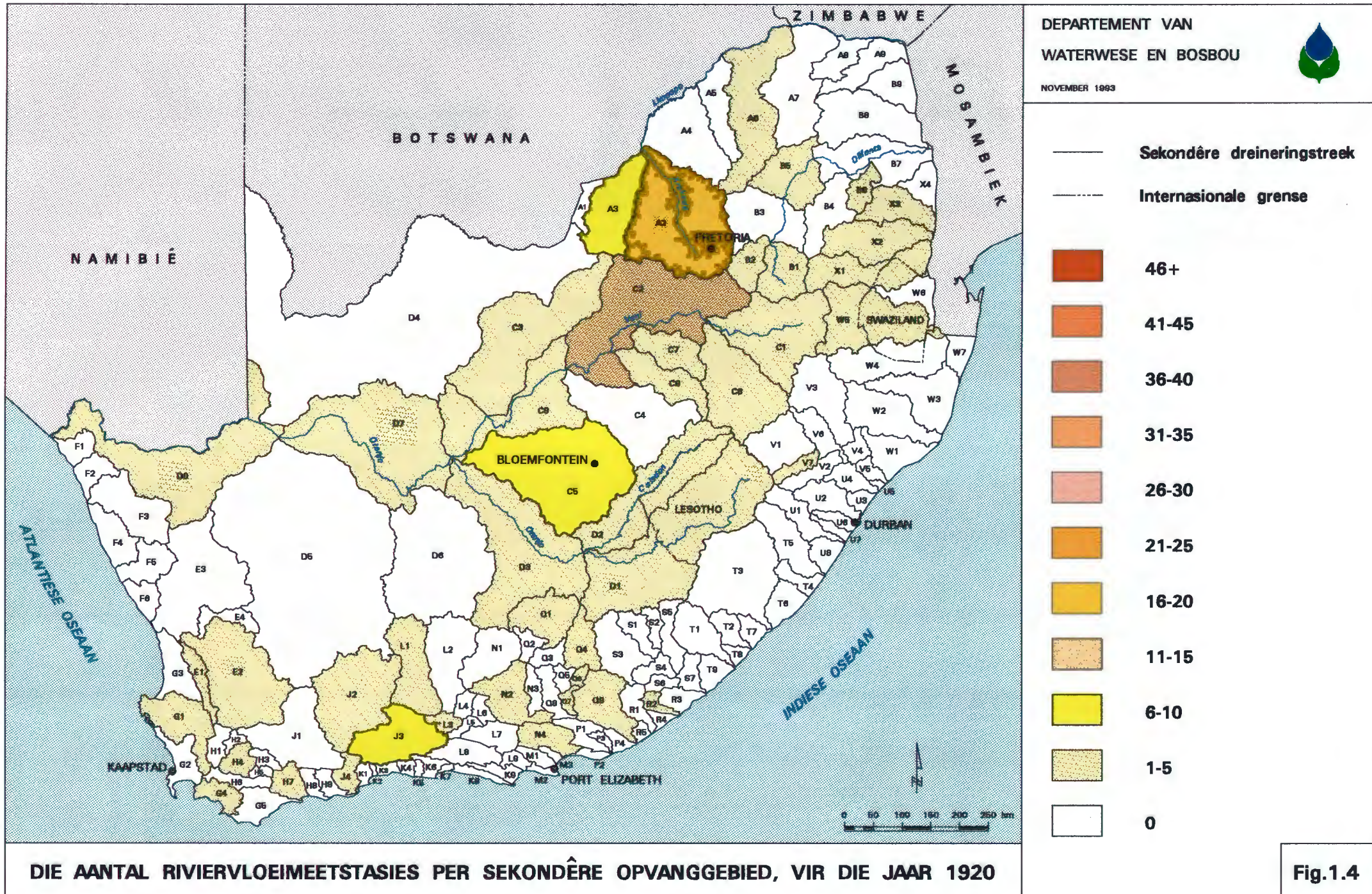


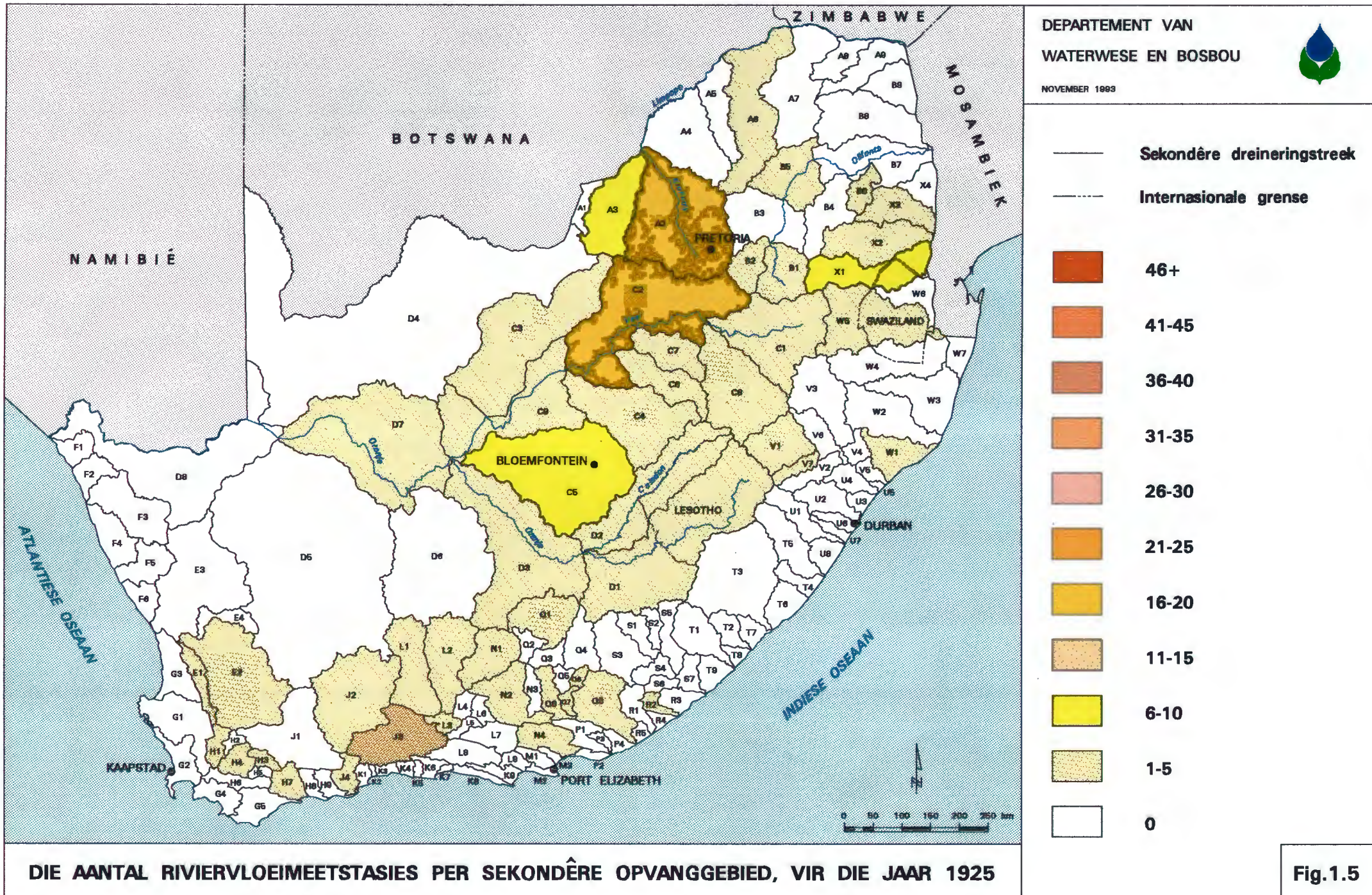
— Sekondêre dreineringsreek
 - - - Internasionale grense

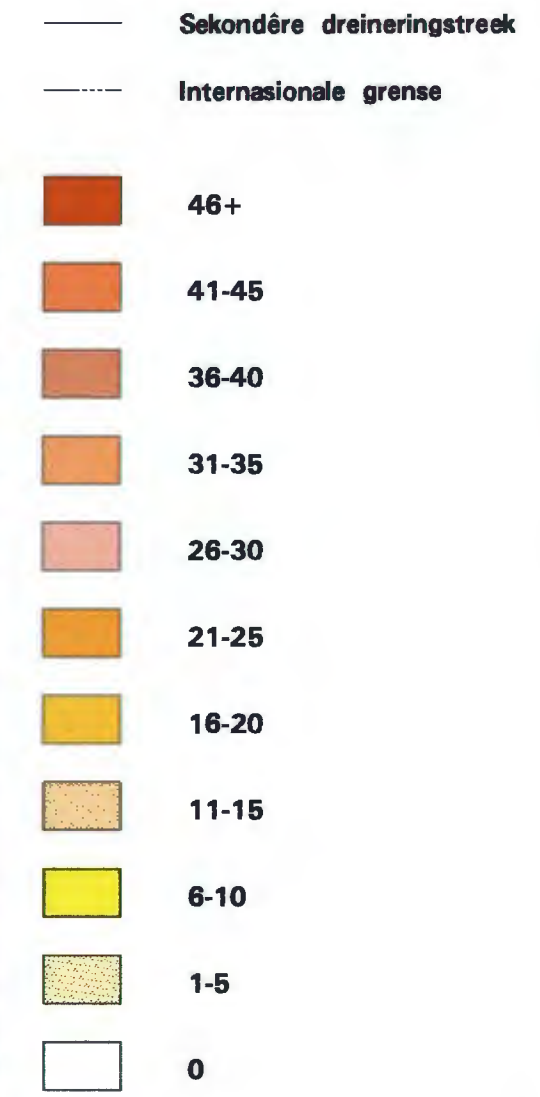
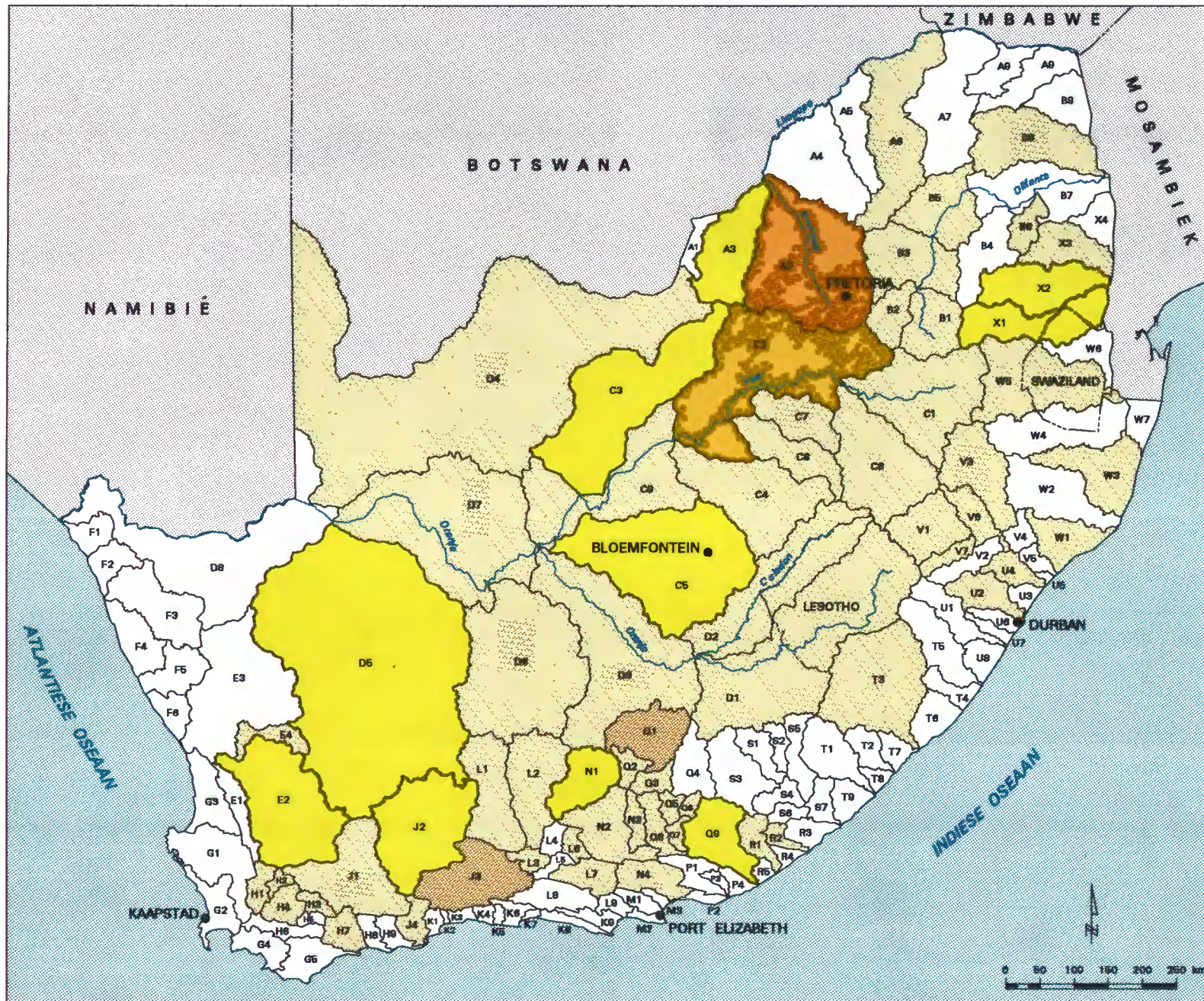


DIE AANTAL RIVIERVLOEIMEETSTASIES PER SEKONDÊRE OPVANGGEBIED, VIR DIE JAAR 1915

Fig.1.3

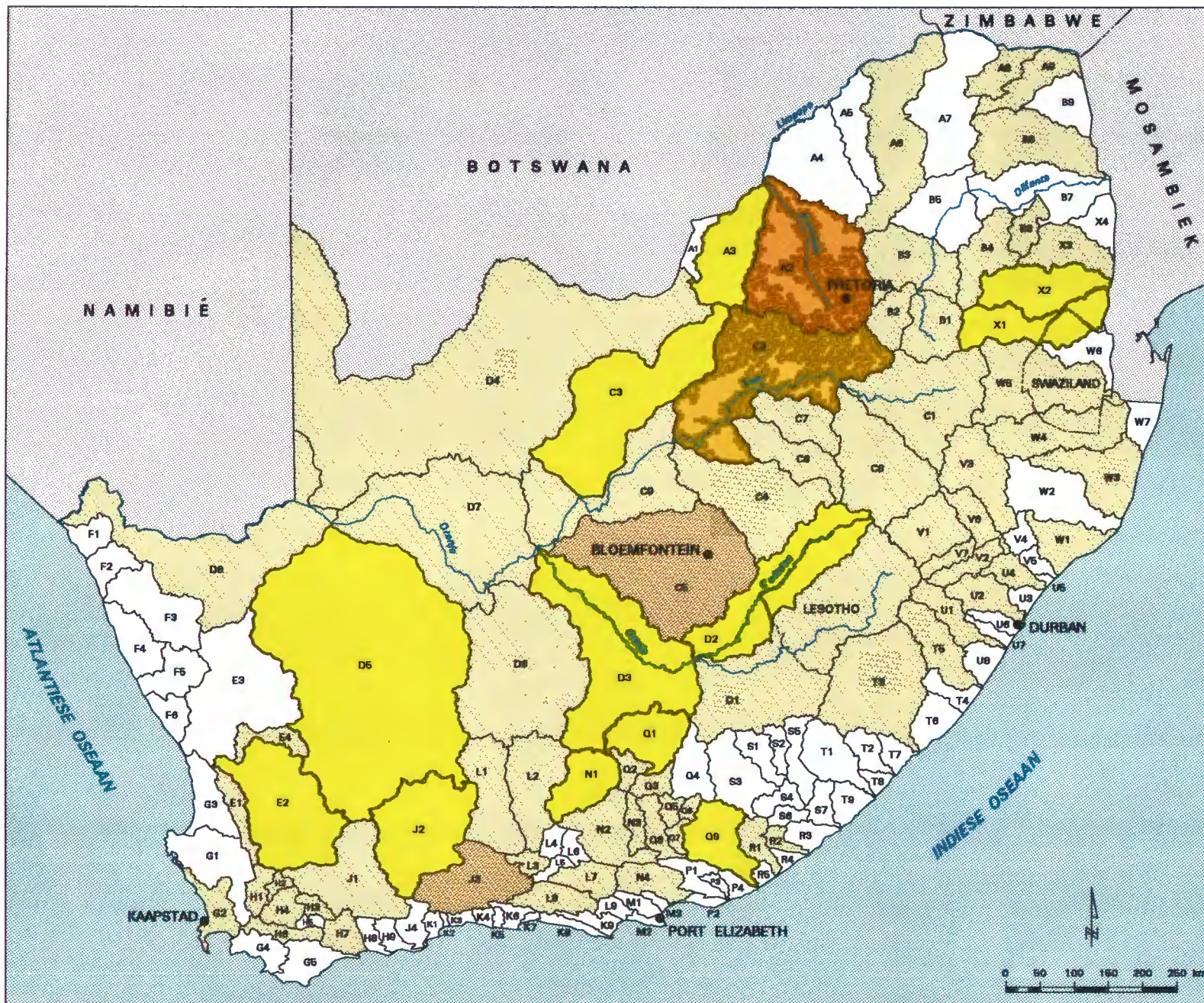






DIE AANTAL RIVIERVLOEIMEETSTASIES PER SEKONDÊRE OPVANGGEBIED, VIR DIE JAAR 1930

Fig.1.6

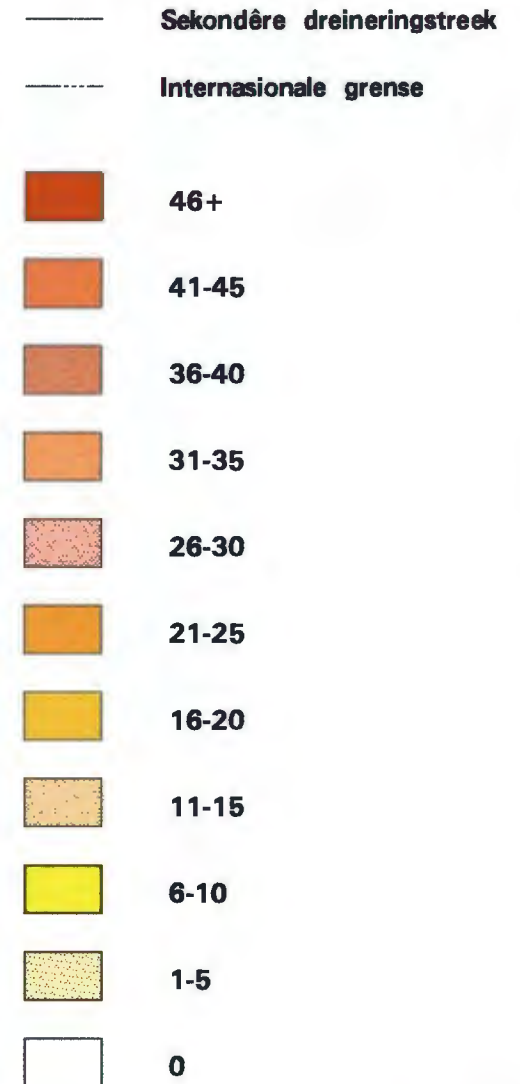
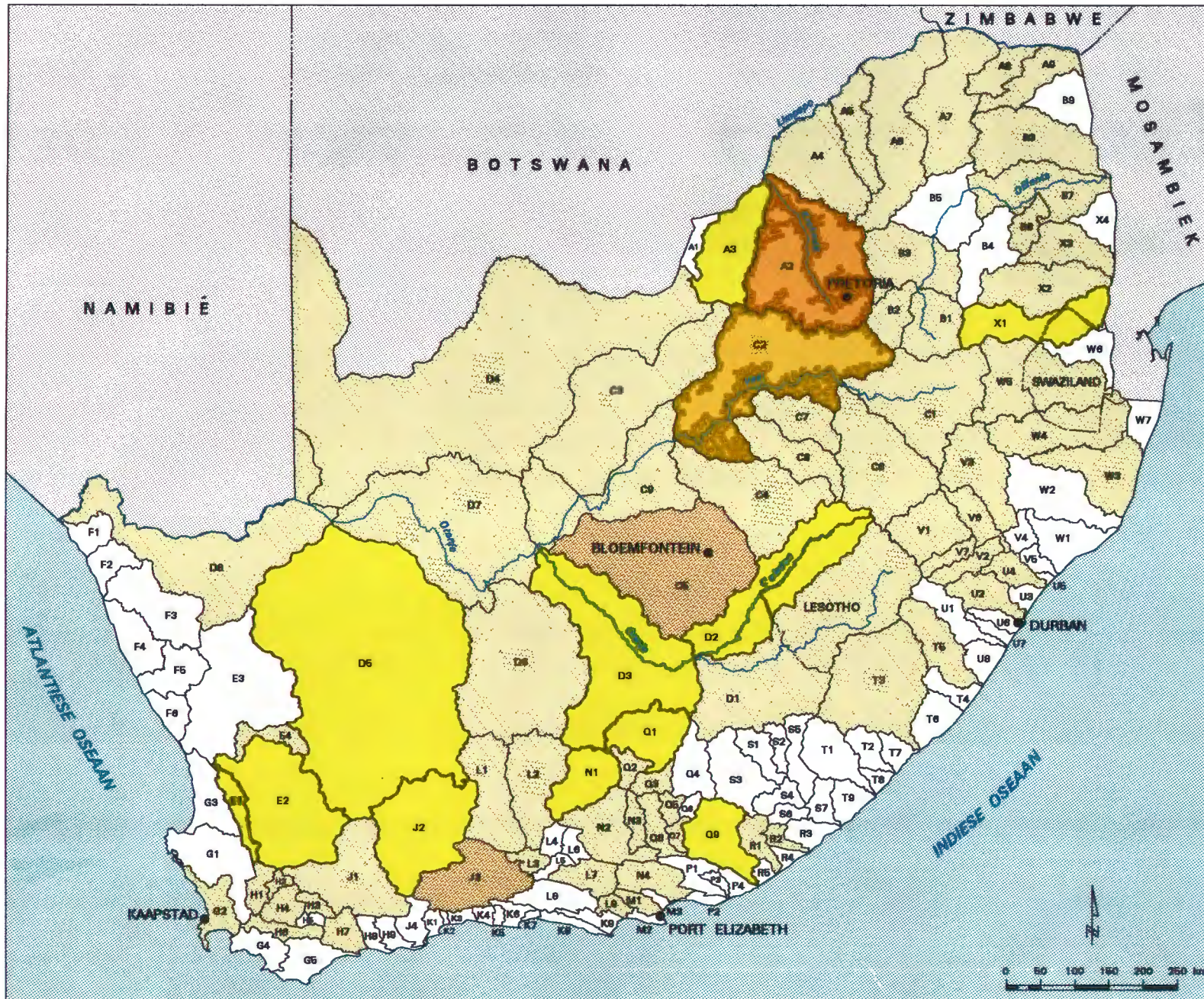


DIE AANTAL RIVIERVLOEIMEETSTASIES PER SEKONDÊRE OPVANGGEBIED, VIR DIE JAAR 1935

Fig.1.7



NOVEMBER 1983



DIE AANTAL RIVIERVLOEIMEETSTASIES PER SEKONDÊRE OPVANGGEBIED, VIR DIE JAAR 1940

Fig.1.8

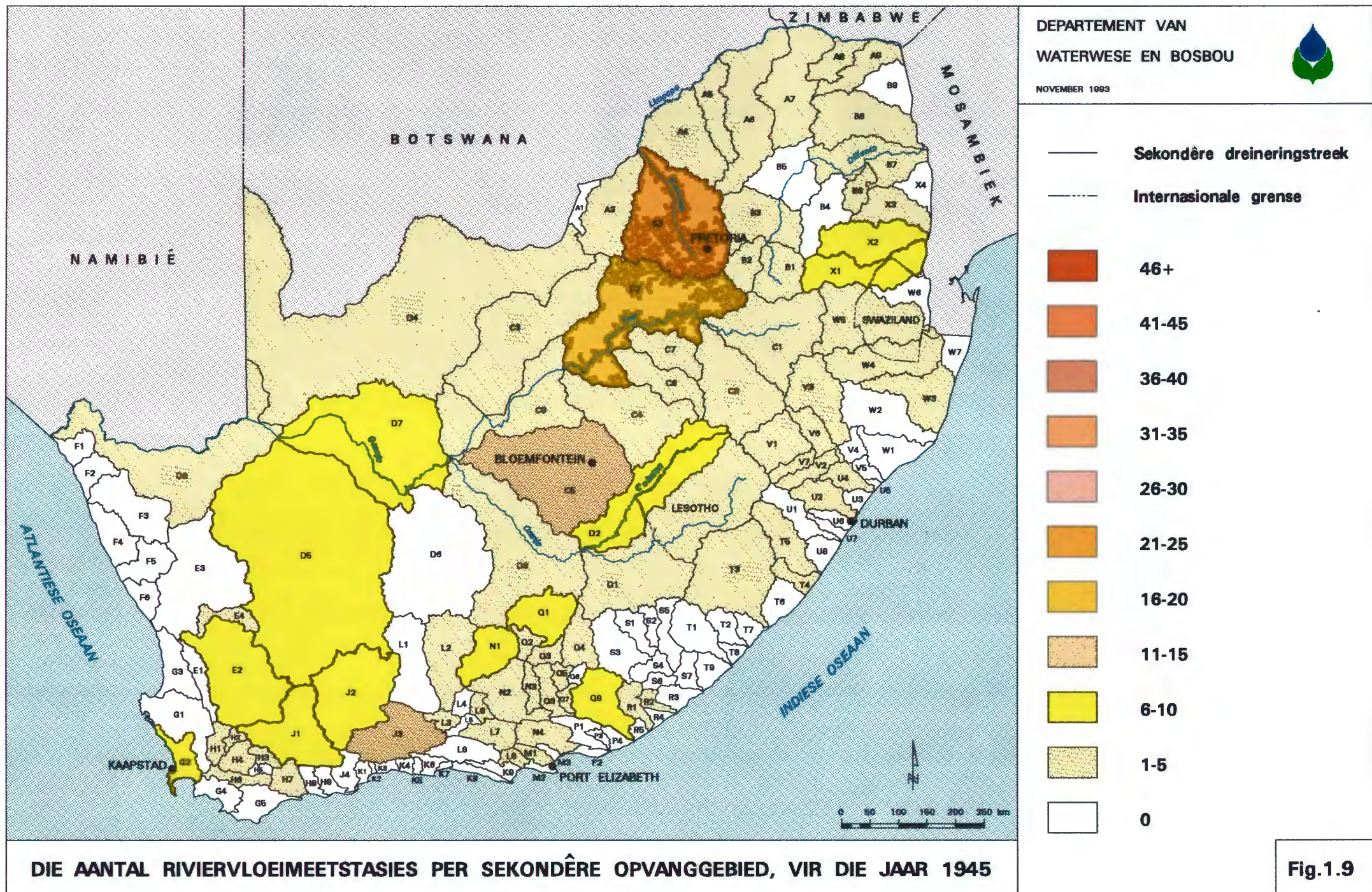
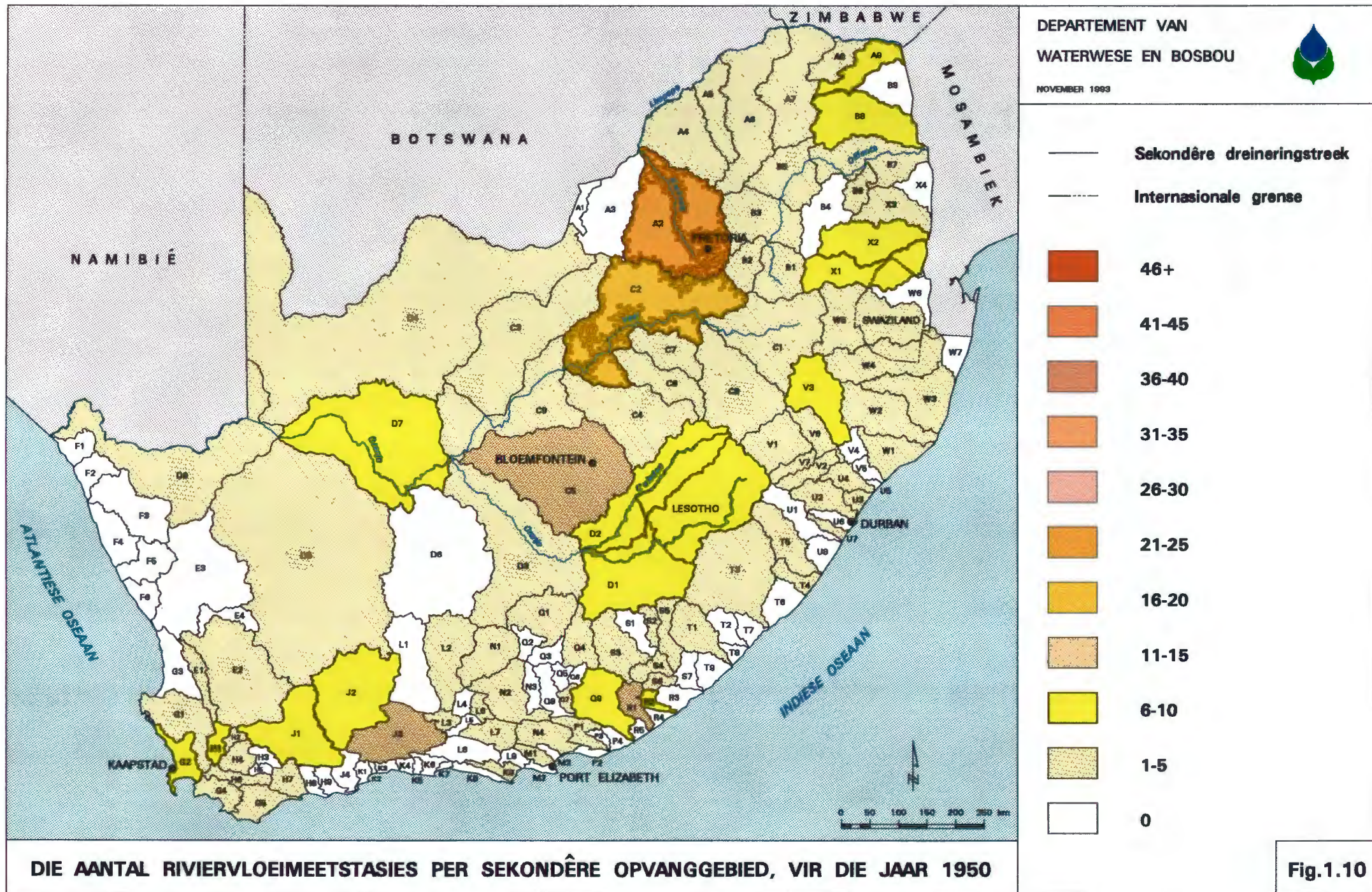
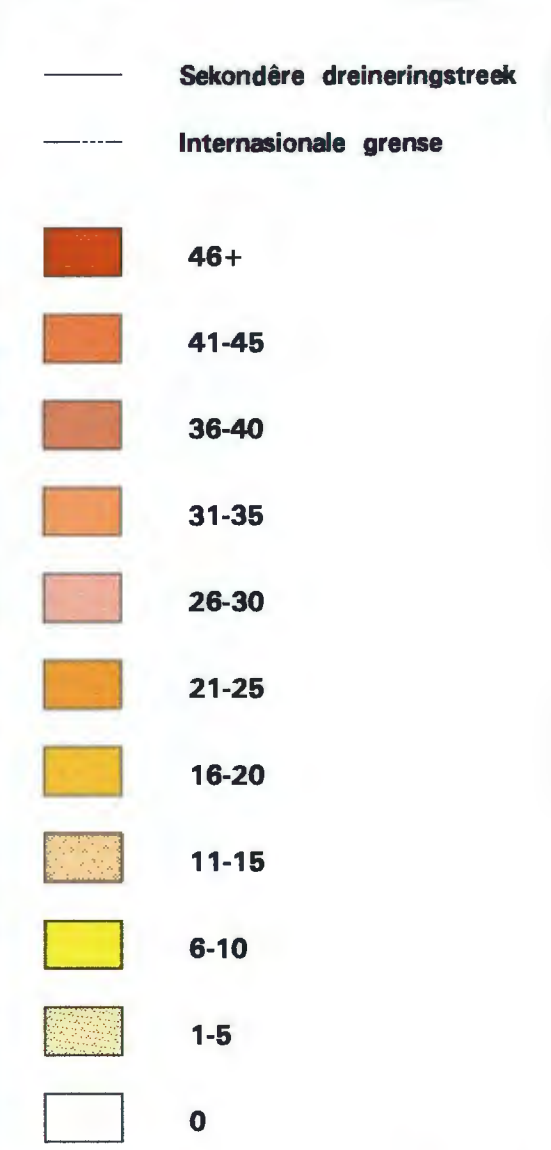
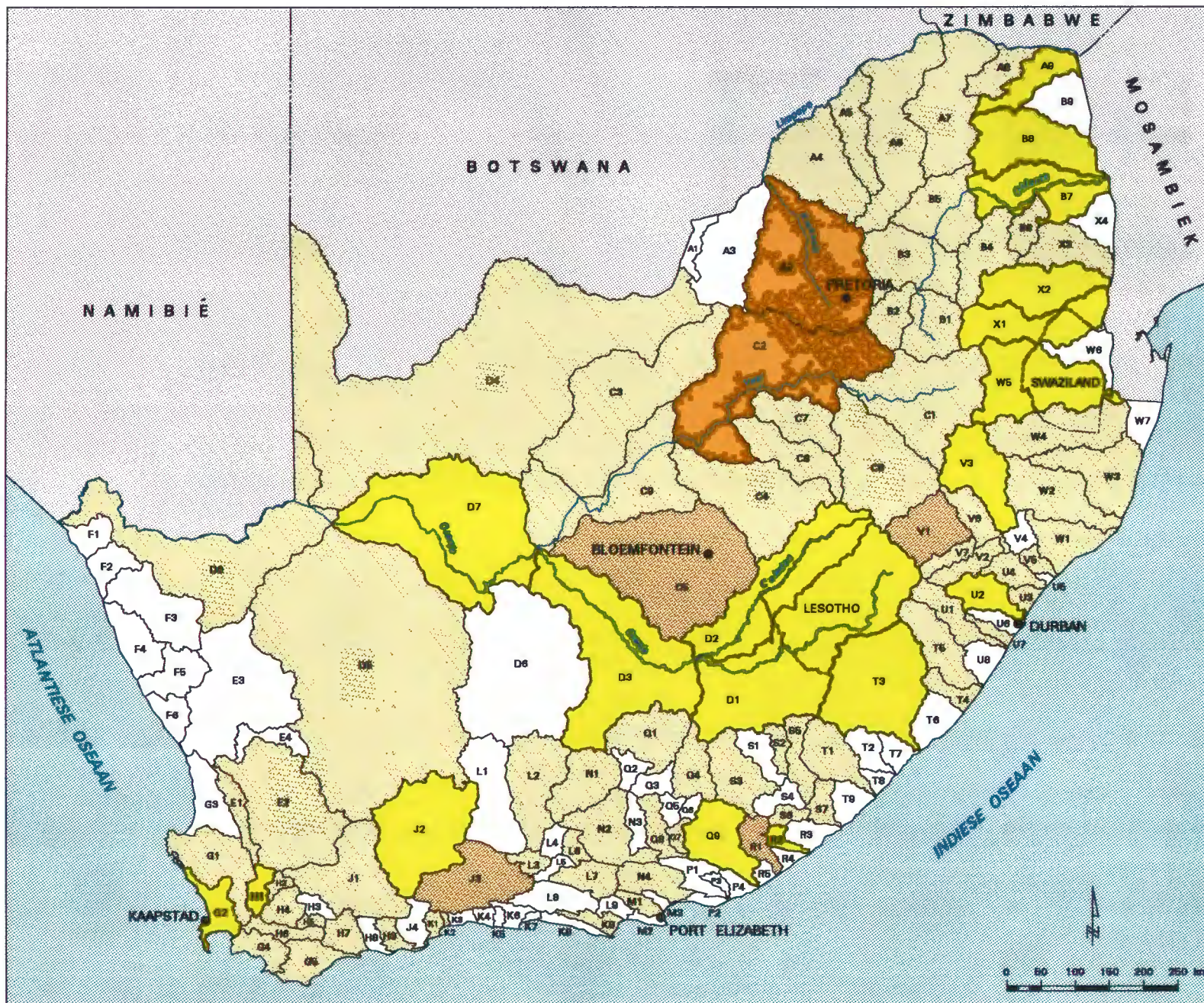


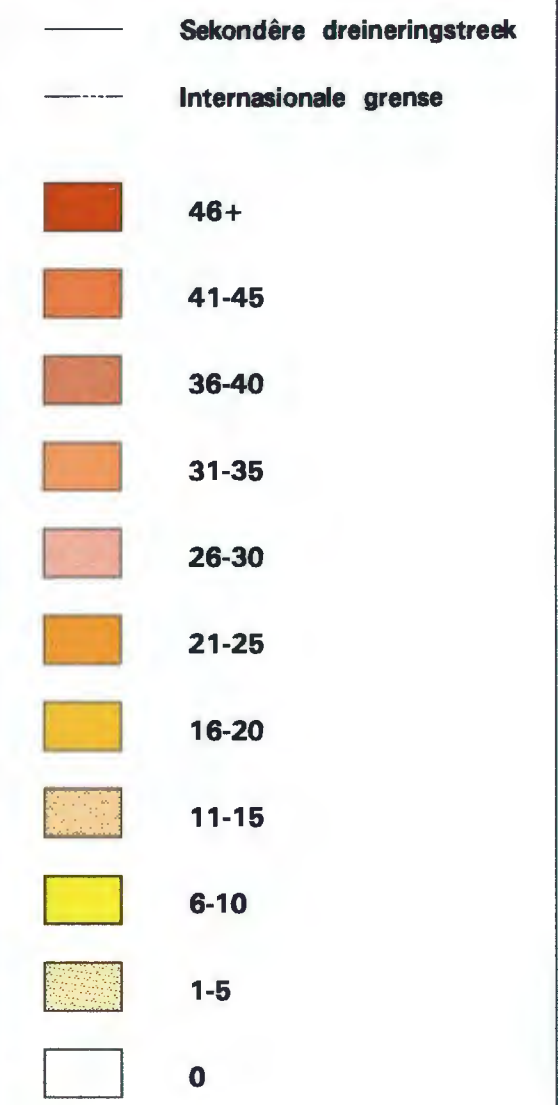
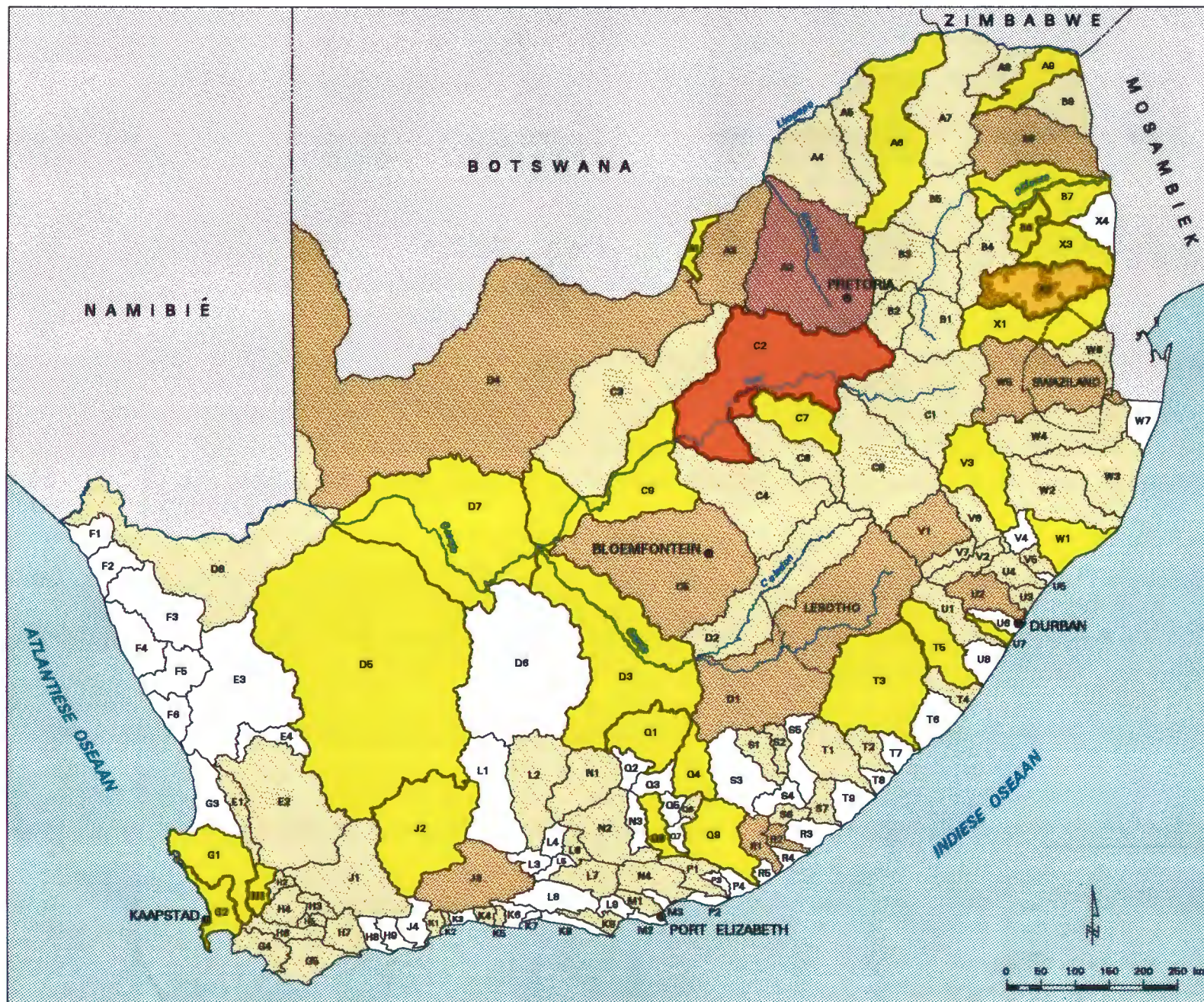
Fig.1.9





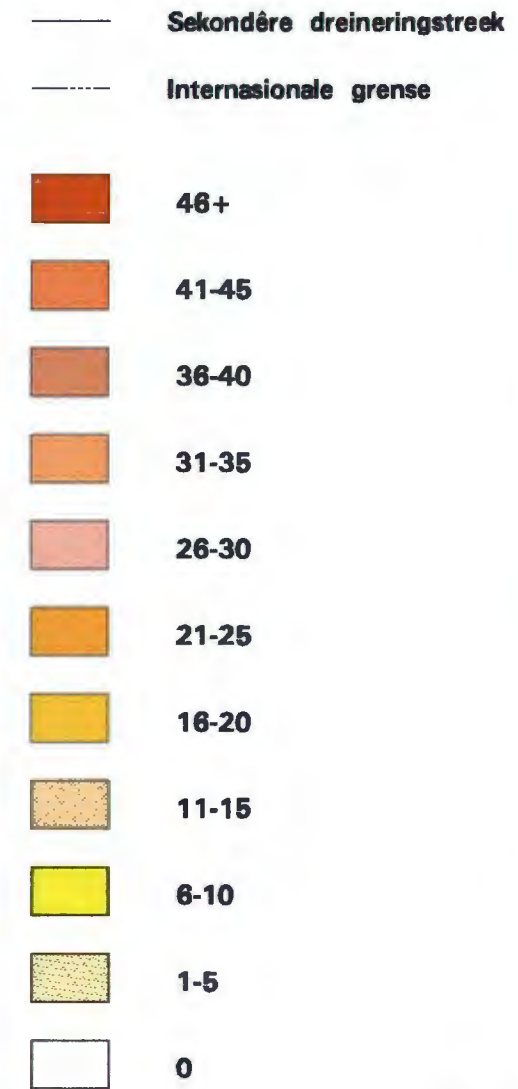
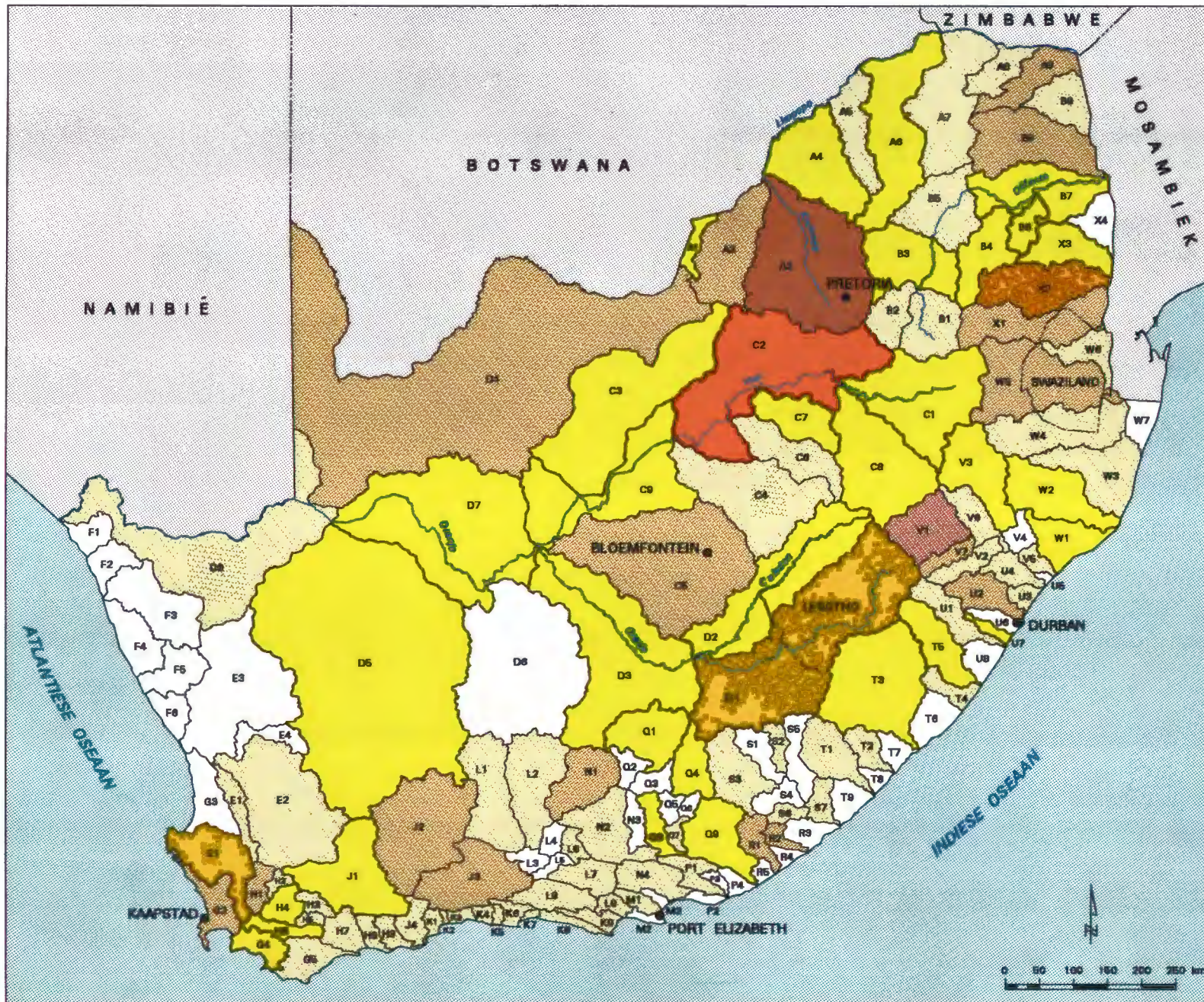
DIE AANTAL RIVIERVLOEIMEETSTASIES PER SEKONDÊRE OPVANGGEBIED, VIR DIE JAAR 1955

Fig.1.11



DIE AANTAL RIVIERVLOEIMEETSTASIES PER SEKONDÊRE OPVANGGEBIED, VIR DIE JAAR 1960

Fig.1.12

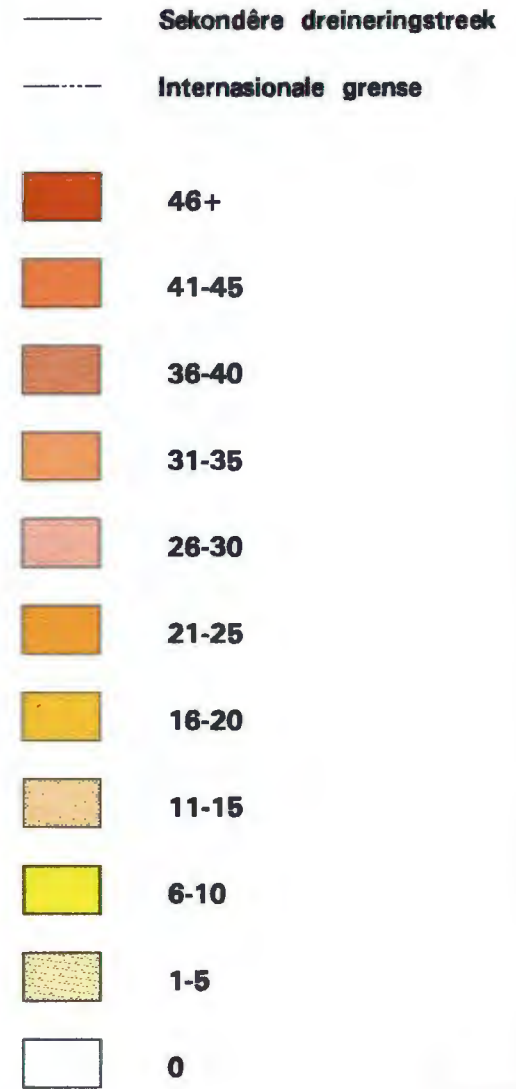
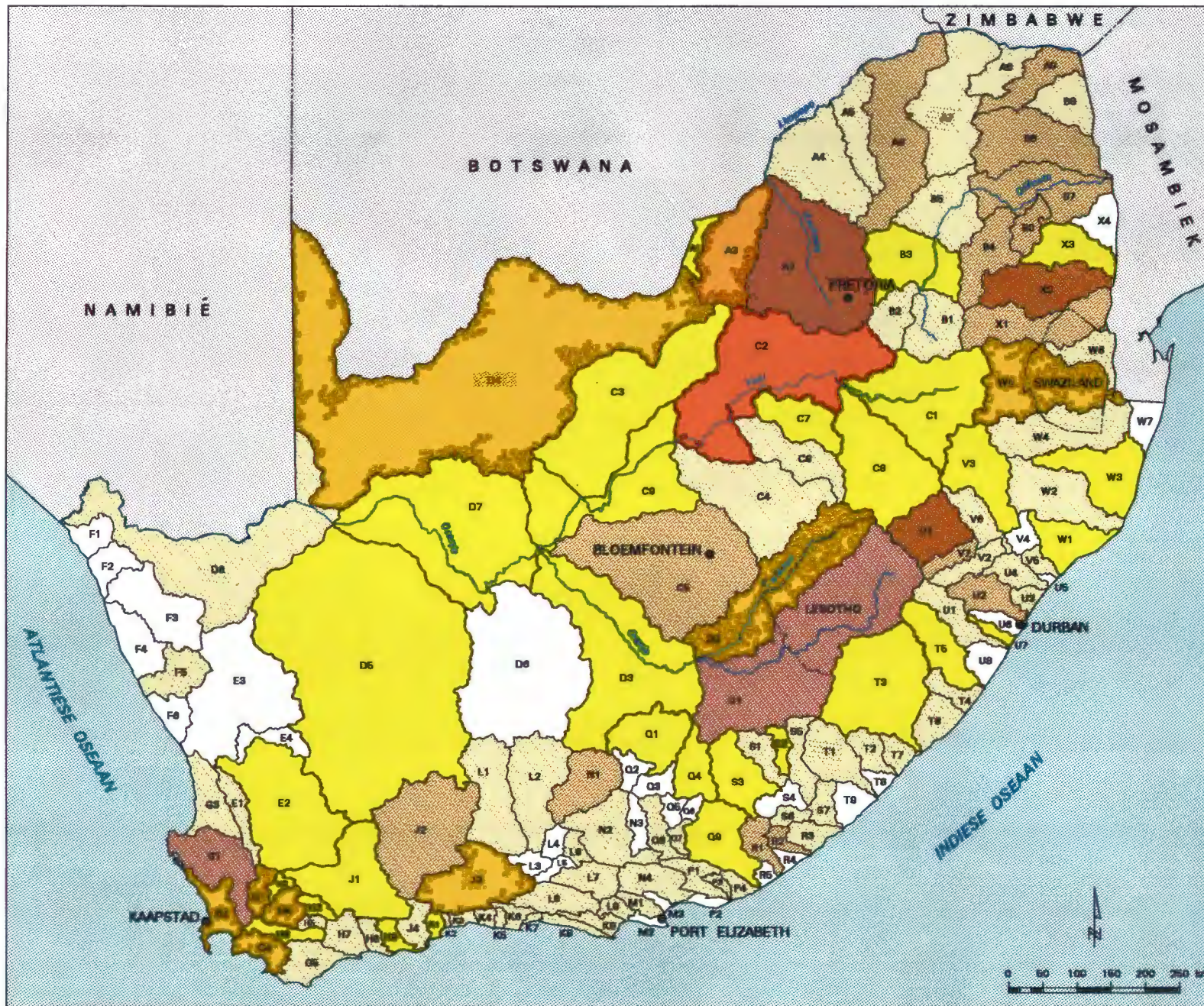


DIE AANTAL RIVIERVLOEIMEETSTASIES PER SEKONDÊRE OPVANGGEBIED, VIR DIE JAAR 1965

Fig.1.13

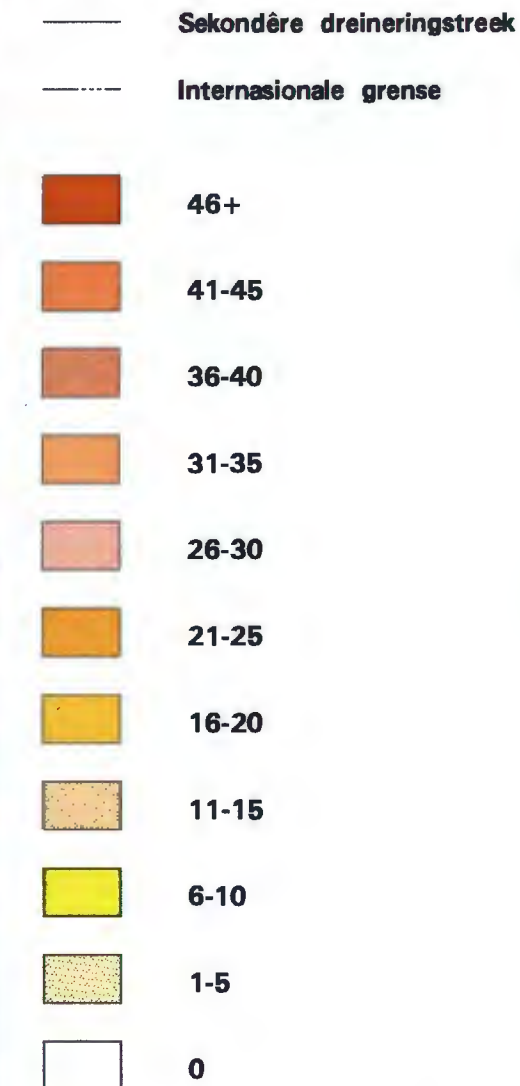
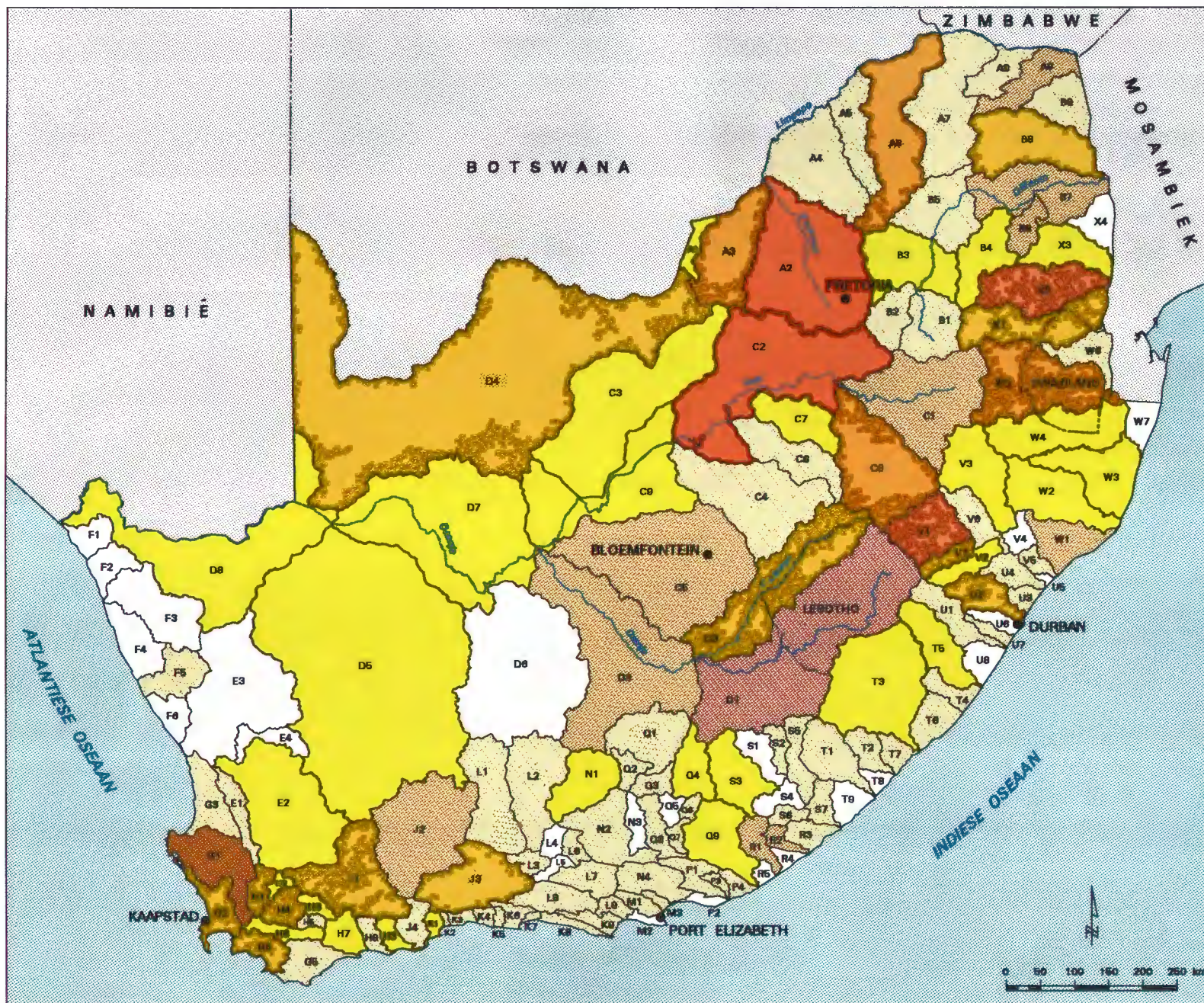


NOVEMBER 1993



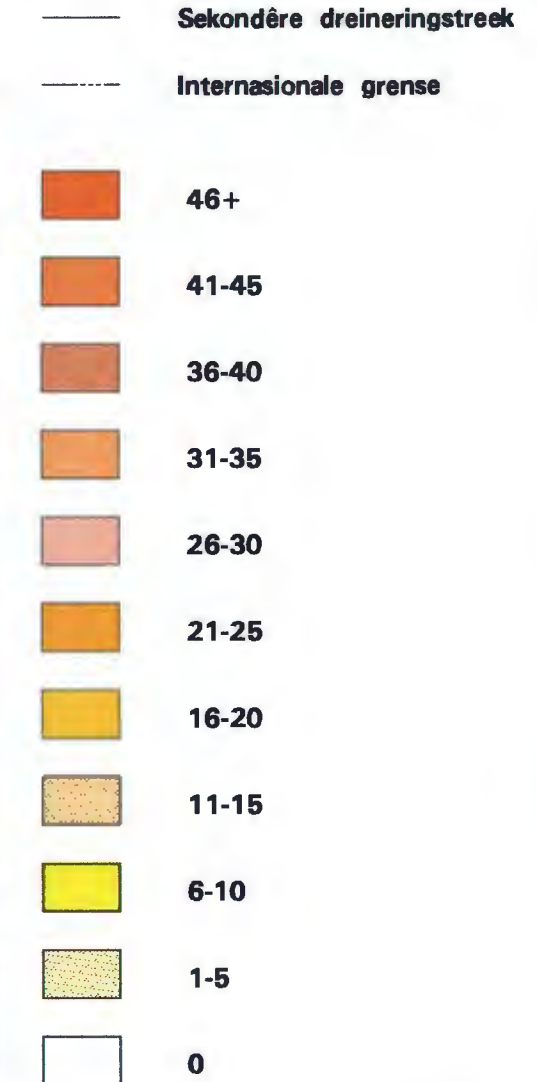
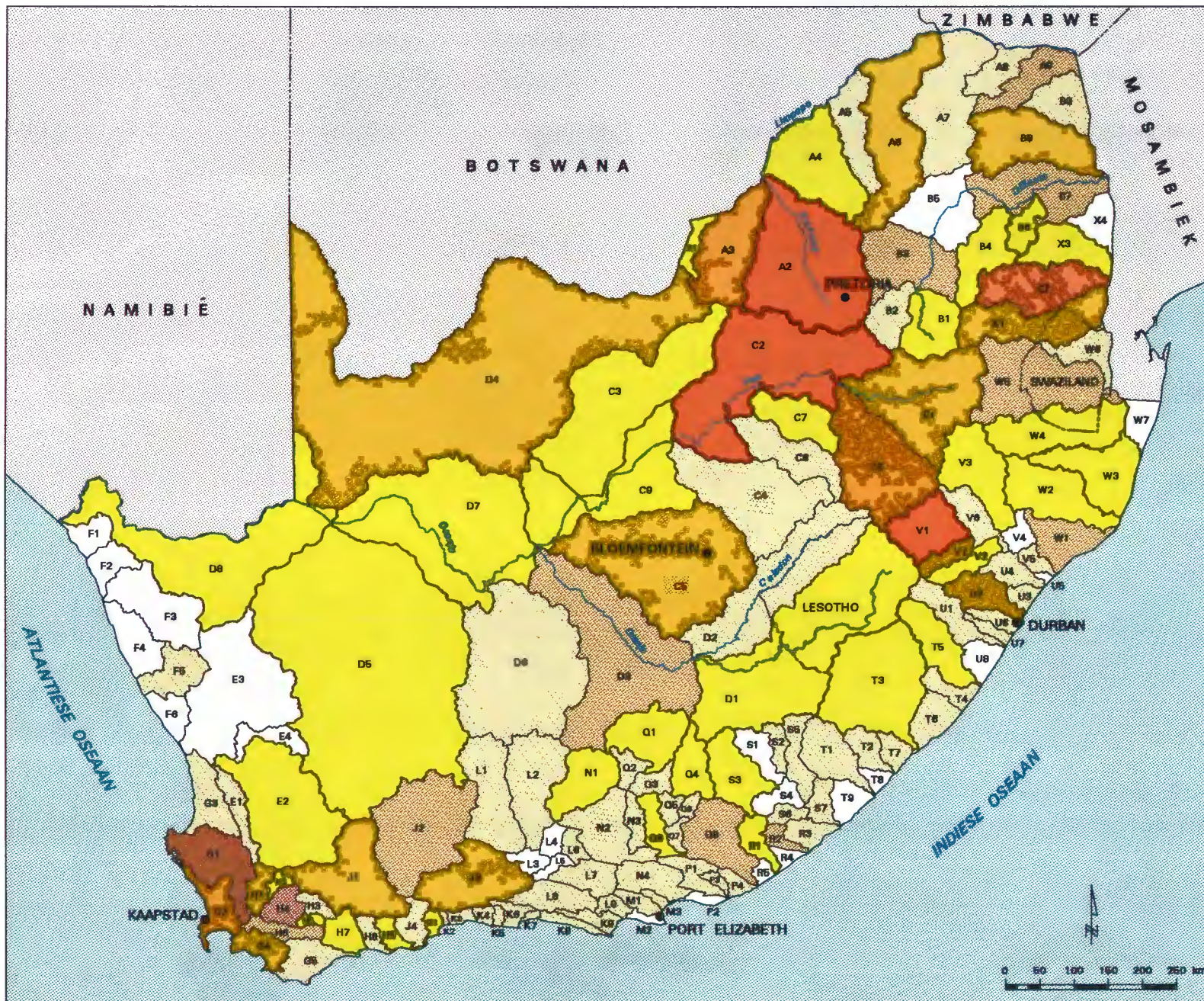
DIE AANTAL RIVIERVLOEIMEETSTASIES PER SEKONDÊRE OPVANGGEBIED, VIR DIE JAAR 1970

Fig.1.14



DIE AANTAL RIVIERVLOEIMEETSTASIES PER SEKONDÊRE OPVANGGEBIED, VIR DIE JAAR 1975

Fig.1.15



DIE AANTAL RIVIERVLOEIMEETSTASIES PER SEKONDÊRE OPVANGGEBIED, VIR DIE JAAR 1980

Fig.1.16

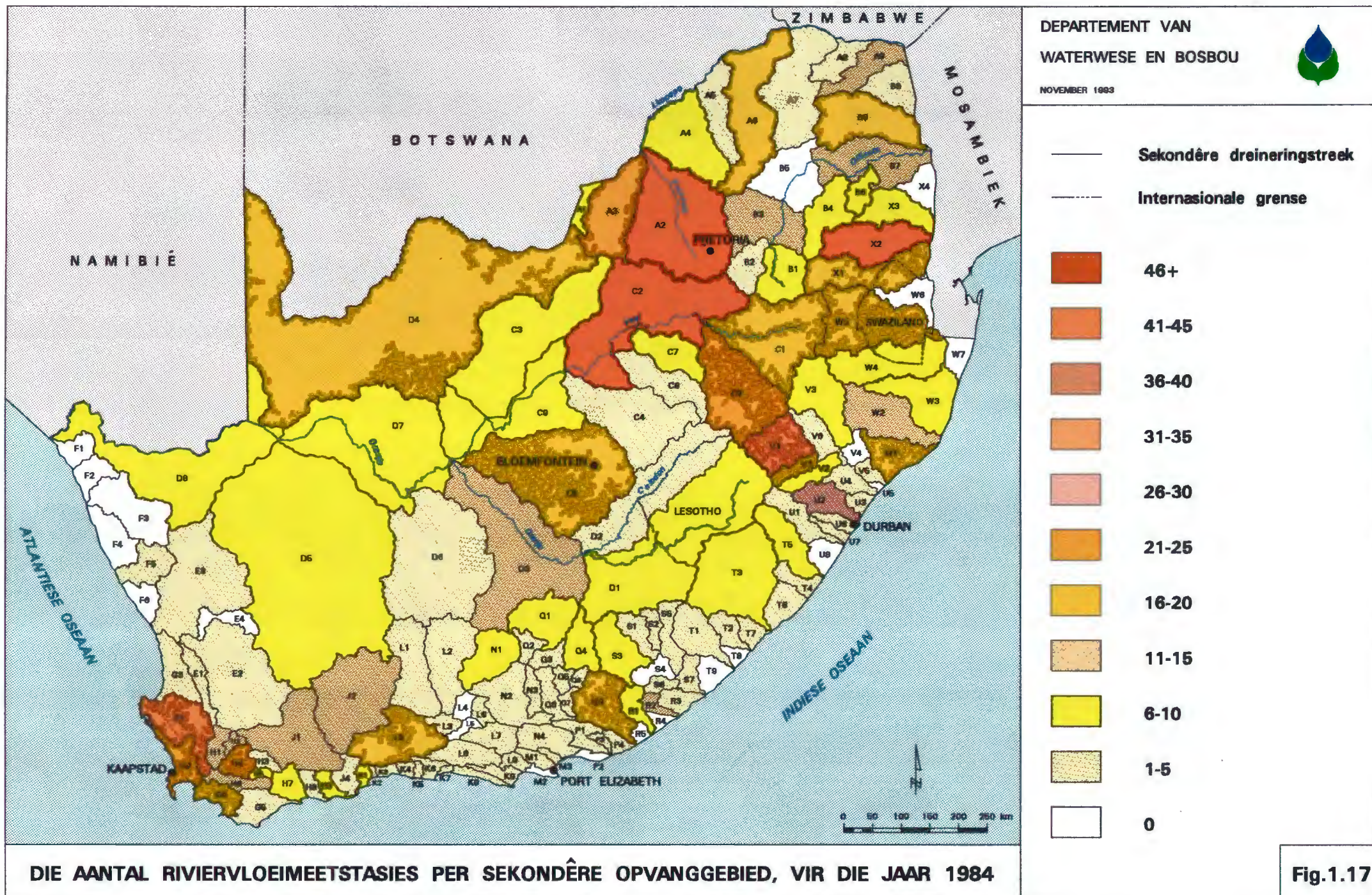


Fig.1.17

Hoofstuk 2

BESPREKING VAN DIE HUIDIGE RIVIERVLOEIMEETSTASIENETWERK**2.1 INLEIDING**

In Hoofstuk 1 is 'n oorsig gegee van die ontwikkeling van die riviervloei-meetstasienetwerk in die RSA. In hierdie hoofstuk sal die bestaande netwerk ge-evalueer word. Om 'n netwerk te kan evalueer, moet die doel van die netwerk behoorlik gedefinieer wees. Vir hierdie evaluasie word die definisie gebruik soos wat dit in die Inleiding van hierdie verhandeling geformuleer is.

Die enigste moontlikheid om 'n netwerk van hierdie omvang kortliks te evalueer, is om 'n ondersoek na die digtheid van die netwerk in die afsonderlike sekondêre opvanggebiede te doen aan die hand van die WMO-standaarde vir minimum netwerkdigtheid. Vir die doel word die volgende inligting benodig: die oppervlakte in km² en die gemiddelde jaarlikse afloop (GJA) in miljoene kubieke meter van elke sekondêre opvanggebied, asook die aantal oop riviervloei-meetstasies in elk van die sekondêre opvanggebiede. In Bylae 3 word al die inligting weergegee.

2.2 DIE VASSTELLING VAN DIE PRESIESE AANTAL MEETSTASIES

Die oppervlakte en GJA van elk van die sekondêre opvanggebiede is verkry van die Departement van Waterwese en Bosbou (1986). Die presiese aantal oop riviervloei-meetstasies per sekondêre opvanggebied moet dus nog vasgestel word. Dit is nie so maklik as wat dit wil voorkom nie. Die huidige nommeringstelsel maak dit moeilik om tussen meetpunte te onderskei, soos reeds in Hoofstuk 1 beskryf is.

2.2.1 Nommeringstelsel

'n Kort beskrywing van die stelsel is nodig om die probleem toe te lig. Die nommer van 'n meetstasie bestaan uit ses syfers en letters. Die eerste karakter, wat altyd 'n letter is, dui die

primêre en die tweede karakter, wat altyd 'n syfer is, dui die sekondêre dreineringsstreek waarin die meetstasie geleë is, aan. Die derde karakter, wat slegs een van E, H, R of N kan wees, dui die aard van die meetstasie aan, byvoorbeeld E vir weerkundige stasies (verdamping, ens.), H vir vloeimeetpunte, R vir opgaring (d.i. damme, mere en vleie) en N vir grondwatermonsterpunte. Die laaste drie karakters is numeries en identifiseer die bepaalde meetstasie uniek binne die betrokke sekondêre opvanggebied.

Aan die nommer word 'n datakode toegevoeg wat uit een letter en twee syfers bestaan. Hierdie kode beskryf die tipe data wat by die meetstasie ingesamel word. Om al die tipes hier te omskryf is nie sinvol nie. Hieronder volg 'n paar voorbeelde ter illustrasie.

- (a) In die geval van H4H007, die sewende vloeimeetstasie in die H4-opvanggebied (Breërivier), is daar vier datacodes, naamlik: A01 - die meetplaat in die poel, dit kan dus enkel watervlaklesings of kontinue grafiese of digitale watervlaklesings wees; B01 - die meetplaat stroomaf van die meetstasie, waar ook enkel of kontinue watervlaklesings geneem word; Q01 - dui aan dat daar kwaliteitsbemonstering plaasvind; W01 - dui aan dat daar vloeisnelheidsmetings gedoen word, meer spesifiek oppervlaksnelheid deur middel van dobbertye.
- (b) 'n Ander voorbeeld is E1R002 (Clanwilliamdam) in die Olifantsrivier. Hier kom die volgende datacodes voor: A01 en A02 - hier is dus twee meetplate op verskillende posisies in die dam; H01 tot H13 - dit is die 13 hekke op die oorloop van die damwal en die opening- en sluitingdata van die hekke word hieronder geberg; en Q01 - wat die kode vir die kwaliteitsbemonstering is. Vanuit hierdie dam kom daar egter ook nog verskillende kanale en 'n pyplyn vir watervoorsiening voor. Die metings in die kanale en pype is as vloeimeetstasies genommer, naamlik: E1H008 en E1H009 wat

beide meetstrukture is met A01-datakodes, en E1H010 in die pyplyn wat egter 'n M01-datakode het wat aandui dat dit 'n volumetriese vloeimeter is. E1H011 is die meetwal direk stroomaf van die dam wat die rivieruitlate monitor en 'n A01-datakode het.

2.2.2 Riviervloeimeetstasies

Soos onder 2.2.1 geïllustreer, is nie elke meetpunt in die stasiekatalogus van die Direktoraat Hidrologie, Departement van Waterwese en Bosbou, 'n riviervloeimeetstasie nie. Verder is ook nie al die meetpunte in die katalogus nog in bedryf nie. Die totale aantal oop riviervloeimeetstasies is dus as volg bepaal. Die aantal oop H en R tipe meetstasies met A01-datastelle in die Stasiekatalogus is op 28 Desember 1992 getel. Hiermee word al die H-nommers wat slegs kwaliteitsbemonsteringspunte en meters is, ge-elimineer. Daar is egter nog ander meetstasies wat ook nie riviervloeimeetstasies is nie, byvoorbeeld:

- (a) Die probleem word geïllustreer deur die voorbeeld van E1R002 hierbo. E1R002, E1H008, E1H009, E1H010 en E1H011 vorm uit 'n riviervloeinetwerkooppunt slegs een meetstasie, aangesien die data wat by E1H008, E1H009, E1H010 en E1H011 ingesamel word, gebruik word om die balans by E1R002 op te maak. Hier is dus net een rivieraflooprekord. E1H008, E1H009 en E1H011 en soortgelyke meetstasies elders moet dus ook ge-elimineer word. E1H010 is reeds ge-elimineer omdat die meetpunt geen A01-datastel het nie.
- (b) Daar is ook meetstasies waar daar hoegenaamd geen vloei bereken kan word nie, en dus ook geen afloop nie. Byvoorbeeld K2H004 is slegs 'n watervlakregistreerder in die Groot-Brakriviermond. Eksterne faktore, soos getye en 'n oop of toe riviermond, beïnvloed die watervlakke by die meetstasie. Die faktore het geen invloed op die afloop van die Groot-Brakrivier nie. Ook meetstasies soos K3R003, K3R004 en K3R005, watervlakregistreerders in die vleie by

die Wildernis, val in hierdie kategorie.

- (c) Verder is daar ook nog spesiale en navorsingsmeetstasies, wat hoofsaaklik deur ander instansies, soos universiteite, buite die Departement van Waterwese bedryf word. Die meetstasies is deel van spesifieke navorsingsprojekte en het in alle gevalle baie klein opvanggebiede, wat varieer van enkele vierkante kilometer tot 'n paar honderd vierkante meter. In meeste gevalle is daar verder stroomaf 'n riviervloeiemeetstasie wat ook die afloop in die navorsingsgebied monitor. Om hierdie meetstasies in die totaal in te sluit sal 'n skewe beeld van die netwerkdigtheid gee.

Die riviervloeiemeetstasies wat oorbly nadat bogenoemde meetstasies ge-elimineer is, kan potensiële netwerkstasies genoem word (in Bylae 3 word dit as Nstasies aangedui). Die term "potensieël" word gebruik omdat die meetstasie self nog nie ge-evalueer is nie. Daar kan dus nog geen oordeel gevel word oor die akkuraatheid en betroubaarheid van die meetstasie nie. Verder is die ligging van die meetstasie ook nog nie in ag geneem nie.

Die netwerkdigtheid van elk van die sekondêre opvanggebiede word in Bylae 3 as die aantal oop riviervloeiemeetstasies per 1 000 km² weergegee. Slegs potensiële netwerkstasies soos hierbo omskryf, kom hiervoor in aanmerking.

Die volgende sekondêre opvanggebiede se netwerkdigthede is onbetroubaar en word nie verder in die evaluasie hanteer nie:

- (a) D1 en D2 - die grootste deel van die opvanggebied lê in Lesotho en nie al die Lesotho-meetstasies is in die stasiekatalogus opgeneem nie.
- (b) R1, R2, R4 en R5 - die opvanggebiede lê in die Ciskei. Die stasiekatalogus gee slegs die situasie voor onafhanklikheid weer. Hoe akkuraat dit is, is onbekend.

- (c) S1, S2, S5, S7, T1, T2, T3, T6, T7, T8 en T9 - die opvanggebiede lê in die Transkei, en word om dieselfde rede as die Ciskei-opvanggebiede uitgelaat.
- (d) W6 - die opvanggebied lê in Swaziland en geen inligting is beskikbaar nie.

Die volgende opvanggebied se oppervlakte is aangepas en word ook so weergegee in Bylae 3:

W5 - 'n deel van die opvanggebied lê in Swaziland. Die aantal meetstasies soos in die tabel weergegee, is egter slegs RSA-meetstasies. Die oppervlakte van die deel wat in Swaziland lê, is van die totale opvanggebied afgetrek om 'n meer verteenwoordigende digtheid te kry.

2.3 NETWERKDIGTHEID EN DIE WMO-STANDAARDE

Die enigste norm wat beskikbaar is om netwerkdigtheid te evalueer is die WMO-standaarde vir aanbevole minimum digtheid (WMO, 1981). Die standaard beveel dus 'n minimum netwerkdigtheid aan, vir opvanggebiede wat op grond van topografie en klimaat ingedeel is en word in tabel 2.1 (aangepas) weergegee. Die standaard is aangepas deur die topografiese indeling uit te brei met die begrip "komplekse gebiede", 'n mengsel van vlaktes en berge soos hoofsaaklik in Natal voorkom. Vir die minimum digtheid van komplekse, gematigde gebiede word die rekenkundige gemiddelde van die vlak en bergagtige, gematigde gebiede gebruik. Dieselfde geld vir die komplekse, subtropiese gebied. Benewens 'n subtropiese klimaatsone, is 'n semi-ariëde klimaatsone ook bygevoeg. By eersgenoemde is die gemiddeld tussen die mediterreense en tropiese sonen, en laasgenoemde die gemiddeld van gematigde vlaktes en die bogrens van die ariëde gebied as standaard gebruik.

Tabel 2.1
WMO-standaarde vir minimum netwerkdigtheid
(aangepas van WMO, 1981)

Gebied	km ² /stasie	stasies/1 000 km ²
Vlaktes:		
gematigd	2500	0,4
mediterreens	1750	0,57
subtropies	1375	0,72
tropies	1000	1
Kompleks:		
gematigd	1750	0,57
subtropies	925	1,08
Bergagtig:		
gematigd	1000	1
mediterreens	650	1,54
subtropies	475	2,11
tropies	300	3,33
Semi-arië en arië	3750 - 20 000	0,27 - 0,05

2.4 WMO - NETWERKDIGTHEIDSONES: RSA-INDELING

Die klimaatsones is gebaseer op die indeling soos deur Poynton (1971) voorgestel, in kombinasie met die indeling van die Reader's Digest (1984). Vir die indeling in topografiese sones is Van Zyl (1985) se indeling in landvormstreke gebruik.

Die keuse van sekondêre opvanggebiede as vergelykingseenheid is hoofsaaklik prakties van aard. Die skaalfaktor speel hierin 'n groot rol. 'n Groot skaal is te onoorsigtelik, maar 'n te klein skaal daarteen noodsaak te veel veralgemenings. Die sekondêre opvanggebied skyn 'n ideale eenheid te wees. Dit is nog steeds nodig dat die indelings wat gebruik is, veralgemeen of vereen-

voudig moes word. Die vereenvoudigde weergawe van albei indelings word in figure 2.1 en 2.2 getoon.

Na 'n aanvanklike indeling is gevind dat 'n paar opvanggebiede waar bogenoemde riglyne toegepas is 'n skewe beeld gee, omrede die opvanggebiede in meer as een van die topografiese of klimatologiese sones (tabel 2.1) ingedeel kan word. In die gevalle is 'n opvanggebied in twee gedeel en kan dan in twee verskillende sones ingedeel word. Die WMO-standaard vir minimum digtheid word dan die rekenkundige gemiddelde van die twee betrokke sones. Die volgende opvanggebiede is so saamgestel: A4, A6, A8, A9, B3, B7, B8, G1, H7, H8, H9, J4, K1-9, P1, Q9, S3, T5, U1, U2, W2, W3, W4, X1, X2 en X3.

Die indeling van die opvanggebiede in WMO-sones word in figuur 2.3 weergegee. In figuur 2.4 word die bestaande netwerkdigtheid met die WMO-standaarde vergelyk. Die standaard is as volg in die beoordeling van die netwerkdigtheid hanteer. Al die sekondêre opvanggebiede is in vier kategorië ingedeel, naamlik:

- (a) Die opvanggebiede wat nie aan die minimum digtheid vir die betrokke gebied voldoen nie, met die uitsondering van die opvanggebiede waar een ekstra meetstasie die opvanggebied in die volgende kategorie plaas.
- (b) Die opvanggebiede waar die digtheid groter of gelyk aan die aanbevole minimum digtheid van die betrokke gebied is.
- (c) Die opvanggebiede waar die digtheid meer as tweemaal digter as die aanbevole minimum digtheid is.
- (d) Die opvanggebiede waar die digtheid meer as driemaal digter as die aanbevole minimum digtheid is.

In figuur 2.3 en figuur 2.4 is die opvanggebiede waarvan die netwerkdigtheid onder 2.2.2 as onbetroubaar beskou word, nie ingedeel nie. Verder word die opvanggebiede waarin daar geen

riviervloeiemeetstasies is nie, ook nie ingedeel in figuur 2.4 nie.

2.5 EVALUERING VAN DIE RSA-NETWERKDIGTHEID TEN OPSIGTE VAN DIE WMO-STANDAARDE

Die geel en oranje opvanggebiede in figuur 2.4 voldoen dus aan die minimum digtheid vir die bepaalde gebiede, met die oranje gebiede duidelik heelwat digter as wat die minimum vereis. Van die geel gebiede wat in die ariede streek val, byvoorbeeld D3 tot D8, voldoen volgens Bylae 3 nie aan die minimum nie. In tabel 2.1 word egter vir die streek 'n strook waardes aangegee waartussen die netwerkdigtheid behoort te wissel, waarvan die hoogste waarde in Bylae 3 opgeneem is. Die netwerkdigthede van al die betrokke opvanggebiede voldoen maklik aan die laagste waarde van tabel 2.1 en is daarom ingedeel by die opvanggebiede waarvan die digthede groter of gelyk aan die minimum digtheid is.

Die rooi opvanggebiede se digthede is baie hoog, en die vraag ontstaan of daar nie te veel meetstasies in die gebiede is nie. Netwerkondersoeke van sekere van die gebiede (Gillham, 1992 a en Van der Merwe en Meijer, 1992) bevestig hierdie vermoede. Die ondersoeke het uitgewys dat 18 meetstasies in die H1- tot H5-opvanggebiede as oorbodig beskou kan word. Dieselfde geld vir V1, V2 en V7 waar 10 meetstasies en U6 en U7 waar 4 meetstasies as oorbodig beskou kan word. V1 se digtheid sal nog steeds hoog wees as gevolg van die Tugela-Vaalwateroordragskema. Verder is dit ook opmerklik dat meeste van die rooi opvanggebiede klein oppervlakte het. Een meetstasie meer of minder het dus 'n groot invloed op die digtheid.

Daar is ook ander faktore wat moontlik tot die hoë digtheid in van die opvanggebiede aanleiding kan gee. Die monitor van fonteine en oë het 'n groot invloed op die digtheid van opvanggebiede A1 en A3. In die A2-, B1-, B2-, G1-, G2- en U2-opvanggebiede lê groot stede, nywerhede en myne wat 'n groot las plaas op die watervoorsiening. Daarby kom ook die afname in die

kwaliteit van die water wat aanleiding gee tot 'n digter netwerk vir beter kontrole en beheer oor die beskikbare waterbronne in die opvanggebiede.

Wat egter meer kommer wek, is die blou opvanggebiede waarvan die digthede nie aan die minimum voldoen nie. Die blanko opvanggebiede, waar tans geen meetstasies is nie, voldoen uiteraard nie aan die minimum vereiste nie en behoort dus ook eintlik in hierdie kategorie.

Die ondersoek van die U1-opvanggebied (Gillham, 1992 b) het bevind dat die netwerk oënskynlik voldoende is. Die vorm van die opvanggebied speel hierin 'n groot rol. Ook ander faktore soos die behoefte aan inligting, toeganklikheid van die opvanggebied en praktiese probleme met die oprigting van meetstasies (sediment, gebrek aan fondasie, ens.) is voor die handliggende redes wat die lae digtheid in die blou opvanggebiede kan verklaar. Tog sal elk van die opvanggebiede in hierdie kategorie, veral A4, C4, en W3, so gou moontlik ondersoek moet word om vas te stel wat die oorsaak is en wat daaraan gedoen sou kon word.

2.6 OPSOMMING EN GEVOLGTREKKINGS

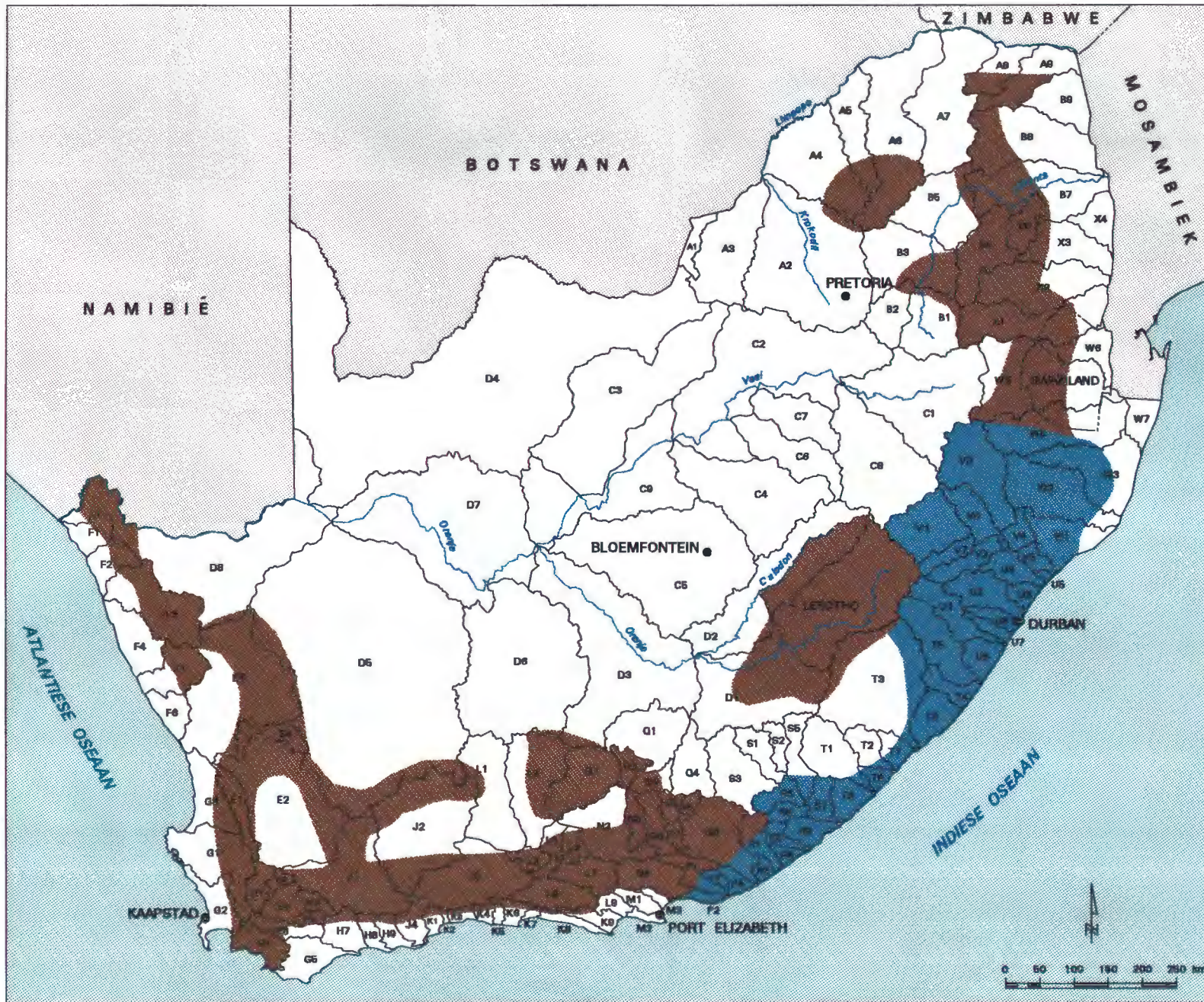
Opsommend kan die volgende opgemerk word. Die netwerkdigtheid voldoen, op 'n paar uitsonderinge na, oor die algemeen aan die minimum vereistes soos deur die WMO bepaal.

Hierdie evaluasie het egter twee gebreke. Eerstens is die sekondêre opvanggebiede as 'n eenheid hanteer. Die verspreiding van die meetstasies binne dié opvanggebiede is nie in ag geneem nie. Die probleem wat dit kan veroorsaak, is sigbaar by byvoorbeeld U1, soos onder 2.5 geïllustreer is.

Tweedens is, soos reeds genoem, die meetstasies self nie geëvalueer nie. Dit is ongelukkig so dat daar swak en onbetroubare meetstasies is. Die bedryf van hierdie meetstasies behoort gestaak te word, en dus sal die netwerkdigtheid afneem. Hoeveel

van sulke meetstasies tans in bedryf is, is onbekend. Daar is egter aanduidings dat die aantal beduidend kan wees. Die ou filosofie van iets is beter as niks het tot gevolg gehad dat meetstasies opgerig is wat vandag as totaal onbruikbaar beskou word.

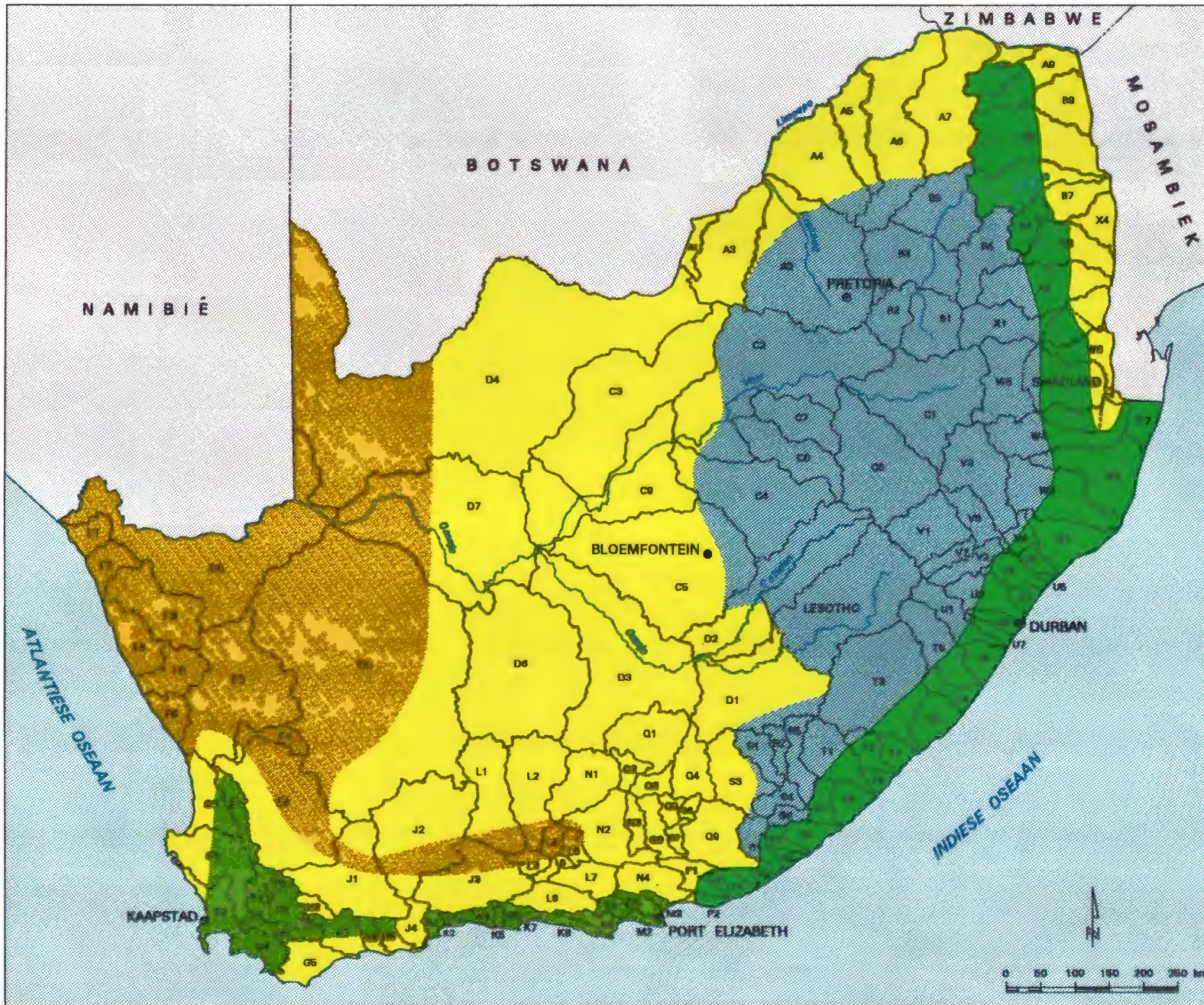
Die gevolgtrekking waartoe dus gekom moet word, is dat dit nie baie sinvol is om die netwerk op 'n nasionale vlak te wil evalueer nie, gesien die groot aantal vrae wat onbeantwoord bly. Elk van die sekondêre opvanggebiede sal afsonderlik ondersoek moet word. Hoe hierdie ondersoek aangepak behoort te word, is die onderwerp van hierdie verhandeling.



-  Sekondêre dreineringsreek
-  Internasionale grense
-  Vlakte
-  Kompleks
-  Bergagtig

LANDVORMSTREKE VOLGENS VAN ZYL (1985) (VEREENVOUDIG)


Fig.2.1



— Sekondêre dreineringsreek

- - - Internasionale grense

 Aried

 Semi-ariëd

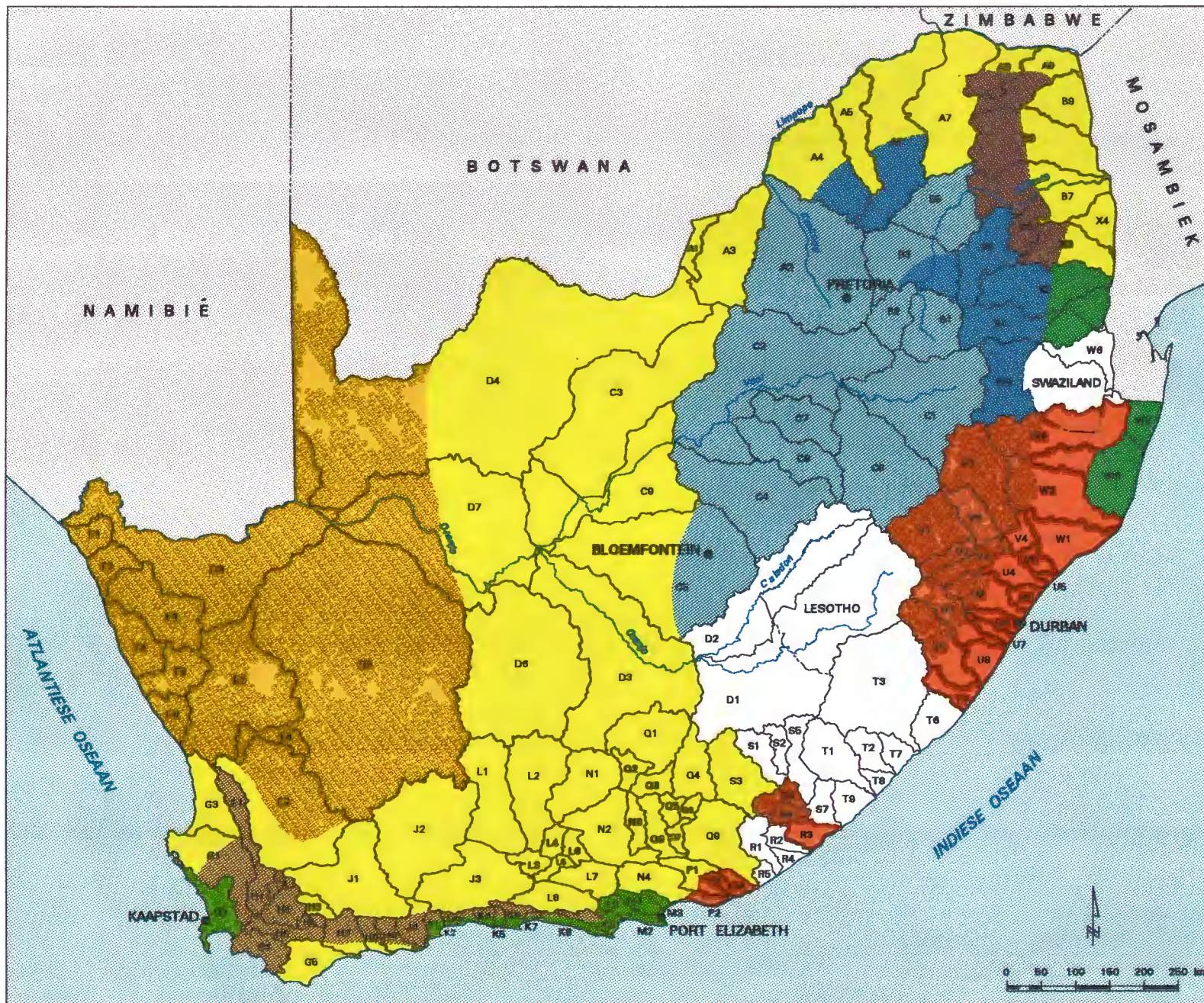
 Mediterreëns

 Subtropies

 Gematigd

KLIMAATSONES VOLGENS POYTON (1971) (VEREENVOUDIG)

Fig.2.2



NOVEMBER 1983

- Sekondêre dreineringsreek
- - - Internasionale grense

- Aried
- Semi-ariëd

Vlakte

- Gematigd
- Mediterreens
- Subtropies

Kompleks

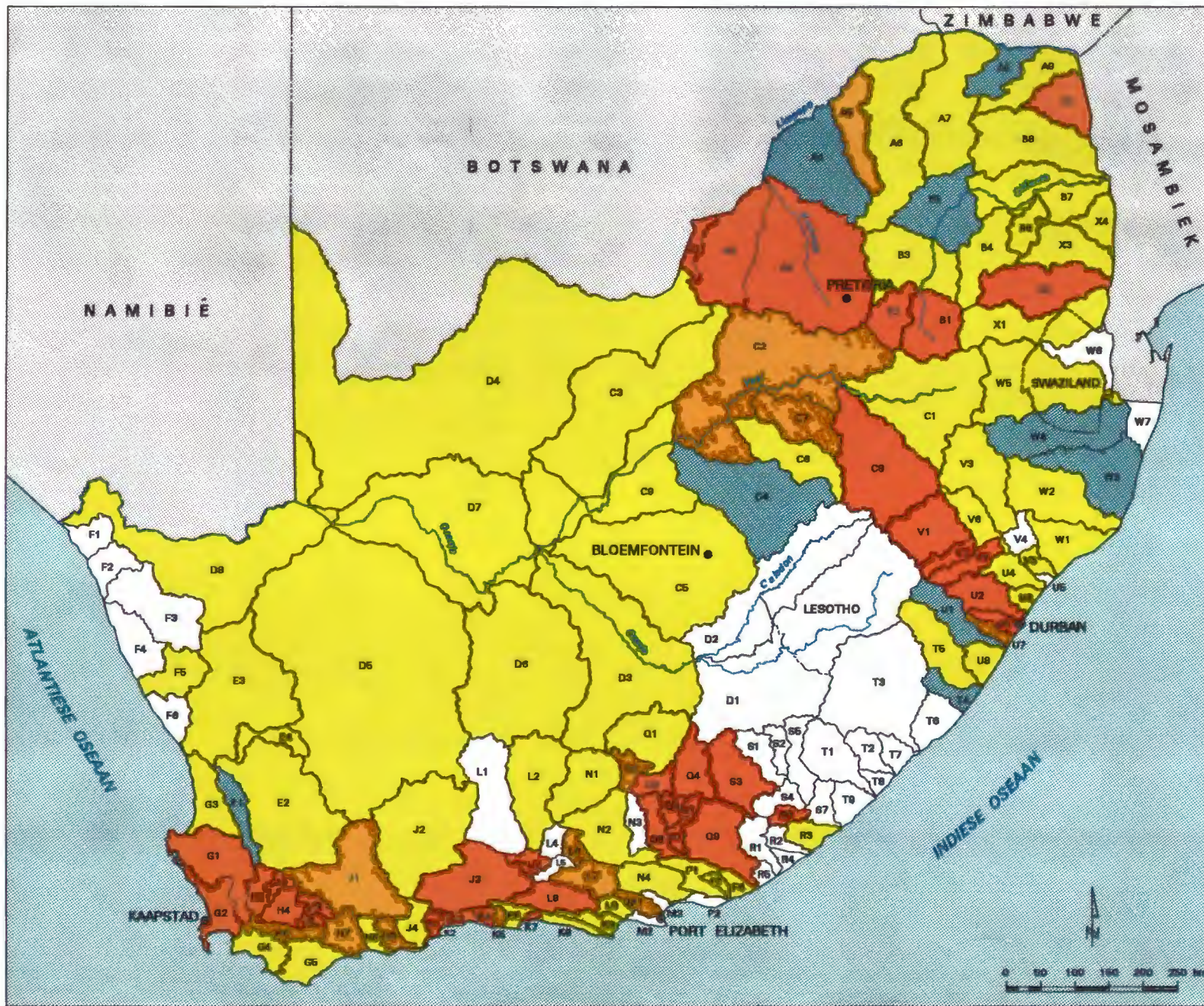
- Gematigd
- Subtropies

Bergagtig

- Gematigd
- Mediterreens
- Subtropies

INDELING VAN DIE RSA SEKONDÊRE OPVANGGEBIEDE IN DIE WMO-SONES

Fig.2.3



VERGELYKING VAN DIE WMO-STANDAARDE MET DIE RSA NETWERKDIGTHEID PER SEKONDÊRE OPVANGGEBIED

Fig.2.4

Hoofstuk 3

DIE FILOSOFIE EN METODIEK VAN NETWERKBEPLANNING

3.1 INLEIDING

Die voorafgaande twee hoofstukke het die nodige agtergrond gegee om die regte perspektief op die probleme van netwerkbeplanning te kry. Om filosofies te debatteer oor die ideale en doelstellings van netwerkbeplanning is nuttig, maar as die teorieë nie in die praktyk toepasbaar is nie is dit eintlik 'n mors van tyd. Die kompleksiteit van die probleem moet eers ingesien word voordat sinvol oor oplossings gedink kan word.

In hierdie hoofstuk sal daar gekyk word na 'n aantal benaderings tot netwerkbeplanning en metodes wat gevolg word, sal kortliks bespreek word. Daar word dus gekyk na "oplossings" - daarom is dit noodsaaklik dat die praktiese toepasbaarheid van enige van die metodes wat gevolg kan word die nodige aandag geniet.

Dit is miskien goed om eers kortliks oor die noodsaak van meting en die beplanning daarvan na te dink. Waarom word vloeimetings gedoen? Die grootste enkele, en miskien enigste werklike rede, is 'n gebrek aan water. Waar daar 'n oorvloed aan water is, is dit nie nodig om vas te stel hoeveel daar is nie. Elkeen kan kry soveel as wat hy wil hê of nodig het. Waar daar egter tekorte ontstaan of verwag word, word dit dringend noodsaaklik om vas te stel hoeveel water beskikbaar is.

Netwerkbeplanning daarenteen word deur 'n ander sneller geaktiveer. Hoeveel geld het die organisasie(s) wat die data insamel, beskikbaar daarvoor? Is die begroting ruim, is niemand erg bekommerd oor die hoeveelheid en verspreiding van die meetstasies nie. Besparings en ekonomiese druk gee aanleiding tot die optimisering van die netwerk. Soveel as moontlik inligting moet uit 'n so goedkoop moontlike netwerk verkry word. Die effektiwiteit en doeltreffendheid van die netwerk word van groot belang geag.

3.2 DIE BENADERING TOT NETWERKBEPLANNING

Muller (1977) het in sy verhandeling oor die beplanning van 'n optimale netwerk na aanleiding van sy literatuurstudie twee groepe benaderings geïdentifiseer. Die eerste groep probeer data wat by spesifieke punte ingesamel is van toepassing maak op punte waar dit nodig is. Data word dus oor 'n streek versprei vir algemene gebruik. Hy noem dit die "grafiese benadering".

Die tweede groep, die "analitiese benadering", analiseer die parameters wat 'n invloed op die eindproduk het met behulp van basiese navorsing of bestaande rekords. Die geïdentifiseerde parameters se bydrae word dan kwalitatief of kwantitatief bepaal. Daarna kan rekords gesintetiseer word waar daar 'n behoefte is en die bestaande rekords onvoldoende is of glad nie bestaan nie.

Die indeling gee die twee hoofdenkrytings in netwerkbeplanning weer. Dit is egter ietwat strak wanneer die verskillende metodes wat uiteindelik gebruik word in een van die twee groepe ingedeel word, aangesien verskillende metodes elemente van beide filosofieë bevat.

Die skrywer meen egter dat die twee hoofdenkrytings, oftewel benaderings, wat gevolg word, beter as volg omskryf kan word. Eerstens is daar die "iteratiewe benadering". Die netwerk word so goed as moontlik beplan op die basis van beskikbare informasie. Soos wat meer informasie beskikbaar word, rekordlengtes toeneem en die netwerk self leemtes of gebreke toon, word die proses herhaal en die netwerk verbeter.

Die tweede benadering kan ook die "sintese benadering" genoem word. Die strewe is hier om, net soos beskryf is in die "analitiese benadering" van Muller, al die parameters wat die hidrologiese prosesse beïnvloed te identifiseer en te analiseer. Sodra die bydraes dan bepaal is, kan 'n volledige sintese plaasvind en die ideale optimumnetwerk kan opgestel word. Streng gesproke, sal dit dan net nodig wees om die netwerk te hersien

as daar veranderinge in die hidrologiese prosesse in die opvanggebied plaasvind, soos menslike ontwikkeling en ingrype.

Van die voorstanders van die laaste benadering volg die stelling dat 'n volledige sintese die enigste rasionele benadering in hidrologie kan wees. Ander beseft blykbaar dat die benadering op die kort termyn geen antwoorde sal oplewer nie en probeer kwalitatiewe verbande soek tussen die belangrikste parameters in die hidrologiese siklus wat 'n rol sou kan speel in hul betrokke probleem, en maak dus tot 'n mate 'n kompromie met die iteratiewe benadering. Amorocho en Hart (1964) som laasgenoemde as volg op: "... the vast complexity of the systems involved in these studies, and the inadequacy of the knowledge now available and the knowledge likely to exist in the foreseeable future, make the possibility of a full synthesis so remote in most cases that it must be discarded for practical purposes".

Die verskillende metodes wat gevolg word, kan nou ook makliker by een, of altwee, van die benaderings ingedeel word. Enkele metodes is spesifiek afgestem op die "sintese benadering", terwyl die meeste ander, afhangende van die toepassing, by beide ingedeel sou kon word. Die netwerkbeplanner se benadering tot die probleem bepaal sy hantering van die metodes en tegnieke. Dit is meer sinvol om hierdie onderskeid te maak as om die verskillende metodes in bepaalde groepe in te deel. Die metodes en tegnieke kan ook gekombineer word. Sommige word selfs net gebruik as 'n ekstra bron van informasie.

Hieronder sal 'n aantal metodes en tegnieke bespreek word. Die moontlike hantering daarvan en hoe dit in die "iteratiewe" of "sintese" benaderings toegepas word, sal ook kortliks toegelig word. Die metodes wat bespreek word, is gekies om verteenwoordigend te wees van die groot verskeidenheid van metodes wat daar is. Verder moet die Suid-Afrikaanse toestande ook in gedagte gehou word, terwyl die benadering wat in hierdie verhandeling gevolg word en die metodes wat uiteindelik geselekteer is vir toepassing natuurlik voorkeur kry. Die motivering van die keuses

sal in Hoofstuk 4 gegee word.

3.3 TEGNIEKE EN METODES VIR GEBRUIK IN NETWERKBEPLANNING

Die tegnieke en metodes wat hieronder bespreek word, is in meeste gevalle nie die netwerkbeplanning self nie. Die tegnieke en metodes word hoofsaaklik gebruik om die beskikbare inligting te verwerk en grafies of statisties voor te stel. Die besluitnemingsproses wat hierna volg, onder andere oor waar meetstasies opgerig behoort te word, is die werklike netwerkbeplanning. Die metodes word eers kortliks beskryf, waarna die toepassing bespreek word.

3.3.1 Die karteringsmetode

In die karteringsmetode word punte van gelyke waarde met mekaar verbind. Dit is 'n eenvoudige en prakties bruikbare metode. Die akkuraatheid daarvan is natuurlik direk eweredig aan die aantal waarnemingspunte en die lengte van die rekords. Met tyd, dus langer rekords, sal herhalings van die metode 'n al hoe getrouer beeld skep.

Midgley & Pitman (1969) het van kartering gebruik gemaak om gemiddelde jaarlikse afloop (GJA) vir verskillende gebiede in Suid-Afrika voor te stel. Hulle het hul lyne van gelyke afloopintensiteit "isomars" genoem.

Die metode is dus hoofsaaklik bruikbaar indien die iteratiewe benadering gevolg word, maar kan natuurlik agtergrondinformatie vir die sintese benadering gee. Eersgenoemde is geïllustreer deur Uryvaev (1965) in Rusland. Vir 'n sekere gebied is 'n kaart in 1927 opgestel met isolyne van gemiddelde jaarlikse afloop deur gebruik te maak van data uit 'n naburige opvanggebied. In 1946 is dit hersien deur gebruik te maak van 75 meetstasies wat intussen in die gebied opgerig is. Daar was 'n aansienlike verskil in die isolyne. Nadat die proses in 1961 weereens herhaal is, nou met 137 plaaslike meetstasies, was daar weinig

verskil, en is duidelik getoon dat geen verdere uitbreiding van meetstasies nodig sou wees nie. Muller (1977) het hierdie metode onder sy "grafiese benadering" ingedeel.

3.3.2 Die rivier-orderingtegniek

Horton het hierdie tegniek die eerste keer in 1945 gepostuleer, waarna Shreve (1966) modifikasies aangebring het. Horton se metode is voorgestel om opvanggebiede te klassifiseer, deur waardes aan sytakke toe te ken en te sommeer soos stroomaf beweeg word in die riviernetwerk. Die belang van afloopmeting in 'n sekere deel van die rivier sou dus verteenwoordig word deur die waarde wat aan die betrokke deel toegeken sou wees. Deur die toegekende waardes van al die rivierdele stroomop van 'n bestaande of voorgestelde meetstasie op te tel sou 'n aanduiding van die dekking van die opvanggebied verkry word.

Daar is egter geen onderskeid gemaak tussen groter en kleiner sytakke nie. Shreve se modifikasie was dan ook om die waarde van 'n betrokke rivierdeel te deel deur die effektiewe lengte.

Hierdie metode is natuurlik baie maklik toepasbaar maar gebruik slegs een parameter wat deur baie faktore beïnvloed word. Die tegniek word dan ook net as 'n hulpmiddel gebruik en verskaf agtergrondinligting.

3.3.3 Korrelasie

Vloeimeetstasies in dieselfde rivier of opvanggebied kan met mekaar gekorreleer word. Waar die korrelasiekoëffisiënt na 'n waarde van een neig, is daar 'n sterk korrelasie tussen die meetstasies. 'n Koëffisiënt wat na nul neig, toon dat daar hoegenaamd geen verband tussen die meetstasies bestaan nie.

Langbein (1960) het 'n metode van netwerkbepanning voorgestel wat sterk op die beginsel van korrelasie gebaseer is. Hy stel 'n netwerk van primêre meetstasies voor in 'n opvanggebied. Hierdie meetstasies moet vir 'n onbepaalde tyd bedryf word en

behoort die langtermyn-tendense in die opvanggebied waar te neem. Daarom heen voorsien hy 'n netwerk van sekondêre, tydelike meetstasies waarby waarnemings weer gestaak kan word sodra 'n bevredigende korrelasie met een of meer van die primêre meetstasies verkry is. Die sekondêre meetstasie kan dan na 'n ander plek in die opvanggebied geskuif word.

Muller het hierdie metode ook onder sy "grafiese benadering" ingedeel. Die metode word egter in beide benaderings gehanteer. In die iteratiewe benadering kan dit direk toegepas word om die netwerk te beplan, en in die sintese benadering kan dit as 'n statistiese tegniek aangewend word, wat deel sal vorm van 'n meer komplekse statistiese analise.

Die korrelasiemetode is sensitief vir rekordlengte maar ook vir monsterfoute ten opsigte van tyd en posisie. Lokale donderstorms of ontwikkelings van byvoorbeeld landboukundige aard kan die korrelasie skeef trek. Die betroubaarheid van die metode kan verbeter word as ander hidrologiese faktore, soos reënval en verdamping, ook in die korrelasie ingebou word.

3.3.4 Stapelkaarte

Die groot voordeel van hierdie metode is die wye toepassingsveld en die gemak waarmee dit gekombineer kan word met ander tegnieke. Die metode kom dan ook in allerhande vorme voor, van eenvoudige kartering tot die meer komplekse roostertegniek.

Met eenvoudige kartering word bedoel dat alles, of slegs die belangrikste faktore, wat 'n invloed het op die hidrologiese proses, op kaart aangebring word. Hierdie kaarte kan, óf afsonderlik, óf oor mekaar geprojekteer word. Die doel is om hidrologies homogene gebiede te identifiseer, dit wil sê gebiede waar byvoorbeeld die gemiddelde reënval en verdamping, asook die veldtipe, landbou, geologie, topografie, ensovoorts dieselfde is.

Teoreties sou een vloeimeetpunt in so 'n homogene gebied genoeg wees om die hidrologie van die gebied te kan monitor. In die sin lê die metode in lyn met die sintese benadering. Tog is dit, op die keper beskou, weer meer deel van die iteratiewe benadering, aangesien slegs die data wat op die oomblik beskikbaar is, gebruik word. Soos meer data met tyd beskikbaar word, sal die proses herhaal moet word. Die faktore wat dus die hidrologiese proses beïnvloed, word dus nie vooraf volledig ge-analiseer nie.

Hierbo is verwys na die roostertegniek as 'n meer komplekse voorbeeld van hierdie metode. Die tegniek is deur Solomon, Denouvilliez, Chart, Woolley & Cadou (1968) in Kanada ontwikkel en berus op die stelling dat daar 'n noue verband tussen meteorologiese en hidrologiese eienskappe in 'n streek bestaan. Dit behoort dus moontlik te wees om 'n geskikte korrelasie tussen die twee stellinge gegewens te vind, sodat 'n waardebevestiging van die verspreiding van meteorologiese en hidrologiese data in die streek gedoen kan word. Die fisiografiese eienskappe van die streek beïnvloed op hulle beurt weer die meteorologiese en hidrologiese eienskappe en die verspreiding van dié eienskappe moet dus in die eerste instansie vasgestel word.

Die gebied wat ondersoek word, word in vierkantige blokke opgedeel. Hoe kleiner die blokke, hoe akkurater die antwoorde, maar hoe meer word die berekeningswerk. Die grootte van die blokke hang af van omstandighede, maar byvoorbeeld die grootte van die gebied, beskikbare data en kapasiteit van die rekenaar, is faktore wat van belang is. Die belangrikste is egter mannekrag, asook tyd en geld wat aan die projek bestee kan word.

Per blok word die fisiografiese inligting versamel en vasgelê. Eerstens is daar die fisiese eienskappe, soos lokale en gemiddelde helling, 'n lengte- en breedtegraadindeks, 'n watervlakindeks om die oppervlakte weer te gee wat deur damme en mere beslaan word, 'n beboude-gebiede-indeks vir die omvang van stede, 'n bebosde-gebiede-indeks, en gegewens oor geologiese en grondeienskappe.

Verder is daar die meteorologiese eienskappe. Die gegewens aangaande die klimaat word in die vierkant gestoor waar die meteorologiese stasie voorkom. Die tweede stap is dan om die bogenoemde fisiese eienskappe met die klimaatgegevens te korreleer, waarna dit na die ander vierkante uitgebrei kan word.

Laastens is daar die hidrologiese eienskappe, veral die afloop. Die verspreiding van reënval en verdamping is reeds vasgestel met die korrelasie tussen die fisiese en meteorologiese eienskappe en kan dus nou gebruik word om die afloop in elke vierkant te bereken. Die afloop van al die vierkante in 'n opvanggebied word dan gebruik om die opvanggebied se afloop te bereken. Dit word eerstens gedoen vir opvanggebiede waar die afloopdata beskikbaar is, met ander woorde waar die afloop dus gemeet is.

Die verhouding tussen die waargenome en die werklike data gee 'n korreksiekoëffisiënt. 'n Nuwe verbeterde verspreiding van die reënval word nou bereken met behulp van die korreksiekoëffisiënt, waarna 'n nuwe korrelasie tussen die verbeterde reënvalverspreiding en die fisiese eienskappe opgestel word. So word die hele proses herhaal totdat die verskil minimaal geword het. Nou kan 'n korrelasie bepaal word tussen die afloop in elke vierkant en die fisiografiese eienskappe van die vierkant, waarna die korrelasie dan gebruik word om die afloop in die vierkante te bereken waarvan die afloop nie gemeet word nie.

Dit is duidelik dat die roostertegniek, soos hierbo beskryf, baie tydrowend is. Muller (1977) het ook 'n ander groot tekortkoming in die tegniek, soos dit in Kanada toegepas is, uitgewys, naamlik dat die verskil in gemete en berekende afloopwaardes slegs toegeskryf word aan 'n verkeerde reënvalverspreiding. Dit is 'n oorvereenvoudiging, so ook die gebruik van jaarlikse gemiddelde temperature, en die tekort aan verdampingdata.

Bogenoemde doen natuurlik geen afbreuk aan die tegniek self nie, maar dit is duidelik idealisties om 'n volledige sintese na te

streef met bogenoemde tekortkominge. Bogenoemde toepassing van die tegniek is dan ook in lyn met die iteratiewe benadering.

3.3.5 Die metode van Van der Made

In die inleiding is reeds kortweg na die metode verwys toe Van der Made (1988) se definisie van 'n meetstasienetwerk aangehaal en toegelig is. Die metode is in Nederland ontwikkel en word ook daar algemeen toegepas. Dit is belangrik dat die unieke omstandighede in Nederland in gedagte gehou word by die bespreking van hierdie metode. Nederland is hidrologies gesien 'n bykans perfekte homogene gebied. Die deltagebied van twee groot riviere oorheers die riviernetwerk, en albei ontspring in die buiteland en is slegs vir 'n relatief kort deel op Nederlandse grondgebied.

Die behoefte aan hidrologiese gegewens is dus anders. Waar in meeste gevalle die afloop van belang is, is hier die fisiese waterhoogte van belang en word afloopvolumes hoofsaaklik in vloedroetering hanteer. Daar word dus gestreef na 'n toestand waar die waterhoogte op enige plek in die riviere, óf gemeet, óf bereken kan word met die nodige akkuraatheid.

Die akkuraatheid van die waarnemings, of fisiese hoogtemetings, by die meetstasies is die beperkende faktor. Na intensiewe studie is 'n foutstrook van 2,5 cm vir die waarnemings vasgestel. Op hierdie beginsel is die metode gebaseer. Indien twee of meer meetstasies met mekaar vergelyk word en die standaardafwyking minder of gelyk is aan die vasgestelde 2,5 cm dan word inligting gedupliseer en kan waarnemings by van die meetstasies gestaak word. Die watervlakke by die meetstasie waar waarnemings gestaak word, kan dus uit die gemete waardes by die ander meetstasies bereken word, met dieselfde akkuraatheid as die metingsproses.

Verskillende statistiese tegnieke soos korrelasie en meervoudige linieêre regressie, asook suiwer wiskundige tegnieke soos polinome en latfunksies, word vir die vergelykingsproses gebruik. Die bestaande vergelykings, korrelasies en regressies

word ook gedurig herbereken en opgedateer waar nodig. Dit is dus 'n dinamiese proses waardeur die netwerk al hoe meer ge-optimeer word.

In Suid-Afrika sou hierdie metode van netwerkbepanning 'n uiters beperkte toepassing hê, indien enige. Tog is die beginsels van hierdie metode van belang, veral omdat daar nie honderd persent akkuraat gemeet kan word nie.

3.3.6 Die verteenwoordigende of eksperimentele opvanggebied

Hierdie metode is een van die uitsonderings aangesien dit eintlik net van toepassing in die sintese benadering is. Hierdie is 'n beproefde metode waarvoor daar al in 1965 'n IAHS-simposium in Budapest gehou is. Szesztay (1965) het toe al beweer dat die normale netwerk van meetstasies nie meer in al die behoeftes voorsien nie. Dit is dus nodig geag om opvanggebiede af te sonder en meer intensief te bestudeer. Die betrokke opvanggebiede sou wel verteenwoordigend van 'n groter gebied of meerdere opvanggebiede moet wees. Die hantering van die konsep in verskillende lande soos Hongarye is verder toegelig en bespreek.

In Australië het die Australian Water Resources Council in 1969 aanbeveel dat 93 opvanggebiede as verteenwoordigende opvanggebiede ingerig moes word. In 1972 verwys Chapman nog weer hierna in die "Casebook on Hydrological Network Design Practice" (WMO, 1972). Verdere verwysings na die metode as 'n netwerkbepanningstegniek kom egter nie voor nie.

In wese is dit die gevolg van die belangrikste tekortkoming van die sintese benadering. Daar is baie tyd en mannekrag nodig om werklik prakties toepasbare afleidings te kan maak uit die navorsing wat uit dié benadering voortvloei.

Dit neem nie die groot belang van hierdie opvanggebiede weg nie, maar maak dit in elk geval voorlopig onbruikbaar as 'n netwerkbepanningsmetode waar resultate oor 'n relatief kort termyn

vereis word. Soos reeds in die inleiding genoem, is fondse die grootste enkele faktor wat beplanning en optimisering van die meetstasienetwerk noodsaak. As gevolg van 'n tekort aan fondse moet op korttermyn op uitgawes in die data-insamelingsproses besnoei word, en kan nie tientalle jare gewag word nie.

Daar het dan ook 'n klemverskuiwing plaasgevind in die toepassing van hierdie konsep. Gesien die lang tydsduur wat met die ontwikkeling en analisering van die gebiede gepaard gaan, het die nadruk meer op navorsing begin val. Daar word byvoorbeeld gepoog om vas te stel wat die effek van bebossing en die uitbreiding van stedelike gebiede op die afloop is. Die resultate kan dan gebruik word in ander opvanggebiede om projeksies moontlik te maak, asook die bestaande data beter te kan analiseer. Volgens die skrywer kan die navorsing op die gebied van wêreldwye klimaatsveranderinge by uitstek in hierdie opvanggebiede gedoen word.

Die keuse van sulke verteenwoordigende opvanggebiede in Suid-Afrika word deur die skrywer aanbeveel. Dit sal egter op hierdie stadium nie help met die probleem van netwerkbeplanning nie, gesien die lang tydsduur.

3.4 SAMEVATTING EN GEVOLGTREKKINGS

Soos aan die begin van die hoofstuk genoem is, is slegs 'n aantal metodes kortliks bespreek. Dit is egter reeds duidelik dat die metode as sulks nie die belangrike element in netwerkbeplanning is nie. Daar is genoeg tegnieke beskikbaar wat op alle moontlike maniere gekombineer kan word na gelang van die behoefte, vermoëns en begroting van die netwerkbeplanner.

Die belangrikste aspek is die filosofiese benadering tot netwerkbeplanning. Is die netwerkbeplanner 'n "idealis" of 'n "realis"? Die bespreking van die metodes hierbo het aangetoon dat die iteratiewe benadering die realistiese benadering en gevolglik die enigste praktiese benadering is. Die sintese

benadering is 'n lugkasteel in soverre dit 'n finale metode of metodes vir netwerkbeplanning moet produseer. Die analise van die faktore wat die hidrologiese proses beïnvloed, is egter wel van kritieke belang en lesse wat daardeur geleer is, sal definitief sinvol in netwerkbeplanning verwerk kan word.

Amorocho en Hart (1964) se gevoltrekking kan egter nog verder gevoer word. Daar sou gestel kon word dat die kompleksiteit en die veranderlikheid van die faktore wat die hidrologiese siklus beïnvloed, so groot is dat die finale antwoorde nooit gevind sal word nie, en dat daar altyd met 'n moontlike onsekerheid of fout gewerk sal moet word. Dit is nie eers vir 'n tegnologies gevorderde land soos Nederland, wat ook nog unieke hidrologiese toestande het, moontlik om honderd persent akkuraat te kan meet nie. Die mees basiese data het dus reeds 'n inherente onsekerheid. In hierdie opsig hou die rigting waarin Husain (1989) beweeg baie belofte in. Hy gebruik die entropie-beginsel om hidrologiese onsekerheid en inligting in gemete en ongemete dele van 'n opvanggebied te benader.

Die vraag ontstaan selfs of die klem op lang historiese rekords korrek is. Met die klaarblyklik veranderende klimaattoestande wêreldwyd, kan data wat 'n honderd jaar terug ingesamel is waarskynlik nie meer van toepassing op die huidige toestande wees nie. Dit geld natuurlik nie vir ondersoeke na, en analises van historiese vloede waar lang rekords van kritieke belang is nie. Waar die reënval-afloopverhouding in 'n bepaalde opvanggebied vir die bestuur van die waterbronne van die gebied gemodelleer sou word, is die vraag natuurlik wel van toepassing.

Hoofstuk 4

NETWERKBEPLANNING IN SUID-AFRIKA**4.1 INLEIDING**

In hierdie hoofstuk sal eers die benadering en riglyne vir netwerkbepanning in Suid-Afrika voorgestel word. Hieruit sal blyk dat netwerkbepanning die beste in opeenvolgende fases (stappe) uitgevoer kan word. Die prosedure vir die eerste fase word vervolgens in besonderhede omskryf. Die verwagte prosedure en ondersoek in die tweede fase word ook kortliks bespreek. Laastens word kortliks na die hantering van die gevallestudies in Hoofstukke 5 tot 7 gekyk.

4.2 RIGLYNE EN BENADERING

Na aanleiding van die voorafgaande hoofstukke kan die volgende riglyne en randvoorwaardes vir netwerkbepanning in Suid-Afrika geformuleer word.

4.2.1 Benadering

Eerstens sal die "iteratiewe" benadering gevolg word. Die sterkste rede vir die aktiewe beplanning van die netwerk in Suid-Afrika is die ekonomiese omstandighede. Druk uit dié rigting, maak dit noodsaaklik dat praktiese resultate oor 'n relatief kort termyn verkry moet word.

4.2.2 Opvanggebiede

Die riviervloei-meetstasienetwerk in Suid-Afrika word deur een enkele organisasie bedryf, naamlik die Departement van Waterwese en Bosbou - meer spesifiek die Direktoraat Hidrologie en die Hidrologiese komponente van die ses administratiewe strekê. In Hoofstuk 2 is aangetoon dat dit nie moontlik is om die netwerk op 'n nasionale basis te beplan nie en dat die sekondêre opvanggebied die mees voor-die-hand-liggende afbakening is. Die groot rede hiervoor is die skaalfaktor en die groot variëteit in

opvanggebiede en hidrologiese toestande.

4.2.3 Geïntegreerde netwerke

Daar is ook kortweg verwys na geïntegreerde netwerke (Van der Made, 1988). Aangesien die integrasie van netwerke die beplanning daarvan nog meer kompleks maak, is dit meer sinvol om eerstens net aandag te gee aan die riviervloei-meetstasienetwerk as die mees basiese hidrologiese inligtingsnetwerk. Later kan netwerke vir byvoorbeeld waterkwaliteit en limnologiese eienskappe relatief maklik met die vloeimeetstasienetwerk geïntegreer word. Die behoeftes van genoemde netwerke moet natuurlik nie geïgnoreer word nie, maar kan reeds van die begin af in gedagte gehou word sonder dat daar te veel aandag en tyd aan bestee word.

4.2.4 Data

Daar is ook nog die data wat by die meetstasies ingesamel word. Die data word verwerk tot maandelikse en jaarlikse gemiddelde vloeitempo's. Oor die algemeen word, in opvanggebied- en waterbronstudies, van die maandelikse gemiddelde vloei gebruik gemaak om die nodige analises uit te voer. Daar is min behoefte aan daaglikse of selfs intydse inligting. Eersgenoemde kom hoofsaaklik voor in bedryfsomstandighede, soos die verdeling van water in besproeiinggebiede en wateroordragte.

Die behoefte aan intydse data is nog meer beperk tot enkele van bogenoemde bedryfsdoeleindes en vloedtoestande. Laasgenoemde is nie 'n kontinue behoefte nie, maar die netwerk moet waar nodig, wel daartoe in staat wees.

Die databehoeftes word weerspieël in die feit dat oor die algemeen die maandelikse vloei by 'n meetstasies eers 'n maand of wat na die werklike gebeurtenis beskikbaar is. Daar is ook slegs 'n paar telemetriestelsels, waarvan die een in die Vaaldamopvanggebied sekerlik een van die grootstes is. Hier word intydse data

ingesamel by geselekteerde meetstasies in die opvanggebied vir vloedwaarskuwing en vloedroetering.

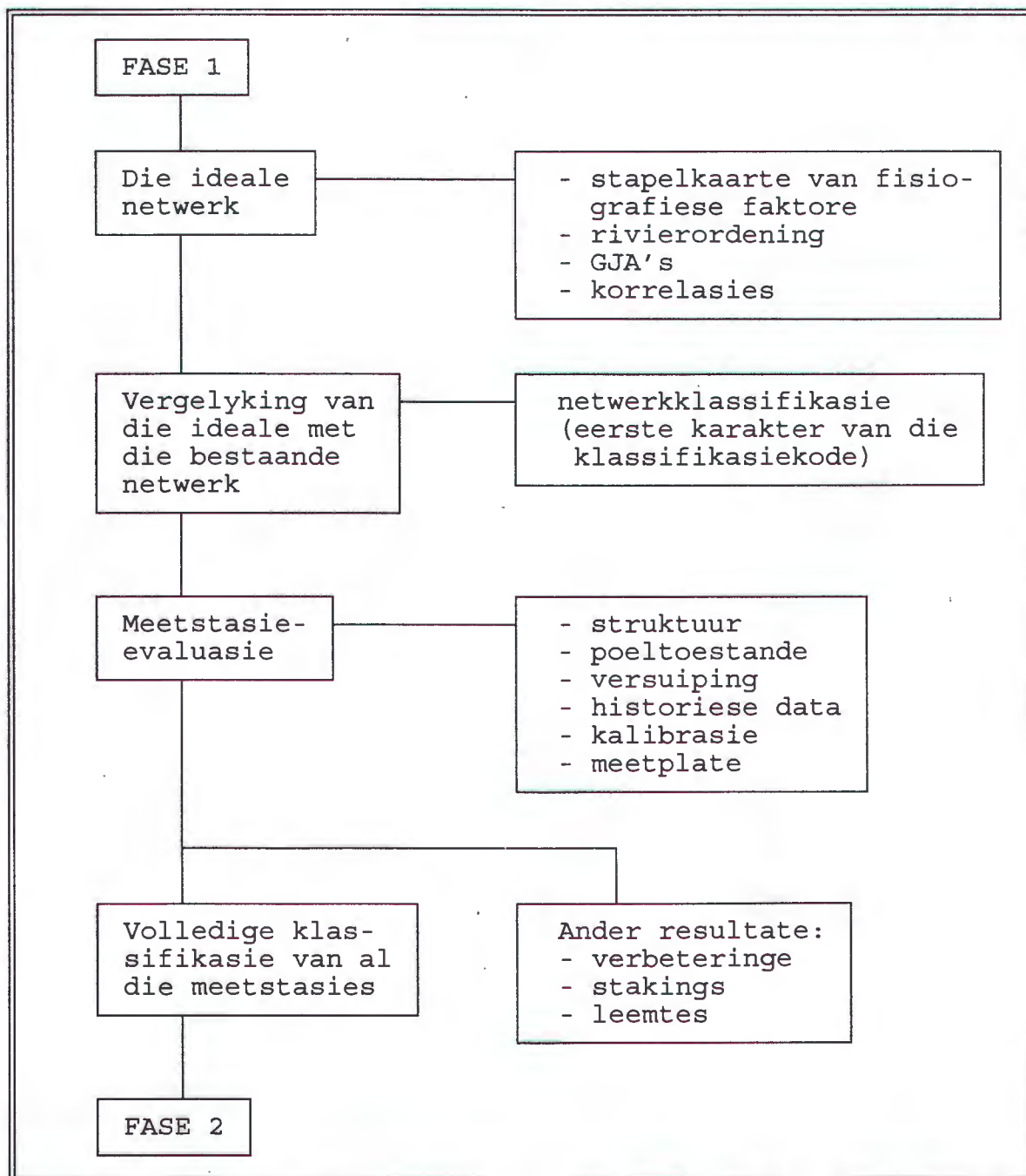
Dit is sinvol om hier eers te kyk na inligting versus data, waarvoor baie te sê is. Verskillende mense heg verskillende waardes aan die begrippe. Dit is dus die maklikste om die begrippe te definieer soos dit in hierdie verhandeling hanteer word. Data is die oorspronklike watervlakke soos dit deur die registreerder in die meetstasie grafies vasgelê word. Onder inligting word enige verwerking van hierdie data verstaan. Dit sluit byvoorbeeld ook in gemiddelde jaarlikse watervlak, maksimum en minimum waargenome watervlakke en al die vloeiinligting. Twee meetstasies in 'n opvanggebied of rivier, sal dus waarskynlik nooit data dupliseer nie. Die inligting, veral die vloeiinligting, kan natuurlik wel gedupliseer word.

4.2.5 Fases

Netwerkbeplanning moet rasioneel benader word. Dit kan gedoen word deur eerstens die ideale situasie te definieer, dan vas te stel wat gedoen behoort te word en as laaste stap vas te stel wat gedoen kan word onder die heersende omstandighede. Hiervoor is egter kennis van die huidige netwerk noodsaaklik. Veral die doeltreffendheid van die netwerk behoort baie aandag te kry.

'n Stapsgewyse benadering is dus die aangewese manier om te volg. Die eerste stap - Fase 1 - is 'n leerproses, en om suksesvol te wees behoort dit binne 'n relatief kort tydperk afgehandel te word. As gevolg van die tydbeperking kan daar in die eerste fase dus geen diepgaande ondersoek gedoen word nie. Die fase is dus meer 'n voorbereiding vir die werklike netwerkbeplanning, wat ook netwerkoptimisering sal insluit. Die volgende stap - Fase 2 - sal dus meer intensiewe ondersoek insluit. Veral die evaluering van die bestaande datarekord behoort in hierdie fase die meeste aandag te geniet. Die aanbevelings van die eerste fase kan verfyn, of waar nodig verbeter word. Verdere stappe sal 'n konstante herhaling van die proses wees en waarin ook

ander netwerke by die vloeimeetstasienetwerk geïntegreer sal word.



Figuur 4.1
'n Skematiese voorstelling van die Fase 1-proses

4.3 DIE EERSTE FASE

Fase 1 sal dan die eerste stap in die rigting van netwerk-

beplanning verteenwoordig. Die hoofdoel van die fase is 'n leerproses. Die huidige netwerk moet ge-evalueer word. Dit sal in hierdie fase beperk wees tot 'n evaluasie van die doeltreffendheid van die bestaande netwerk in die betrokke opvanggebied, en 'n kort evaluasie van die bestaande meetstasies (fig. 4.1). Vir die evaluasie van die doeltreffendheid stel die skrywer 'n metode, die ideale netwerk, en vir die meetstasie-evaluasie 'n volledige prosedure voor.

Die verwagte resultate sal wees dat die dooie hout uit die netwerk verwyder sal word en groot leemtes en foute uitgewys word. Daar sal ook 'n klassifikasie van die meetstasies gedoen kan word ten opsigte van die belang van die betrokke meetstasie vir die netwerk. Vir die nodige klassifikasie stel die skrywer 'n kode voor wat onder 4.3.3 in besonderhede beskryf word. Laastens sal die groot variasie in opvanggebiede en toestande meer duidelik word. Die keuse van metodes, of die ontwikkeling daarvan, kan dan meer objektief gedoen word.

4.3.1 Die ideale netwerk

Die opstel van die ideale netwerk kan as die netwerkbeplanning-aspek van Fase 1 beskou word. Dit kan as metode onder die stapelkaartmetodes in Hoofstuk 3 ingedeel word. Die doel van die metode is om, sonder diepgaande ondersoek, vas te stel watter netwerk waarskynlik die doeltreffendste vir die betrokke opvanggebied sou wees.

Die volgende prosedure word gevolg (fig. 4.1): Die opvanggebied onder beskouing word hanteer asof daar geen riviervloeiemeetstasienetwerk bestaan nie. Reënval, verdamping, topografie, geologie en plantegroei (veldtipes, bosse ens.) word op 'n kaart aangebring. Besproeiing, wateroordragskemas, en stedelike of industriële gebiede speel 'n sekondêre rol.

Die kaarte van die afsonderlike faktore word dan oor mekaar geprojekteer - gestapel. Homogene gebiede, waarvan die afloop

gemonitor behoort te word, kan op die manier geïdentifiseer word. In opvanggebiede waar sulke homogene gebiede glad nie, of slegs gedeeltelik voorkom, kan veranderinge in byvoorbeeld plantegroei of topografie monitering regverdig. 'n Ideale netwerk word op grond van bogenoemde inligting vir die betrokke opvanggebied opgestel.

Die riviernetwerk in die betrokke opvanggebied speel egter ook 'n groot rol, aangesien dit die verspreiding van meetstasies oor die opvanggebied baie sterk beïnvloed. Die rol is soms oorheersend en in die gevalle word die rivier-orderingstechniek toegepas om die ideale netwerk op te stel.

Die ideale netwerk word gebruik om die bestaande netwerk te evalueer. Leemtes is die eerste resultaat wat so 'n vergelyking sou kon uitwys. Moontlike oorwig van meetstasies in 'n bepaalde gebied word ook hierdeur uitgewys. Moontlik omdat daar 'n bepaalde rede voor sou kon wees wat nie in die voorbereiding van die ideale netwerk in ag geneem is nie.

Die belangrikste resultaat is dat voorlopig vasgestel kan word wat die belang van al die meetstasies in die opvanggebied ten opsigte van die netwerk as 'n geheel is. Saam met die inligting wat uit die meetstasie-evaluasie verkry is, kan 'n klassifikasiekode opgestel word wat in een oogopslag 'n beeld van die belang en bruikbaarheid van die meetstasie gee.

4.3.2 Meetstasie-evaluasie

Soos reeds onder 4.2.1 genoem is, is praktiese resultate binne 'n kort tyd van belang, daarom kan 'n volledige, diepgaande evaluasie van meetstasies nie gedoen word nie. Daar is egter heelwat wat ondersoek kan word binne die beperkte tyd en wat 'n goeie aanduiding van die gehalte van die meetstasies behoort te gee.

Daar is baie aspekte verbonde aan meting en meetstasies wat almal

'n rol kan speel, maar wat ook interafhanklik is. Daar is byvoorbeeld die fisiese aspekte, struktuur al dan nie, poeltoestande, plek van meting en die tipe rivier. Verder is daar die dataverwerkingsproses en kalibrasie. Die Direktoraat Hidrologie, Departement van Waterwese en Bosbou, het slegs 'n vasgestelde prosedure waarvolgens die kalibrasie van 'n meetstasie ge-evalueer word. Die prosedure evalueer dus net een aspek en is daarby te diepgaande om in die eerste fase bruikbaar te wees. Die skrywer stel voor dat die volgende aspekte (fig. 4.1) kwalitatief ondersoek word, sodat 'n idee van die akkuraatheid en betroubaarheid van die meetstasie gevorm kan word:

4.3.2.1 Struktuur

Is die struktuur ontwerp en gebou volgens die standarde wat daarvoor neergelê is? Dit wil sê, kan die meetstasie gekalibreer word deur die teorie wat daarvoor ontwikkel is, toe te pas? Is daar afwykings van die voorskrifte, en wat is die moontlike implikasies daarvan? Die toestand van die struktuur speel ook 'n rol. Lekkasies sal byvoorbeeld 'n invloed op laagvloei-meting hê.

4.3.2.2 Poeltoestande

Soortgelyk aan die struktuur kan hier ook gevra word of die poel aan die vereistes voldoen. Is daar genoegsame voor-diepte? Is aankomsnelhede laag? Is die poel lank en reguit? 'n Draai stroomop kan veroorsaak dat die water-hoogte voor die struktuur nie ooral dieselfde is nie. Meeste probleme by poele kan tot 'n mate met gereelde onderhoud oorkom word.

4.3.2.3 Stroomaftoestande

Kom versuiping van die struktuur voor? Word dit gemonitor al dan nie? Is dit in die kalibrasie van die struktuur verwerk?

4.3.2.4 Posisie van meetplate en inlaatpyp

Voldoen ook dit aan die teoreties gestelde vereistes?

Indien daar praktiese probleme sou wees wat daartoe lei dat die posisionering nie volgens die norm is nie, wat is die moontlike effek daarvan?

4.3.2.5 Kalibrasie

Hier moet vasgestel word wanneer die kalibrasie gedoen is en of dit nog geldig is. Daar moet ook vasgestel word of die kalibrasie moontlike afwykings in die struktuur, poeltoestande en stroomaftoestande asook die posisionering van die meettoerusting in ag geneem het. Indien dit nie moontlik is of nie gedoen is nie, moet 'n aanduiding verkry word wat die effek van die afwykings sou wees.

4.3.2.6 Vloeiduurte- en vloeivolumekrommes

Die data van die meetstasies kan nie in detail bestudeer word nie, omdat dit heeltemaal te lank sou vat. Die data word in wese dus as korrek aanvaar tensy die vlugtige ondersoek duidelik gebreke uitwys. Deur vloeiduurte- en vloeivolumekrommes op te stel kan 'n beeld gekry word van die vloeitoestande by 'n bepaalde meetstasie. Die krommes word opgestel deur kumulatief vas te stel watter vloei hoeveel persent van tyd voorkom of hoeveel persent van die totale volume daardeur produseer word.

Die effek van die afwykings in die fisiese toestande en kalibrasie kan dan tot 'n mate gekwantifiseer word. Daar is byvoorbeeld vasgestel dat die stuktuur 'n lekkasie het, sê maar 10 liter per sekonde. Die vloeiduurtekromme wys dat 'n vloei van 10 kumek (10 000 liter per sekonde) of meer, vir negentig persent van die tyd by die meetstasie voorkom. Die vloei verteenwoordig ook tagtig persent van die volume volgens die vloeivolumekromme. Die effek van die lekkasie is dus gering, amper weglaatbaar.

In 'n ander geval is opgemerk dat die meetstasie direk stroomaf van 'n skerp draai geleë is. Die effek van die draai sal veral 'n invloed op hoër vloei hê. Nou blyk uit

die vloeduurtekromme dat die vloeie slegs tien persent van die tyd voorkom en lyk dit dus asof dit nie baie saak maak nie. Die vloeivolumekromme toon egter dat die vloeie verantwoordelik is vir tagtig persent van die volume. Die effek van die draai is dus wel belangrik.

4.3.2.7 Gapings en plusse

Nog 'n vinnige manier om na die datarekord te kyk is om die hoeveelheid gapings en plusse vas te stel. Gapings kom voor indien daar om een of ander rede geen data ingesamel is nie. Die redes daarvoor is nogal uiteenlopend. Die waarnemer was siek of het vergeet. Daar was 'n vloed en die meettoerusting het weggespoel, of die struktuur is beskadig.

Plusse ontstaan indien die watervlak wat gemeet word hoër is as die aflooptabellimiet van die meetstasie. Soms kan dit verhelp word deur die limiet te verhoog. In heelwat gevalle is dit egter nie moontlik nie, omdat die meetstasie bo die limiet nie meer die kontrole is nie, en dus nie meer teoreties verder gekalibreer kan word nie.

4.3.3 Die klassifikasiekode

Die klassifikasiekode gee 'n indikasie van die belang van die meetstasie in die netwerk en ook 'n indruk van die akkuraatheid of kwaliteit van die meetstasie, en dus ook die ingesamelde data (fig. 4.1).

Volgens die skrywer moet die kode aan twee botsende behoeftes voldoen. Dit moet aan die een kant soveel as moontlik inligting voorsien. Aan die anderkant moet die kode maklik hanteerbaar en eenvoudig wees sodat dit maklik aangeleer en hanteer kan word.

Die kode wat hier voorgestel word, bestaan uit drie karakters waarvan die eerste twee altyd letters is en

die derde een 'n syfer.

4.3.3.1 Die eerste karakter

Die eerste karakter gee 'n aanduiding van die belang van die meetstasie ten opsigte van die netwerk en bestaan uit die volgende soorte:

- P - Primêre netwerkstasie
- S - Sekondêre netwerkstasie
- B - Bedryfstasie
- A - Ander meetstasie
- Q - Kwaliteitmeetstasie

(a) Primêre netwerkstasie

Hieronder sorteer dié meetstasies wat van essensiële belang in die netwerk geag word. Swak of geen data van die meetstasies laat 'n groot leemte in die netwerk. Hierdie meetstasies behoort dus voorkeurbehandeling te kry en die grootste sorg moet gedra word om te verseker dat data wat hier ingesamel word, betroubaar is.

(b) Sekondêre netwerkstasie

Hierdie meetstasie is ook belangrik in die netwerk, maar natuurlik nie soos die primêre meetstasies nie. Die meetstasies moet ook goed onderhou word en dit is belangrik dat die ingesamelde data hier ook betroubaar is.

Beide die primêre en sekondêre meetstasies is netwerkstasies. Dit wil sê dat hulle die hidrologiese inligting insamel. Indien die meetstasies swak of glad nie funksioneer nie, is daar dus leemtes in die mees basiese netwerk in die opvanggebied.

Daar is ook 'n variasie in die belangrikheid van die sekondêre netwerkstasies ten opsigte van mekaar. Dit is belangrik om te onthou dat die kriteria hier nie die

kwaliteit van die meetstasie is nie maar die gebruik van die data wat ingesamel word.

(c) Bedryfstasie

Data wat hier ingesamel word, is slegs van belang vir die bedryf van byvoorbeeld wateroordrag- en besproeiingskemas. Die belang van die skema sal natuurlik die prioriteit van die betrokke bedryfstasies bepaal. Wat die hidrologie betref, is hulle van ondergeskikte belang.

(d) Ander meetstasie

Hieronder val al die spesiale en navorsingmeetstasies. Dit is tot 'n mate 'n subjektiewe onderskeiding, want by navorsingsmeetstasies word ook hidrologiese inligting ingesamel. Die kriteria is hier dan ook die lewensduur van die meetstasies. Oor die algemeen word hierdie meetstasies vir 'n beperkte tyd en met 'n spesifieke doel bedryf. Hulle is projekgebonde. Sodra die ondersoek afgehandel is of om finansiële redes gestaak word, word waarnemings meestal gestaak.

(e) Kwaliteitmeetstasie

Hier word slegs kwaliteitbemonstering gedoen. By meeste van die netwerk-, bedryf- en ander meetstasies word ook waterkwaliteitsmonsters geskep, maar die verskil is dat daar by kwaliteitmeetstasies geen vloei-inligting ingesamel word nie.

Hierdie meetstasies hoort eintlik tuis in 'n kwaliteitsnetwerk, maar aangesien heelwat H-nommers in die meetstasiekatalogus van die Direktoraat Hidrologie aangetref is, is dit nodig om die kode toe te ken. In sommige gevalle is hoogtewaarneming by meetstasies gestaak, maar is voortgegaan om watermonsters te skep vir waterkwaliteit en het die H-nommer gebly.

Met die nuwe nommeringstelsel wat deur die Direktoraat

Hidrologie in gebruik geneem is, word daar ook nie meer in die nommer van die meetstasie onderskeid gemaak of daar slegs kwaliteitbemonstering gedoen word en of daar ook hoogtewaarnemings is nie. Die onderskeid word gemaak in die beskrywing van die datastelle wat daar vir elke meetstasie mag wees. Kyk ook die beskrywing van die nuwe nommeringstelsel in Hoofstuk 2.

4.3.3.2 Die tweede karakter

Die tweede karakter gee 'n beskrywing van die meetstasie. Die kode dui aan of daar 'n struktuur is, of die meetstasie deel is van 'n kompleks, byvoorbeeld 'n kanaal- of pypuitlaat uit 'n dam, en hoe daar gemeet word. Dit gee dus ook 'n indruk van wat verwag kan word van die kwaliteit van die inligting wat daar ingesamel word.

'n Meetstasie met 'n struktuur, veral in 'n kanaal, behoort oor die algemeen meer akkuraat te wees as 'n meetstasie waar hoogtelings met behulp van helling-area-tegnieke, of stroommetings na vloei omgeskakel word. Dit is natuurlik nie altyd die geval nie, maar die derde karakter wat 'n aanduiding gee van die kwaliteit van die meetstasie sal egter die uitsonderings aanwys.

Die volgende letterkodes word gebruik:

- M - 'n meetstruktuur in 'n rivier
- K - 'n meetstruktuur in 'n kanaal, meestal 'n komponent van 'n ander meetstasie
- V - 'n vloedseksie wat deel is van 'n M-klasmeetstasie en bestaan uit 'n stel meetplate stroomop of -af van die meetstasie. Kalibrasie word met behulp van helling-area-tegnieke en stroommetings gedoen.
- W - 'n meetstruktuur stroomaf van 'n dam wat die rivier-

uitlate en eerste deel van die oorloop monitor. Die meetstasie is uit 'n netwerkoogpunt 'n onderdeel van die dam omdat die inligting wat daar ingesamel word benodig word vir die dambalans.

G - 'n stroommetingseksie (kyk ook H hieronder)

H - 'n helling-area-terrein wat nie deel van 'n M-klas-meetstasie is nie, maar 'n selfstandige meetpunt. Kalibrasie word egter op dieselfde manier as V en G hierbo gedoen.

R - damoorloop

P - uitlate uit 'n dam wat deur 'n volumetriese meter gemonitor word, meestal pyplyne. Die meetpunte is ook gewoonlik komponente van die dam.

4.3.3.3 Die derde karakter

Die laaste karakter is 'n syfer en gee 'n indikasie van die kwaliteit van die data. Soos reeds verduidelik, is die data nie in detail ondersoek nie, die kode is dan ook relatief gevoelsmatig. In verdere fases sal hierop verbeter kan word. Die kategorieë waarin die data kwaliteitsgewys ingedeel word, is egter sodanig dat die kode so min as moontlik verwarring kan skep.

Die syferkode is dus gebaseer op die evaluasie van die huidige toestand van die betrokke meetstasie, en deel dit in drie groepe in (tabel 4.1). Elk van die drie groepe is weer onderverdeel in drie subgroepe wat ook iets sê oor die geskiedenis van die meetstasie. Indien die syferkode 1 toegeken word, is die meetstasie in 'n goeie werkende toestand en was nog altyd gewees. Die data wat daar ingesamel is en word, behoort van 'n goeie gehalte te wees.

Tabel 4.1

Syferkode vir die klassifikasie van meetstasies

Kodesyfer	Huidige toestand	Historiese data
1	Goed	Deurlopend goed
2		Struktuur het verander
3		Data/meting het verander
4	Redelik	Deurlopend goed
5		Struktuur het verander
6		Data/meting het verander
7	Swak	Deurlopend goed
8		Struktuur het verander
9		Data/meting het verander
0		Data word deur 'n ander instansie ingesamel.

Waar die syferkode 5 toegeken word, is die meetstasie tans in 'n redelike toestand, maar daar het veranderinge in die struktuur plaasgevind. Dit is die mees algemene verandering wat 'n groot invloed op die kwaliteit van die meetstasie kan hê. Let daar op dat daar nie gesê word of die verandering ten goede is of nie. Slegs 'n verandering in toestand word aangedui. Die data kon dus voorheen goed gewees het maar die struktuur is beskadig deur 'n vloed, of die data was voorheen swak maar die struktuur is opgegradeer of vervang met 'n beter een.

Die derde subgroep werk op dieselfde manier as die een wat in die voorafgaande paragraaf bespreek is. Hier moet die rede vir die verandering egter in die metings- of data-insamelingsproses gesoek word. Net soos die tweede subgroep word slegs die verandering aangedui. By 'n meetstasie waar 'n vloed die meetplate weggespoel het en die nuwe meetplate nie op die

teoreties korrekte posisie heropgerig is, nie het die akkuraatheid dus agteruitgegaan.

Die kode is maklik om aan te leer en te gebruik en voldoen dus aan die kriteria wat onder 4.3.3 genoem is. Dit verskaf ook heelwat inligting. Veral die meer ervare hidroloog, tegnikus of ingenieur kan heelwat intiutiewe afleidings maak.

4.4 DIE TWEDE FASE

Dit is nie nou moontlik om volledig te wees oor wat in Fase 2 gedoen sou moet word nie. Dit sal pas gedoen kan word na aanleiding van die resultate van die eerste fase. Dit is wel belangrik om vooraf ietwat te besin in watter rigting daar beweeg word en soos onder 4.1 genoem, die prosedures en ondersoeke wat in Fase 2 gedoen behoort te word, kortliks te bespreek.

Die eerste fase behoort 'n beeld van die huidige netwerk regdeur die land as resultaat te lewer. Die verskille tussen die opvanggebiede sal bekend wees, en soortgelyke opvanggebiede kan gegroepeer word. Die probleme en ekstreme toestande waarmee rekening gehou moet word, is tot 'n groot mate bekend.

In die tweede fase sal eerstens die bestaande datarekords van die meetstasies in meer detail ondersoek moet word. Verder sal die menslike aktiwiteite in die opvanggebiede meer aandag moet kry. Die behoefte aan water, die kwaliteit daarvan, ensomeer sal 'n groot invloed op die netwerk hê. Waar daar 'n hoë bevolkingsdigtheid in 'n opvanggebied voorkom, met die gepaardgaande industrieë en/of landbou en mynbou-aktiwiteite, word 'n hoë premie op inligting oor die waterbronne geplaas. Die behoefte aan akkurater meting en berekening is groter en gee outomaties aanleiding tot digter netwerke as wat die eerste fase as ideale netwerk sou uitwys. Die digter netwerke behoort die basiese ideale netwerk in te sluit, en slegs 'n uitbreiding daarvan te wees waar dit nodig blyk.

Die netwerke van reënval- en verdampingsmeetstasies sal ook in die tweede Fase in berekening gebring moet word. Die netwerke kan aanvullende inligting voorsien en in gevalle kan dit voorkom dat dit net nodig is om die netwerke te verbeter om die nodige waterbroninligting te kan bekom. Reënval-afloopmodelle kan dus ook gebruik word.

Dit is duidelik dat daar nie meer gedink moet word aan 'n enkele metode van netwerkbepanning nie. Netwerkbepanning kom voort uit 'n kombinasie van metodes en tegnieke wat verskil van opvanggebied tot opvanggebied. Die nagenoeg unieke omstandighede in die afsonderlike opvanggebiede sal aanleiding gee tot eiesoortige oplossings. Die behoefte en omstandighede bepaal die oplossing.

4.5 GEVALLESTUDIE

4.5.1 Toetsopvanggebied

Die X-dreineringsstreek (Incomatirivier) in Oos-Transvaal is gekies as toetsopvanggebied. Die streek sluit drie sekondêre opvanggebiede in, naamlik die Komatirivier (X1), die Krokodilrivier (X2) en die Sabierivier (X3).

Die streek is gekies om onder andere die volgende redes: die Krokodilrivier-opvanggebied het 'n baie hoë meetstasiedigtheid; die Komatirivier-opvanggebied het 'n relatief ongemaklike vorm omdat dit langwerpig met een groot rivier en hoofsaaklik klein sytakke is; en werk wat reeds op die Sabierivier gedoen is, het gewys dat die netwerk hier nagenoeg ideaal is.

Die fisiografiese en meteorologiese eienskappe van die streek het ook 'n rol in die keuse gespeel. Van die hoër reënval in die land kom hier voor. Die topografie verskil ook van vlaktes na berge. Die riviere ontspring hoofsaaklik in die Transvaalse Drakensberge en vloei dan deur die Laeveld waar groot dele ook uit natuurreservate bestaan.

4.5.2 Hantering van die gevallestudie

Die gevallestudie sal oor die volgende drie hoofstukke as volg hanteer word: In elk van die drie hoofstukke sal een van die sekondêre opvanggebiede bespreek word. 'n Kort beskrywing van die opvanggebied en sy fisiografie word gegee.

Die volgende stap is om die ideale situasie te definieer. Die metodes soos onder 4.2.2 uiteengesit, word toegepas om die ideale netwerk vir die betrokke sekondêre opvanggebied op te stel. Die inligting is op kaart aangebring en word aan die einde van elke hoofstuk weergegee. Die bestaande netwerk in die opvanggebied word dan aan die hand van die ideale netwerk ge-evalueer. Die eerste karakter van die klassifikasiekode wat die belang van die meetstasie vir die netwerk beskryf, word dus vasgestel.

Aangesien daar slegs in die riviervloei-meetstasienetwerk belanggestel word, sal slegs die primêre en sekondêre netwerkstasies kortweg bespreek word, die inligting oor die bedryf- en ander meetstasies kan in die betrokke netwerkbeplanningsverslae nageslaan word. Hierna word die volledige klassifikasiekode van al die bestaande stasies in tabelvorm weergegee.

Hoofstuk 5

DIE KOMATIRIVIEROPVANGGEBIED

5.1 INLEIDING

In hierdie hoofstuk word die netwerk in die Komatirvier-opvanggebied ge-evalueer. Die metode soos beskryf in Hoofstuk 4 word toegepas en die eindresultaat is die klassifikasie van al die bestaande riviervloeiemeetstasies binne die opvanggebied.

Dit is nie die doel van die studie om die opvanggebied volledig en in besonderheid te bespreek nie. Enkele aspekte soos reeds in Hoofstuk 4 bespreek, wat die grootste, mees direkte invloed op die beplanning van die vloeiemeetstasienetwerk uitoefen, word beskryf. Afloop-, reënval- en ander statistieke wat betrekking op die opvanggebied het, is verkry van die Departement van Waterwese en Bosbou (1986) en Pitman, Middleton & Midgley (1981).

5.2 BESKRYWING VAN DIE OPVANGGEBIED

5.2.1 Ligging

Die Komati-opvanggebied is in Oos-Transvaal geleë (fig. 5.1). Dit is 'n redelike lang, smal opvanggebied en beslaan 'n oppervlakte van 11 279 km². Die opvanggebied strek vanaf wes van Breyten tot by Komatipoort aan die Mosambiekse grens, en sluit die noordelike deel van Swaziland in.

5.2.2 Klimaat

Die opvanggebied het volgens Poynton (1971) drie klimaatsones. Die westelike helfte het 'n gematigde klimaat, die deel wat in Swaziland lê, 'n subtropiese klimaat en noord en oos van die Swazilandse grens het die opvanggebied 'n semi-ariëde klimaat. Die opvanggebied is in twee WMO-gebiede ingedeel soos beskryf in Hoofstuk 2 (tabel 2.1, kyk ook Bylae 3).

Die reënvalverspreiding is vanweë die fisiografie ietwat

kompleks. Die gemiddelde jaarlikse reënval wissel van meer as 1 400 mm tot minder as 800 mm (fig. 5.2), met 'n opvanggebiedgemiddelde van 893 mm. Die hoër reënval kom in twee konsentrasies voor, naamlik teen die platorand en in die middel van die opvanggebied op die grens met die Krokodilopvanggebied (fig. 5.2).

5.2.3 Landoppervlak

Die Komatirivier ontspring in effens tot sterk golwende vlaktes op die Hoëveld, waarna dit ooswaarts deur hoë berge vloei, volgens die terreinmorfologiese kaart van Kruger (1983). In die omgewing van Vygeboomdam (X1R003) vloei die Komatirivier deur sterk golwende vlaktes, wat voor die westelike grens van Swaziland weer verander na hoë berge. In Swaziland begin die Komatirivier in 'n noord-oostelike rigting deur matig golwende vlaktes vloei. In die laaste deel, voor die Mosambiekse grens vloei die Komatirivier deur die Laeveld met sy effens golwende vlaktes. Die opvanggebied word in die ooste deur die lae heuwels van die Lebomboberge begrens. In fig. 5.2 word 'n vereenvoudigde kontoerkaart weergegee.

5.2.4 Plantegroei en landgebruik

Opvallend van die opvanggebied is dat daar baie min industriële ontwikkeling is en dat bevolkingsdigtheid ook relatief laag is.

Op die Hoëveld in die omgewing van Vygeboomdam is daar hoofsaaklik grasvlaktes (Acocks, 1988). Tussenin is daar hier en daar bosbou-aktiwiteite, maar op 'n baie klein skaal. In Swaziland verander die grasvlaktes na hoofsaaklik Laeveldse bosveld, terwyl in die gebied noordoos van Swaziland die plantegroei na Laeveldse savanne verander.

5.2.5 Dreinerings en hidrologie

Soos reeds opgemerk, is die opvanggebied smal en langwerpig. Die Komatirivier ontspring op die Hoëveld in die

weste en vloei ooswaarts deur Swaziland na Mosambiek. Oor die algemeen is die sytakke kort, met die Lomatirivier, Buffel- en Teespruit as die belangrikste sytakke.

Daar is tans drie damme in die opvanggebied, waarvan die watervlak van die Shiyalongubodam in 'n sytak van die Lomatirivier nie gemonitor word nie. Die ander twee is die Nooitgedachtdam (X1R001) en Vygeboomdam (X1R003), beide in die Komatirivier.

Die opvanggebied se gemiddelde jaarlikse afloop (GJA) is $1\,443 \times 10^6 \text{ m}^3$ (tabel 5.1) en verteenwoordig 2,69% van die totale GJA van die RSA.

In die opvanggebied is daar redelike groot oordrag en onttrekking van water tussen riviere en damme ter sprake. Die pyplyne, pompe en kanale wat by die oordrag betrokke is, is onder Ewkom se beheer, en voorsien water aan die kragentrales op die Hoëveld.

Twee nuwe damme word tans oorweeg, naamlik Driekoppiesdam in die Lomatirivier (RSA) en die Magugadam in die Komatirivier (Swaziland). Wat die netwerkondersoek betref, is die moontlike invloed van die voorgestelde damme wel in gedagte gehou, soos die bespreking van die netwerk onder 5.3 sal wys.

5.3 BESPREKING VAN DIE MEETSTASIENETWERK

Soos in Hoofstuk 4 verduidelik, is die eerste stap in die netwerkondersoek die opstel van 'n ideale netwerk. Vir die Komatirivier is dit nie so maklik nie, onder andere as gevolg van die vorm van die opvanggebied.

5.3.1 Die ideale netwerk

Die fisiografiese faktore en die internasionale grense wys egter

op vyf punte waar vloeimeting van groot belang sal wees, naamlik (fig 5.3):

- (a) Komatirivier op die Hoëveld, voor die rivier in die hoë berge met hul hoër reënval in beweeg;
- (b) Komatirivier by die oorgang van die hoë berge na die golwende vlaktes in die omgewing van Vygeboomdam;
- (c) Komatirivier voor die westelike grens van Swaziland;
- (d) die samevloeiing van die Komati- en die Lomatirivier;
en
- (e) die samevloeiing van die Komati- en die Krokodilrivier by die Mosambiekgrens.

Die laaste punt sal nie hier verder bespreek word nie, aangesien die meetstasie in die Krokodilrivier-opvanggebied ingedeel is en dus in Hoofstuk 6 verder hanteer sal word. Hierdie meetstasie is in 'n goeie toestand en geen probleme word daar voorsien nie.

Verder kan die meet van die Buffel- en Teespruit as sekondêr ten opsigte van die reeds genoemde vyf punte genoem word. Laastens behoort daar ook 'n sekondêre meetstasie in die Komatirivier in Swaziland te wees, omdat die bydrae van die deel van die opvanggebied 'n groot bydrae tot die totale GJA van die opvanggebied lewer (tabel 5.1).

5.3.2 Evaluasie van die huidige netwerk ten opsigte van die ideale netwerk

Daar is tans 12 meetstasies (25 meetpunte, kyk tabel 5.2) wat 1.05% van die RSA totaal verteenwoordig. Die vier belangrike punte in die Komatirivier-opvanggebied, soos geïdentifiseer onder 5.3.1, word almal deur bestaande meetstasies gemonitor, naamlik (fig. 5.4):

- (a) Nooitgedachtdam - X1R001
- (b) Vygeboomdam - X1R003
- (c) X1H001
- (d) X1H014 en X1H003

Die Buffelspruit word ook gemonitor deur X1H016. Daar bly dus volgens die ideale netwerk nog twee leemtes oor, te wete die meet van die Teespruit en die Komatirivier in Swaziland. Laasgenoemde stem rofweg ooreen met die posisie van die voorgestelde Magugadam, en sal dus sodra die dam voltooi is, gevul word. Aangesien daar, behalwe X1R003 en X1H016, ook meetstasies in die Poponyane (X1H020) en Gladdespruit (X1H019) is, kan deur die aflope van die meetstasies van die totale afloop by X1H001 af te trek, 'n redelike idee verkry word van die waarskynlike bydrae van die Teespruit. 'n Meetstasie in laasgenoemde blyk dus nie so dringend noodsaaklik te wees nie.

Die meetstasies X1H019 en X1H020 is nie van groot belang vir die hidrologiese netwerk nie. Vir die bedryf van die kanale wat hier na Vygeboomdam uitgekeer word, is die twee stasies egter van groot belang. Meetstasie X1H020 en sy komponent X1H029, word as bedryfstasies geklassifiseer. Meetstasie X1H019 en sy komponent X1H027, word as sekondêre netwerkstasies geklassifiseer, omdat die bydrae tot die GJA van hierdie stasie tot die totaal van die Komati-opvanggebied tog beduidend is (tabel 5.1).

Meetstasie X1H012 is 'n swak meetstasie, en van geen belang vir die hidrologiese netwerk nie. Die stasie se bydrae tot die GJA is minimaal, 0,48% van die totaal (tabel 5.1) en slegs 4,3% van X1H014 se GJA waar die afloop van X1H012 ook weer gemeet word. Hierdie stasie is dus oorbodig en waarnemings kan gestaak word.

Tussen X1R001 en X1R003 is daar 'n beduidende korrelasie in die maandelikse afloopvolumes, wat moontlik 'n aanduiding kan wees dat X1H017 en X1H018, wat in die Komatirivier tussen die twee damme lê, oorbodig kan wees. Aangesien beide stasies nog nie gekalibreer is nie, kon geen korrelasies van hierdie stasies met die twee damme ondersoek word nie. Albei word as sekondêr geklassifiseer, en in 'n tweede fase ondersoek kan hieroor uitsluitel gegee word.

Die bestaande netwerk gee dus 'n goeie dekking van die opvang-

gebied en kom redelik na aan die voorgestelde ideale netwerk (fig. 5.5).

Tabel 5.1

GJA en opvanggebiedoppervlak van die vloeimeetstasies in die Komatirivieropvanggebied

Meetstasie	Oppvl. km ²	GJA 10 ⁶ m ³	% Totaal oppvl.	% Totaal GJA
X1H001	5499	425,89	48,78	29,52
X1H003	8614	779,87	76,41	54,05
X1H012	114	6,98	1,01	0,48
X1H014	1119	161,64	9,92	11,20
X1H016	581	74,12	5,15	5,14
X1H019	186	40,02	1,65	2,77
X1H020	48	0,91	0,44	0,06
X1H021	295	51,38	2,62	3,56
X1R001	1569	58,54	13,92	4,06
X1R003	3112	208,79	27,60	14,47
Totaal X1	11279	1443,00		

(Bron: Subdirektoraat Waterbronstudies, Direktoraat Hidrologie, Departement van Waterwese en Bosbou - persoonlike mededeling, 1991)

5.3.3 Meetstasie-evaluasie

Daar is egter nog 'n aspek in die netwerkondersoek wat nie vergeet moet word nie, en dit is die evaluasie van die meetstasies self, veral ten opsigte van akkuraatheid. In die Komatirivier netwerkbeplanningsverslag (Meijer, 1991a), word al die meetstasies in besonderhede ge-evalueer. 'n Kort beskrywing hier van die primêre meetstasies sal help om die klassifikasiekodes en ander gevolgtrekkings toe te lig. Dit blyk dat meeste van die meetstasies probleme ondervind, wat die akkuraatheid van die data wat daar ingesamel word in meerdere of mindere mate sal beïnvloed. Die twee damme X1R001 en X1R003 ondervind tipiese probleme met die akkurate meting van die oorloop en beheerde loslate.

Meetstasie X1H014 meet nie al die water wat op die punt beskikbaar is nie. Aangesien die Driekoppiesdam waarskynlik nie te ver stroomop gebou gaan word nie, kan die nodige meting daar

ook gedoen word. Totdat Driekoppiesdam gebou word, word X1H014 wel as 'n primêre netwerkstasie geklassifiseer, waarna die klassifikasie heroorweeg sal word.

Verder is daar kommer oor die kwaliteit van meting by X1H003, wat as 'n primêre meetstasie geïdentifiseer is. Vergelyk die bespreking van die netwerk van die Krokodilopvanggebied in Hoofstuk 6. Meer besonderhede oor die meetstasie-evaluasie van X1H003 en die ander meetstasies in die opvanggebied, is in die Komatirivier netwerkbeplanningsverslag (Meijer 1991a).

5.4 DIE KLASSIFIKASIEKODES VAN DIE MEETSTASIES

Die klassifikasiekodes van die meetstasies in die Komatirivier opvanggebied word in tabel 5.2 weergegee.

Tabel 5.2
Die klassifikasiekodes van die meetstasies
in die Komatirivieropvanggebied

Meetstasie*	Rivier en pleknaam	Kode
X1H001	Komati te Hooggenoeg	PM4
X1H003	X1H039 vloedseksie	PV7
X1H003	Komati te Tonga Rapids	PM4
	X1H023 kanaal	PK1
	X1H024 kanaaloorloop	PK4
	X1H025 pyplyn	PP-
X1H012	Mhlambanyati te Rusoord	AM7
X1H014	Mlumati te Lomati	PM1
X1H016	Buffelspruit te Doornpoort	SM2
X1H017	Komati te Waterval	SM1
X1H018	Komati te Gemsbokhoek	SM4
X1H019	Gladdespruit te Vriesland	SM4
	X1H027 kanaal	SK1
X1H020	Poponyane te Vriesland	BM1
	X1H029 kanaal	BK1
X1H021	Mtsoli te Diepgezet	SM4
X1R001	Komati te Nooitgedachtdam	PR1
	X1H031 pyplyn	PP-
	X1H032 pyplyn	PP-
	X1H033 stroomafmeetwal	PW4
X1R003	Komati te Vygeboomdam	PR1
	X1H034 kanaal	PK7
	X1H035 pyplyn	PP-
	X1H036 stroomafmeetwal	PW5
	X1H040 invloeikanaal	PK1

* 'n Meetstasie bestaan uit die hoofmeetpunt (eerste kolom) in die rivier, met komponente (tweede kolom).

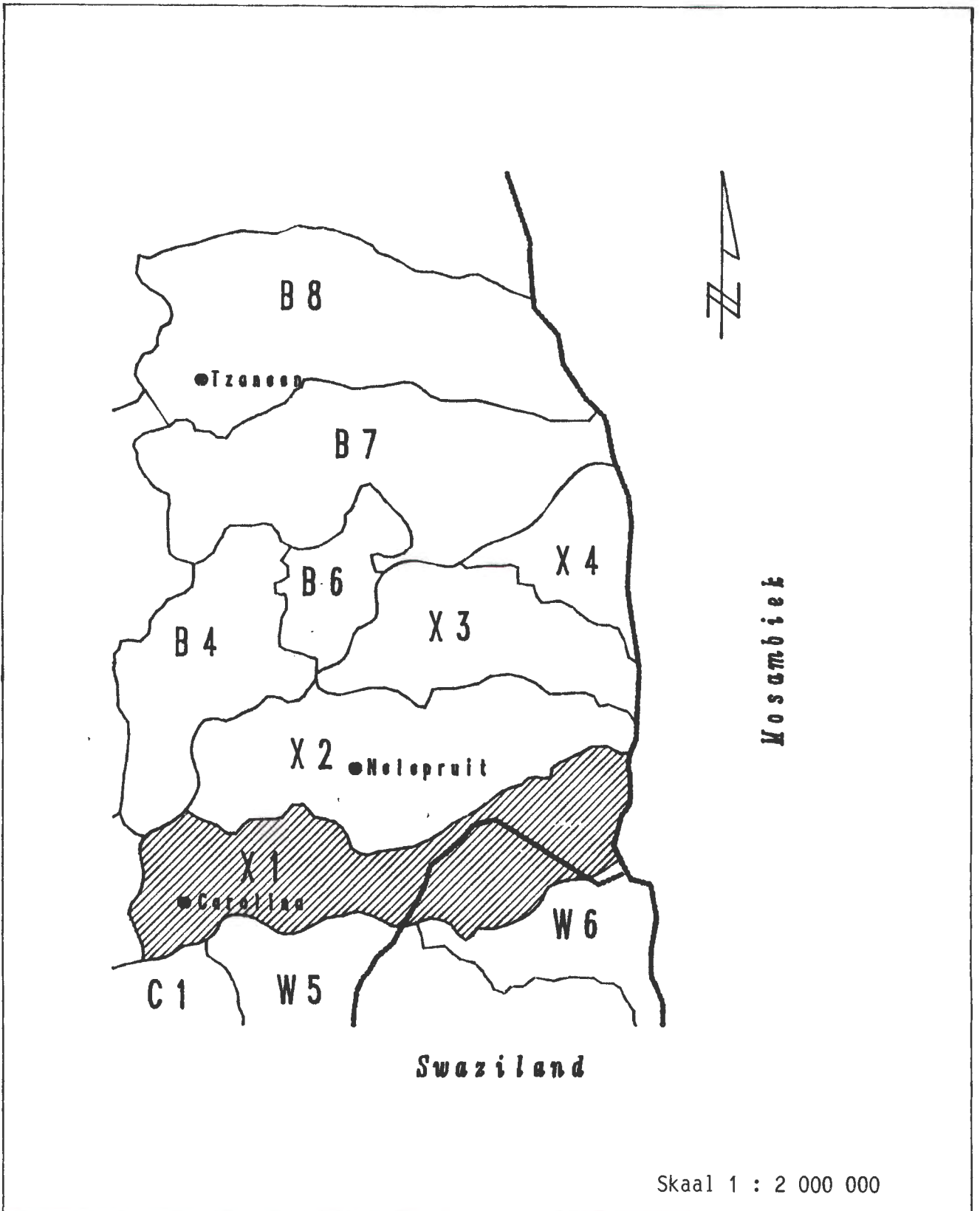
5.5 OPSOMMING

Nadat die bestaande netwerk met die voorgestelde ideale netwerk onder 5.3.2 vergelyk is, is die gevolgtrekking gemaak dat die bestaande netwerk 'n goeie dekking van die opvanggebied gee. Sommige van die bestaande meetstasies ondervind egter probleme, en ongelukkig het twee van die belangrikste meetstasies in die opvanggebied groot probleme. Die huidige situasie is dus nie na wense nie.

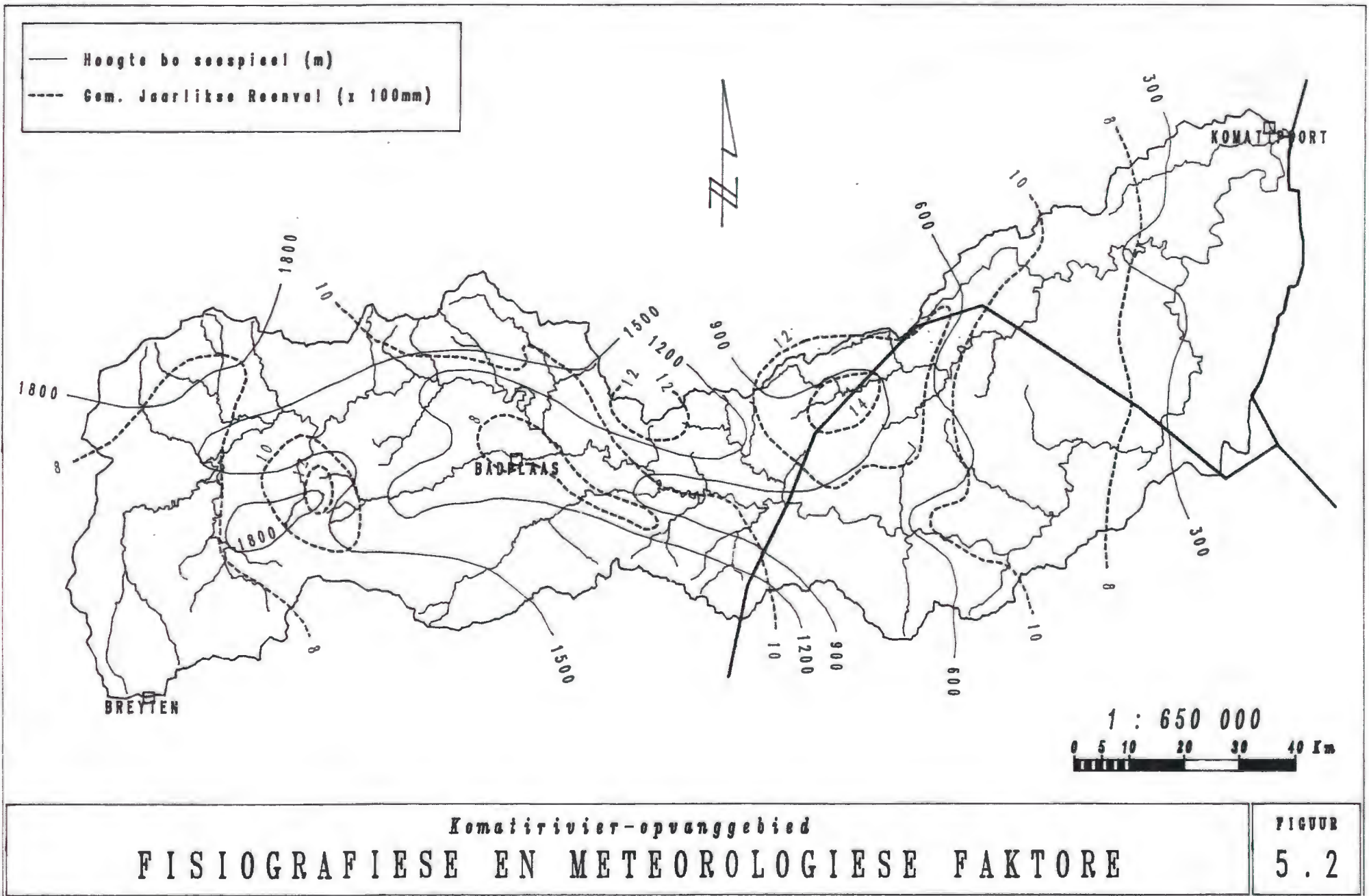
Soos uit die verslag van Meijer (1991a) blyk, sal deeglike onderhoud by al die meetstasies gedoen moet word. Die strukture van sommige van die primêre meetstasies sal ook verander moet word om meer akkurate meting te verseker, veral X1H003 is hier van kritieke belang.

Sodra die akkuraatheid van die meetstasies na wense is, en gehandhaaf word, is die bestaande netwerk baie na aan die optimum netwerk. In Fase 2 kan uitsluitel gegee word oor die noodsaaklikheid van meting by X1H017 en X1H018. 'n Meer detailondersoek sal waarskynlik geen verdere veranderinge aan die netwerk meebring nie.

Afhangende wat met die beoogde damme in die Lomati- en Komati-riviere gaan gebeur, sal hulle natuurlik wel 'n invloed op die netwerk hê.

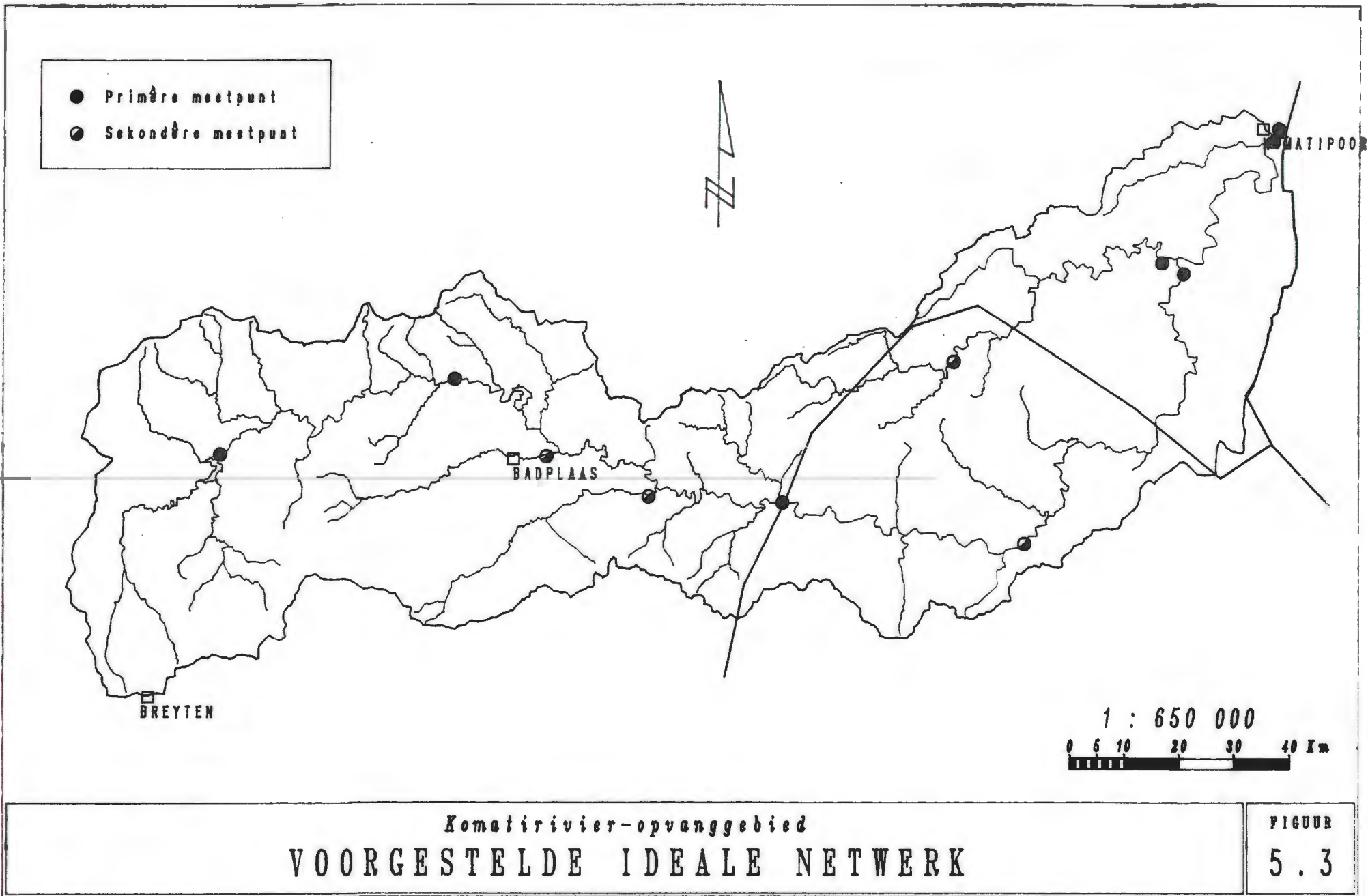


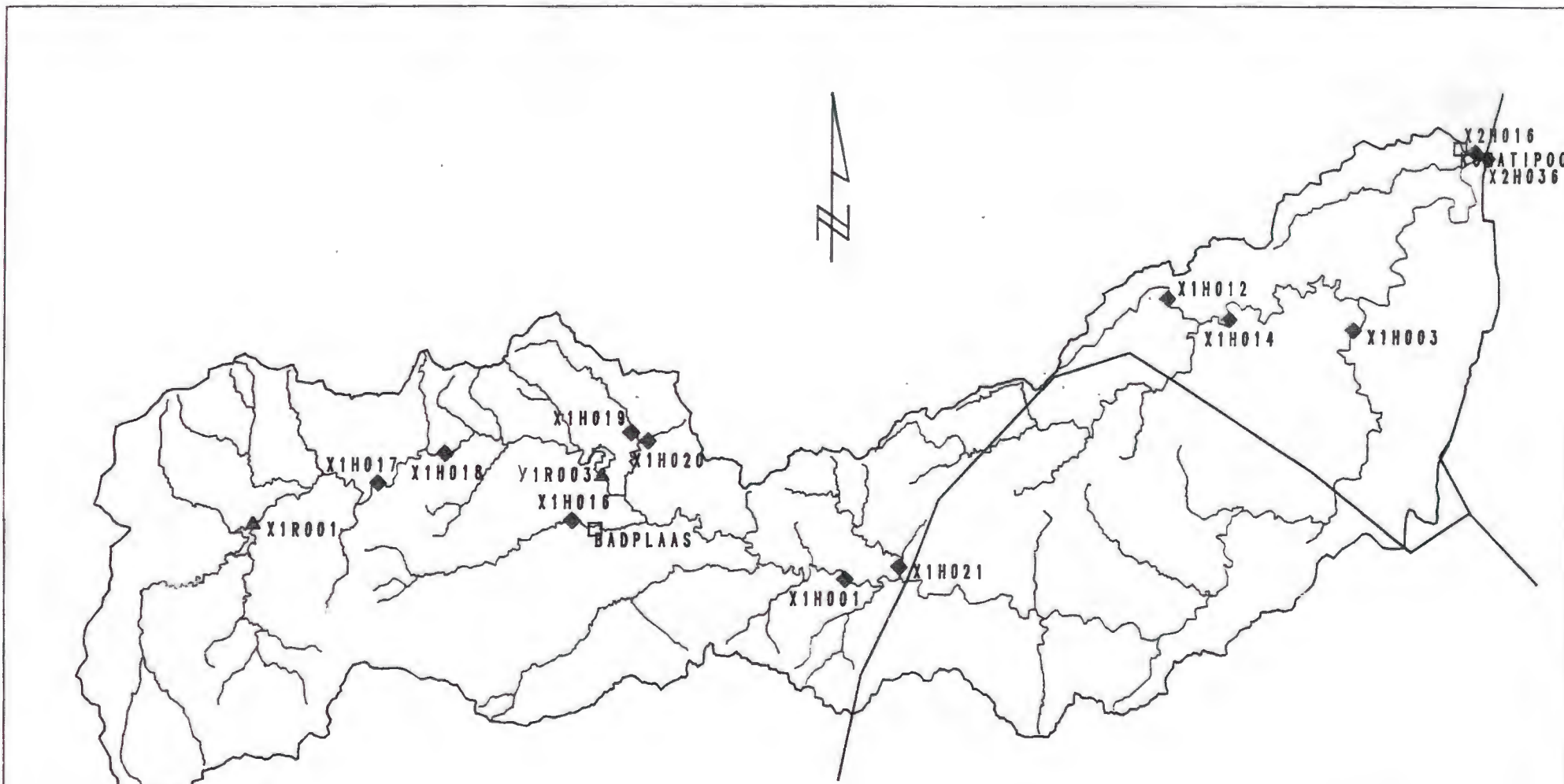
<p style="text-align: center;"><i>Ligging van die</i> KOMATIRIVIER-OPVANGGEBIED</p>	<p style="text-align: center;">FIGUUR 5 . 1</p>
--	---



Komatirivier-opvanggebied
FISIOGRAFIESE EN METEOROLOGIESE FAKTORE

FIGUR
 5.2

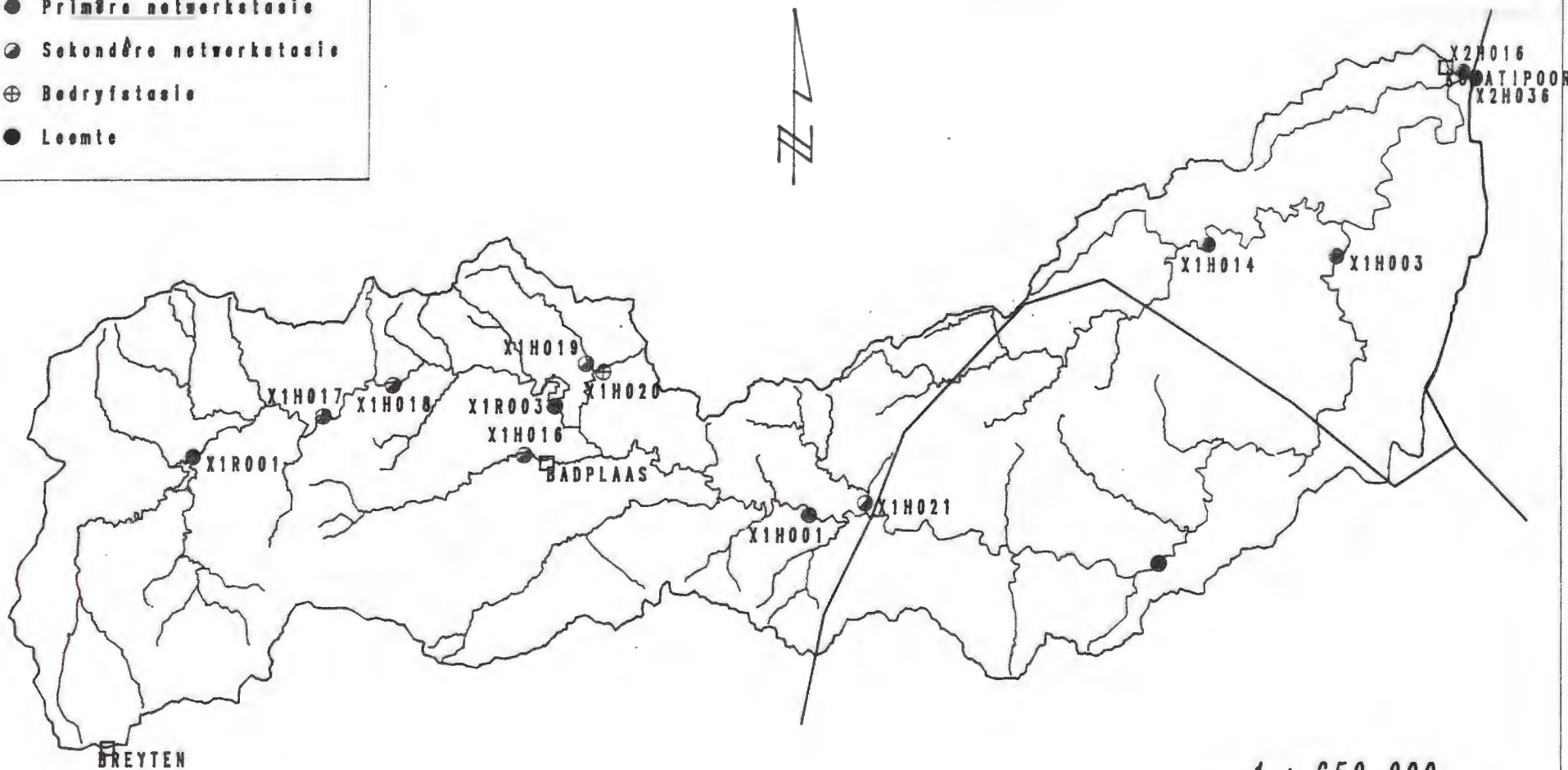




Komati rivier-opvanggebied
BESTAANDE VLOEIMEETSTASIES

FIGUUR
5.4

- Primêre netwerkstasie
- ⊙ Sekondêre netwerkstasie
- ⊕ Bedryfstasie
- Leemte



Komatirivier-oppunggebied
KLASSIFIKASIE VAN DIE BESTAANDE VLOEIMEETSTASIES

FIGUR
5.5

Hoofstuk 6

DIE KROKODILRIVIEROPVANGGEBIED**6.1 INLEIDING**

In hierdie hoofstuk word die netwerk in die Krokodilrivier-opvanggebied ge-evalueer. Dieselfde prosedure, soos in Hoofstuk 5 toegepas, word gevolg.

6.2 BESKRYWING VAN DIE OPVANGGEBIED**6.2.1 Ligging**

Die Krokodilrivieropvanggebied is in Oos-Transvaal geleë en strek vanaf Dullstroom in die weste tot by die Mosambiekse grens by Komatipoort in die ooste (fig. 6.1). Die opvanggebied beslaan 'n oppervlakte van 10 455 km².

6.2.2 Klimaat

Die opvanggebied lê in die somerreënvalgebied en het soos die Komatirivier-opvanggebied drie klimaatsones (Poynton, 1971). Die sones lê parallel en strek noord-suid. Daar is 'n gematigde klimaat in die weste, dan 'n subtropiese klimaat en laastens 'n semi-ariëde sone in die ooste. Die opvanggebied is in twee WMO-sones ingedeel soos beskryf in Hoofstuk 2 (kyk tabel 2.1, en Bylae 3). Die gemiddelde jaarlikse reënval wissel oor die opvanggebied tussen 1400mm en 600mm met 'n gemiddeld van 867mm (fig. 6.2 en 6.3).

6.2.3 Geologie

Die opvallendste geologiese formasie is die dolomiet wat van noord tot suid strek, vanaf Sabie in die noorde, oor die Montrosevalle en af in die Ngodewaneriviervallei (fig. 6.2). Die invloed hiervan op die afloop

skyn egter beperk te wees, en daarom word daar nie in die Fase 1-beplanning mee rekening gehou nie.

6.2.4 Landgebruik

In die opvanggebied is daar 'n groot mate van ontwikkeling soos industrieë, groot woongebiede en landbou. Groot bosbougebiede kom ook in die opvanggebied voor (fig. 6.2). Ook is daar heelwat damme met die gepaardgaande opgaar en oordrag van water. Vir die doeleindes van hierdie ondersoek, kon die invloed van al die faktore nie in besonderhede bepaal word nie.

6.2.5 Afloop

Die GJA van die opvanggebied is $1\,238 \times 10^6 \text{ m}^3$ en verteenwoordig 2,3% van die RSA totaal.

Bogaande bespreking verskaf algemene inligting oor die hele opvanggebied. Om 'n meer oorsigtelike beskrywing van die opvanggebied te verseker, en om die bespreking van die netwerk onder 6.3 te vergemaklik, behoort die opvanggebied in subopvanggebiede onderverdeel te word. Die dreinerings en hidrologie van elk van die subopvanggebiede kan dan saam met die plantegroei (Acocks, 1988) en landvorme (Kruger, 1983) in meer besonderhede bespreek word. Die opvanggebied kan in vier dele verdeel word (fig. 6.4).

6.2.6 Die Elandsrivieropvanggebied

Die subopvanggebied sluit die Elandsrivier in, met as belangrikste sytakke die Ngodwanerivier en die Swartkoppiesspruit en eindig by die samevloeiing met die Krokodilrivier by Montrosevalle. Die Elandsrivier ontspring op die Hoëveld met sy sterk golwende grasvlaktes. Die res van die opvanggebied is grotendeels 'n vallei tussen hoë berge met 'n redelik hoë mate van bebossing.

6.2.7 Die Kaaprivieropvanggebied

Die tweede deel is die Kaaprivieropvanggebied in die omgewing van Barberton. Die deel sluit die Queens-, Noordkaap-, Suidkaap- en Kaapriviere in. Die opvanggebied bestaan uit 'n goed gedefinieerde kom met lae berge omring deur hoë berge. Die Krokodilpoortberge, in die noorde, isoleer dit in 'n groot mate van die res van die Krokodilrivieropvanggebied. Groot bosbouplantasies kom in hierdie gebied voor. Nader aan die samevloeiing met die Krokodilrivier vloei die Kaaprivier deur die matig golwende Laeveldse savanne.

6.2.8 Die Bo-Krokodilrivieropvanggebied

Die derde deel is die Krokodilrivier tot by meetstasie X2H032 oos van Nelspruit, voor die samevloeiing met die Kaaprivier. Behalwe die Krokodilrivier sluit dit ook die Houtbosloop, Sand- en Witriviere en die Nelspruit in.

Die Krokodilrivier ontspring in die lae berge op die Hoëveld met sy grasveld en vloei ooswaarts deur hoë berge tot by die samevloeiing met die Elandsrivier by Montrosevalle. Die Houtbosloop, Sandrivier en Nelspruit ontspring in die hoë berge teen die platorand en vloei suidoos na die Krokodilrivier deur lae berge. Ook hier is groot bosbouplantasies en natuurlike bos.

Die Witrivier ontspring ook in die hoë berge teen die Platorand, maar vloei eers oos deur lae berge en dan suid deur sterk golwende vlaktes, voor dit oos van Nelspruit met die Krokodilrivier saamvloei.

6.2.9 Die Onder-Krokodilrivieropvanggebied

Die laaste deel strek vanaf X2H032, net stroomop van die samevloeiing met die Kaaprivier, tot by Komatipoort en die

samevloeiing met die Komatirivier.

Hierdie deel bestaan hoofsaaklik uit matig golwende vlaktes en Laeveldse savanne. Die grootste deel daarvan is in die Nasionale Kruger Wildtuin (NKW), waaruit ook die twee belangrikste sytakke kom, naamlik die Nzikasi- en Mbyamitiriviere. Suid van die Krokodilrivier is daar intensiewe landbou, wat egter slegs 'n klein persentasie van die oppervlakte beslaan.

6.3 BESPREKING VAN DIE MEETSTASIENETWERK

Vir die doeleindes van hierdie bespreking word aanvaar dat die netwerk in die Krokodilrivieropvanggebied by X2H016 eindig. Meetstasie X2H036 lê stroomaf van X2H016 na die samevloeiing met die Komatirivier (fig. 6.6). Die meetstasie is eintlik nie meer deel van die Krokodilrivieropvanggebied nie. Geografies sou dit miskien beter gewees het om die meetstasie by die Komatirivieropvanggebied in te deel, aangesien dit in die Komatirivier lê, alhoewel dit streng gesproke 'n nuwe opvanggebied behoort te wees.

Daar bestaan geen twyfel dat X2H036 'n primêre netwerkstasie is nie. Sy ligging is van internasionale belang. Verder monitor dit die totale afloop van beide die Krokodil- en Komatirivier. Die rekord is egter nog baie kort, en dus nog nie van veel waarde nie. Indien die beskikbare data by X2H036, X2H016 (fig. 6.6), X1H003 en X1H014 (fig. 5.4) beskou word, wil dit voorkom asof X1H003 vloei redelik erg oorskat.

Soos reeds in Hoofstuk 5 genoem, behoort daar dus meer indringend na X1H003 gekyk word en voorstelle om die stasie te verbeter en akkurate meting te verseker moet so gou as moontlik gedoen word. Die uitvoering van die voorstelle behoort 'n baie hoë prioriteit te hê.

6.3.1 Gemiddelde jaarlikse aflope

Vir makliker verwysing en om herhalings te voorkom, is dit sinvol om eers die GJA's in die algemeen te bespreek voor die netwerk in aanmerking kom.

Daar word baie water in die Krokodilrivieropvanggebied verbruik, wat 'n groot invloed het op die gemete GJA's by die bestaande meetstasies. Heelwat van die meetstasies het ook kort rekords. Dit veroorsaak verskille indien die gemete GJA's vergelyk word, byvoorbeeld:

X2H006 - data van 1942 tot 1990 - GJA = $574,4 \times 10^6 \text{ m}^3$

X2H032 - data van 1967 tot 1990 - GJA = $487,5 \times 10^6 \text{ m}^3$

Die twee stasies lê baie naby mekaar in die Krokodilrivier en die groot verskil maak dus nie sin nie. Indien die GJA vir X2H006 egter vir dieselfde tydperk as X2H032 se rekord bereken word, word 'n totaal van $494,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ verkry.

Dit is dus beter om eerder die natuurlike GJA's as 'n verwysing te gebruik om 'n idee te vorm van elk van die subopvanggebiede se bydrae tot die totale afloop. Chunnnett, Fourie & Vennote (1985) het die natuurlike GJA's bereken en die resultate word in tabel 6.1 getoon.

6.3.2 Die ideale netwerk

Die ideale netwerk is hoofsaaklik opgestel met die rivier-ordeningtegniek (kyk Hoofstuk 3). Verder is die natuurlike GJA van die bestaande meetstasies (tabel 6.1) gebruik om die bydraes van die verskillende riviere en subopvanggebiede te bepaal en is in die ideale netwerk verwerk (fig. 6.5).

Tabel 6.1

Natuurlike afloop soos bereken deur Chunnnett,
Fourie & Vennote (1985)

Meetstasie	GJA 10 ⁶ m ³	% Totaal*	Eie GJA** 10 ⁶ m ³	%Totaal*
X2H005	162	13	136	11
X2H006	879	71	102	8
X2H008	37	3		
X2H010	43	3		
X2H011	46	4	36	3
X2H012	10	1		
X2H013	218	18	88	7
X2H014	86	7		
X2H015	260	21	201	16
X2H016	1236	100	19	2
X2H017	1202	97	81	7
X2H018	15	1		
X2H022	221	18	105	8
X2H023	51	4	4	0,3
X2H024	56	28	28	2
X2H029	5	0,4		
X2H030	28	2		
X2H031	64	5	8	0,6
X2H032	900	73	11	1
X2H033	130	11	7	0,6
X2H035	2	0,2		
X2H047	13	1		
X2R001	25	2		
X2R002	29	2	4	0,3
X2R003	26	2	24	2
X2R004	47	4	18	1
X2R005	123	10		

* %Totaal - persentasie van die totale afloop by X2H016

** Eie GJA - afloop wat nie reeds deur 'n ander meetstasie
gemeet is nie

Die volgende ideale primêre netwerk word dus voorgestel:

- (a) 'n meetpunt wat die totale afloop van die Elandsrivier meet;
- (b) 'n meetpunt wat die totale afloop van die Kaaprivier meet;
- (c) 'n meetpunt wat die totale afloop van die Krokodilrivier tot by die samevloeiing met die Elandsrivier meet;
- (d) 'n meetpunt stroomaf van die samevloeiing van die Wit- en Krokodilriviere, wat die totale afloop van die Witrivier, Sandrivier, Nelspruit en Houtbosloop meet; en
- (e) laastens 'n meetpunt in die Krokodilrivier by Komatipoort

wat die totale afloop van die hele Krokodilrivieropvanggebied meet.

Aanvullend tot die primêre netwerk word die volgende sekondêre meetpunte voorgestel: 'n meetpunt in die Elandsrivier in die omgewing van Waterval-Boven wat die afloop op die Hoëveld sal monitor; 'n meetpunt in die Krokodilrivier by die Braam Raubenheimerdam (hierdie meetpunt sal ook die afloop op die Hoëveld monitor); meetpunte in die Queens-, Suidkaap- en Noordkaap-riviere, en meetpunte in die Houtbosloop, Sand- en Witriviere; en 'n meetpunt wat die afloop van die Mbyamitirivier meet. Laasgenoemde meetpunt kan as verteenwoordigend van die Wildtuindeel van die opvanggebied beskou word.

6.3.3 Evaluasie van die huidige netwerk ten opsigte van die ideale netwerk

Daar is tans 48 meetstasies (60 meetpunte, kyk tabel 6.3) in die opvanggebied, wat 4,4% van die RSA totaal verteenwoordig. Vir makliker verwysing is dit net soos met die natuurlike GJA onder 6.3.1, sinvol om eers afsonderlik na die bestaande korrelasies te kyk, voordat die bestaande netwerk in elk van die vier subopvanggebiede bespreek word (fig. 6.6). Verder is dit sinvol om ook eers afsonderlik na die twee groepe bosboumeetstasies te kyk, aangesien die meetstasies nie werklik deel van die riviervloei-meetstasienetwerk uitmaak nie.

6.3.3.1 Korrelasies

Die gemiddelde maandelikse afloope van die bestaande meetstasies is gekorreleer (tabel 6.2). Daar bestaan goeie korrelasies ($\geq 90\%$) tussen X2R003, X2R004 en X2R005. Die damme is egter versprei oor die hele opvanggebied en die korrelasie is dus vir netwerkoptimiseringsdoeleindes in Fase 1 relatief nutteloos. 'n Verdere goeie korrelasie kom voor tussen X2H033 en X2H013, en in hierdie geval kan dit moontlik 'n aanduiding wees dat X2H033 dalk oorbodig is.

Verder is daar ook nog twee groepe naby geleë meetstasies wat goed korreleer, naamlik:

- (a) X2H025, X2H027 en X2H027 korreleer goed met mekaar en met X2H014 stroomaf. Meetstasie X2H026 is hier 'n uitsondering en korreleer swak met die ander genoemde stasies.
- (b) In die Kaaprivieropvanggebied korreleer X2H010, X2H024 en X2H031 goed met mekaar en met X2H022, terwyl X2H008 goed met X2H022 korreleer en ook 'n redelike mate van korrelasie met die ander genoemde stasies toon. Meetstasie X2H030 is hier weer die uitsondering en korreleer alleen redelik ($\geq 80\%$) met X2H022.

Daar bestaan ook 'n redelike korrelasie tussen X2H015, X2H011 en X2H047; X2H013, X2H014 en X2H015; en X2H006 en X2H032. Verbeteringe aan die meting by die meetstasies en 'n meer noukeurige waarneming kan moontlik tot gevolg hê dat waarnemings by X2H006, wat die meetstasie met die kleiner meetbereik is, op 'n later stadium gestaak kan word.

Alle bruikbare korrelasies word in tabel 6.2 weergegee. Die korrelasies het dieselfde gebreke soos vir die GJA's onder 6.3.1 genoem.

Tabel 6.2

Korrelasies, uitgedruk as 'n persentasie.

	H006	H008	H010	H011	H013	H014	H015	H022	H024	H025	H027	H028	H030	H031	H032	H033	R003	R004	R005	
X2H006																				
X2H008								94	85					90						
X2H010		85	85					92	91					92						
X2H011								82												
X2H013							89	87												97
X2H014					89			85			98	98	97							
X2H015				82	87	85			89											
X2H022		94	92											88	93					
X2H024		85	91						89						94					
X2H025							98						97	95						
X2H027							96				97		92							
X2H028							97				95	92								
X2H030									88											
X2H031			90	91					93	94										
X2H032	86																			
X2H033						97														
X2R003																			99	99
X2R004																			99	99
X2R005																			99	99

(Bron: Subdirektoraat Waterbronstudies, Direktoraat Hidrologie, Departement Waterwese en Bosbou - Persoonlike mededeling, 1991)

6.3.3.2 Bosboumeetstasies

Die eerste groep bosboumeetstasies is in die bolope van die Houtboslooprivier stroomop van X2H014, en sluit die volgende stasies in:

X2H019, X2H020, X2H021, X2H025, X2H026, X2H027 en X2H028.

Van die eerste drie kon net twee opgespoor word. Beide is in 'n uiters swak toestand. Daar is geen meetplate of registreerders nie en geen rekord is op die databank beskikbaar nie. Gesien die uiters klein opvanggebiede word voorgestel dat waarnemings by al drie amptelik gestaak word.

Die ander vier is in 'n baie beter toestand, alhoewel enkele klein veranderings soos die skuif van meetplate aangebring behoort te word. Al vier het ook klein opvanggebiede. Daar is 24 jaar se data beskikbaar en soos reeds genoem, bestaan daar goeie korrelasies tussen die stasies. In oorleg met Forestek (WNNR) kan sterk oorweging geskenk word aan die staak van waarnemings by al vier stasies. Dit lyk asof genoegsame data ingesamel is en deur waarnemings by al vier te staak kan heelwat op onderhoud en bedryfskoste bespaar word.

Die tweede groep meetstasies is almal om Witklipdam in die bolope van die Sandrivier, en sluit in:

X2H037, X2H038, X2H039, X2H040, X2H041, X2H042, X2H043 en X2H044.

Die toestande van die meetstasies wissel van swak tot baie swak. Die toegang is moeilik, daar is geen meetplate of registreerders nie, en geen data is beskikbaar nie. Nie een het 'n opvanggebied van groter as 2 km² nie. Meetstasie X2H043 kon selfs met behulp van 'n bosbougid nie opgespoor word nie. Die stasies

dien sover nagegaan kan word, geen doel meer nie, en beteken niks vir die hidrologiese netwerk nie. By al agt stasies behoort waarnemings gestaak te word.

6.3.3.3 Die Elandsrivieropvanggebied

In die Elandsrivier-opvanggebied is daar tans vier meetstasies, naamlik X2H011, X2H012, X2H015 en X2H047. Die ideale netwerk stel 'n primêre meetstasie voor wat die totale afloop meet. Dit stem goed ooreen met die posisie van X2H015, wat dus as 'n primêre netwerkstasie geklassifiseer word.

Meetstasie X2H011 monitor die afloop van die platorand, wat van die res van die opvanggebied verskil ten opsigte van die eienskappe. Die bydrae van die gedeelte is $46 \times 10^6 \text{ m}^3$ (18% van die Elandsriviertoetaal). Meetstasie X2H011 word in ooreenstemming met die ideale netwerk as 'n sekondêre netwerkstasie geklassifiseer en beskou as een van die belangrikste sekondêre stasies in die Krokodilrivieropvanggebied.

Meetstasie X2H047 is 'n redelik nuwe meetstasie en meet slegs 5% van die Elandsriviertoetaal. Dit is egter 'n redelike meetstasie en behoort nog 'n paar jaar bedryf te word sodat daar hopelik beter korrelasies verkry kan word, en totdat daar genoegsame data ingesamel is. Dit word ook as 'n sekondêre netwerkstasie geklassifiseer.

Meetstasie X2H012 is soortgelyk aan X2H047, maar die afloop hier (4% van die totaal) word ook weer by X2H011 gemeet. In hierdie geval word die bestaansreg van X2H012 in twyfel getrek. Daar is reeds 34 jaar se data beskikbaar en staking van waarnemings by die meetstasie kan oorweeg word.

Waterkwaliteit in die opvanggebied moet deeglik gemonitor word as gevolg van die groot Sappimeule waar onlangs kwaliteitprobleme ontstaan het. Veral by X2H015, nie ver stroomaf van die meule, moet dus seker gemaak word dat akkurate data ingesamel word. Heelwat veranderings aan die struktuur word

voorgestel en dit word 'n hoë prioriteit gegee. Daar bestaan ook probleme by X2H011 en die verbeterings moet ook die nodige aandag kry. Meetstasie X2H047 benodig net klein veranderings wat maklik aangebring kan word.

6.3.3.4 Die Kaaprivieropvanggebied

Die bestaande netwerk in die Kaaprivieropvanggebied stem goed ooreen met die voorgestelde ideale netwerk. Die totale natuurlike GJA is bereken as $221 \times 10^6 \text{ m}^3$ en word alles by X2H022 gemeet. Meetstasie X2H022 word dus as die primêre netwerkstasie geklassifiseer.

Stroomop van X2H022 is daar nog vyf meetstasies waarvan drie die belangrikste sytakke van die Kaaprivier monitor, naamlik: X2H008 - Queensrivier, X2H010 - Noordkaaprivier en X2H031 - Suidkaaprivier. Respektiewelik dra elkeen 16%, 19% en 29% van die totale Kaaprivierafloop by. Aldrie word as sekondêre netwerkstasies geklassifiseer, soos voorgestel in die ideale netwerk. By X2H031 se komponent X2H061 behoort waarnemings egter amptelik gestaak te word aangesien die kanaal en meetpunt nie meer bestaan nie.

Stroomop van X2H031 in die Suidkaaprivier, is daar nog twee meetstasies, te wete X2H024 en X2H030. Die bestaansreg van beide stasies word bevraagteken. Alhoewel beide redelik goeie meetstasies is, het nie een van die twee 'n spesifieke doel nie en word al die afloop by X2H031 weer gemeet. Daar is ook respektiewelik 26 en 24 jaar se data beskikbaar, en daar word voorgestel dat waarnemings by beide meetstasies gestaak word.

Meetstasie X2H022 is die enigste een waar daar verbeterings aangebring moet word om akkurater meting te verseker. Dit behoort 'n hoë prioriteit te geniet.

6.3.3.5 Die Bo-Krokodilrivieropvanggebied

Die derde deel se natuurlike GJA is bereken as $900 \times 10^6 \text{ m}^3$ by X2H032. Daarvan word 53% in die Elandsrivier en die Krokodil-

rivier stroomop van Montrosevalle gegenerer. Verder dra die Witrivier 6%, die Houtbosloop 10% en die Nelspruit 18% by. Die orige 13% word deur onder andere die Statsrivier en ander klein sytakkes van die Krokodilrivier bygedra.

Meetstasies X2H032 en X2H006, wat kort stroomop lê, word beide as primêre netwerkstasies geklassifiseer. Na regte behoort net een van die twee 'n primêre netwerkstasie te wees, en by die ander behoort waarnemings gestaak te word. Daar bestaan egter twyfel oor die akkuraatheid en volledigheid van die rekords. Indien die twee stasies vergelyk word, is daar verskille wat nadere ondersoek regverdig, aangesien meting hier van primêre belang is. Die presiese probleme en moontlike oplossings word bespreek by die evaluasie van die meetstasies onder 6.3.4.

Die Witrivier, wat net stroomop van X2H006 met die Krokodilrivier saamvloei se bydrae is maar net 6% van die totaal. Daar is drie meetstasies (damme) in die rivier, naamlik: X2R001, X2R002 en X2R004, waarvan laasgenoemde 92% van die Witrivier se afloop monitor. Stroomaf van X2R004 is daar nog twee meetstasies (drie H-nommers, tabel 6.3). X2H023 is 'n uiters swak stasie en waarnemings behoort gestaak te word. Meetstasie X2H058/X2H059 is 'n dubbele Parshall-meetgeut wat goed behoort te werk. Die bestaansreg van die stasies word egter sterk betwyfel, gesien die afloop, en daar word voorgestel om waarnemings ook hier te staak. Al drie die damme word as sekondêre netwerkstasies geklassifiseer.

Die Houtbosloop en Nelspruit se bydraes is sodanig dat dit sekondêre netwerkstasies regverdig en X2H005 en X2H014 word dan ook as sodanig geklassifiseer, soos wat die ideale netwerk ook aanbeveel. Meetstasie X2H005 word dan ook as een van die belangrikste sekondêre netwerkstasies beskou. Stroomop van X2H005, in die Sandrivier, is daar 'n dam, meetstasie X2R003, wat ook as 'n sekondêre netwerkstasie geklassifiseer word. Stroomop van die dam is daar nog 'n meetstasie, naamlik X2H035. Die meetstasie met sy komponent, X2H064, word as bedryfstasies

geklassifiseer, aangesien hulle die wateroordrag van die Sand-na die Witrivier monitor.

Meetstasie X2H029 in die Visspruit is 'n uiters swak stasie en sy bydrae is minder as 1% van die totaal. By beide die meetstasie en sy komponent, X2H060, word voorgestel dat waarnemings gestaak word.

Meetstasie X2H013 in die Krokodilrivier stroomop van Montrosevalle, en die samevloeiing met die Elandsrivier, word as 'n primêre netwerkstasie geklassifiseer. Die nodige verbeteringe en veranderinge wat hier voorgestel word (Meijer, 1991b), word ook 'n hoë prioriteit gegee. Meetstasie X2R005 wat weer die helfte van X2H013 se afloop monitor, word as 'n sekondêre netwerkstasie geklassifiseer, ook omdat dit 'n dam is en dus uiteraard 'n invloed sal hê op die afloop gemeet by X2H013.

Meetstasie X2H033 word as oorbodig beskou, gesien die goeie korrelasie met X2H013 en die feit dat X2R005 direk stroomop van die meetstasie geleë is en X2H033 dus 'n baie klein eie opvanggebied het, met min afloop. Waarnemings kan hier maar gestaak word.

6.3.3.6 Die Onder-Krokodilrivieropvanggebied

Die vierde en laaste deel is waarskynlik die moeilikste. Die natuurlike GJA by X2H016 word bereken as $1\,236 \times 10^6$ m³. Indien die bydrae van die eerste drie opvanggebiede hiervan afgetrek word, blyk dit dat die deel van die opvanggebied slegs 115×10^6 m³ aan afloop lewer, slegs 10% van die totale afloop in die Krokodilrivier.

Soos reeds gemeld, bestaan daar oor X2H016 geen twyfel en word die stasie as 'n primêre netwerkstasie geklassifiseer. Daar is egter nog vyf meetstasies in die deel van die opvanggebied, X2H046 en X2H017, naby mekaar in die Krokodilrivier, en X2H018, X2H045 en X2H072 in sytakke van die Krokodilrivier.

Meetstasie X2H046 is 'n goeie meetstasie wat akkuraat behoort te meet tot by meetwallimiet, en word as 'n sekondêre netwerkstasie geklassifiseer. Meetstasie X2H017 is 'n swak meetpunt wat slegs op baie hoë vloeie enigsins van waarde kan wees, en daar word voorgestel dat die waarnemings by die meetstasie saam met sy komponent, X2H057, gestaak word.

Meetstasie X2H018 ondervind baie probleme wat die akkuraatheid nadelig beïnvloed, maar lê in die NKW en is dalk verteenwoordigend van daardie deel van die opvanggebied. Hier is reeds 18 jaar data ingesamel. Chunnnett, Fourie & Vennote (1985) het die stasie ook gebruik om die Pitmanmodel bevredigend te kalibreer. Meetstasie X2H018 word as 'n sekondêre netwerkstasie geklassifiseer.

Meetstasie X2H045 word as 'n redelik nuttelose meetstasie beskou, omrede daar geen data beskikbaar is nie, en die feit dat die stasie ook ietwat moeilik is om op te meet en te kalibreer. Staaking van waarnemings word aanbeveel.

Meetstasie X2H072 is 'n nuwe meetwal in die Nzikasirivier aan die westelike grens van die NKW. Die meetstasie is gebou met die oog op die latere oordrag van water vanuit die Sabierivier-opvanggebied. Om die rede moet die meetstasie behou word en word dit voorlopig as 'n sekondêre netwerkstasie geklassifiseer. Wanneer die wateroordrag realiseer, kan die meetstasie dan as 'n bedryfstasie herklassifiseer word.

6.3.4 Meetstasie-evaluasie

In die Krokodilrivier netwerkbepenningsverslag (Meijer, 1991b), word al die meetstasies in die opvanggebied in besonderhede geëvalueer. 'n Kort beskrywing van die primêre meetstasies sal help om die klassifikasiekodes en ander gevolgtrekkings toe te lig.

Meeste van die primêre meetstasies ondervind probleme wat in

meerdere of mindere mate 'n invloed het op die verwagte akkuraatheid van die aflooprekord. Gelukkig kan in meeste gevalle die probleme of reggestel of aansienlik verbeter word.

Daar is 'n knak in die struktuur van X2H006, sodat die laagkeep nie loodreg op die vloeirigting is nie. Verder lê die meetwal in 'n S-kurwe van die rivier. Aankomsnelhede is groot wat veroorsaak kan word deur 'n vlak poel of reeds genoemde S-kurwe. As gevolg van bogenoemde sal die meetwal vloei onderskat. Verlenging van die aflooptabellimiet bo die meetwallimiet lyk nie moontlik nie as gevolg van die groot vloedvlakte op die linkeroewer. Meetpunt X2H054, komponent van X2H006, kon nie tydens die veldbesoek opgespoor word nie. Die kanaal was heeltemal droog en tot 'n groot mate begroei, maar die volgende inligting is deur die beheertegnikus van die Hoëveldstreek, Departement van Waterwese en Bosbou, verskaf. Die meetpunt bestaan slegs uit 'n meetplaat by die teruggooi na die rivier uit die kanaal. Dit is net voor die turbine, waarvoor die kanaal gebou is. Indien die turbine werk, loop al die water deur die turbine en dan terug na die rivier sonder dat dit gemeet word. Die akkuraatheid van die kalibrasie en die data word betwyfel.

Meetstasie X2H013 se struktuur is ook nie loodreg oor die vloeirigting nie, en is ook geknak wat probleme kan veroorsaak met kalibrasie bo meetwallimiet. Die poel is maar vlakkerig en die inlaatpyp slik gereeld toe. Opdrifsels en stompe kom ook gereeld op die kruin voor. Tydens die veldbesoek was die linkerdeel van die poel heeltemal toegegroei met riete. Die 0-1m-meetplaat het ook in die sand gestaan sodat dit geen watervlakke gemeet het nie. Daar is 'n redelike groot rotsbank in die poel voor die laagkeep wat 'n mate van turbulensie veroorsaak, wat tydens hoër vloei waarskynlik sal toeneem. Aangesien die meetwal direk stroomop van die Montrosevalle geleë is, sal versuiping waarskynlik geen rol speel nie. Lokale versuiping kan egter voorkom by die keep op die regteroewer. Op die linkeroewer is daar ook 'n lae keep, om te verseker dat daar ook water oor die kleiner een van die twee watervalle gaan. Volgens die

vloeduurtekrommes verteenwoordig vloeie wat net deur die laagste drie kepe gaan, 80% van die volume en kom 96% van die tyd voor. Foute wat gemaak word by die hoër vloeie het dus nie 'n baie groot invloed nie.

By X2H015 behoort die drie kepe op die regteroewer toegebou te word tot op die hoogte van die afsnymuur. Die poel voor hierdie kepe is heeltemal toegeslik en toegegroeï met bome. Die kalibrasie van die kepe is bykans onmoontlik. Die afsnymuur op die linkeroewer behoort tot dieselfde hoogte verhoog te word. Die inlaatpyp behoort stroomaf geskuif te word in lyn met die meetplate, en moet ook verleng word om meer voor die laagkeep te meet. Bogenoemde verbeteringe behoort meer akkurate meting en kalibrasie te verseker tot by die nuwe meetwallimiet, na verhoging. Daar is nog 'n paar probleme wat 'n invloed op die akkuraatheid kan hê. Die keep op die linkeroewer kan moontlik lokale versuiping ondervind tydens hoër vloeie. Dit kan moeilik bereken word. Daar is ook sprake van opdrifsels en boomstompe wat soms die kepe toepak. Die meetwal behoort vloeie tot op die hoogte van die drie kepe op die regteroewer akkuraat te meet. Die vloei kom volgens die vloeduurtekromme, 82% van die tyd voor en verteenwoordig 52% van die volume. Hoër vloeie tot op die hoogte van die huidige meetwallimiet sal minder akkuraat wees as gevolg van die genoemde probleme.

Die huidige aflooptabel van X2H016 moet hersien word. Dit is baie jare terug bereken, en die manier waarop dit bo die meetwallimiet verleng is, is onbekend en die akkuraatheid daarvan word sterk betwyfel. Die meetstasie behoort vloeie tot by meetwallimiet akkuraat te kan meet, die vloeie kom volgens die vloeduurtekromme, 95% van die tyd voor en verteenwoordig 75% van die volume. Kalibrasie bo struktuurlimiet is moeilik as gevolg van die groot vloedvlakte op die regteroewer. Slikafsetting in die poel moet dopgehou word. Terselfdertyd moet die begroeiing op die oewers ook in toom gehou word. Die inlaatpyp is besonder lank. Die registreerder staan op die regteroewer en die inlaatpyp gaan onderdeur die vloedvlakte tot by die poel.

Die laagkeep is weer op die linkeroewer.

Die stroomoppoeltoestande by X2H022 is nie so gunstig nie. Voor die regteroewerkeep en die afsnymuur is daar baie slik en digte rietbosse. Stroomaf van dieselfde keep is dit ook dig begroei. Die poel lyk oor die algemeen maar vlakkerig. Die meetwallimiet is 0,9m en versuiping begin volgens die kalibrasielêer reeds op 0,3m. Hoe die huidige aflooptabel bereken is en of versuiping inaggeneem is, is onbekend. Die kalibrasie van die meetstasie sal hersien moet word. Die meetstasie behoort vloei tot by meetwallimiet akkuraat te kan meet. Bo die limiet sal die akkuraatheid 'n probleem wees.

Meetstasie X2H032 het 'n baie groot struktuur. Die vlak poel mag egter kalibrasie bemoeilik, daarom is die akkuraatheid op laagvloei onseker. In die linkeroewerdeel van die meetwal by die uitkeer na die kanaal is ook 'n groot radiaalsluis, waarvan die onderkant van die sluis baie laer as die laagste keep is. Hier is ook 'n mate van lekkasie. Sover bekend word die sluis slegs oopgemaak op versoek van die Polisie. Water word ook by die meetwal uitgekeer in 'n pyplyn/kanaal. Net stroomaf van die meetwal is daar 'n kanaaloorloop terug na die rivier stroomop van 'n Parshall-meetgeut. Geen metings word hier geneem nie. X2H062 is verder stroomaf in die kanaal. Bogenoemde kan moontlik bydra tot die verskil in GJA van X2H032 en X2H006 en die huidige minder goeie (<90%) korrelasie (kyk tabel 6.2).

Meetstasie X2H036 is in die vloed van 1984 beskadig en is daarna verhoog. Die aflooptabel wat tans op die databank is, is voor die verhoging bereken en is dus nie meer van toepassing nie. Die meetstasie moet dus weer gekalibreer word. Poeltoestande is gunstig, maar dit lyk asof versuiping wel 'n rol sal speel voordat struktuurlimiet bereik word, daarom is die insameling van genoegsame versuipdata belangrik vir akkurate kalibrasie. Alhoewel hier nog 'n paar kleiner probleme is, behoort die meetstasie tog vloei redelik akkuraat tot akkuraat te kan meet.

6.4 DIE KLASSIFIKASIEKODES VAN DIE MEETSTASIES

Die klassifikasiekodes van die meetstasies in die Krokodilrivier-opvanggebied word in tabel 6.3 (kyk ook figuur 6.7) weergegee. Die kodes is opgestel na aanleiding van die evaluasie van die netwerk en die betrokke meetstasie.

Tabel 6.3

Die klassifikasiekodes van die meetstasies
in die Krokodilrivieropvanggebied

Meetstasie *		Rivier en pleknaam	Kode	
X2H005	X2H054	Nels te Boschrand	SM1	
X2H006		Krokodil te Karino	PM4	
			PK7	
X2H008		Queens te Sassenheim	SM2	
X2H010		Noordkaap te Bellevue	SM2	
X2H011		Elands te Geluk	SM4	
X2H012		Daw'sonspruit te Geluk	SM2	
X2H013		Krokodil te Montrose Falls	PM4	
X2H014		Houtbosloop te Sudwala	SM1	
X2H015		Elands te Lindenau	PM4	
X2H016		Krokodil te Ten Bosch	PM1	
X2H017		Krokodil te Thankerton	SM7	
		X2H057		SK7
X2H018			Mbanyati te Skukuza-Malelane	SM4
X2H019			Uitzoek Staatsbos	AM7
X2H020			Uitzoek Staatsbos	AM7
X2H021			Uitzoek Staatsbos	AM7
X2H022	Kaap te Dolton		PM1	
X2H023	Wit te Goede Hoop		SM7	
X2H024	Suidkaap te Glenthorpe		SM1	
X2H025	Uitzoek Staatsbos		AM1	
X2H026	Uitzoek Staatsbos		AM1	
X2H027	Uitzoek Staatsbos		AM1	
X2H028	Uitzoek Staatsbos	AM1		
X2H029	Visspruit te Alkmaar	SM7		
	X2H060		SK7	
X2H030		Suidkaap te Senteekoo	SM4	
X2H031	X2H061	Suidkaap te Bormans Drift	SM1	
			SK7	

Tabel 6.3 (vervolg)

Die klassifikasiekodes van die meetstasies
in die Krokodilrivieropvanggebied

Meetstasie *		Rivier en pleknaam	Kode
X2H032	X2H062	Krokodil te Weltevreden	PM4
X2H033		Krokodil te Sterkdoorn	PK4
X2H035		Kruisfontein te Kruisfontein	SM4
	X2H064		BM1
X2H036		Komati te Komatipoort	BK1
X2H037		Witklip Staatsbos	PM1
X2H038		Witklip Staatsbos	AM7
X2H039		Witklip Staatsbos	AM7
X2H040		Witklip Staatsbos	AM7
X2H041		Witklip Staatsbos	AM7
X2H042		Witklip Staatsbos	AM7
X2H043		Witklip Staatsbos	AM7
X2H044		Witklip Staatsbos	AM7
X2H045		Matjulu te Berg-en-Dal	SM4
X2H046		Krokodil te Riverside	SM1
X2H047		Swartkoppies te Kindergoed	SM4
X2H058/59	Wit te Goede Hoop	SM1	
X2H072	Nsikazi te Madlabantu	SM1	
X2R001	X2H065	Wit, Longmeredam	SR4
		Wit, Klipkopjesdam	SW1
X2R002	X2H066		SR1
		Sand, Witklipdam	SW7
X2R003	X2H067		SR1
			SK1
			SW1
	X2H068		SP-
			SR1
X2R004	X2H069	Wit, Primkopdam	SR1
X2R005		Krokodil, Raubenheimerdam	SR1
	X2H070		SW1

* 'n Meetstasie bestaan uit die hoofmeetpunt (eerste kolom)
in die rivier, met komponente (tweede kolom).

6.5 OPSOMMING

Die Krokodilrivieropvanggebied is die mees komplekse opvanggebied in die X-dreineringsstreek. Hier is 'n groot verskeidenheid van faktore wat almal in meerder of minder mate 'n rol speel. 'n Bykomende faktor is die akkuraatheid van die data wat in sekere gevalle twyfelagtig is, as gevolg van heelwat onakkurate

meetstasies. Dit veroorsaak dat berekeninge soos die bepaling van korrelasies en GJA's nie altyd sin maak nie, soos onder 6.3.1 bespreek.

Die Krokodilrivieropvanggebied is ook een van die opvanggebiede waar die huidige netwerkdigtheid meer as drie keer digter is as die minimum digtheid soos deur die WMO-standaarde bepaal (kyk tabel 2.1, Hoofstuk 2 en Bylae 3). Die ideale netwerk soos voorgestel onder 6.3.2, het vyftien meetstasies teenoor die huidige dertig potensiële netwerkstasies (Bylae 3). Dit is op sy beurt weer slegs die helfte van die totale aantal meetpunte (H-nommers) in die opvanggebied.

Dit blyk uit hierdie ondersoek dat laasgenoemde veral heelwat onbenutbare meetstasies bevat. Waarnemings kan by meeste van die meetstasies gestaak word sonder dat daar hoegenaamd 'n verlies aan inligting is.

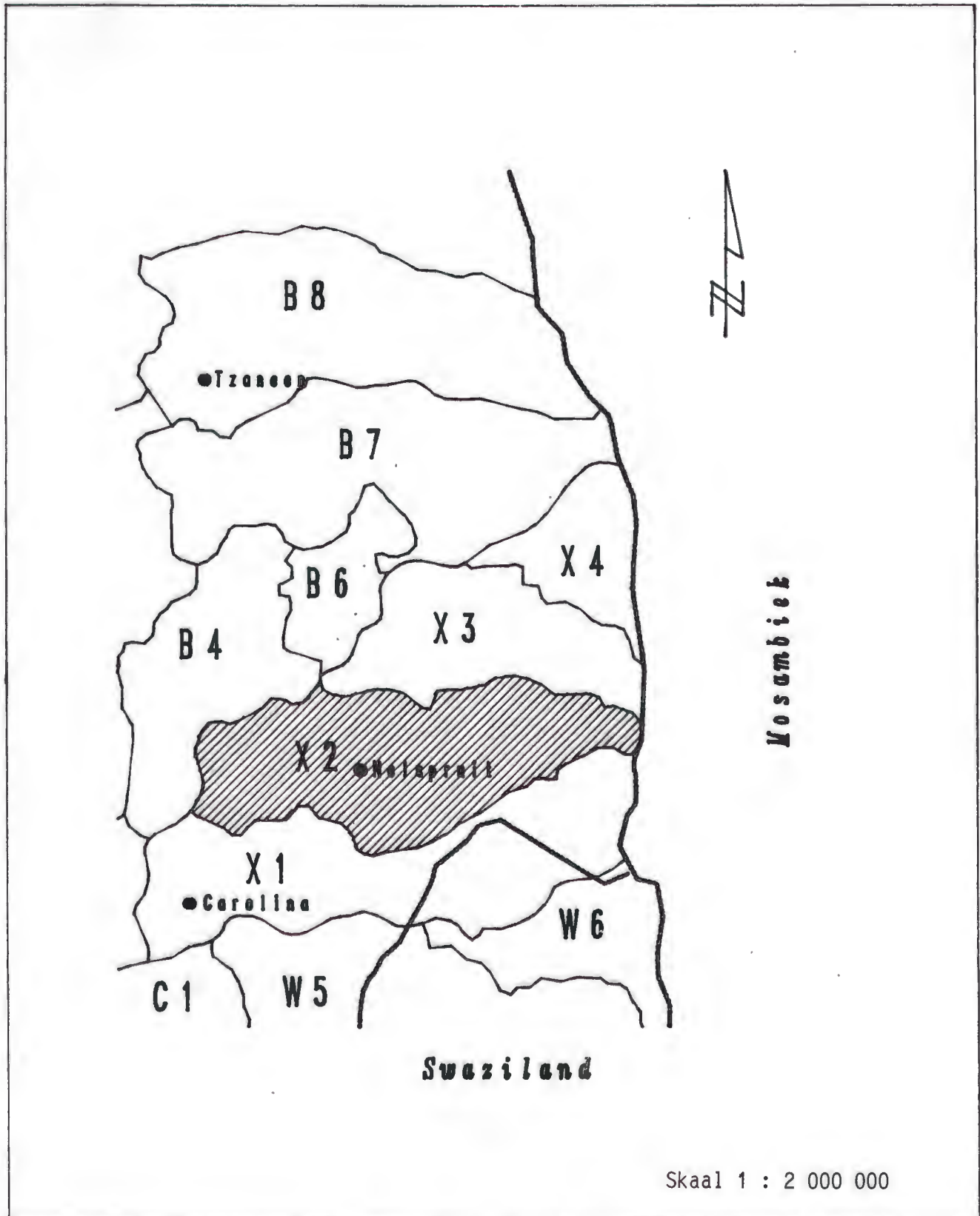
In totaal word daar voorgestel om by 24 meetstasies en vyf komponente, dus 29 H-nommers, waarnemings te staak. Dit sal die huidige totaal met amper die helfte verminder. Dit sluit egter net sewe van die potensiële netwerkstasies in. As waarnemings by al sewe gestaak word, sal die resterende netwerk se digtheid effens minder wees as driemaal die WMO-minimum.

Waarnemings sal egter nie by al die bogenoemde meetstasies gestaak word nie. 'n Paar is redelike goeie meetstasies, maar reeds by so 'n oppervlakkige ondersoek soos die eerste fase ontstaan daar vrae oor die nut van sommige meetstasies. Moontlike verdere afskaling van die netwerk word voorsien, gesien die resulterende digtheid, maar sal eers na 'n meer gedetailleerde ondersoek geregverdig kan word.

Alhoewel die bestaande netwerk dus heelwat digter is as die voorgestelde ideale netwerk, vergelyk dit verder egter baie goed en behoort die behoeftes aan vloei-inligting in die Krokodilrivieropvanggebied te kan bevredig.

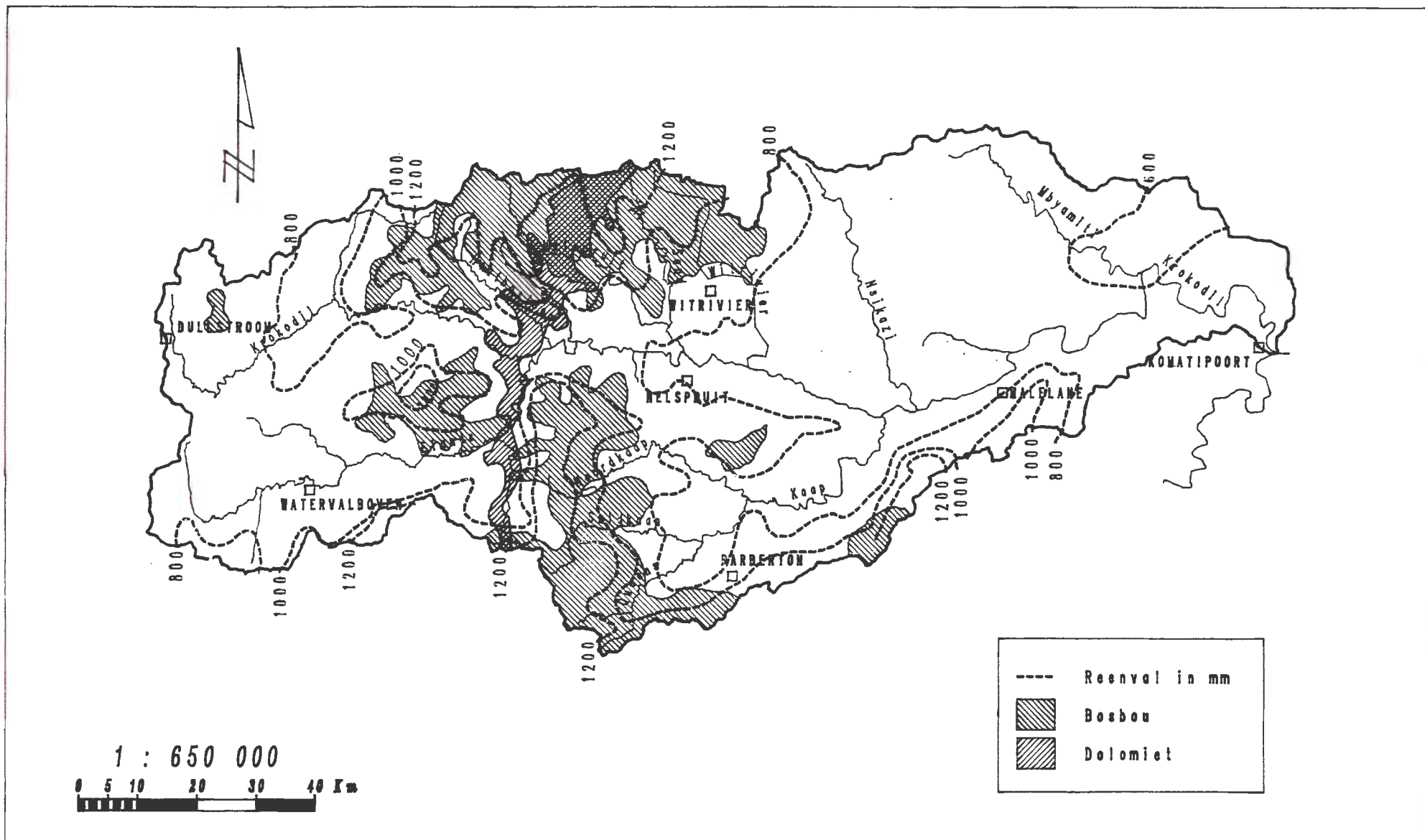
Weereens val dit op hoe baie probleme ondervind word juis by die primêre meetstasies. Detailondersoeke sal waarskynlik nie meer probleme uitwys nie, maar wel die effek van die reeds geïdentifiseerde probleme kan kwantifiseer. Waar moontlik sal egter hoë prioriteit aan die uitskakeling van die bestaande probleme gegee moet word om die kwaliteit van die inkomende data te verseker.

Anders as in die Komatirivieropvanggebied in Hoofstuk 5, kon die metodes soos in Hoofstuk 4 beskryf hier meer suksesvol toegepas word.



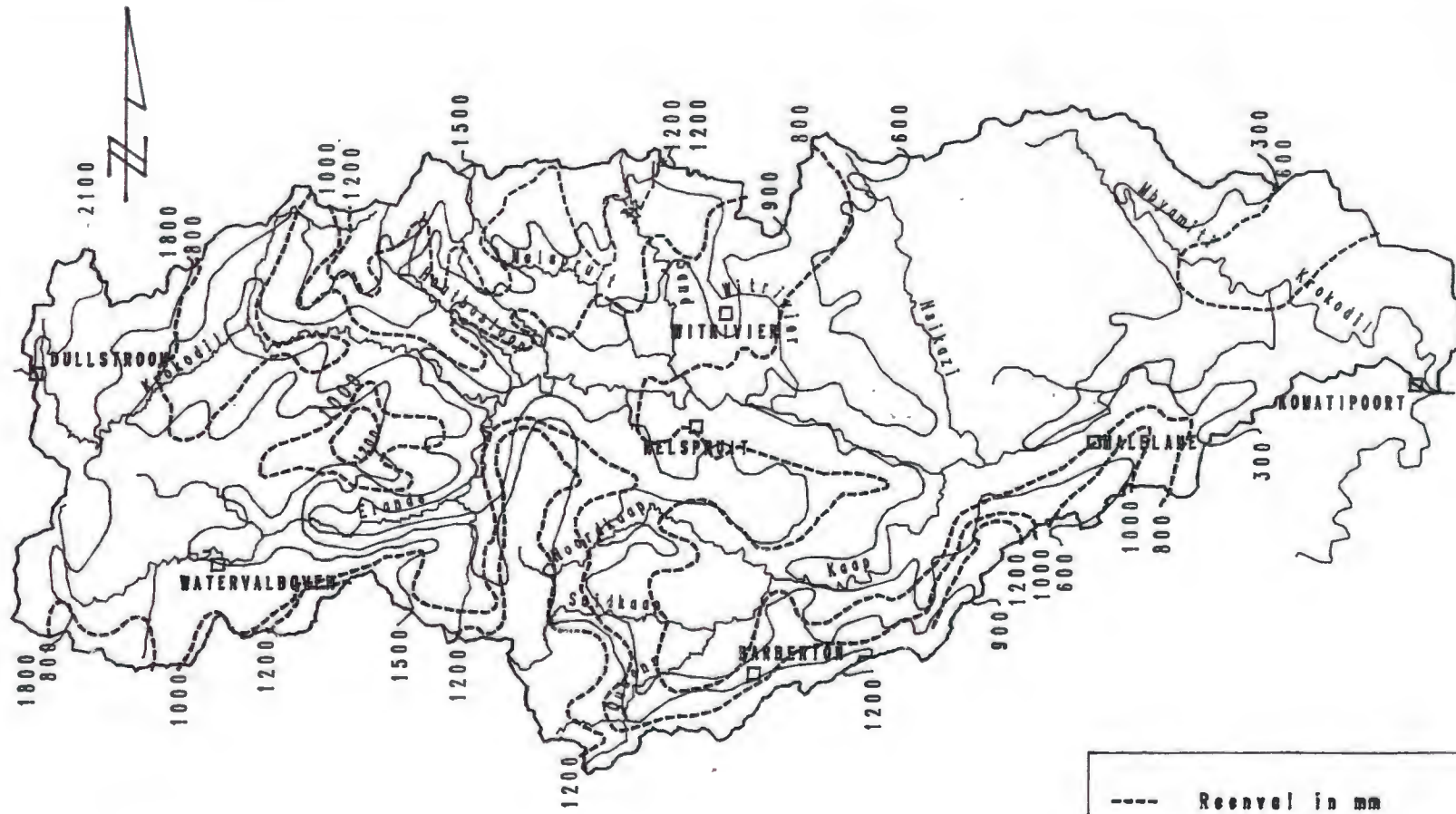
Ligging van die
KROKODILRIVIER-OPVANGGEBIED

FIGUUR
6 . 1



Krokodilrivier-opvanggebied
FISIOGRAFIESE EN METEOROLOGIESE FAKTORE (I)

FIGUR
6.2

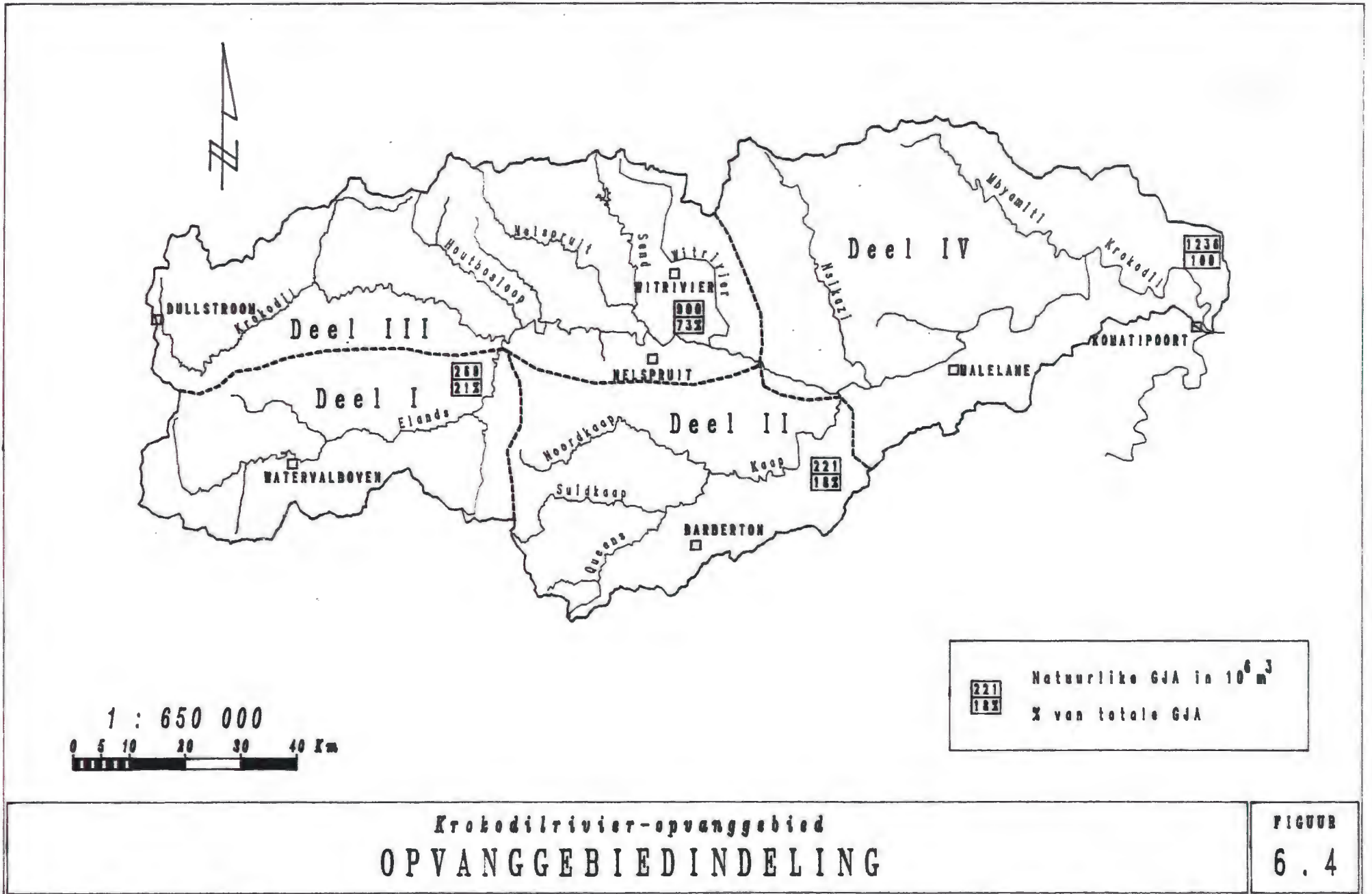


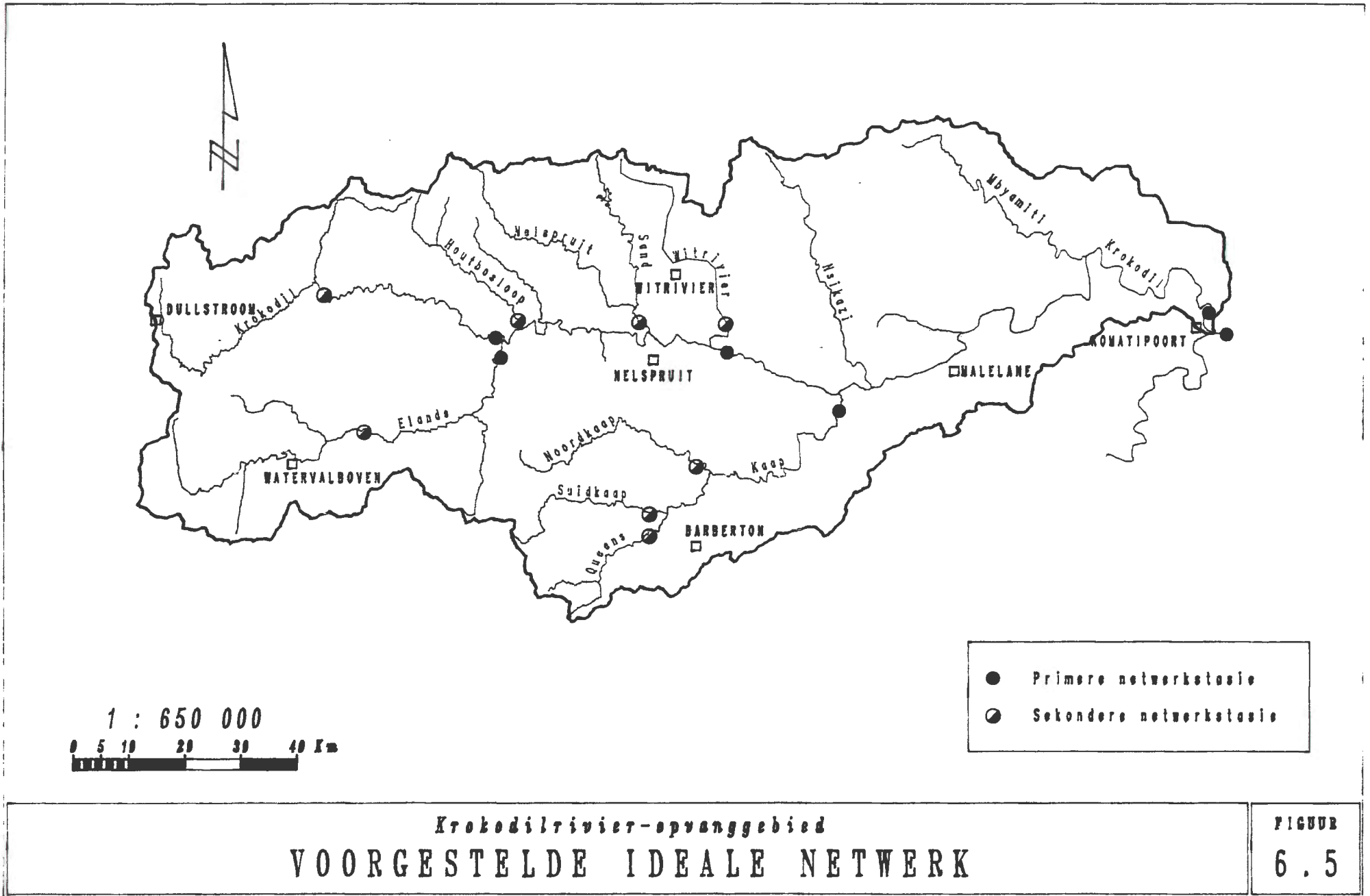
--- Reënval in mm
 — Hoogte bo seespieël in m

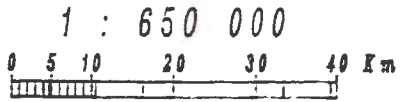
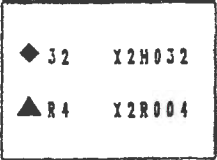
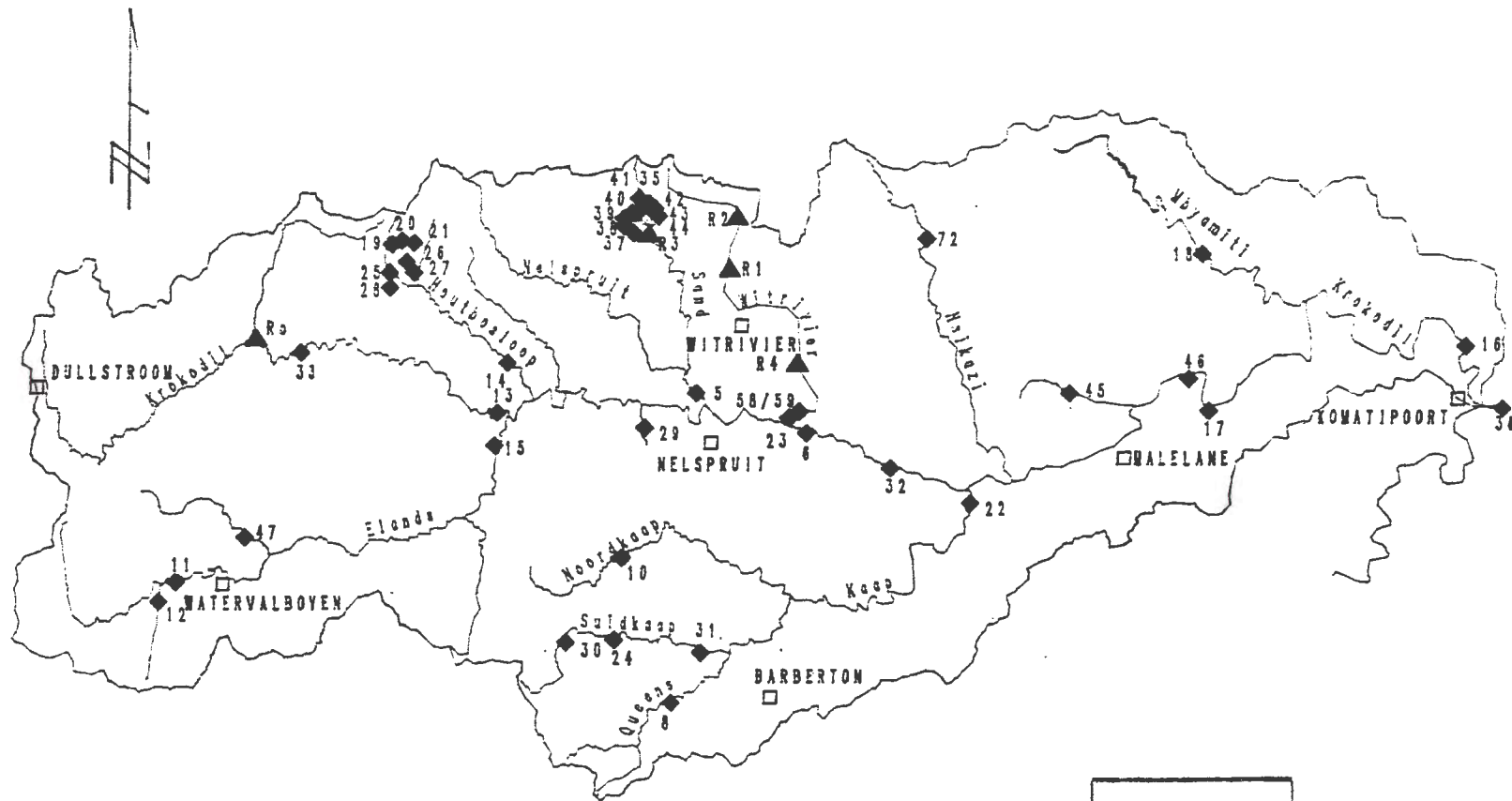
1 : 650 000
 0 5 10 20 30 40 Km

Krokodilrivier-opsamingsgebied
 FISOGRAFIESE EN METEOROLOGIESE FAKTORE (II)

FIGUR
 6.3

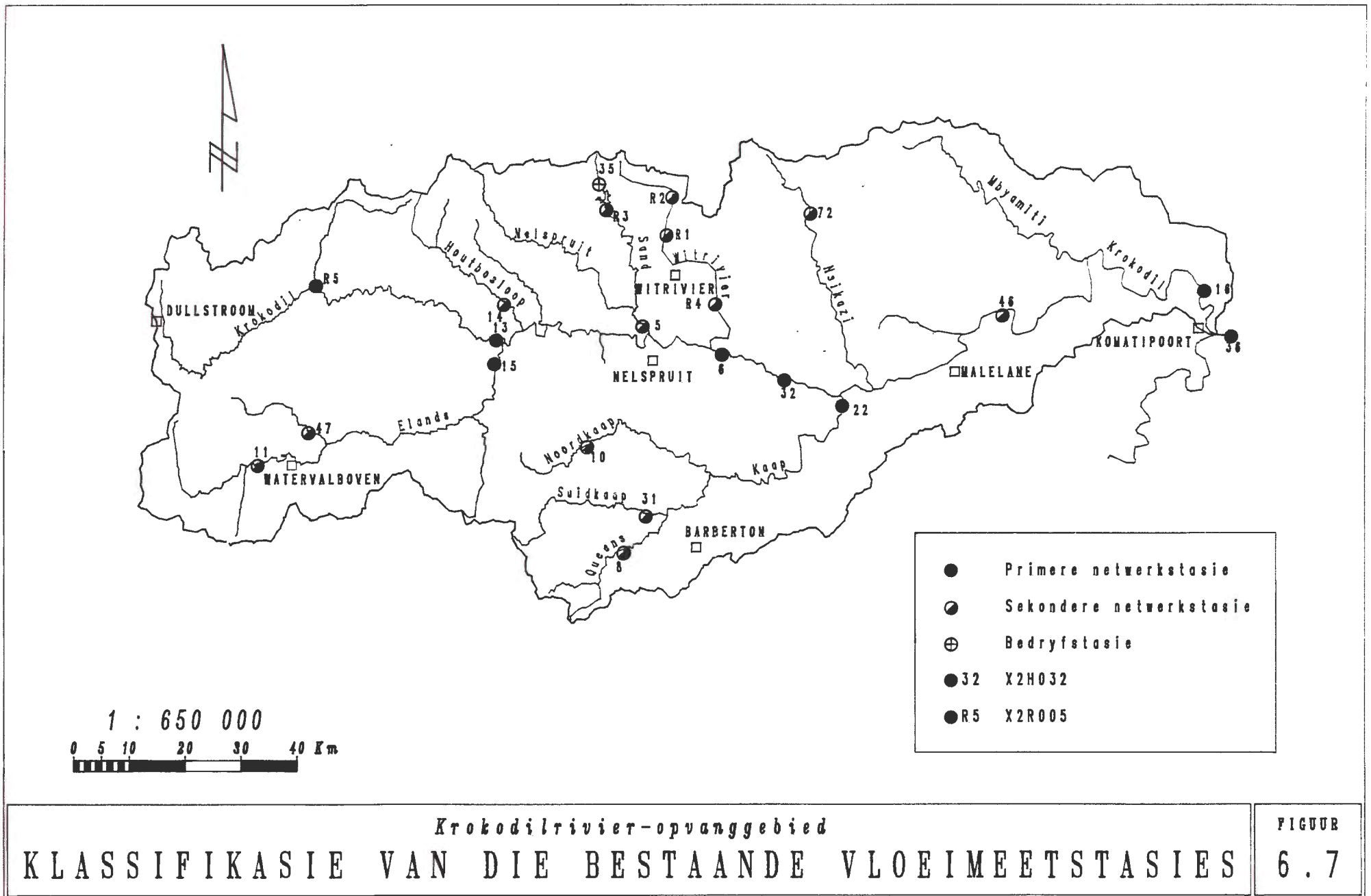






Krokodilrivier-opvanggebied
BESTAANDE VLOEIMEETSTASIES

FIGUUR
6.6



Hoofstuk 7

DIE SABIERIVIEROPVANGGEBIED**7.1 INLEIDING**

In hierdie hoofstuk word die netwerk in die Sabierivieropvanggebied ge-evalueer. Dieselfde prosedure, soos in Hoofstuk 5 toegepas, word gevolg.

Daar is reeds heelwat werk in die Sabierivieropvanggebied gedoen. Onder andere is evaluasies van die meetstasies gedoen en 'n opvanggebiedstudie is deur Chunnett, Fourie & Vennote (1990) voltooi. Van laasgenoemde studie is doelbewus min gebruik gemaak tydens die ondersoek. Die verslag bevat baie meer inligting as wat daar oor die ander twee opvanggebiede beskikbaar is. Die inligting is ook heelwat meer as wat vir die Fase 1-ondersoek nodig is. Deur in hierdie geval daarvan gebruik te maak, sal die gevalllestudie skeef trek. Die tweede fase sal baie goeie gebruik hiervan kan maak. Die verslag is wel bestudeer, en resultate is vergelyk en sekere inligting is ook oorgeneem.

7.2 BESKRYWING VAN DIE OPVANGGEBIED**7.2.1 Ligging**

Die Sabierivieropvanggebied lê in Oos-Transvaal en strek vanaf die Drakenberge in die weste by Graskop en Sabie tot die Mosambiekse grens in die ooste (fig. 7.1). Die opvanggebied beslaan 'n oppervlakte van 6252 km². Lebowa en Gazankulu beslaan die noordwestelike deel, vernameelik die bolope van die Sandrivier, terwyl die oostelike deel natuurreservaat is.

7.2.2 Klimaat

Die opvanggebied het volgens Poynton (1971) twee klimaatsones. Die westelike deel het 'n subtropiese en die

oostelike deel 'n semi-ariëde klimaat. Die opvanggebied is in twee WMO-gebiede ingedeel soos beskryf in Hoofstuk 2 (tabel 2.1), kyk ook Bylae 3. Die gemiddelde jaarlikse reënval wissel van 1600 mm in die weste tot 600 mm in die ooste, met 'n opvanggebiedgemiddelde van 833 mm (fig. 7.2).

7.2.3 Landoppervlak, landgebruik en plantegroei

Die Sabierivier ontspring teen die platorand in hoë berge en vloei ooswaarts eers deur lae berge en na die samevloeiing met die Mariterivier deur matig golwende vlaktes, volgens die terreinmorfologiese kaart van Kruger (1983). Na Onder-Sabie vloei die Sabierivier deur effens golwende vlaktes. Die opvanggebied word in die ooste deur die lae heuwels van die Lebomoberge begrens.

Die Sandrivier ontspring ook teen die platorand se hoë berge, maar die landvorm verander baie vinnig van hoë na lae berge en dan na matig golwende vlaktes.

Die plantegroei verander saam met die landvorme van bergsuurveld na Laeveldse bosveld en na Laeveldse savanne, wat die grootste deel van die opvanggebied beslaan (Acocks, 1988). In die westelike deel kom grootskaalse bosbou voor, terwyl die oostelike deel, soos reeds genoem natuurreservaat is.

7.2.4 Dreinerings en afloop

Die vernaamste riviere is die Sabie en die Sand, met die Marite en Noordsand as die belangrikste sytakke van die Sabierivier.

Daar is tans slegs een dam in die opvanggebied, naamlik die DaGamadam (X3R001) in die White Watersrivier, 'n sytak van die Noordsandrivier. Die opvanggebied se GJA is $849 \times 10^6 \text{ m}^3$ en verteenwoordig 1,6% van die totale GJA van die

RSA.

7.3 BESPREKING VAN DIE MEETSTASIENETWERK

Soos in Hoofstuk 4 beskryf is die eerste stap in die ondersoek van die netwerk, die opstel van 'n ideale netwerk.

7.3.1 Die ideale netwerk

Die opvanggebied kan volgens figuur 7.2 in drie relatief hidrologies homogene gebiede ingedeel word. Die grense van hierdie gebiede is dus 'n goeie aanduiding van waar die belangrikste meetplekke behoort te wees. Die Sabierivier stroomaf van Hazyview is na aanleiding daarvan as 'n primêre meetpunt geïdentifiseer (fig. 7.3). Ook die Sandrivier stroomaf van Thulamashe, en die Sabierivier voor die samevloeiing met die Sandrivier, is om dieselfde redes as primêr geïdentifiseer.

Daar behoort ook 'n primêre meetpunt in die Sabierivier, voor die Mosambiekse grens in die ooste te wees. Politieke redes speel 'n belangrike rol in hierdie keuse, saam met die feit dat die meetstasie die totale afloop van die opvanggebied sal meet.

Aanvullend tot hierdie primêre netwerk is die volgende sekondêre meetpunte geïdentifiseer:

- (a) Sabierivier na die samevloeiing met die Klein-Sabierivier en na die samevloeiing met die Mac-Macrivier;
- (b) Mariterivier voor die samevloeiing met die Sabierivier; en
- (c) Sandrivier voor die samevloeiing met die Klein-Sandrivier.

7.3.2 Evaluasie van die huidige netwerk ten opsigte van die ideale netwerk

Daar is tans 11 vloeimeetstasies (17 meetpunte, kyk tabel 7.1)

wat 0,97% van die RSA totaal verteenwoordig. Meetstasies X3H015 en X3H021 (fig. 7.4 en 7.5) voorsien in die behoefte by twee van die geïdentifiseerde primêre meetpunte. Daar is slegs een meetstasie in die Sandrivier, naamlik X3H008. Die meetstasie sal moet voorsien in die primêre behoefte wat in die Sandrivier geïdentifiseer is. Aangesien die meetstasie heelwat laer af in die rivier is as wat ideal sou wees, word die belang van die sekondêre meetpunt in die bolope van die Sandrivier groter.

Chunnett, Fourie & Vennote (1990) het in die leemte in die bolope van die Sandrivier voorsien deur data oor te dra van 'n meetstasie in die aangrensende opvanggebied, naamlik B7H004 in die Klaserierivier. Die oprigting van 'n nuwe meetstasie om in hierdie leemte te voorsien, word dus nie as baie belangrik beskou nie.

Meetstasie X3H006 in die Sabierivier te Hazyview voorsien in die primêre meetpunt wat daar geïdentifiseer is. Aangesien die meetstasie egter verder stroomop is as wat ideal sou wees, word X3H004 as sekondêr geklassifiseer. Meetstasies X3H001, X3H002, X3H003 en X3H011 moet voorsien in die behoeftes van die drie sekondêre meetpunte wat voorgestel is in die ideale netwerk.

Daar is nog twee riviervloeimeetstasies in die opvanggebied, te wete X3R001 en X3H007 (fig. 7.4) beide in die White Watersrivier. Meetstasie X3R001 word as sekondêr geklassifiseer omdat dit 'n dam is wat 'n invloed sal hê op die aflope verder stroomaf, veral by X3H004. Meetstasie X3H007 wat weer stroomop van X3R001 is, is oorbodig en waarnemings kan gestaak word.

Volgens die meetstasiekatalogus is daar nog 'n meetpunt X3H018 in die opvanggebied. Hierdie meetpunt was geleë in die verbindingskanaal tussen X3H001 en X3H002. Die meetpunt was slegs 'n stroommetingsseksie in die kanaal en is nooit gekalibreer nie. Daar is ook amper geen data beskikbaar nie. Die kanaal bestaan al jarelank nie meer en metings by die meetpunt is dus vir alle praktiese doeleindes reeds jare terug gestaak. Die meetpunt

behoort dus formeel gesluit te word.

7.3.3 Meetstasie-evaluasie

In die Sabierivier netwerkbeplanningsverslag (Meijer, 1991c), word al die meetstasies in besonderhede ge-evalueer. 'n Kort opsomming van die evaluasies van die primêre meetstasies, sal help om die klassifikasiekodes en ander gevolgtrekkings toe te lig.

Soos reeds genoem, is vier stasies as uiters belangrik geïdentifiseer vir die insameling van hidrologiese inligting in hierdie opvanggebied. Twee hiervan, X3H006 en X3H008, ondervind probleme, en die ander twee is struktureel goed en behoort akkurate data in te samel, maar is nog maar kort operatief - X3H021 is pas in 1990 voltooi.

Meetstasie X3H006 het 'n vlak poel en ondervind dwarsvloei. Die inlaat is geneig om toe te slik en water word direk voor die laagkeep uit die stroomoppoel onttrek. Stompe en ander opdrifsels noodsaak gereelde skoonmaak en onderhoud. Desondanks vergelyk die huidige kalibrasie redelik met bestaande stroommetings en is die invloed van al die genoemde probleme dus nie te groot nie.

Meetstasie X3H008 het 'n baie lang afsnymuur op die linkeroewer. As gevolg van 'n eiland stroomop verskil die watervlakke voor die laagkeep en die afsnymuur. Tydens die veldbesoek was die watervlak voor die afsnymuur 0,3 m hoër as by die ander kepe, by 'n meetplaatlesing van 0,38 m. Naby meetwallimiet sal daar dus reeds water oor die afsnymuur vloei wat nie gemeet word nie. Hierdie probleem kan oorbrug word deur die afsnymuur te verhoog en so te verseker dat vloei tot by meetwallimiet slegs deur die twee kepe vloei. Gereelde onderhoud en skoonmaak sal die slikprobleem bekamp.

7.4 DIE KLASSIFIKASIEKODES VAN DIE MEETSTASIES

Die klassifikasiekode van die meetstasies in die Sabie-opvanggebied word in tabel 7.1 weergegee. Die kodes is opgestel volgens die prosedure soos in Hoofstuk 4 voorgestel.

Tabel 7.1

Die klassifikasiekodes van die meetstasies
in die Sabierivieropvanggebied

Meetstasie*		Rivier en pleknaam	Kode
X3H001	X3H018	Sabie te Sabie	SM3
X3H002		Klein-Sabie te Sabie	SM6
		kanaal	SM7
X3H003		Mac-Mac te Geelhoutboom	SM1
X3H004		Noordsand te De Rust	SM4
X3H006		Sabie te Perry's Farm	PM4
X3H007		White Waters te Dagamadam	SM4
X3H008		Sand te Exeter	PM4
X3H011		Marite te Injaka	SM4
X3H015		Sabie te Onder-Sabie	PM1
X3H021	X3H019	Sabie te Sukuza	PM1
X3R001		White Waters te Dagamadam	SR1
		kanaal	SK1
	X3H020	stroomafmeetwal	SW1

* 'n Meetstasie bestaan uit die hoofmeetpunt (eerste kolom) in die rivier, met komponente (tweede kolom).

7.5 OPSOMMING

Die bestaande netwerk in die Sabierivieropvanggebied vergelyk goed met die voorgestelde ideale netwerk. Die meetstasies self is ook redelik akkuraat, en met klein verbeteringe sal die inligting wat ingesamel word van 'n bevredigende standaard wees.

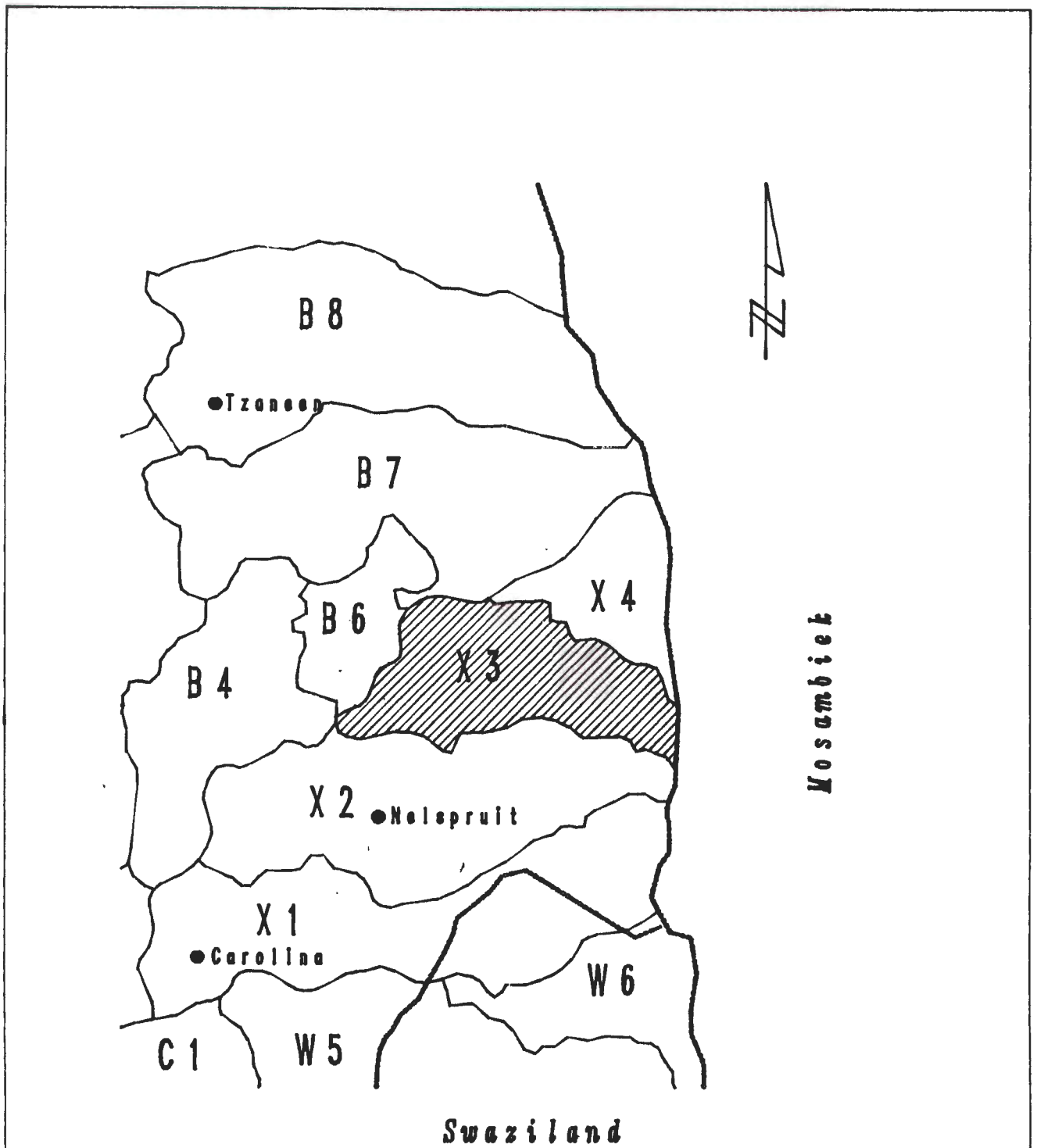
Die gemiddelde maandelikse vloeie van die meetstasies is met mekaar gekorreleer (Meijer, 1991c). Die korrelasies is gedoen op die bestaande data. Die data is nog nie aan die nodige kwaliteitondersoek onderwerp nie, daarom kan daar geen finale besluite op die inligting gegrond word nie en is dit ook nie onder 7.3.2 bespreek nie. Versigtige afleidings en sekere

aanduidings kan egter wel hieruit gekry word. Na aanleiding van die korrelasiestudie lyk dit ook asof X3H001, X3H002, X3H003 en X3H004 moontlik gesluit kan word sonder dat hidrologiese inligting verlore sal gaan.

In Fase 2 behoort dit dus moontlik te wees om reeds die ideale netwerk te probeer realiseer. Die bestaande korrelasies moet bevestig word deur 'n diepgaande data ondersoek. Indien die korrelasies dan nog bestaan, kan optimisering van die netwerk oorweeg word.

Dit is egter onwaarskynlik dat X3H011 gesluit sal word, aangesien die meetwal direk stroomaf van die voorgestelde damterrein van Injakadam is. Indien die dam gebou sou word, kan die meetwal as stroomafkomponent dien.

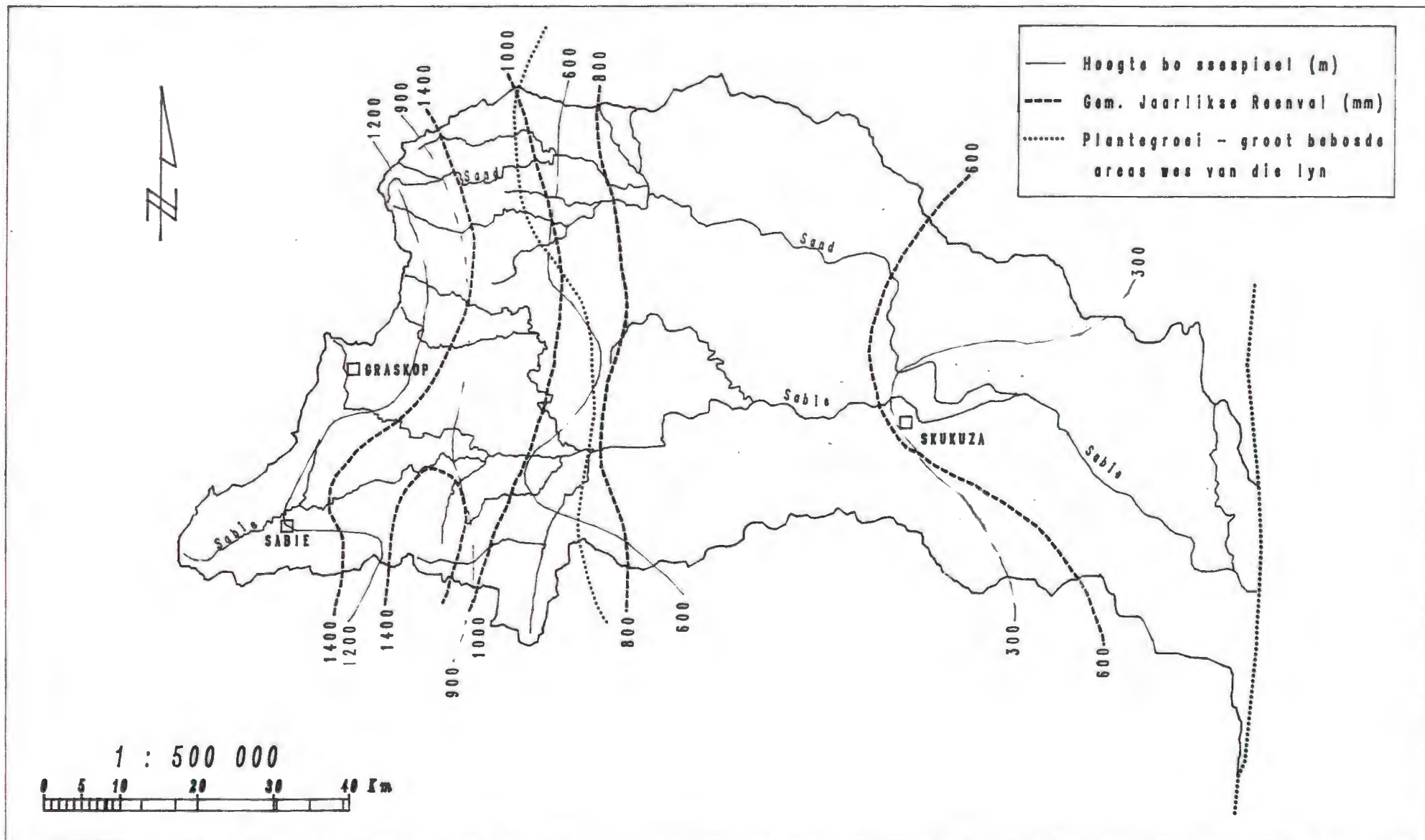
Ander behoeftes kan ook al in Fase 2 in berekening gebring word. Die kwaliteitnetwerk behoort sonder enige probleme met die netwerk van vloeimeetstasies geïntegreer te kan word.



Skaal 1 : 2 000 000

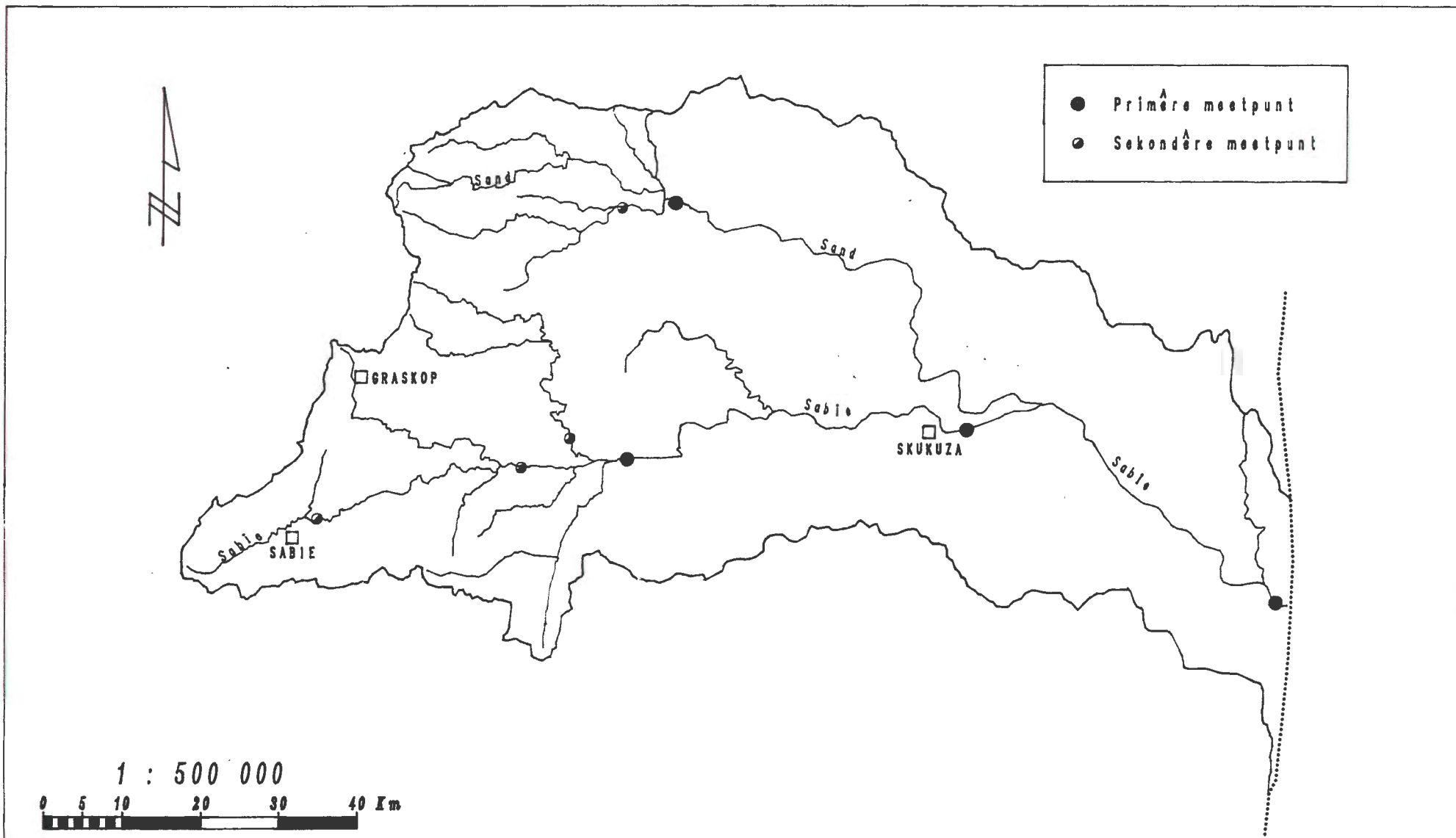
Ligging van die
SABIERIVIER-OPVANGGEBIED

FIGUUR
7 . 1



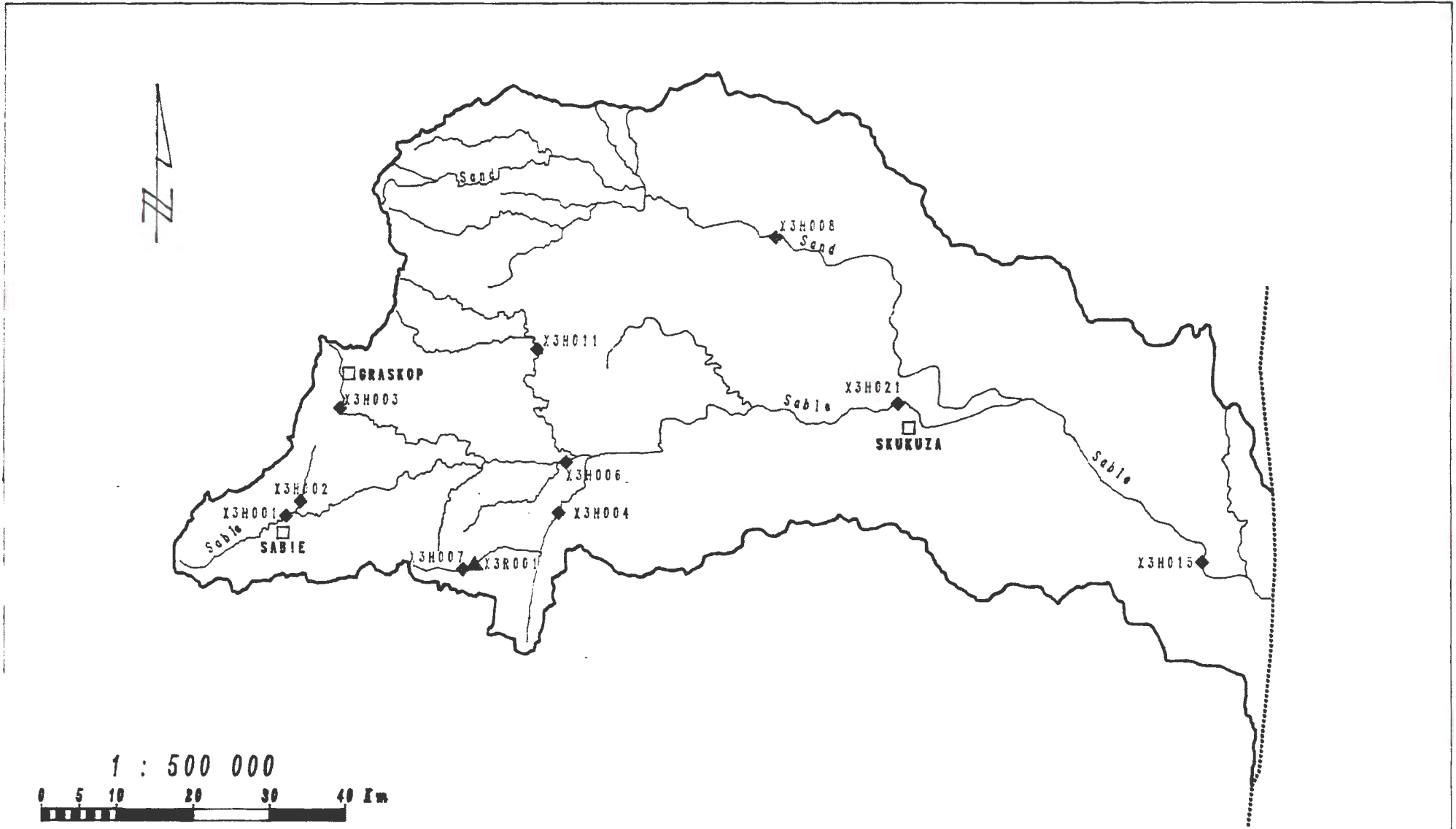
Sabierivier-opvanggebied
FISIOGRAFIESE EN METEOROLOGIESE FAKTORE

**FIGUR
 7.2**



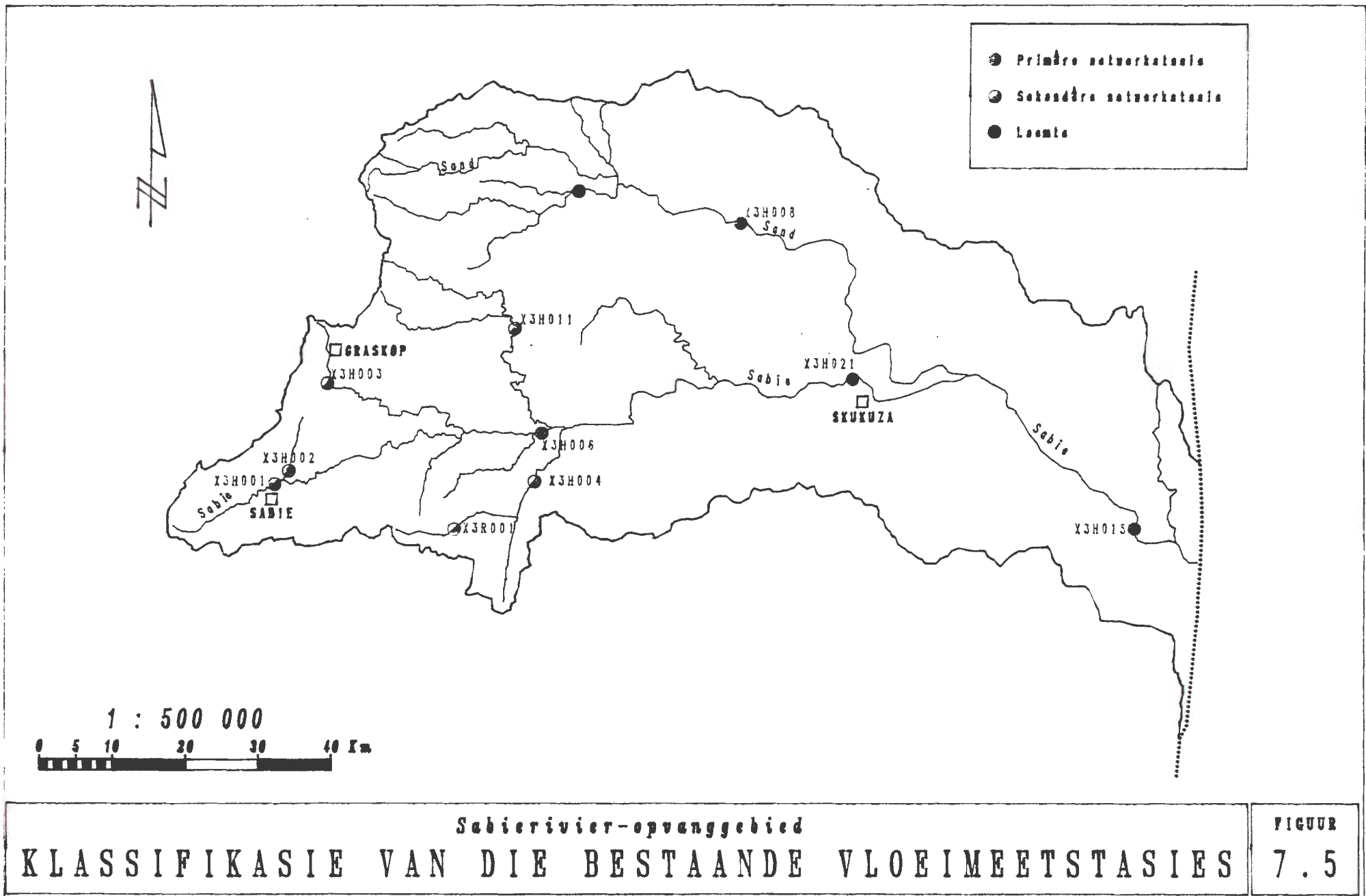
Sabierivier-opvanggebied
 VOORGESTELDE IDEALE NETWERK

FIGUR
 7.3



Sabierivier-opvanggebied
BESTAANDE VLOEIMEETSTASIES

FIGUUR
7.4



Sabierivier-opvanggebied
KLASSIFIKASIE VAN DIE BESTAANDE VLOEIMEETSTASIES

FIGUR 7.5

Hoofstuk 8 GEVOLGTREKKINGS

8.1 INLEIDING

In hierdie laaste hoofstuk sal die resultate van die gevallestudies ge-evalueer word. Die beginsels en ander gevolgtrekkings wat hieruit voortkom, en die toepassing van die voorgestelde metodiek sal bespreek word.

Die drie gevallestudies illustreer duidelik dat daar 'n groot variasie in die aard van die opvanggebiede is. Om die nodige gevolgtrekkings te maak en soms as beginsels te formuleer moet ook gekyk word na die resultate van Fase 1-ondersoeke in ander sekondêre opvanggebiede, wat reeds voltooi is maar nie in hierdie verhandeling bespreek is nie.

8.2 EVALUASIE VAN DIE GEVALLESTUDIES

Soos in die inleiding reeds genoem, is daar 'n groot variasie in die aard van die verskillende opvanggebiede. In die Sabierivieropvanggebied werk die voorgestelde metodiek baie goed. In die Komatirivieropvanggebied is die streng toepassing van die metodiek daarenteen minder suksesvol. Die Krokodilrivieropvanggebied is op sy beurt weer so kompleks dat die opvanggebied eintlik onderverdeel moes word. Dit is dus eerstens duidelik dat die voorgestelde metodiek nie blindelings toegepas kan word nie, en dat aanpassings gemaak moet word waar dit nodig blyk.

8.3 DIE TOEPASSING VAN DIE METODIEK

Dit blyk dat die sekondêre opvanggebiede van Suid-Afrika gegroeppeer sal moet word, en die voorgestelde metodiek sal verskillend toegepas, selfs aangepas moet word. Daar word drie groepe voorsien:

- (a) Die opvanggebiede waar die metodiek direk toegepas kan word en die verwagte resultate bereik sal word, vorm die eerste groep. In die groep kan die Sabierivieropvanggebied ingedeel word, asook die nege sekondêre opvanggebiede wat saam die Breërivierdreineringsgebied vorm (Van der Merwe en Meijer, 1992), die Tugeladreineringsgebied (Gillham, 1992c) en ander.

Die Krokodilrivieropvanggebied kan ook in die eerste groep ingedeel word, alhoewel die opvanggebied onderverdeel moes word vir makliker hantering. In nog kompleksere gevalle kan die metodiek egter tekort skiet.

- (b) Die tweede groep is soortgelyk aan die Komati-rivieropvanggebied. Die voorgestelde metodiek kan wel toegepas word maar die resultate is nie heeltemaal na verwagting nie. In die groep is die vorm van die opvanggebied of die dreineringspatroon die probleem. Laasgenoemde is dan meestal bepalend in die opstel van die ideale netwerk.

Nog voorbeelde van die groep is die Mkomazi- (U1) en Mtwalume- (U8) opvanggebiede (Gillham, 1992b). Die K1 tot K5 opvanggebiede aan die Suid-Kaapse kus is 'n voorbeeld van 'n problematiese dreineringspatroon (Meijer, 1993). In die laaste geval is sprake van 'n aantal kort, parallel lopende riviere wat van die Outenikwaberge direk na die see toe afloop.

- (c) Die derde groep maak voorsiening vir die gevalle waar die voorgestelde metodiek aangepas moet word. Die duidelikste voorbeeld is die sekondêre opvanggebiede in die Vaalrivierdreineringsstreek. Die waterkwaliteit is van so 'n kritieke belang in die opvanggebiede dat dit die kwantiteitsmeting oorskadu. Deur in die opvanggebiede slegs na die vloei-meting te kyk is nie sinvol nie. Die metodiek van Fase 1 kan wel gehandhaaf word om die vloei-metingsnetwerk te

ondersoek en te klassifiseer, maar daarna sal die netwerk ook getoets moet word of dit aan die behoeftes van die kwaliteitsmeting voldoen. Fase 1 sal dus in die gevalle uitgebrei moet word.

Fase 1 is egter beskryf as die leerfase, en in die opsig slaag die benadering duidelik. Daar is meer kennis oor die verskillende tipes opvanggebiede en die netwerke in die gebiede. Ook is heelwat geleer oor die faktore wat die effektiwiteit van die netwerk beïnvloed. Die grootstes en belangrikstes is nou bekend.

Nog 'n resultaat wat Fase 1 suksesvol tot stand bring, is die klassifikasie van die meetstasies. In een oogopslag kan die belangrikste meetstasies in 'n bepaalde opvanggebied geïdentifiseer word. Ook is die verwagte akkuraatheid van die meetstasies bekend. Navorsers wat die opvanggebiede bestudeer, weet dadelik watter meetstasies bruikbaar is en watter versigtig hanteer moet word. Die onderhoudspersoneel kan nou ook sinvol prioriteite toeken aan die verskillende meetstasies, sodat die beskikbare fondse optimaal aangewend kan word.

8.4 GEVOLGTREKKINGS EN AANBEVELINGS

In Hoofstuk 3 is, by die beskrywing van die verskillende benaderings, reeds genoem dat die sintese benadering moeilik prakties toepasbaar is. In Hoofstuk 4 is dus ook gekies vir die iteratiewe benadering. In opeenvolgende stappe sal probeer word om die uiteindelijke doel, 'n optimale riviervloeiemeetstasienetwerk, te bereik. Die verhandeling konsentreer verder op die eerste stap in hierdie iteratiewe proses. Oor die tweede stap, en moontlike verder stappe, sal meer duidelikheid verkry word sodra Fase 1 vir al die opvanggebiede in Suid-Afrika afgehandel is. Dit lyk dus asof die titel van hierdie verhandeling miskien optimisties is. Tog is daar reeds in die eerste Fase heelwat bereik en beplan aan die bestaande netwerke in die drie toetsopvanggebiede en kan die volgende gevolgtrekkings gemaak word:

- 8.3.1 Die behoefte aan meting, insameling van inligting oor die waterbronne, word hoofsaaklik bepaal deur die beskikbaarheid daarvan. Waar daar baie water is, is daar min tot soms geen belangstelling vir vloedata nie. Waar daar egter 'n skaarste aan water is, is dieselfde data van kritiese belang. Die sneller vir netwerkbeplanning daarenteen is meer ekonomies geïntereerd. As daar genoeg geld beskikbaar is, is niemand te besorg oor die effektiwiteit van meetstasienetwerk nie. Sodra daar egter op die begrotings besnoei word, word die optimale aanwending van die beskikbare fondse van groot belang.
- 8.3.2 Die beginselbesluit om die beplanning van die vloei-meetstasienetwerk stapsgewys te benader werp vrugte af omdat dit uit die gevallestudies duidelik blyk dat daar groot variasies in opvanggebiede voorkom. Die keuse van 'n metode of tegniek vir netwerkoptimisering sou gou teen ernstige probleme gestuit het.
- 8.3.3 Die keuse van die sekondêre opvanggebied as ondersoekteenheid is geregverdig. Waar nodig kan die opvanggebiede maklik gekombineer word. Die kombinasie van sekondêre opvanggebiede sal hoofsaaklik toegepas word waar die oppervlakte van die opvanggebiede klein is. Terselfdertyd kan groot, komplekse sekondêre opvanggebiede, soos die Krokodilrivieropvanggebied, onderverdeel word om die toepassing van die metodiek te vergemaklik.
- 8.3.4 Die eerste fase slaag tot 'n groot mate in sy doel. Daar waar tekortkominge is, kan met relatief klein uitbreidings nog steeds aan die verwagtinge voldoen word. Die uitbreidings is egter slegs in spesifieke gevalle nodig en word daarom dus nie in die voorgestelde algemene metodiek opgeneem nie.

- 8.3.5 Die mees dominante faktor wat die hidrologie in 'n bepaalde opvanggebied beïnvloed, is die topografie. Dit geld vir al die opvanggebiede tussen die platorand en die see, asook die opvanggebiede in die binneland wat direk aan die platorand grens. In die opvanggebiede verder na die binneland sal die invloed van die topografie waarskynlik heelwat minder wees, aangesien dit minder invloed op die reënval het.
- 8.3.6 Menslike aktiwiteite in 'n opvanggebied, indien dit op groot skaal voorkom, het daarenteen weer die grootste invloed op die netwerk. Die invloed is soms so oorheersend dat die ander faktore totaal geïgnoreer kan word in die bepaling van die ligging van meetstasies.
- 8.3.7 Die klassifikasiekode voldoen aan die behoefte. Die beskrywing van die akkuraatheid van die meetstasies kan met tyd verbeter word, veral nadat die bestaande datarekord in detail ondersoek is. 'n Presiese aanduiding van die akkuraatheid, byvoorbeeld deur foutstroke toe te ken, is egter nie noodsaaklik nie.
- 8.3.8 Die volgende stap in die netwerkbeplanningsproses (Fase 2) is die evaluasie van die bestaande datarekords van al die meetstasies. Die rekords moet op akkuraatheid en kwaliteit ge-evalueer word, en moet waar nodig gekorrigeer word. Die hantering van die gapings en plusse in die rekord is 'n tweede aspek van hierdie evaluasie.
- 8.3.9 Ook hierdie data-evaluasie behoort stapsgewys benader te word. Om die rekords datapunt vir datapunt na te gaan sal 'n bykans onbegonne taak wees, en die proses sal in elk geval veels te lank neem. Statistiese analises kan hierdie taak grotendeels bespoedig. Deur die rekord aan sekere statistiese toetse te onderwerp

kan anomalië uitgewys word vir detail ondersoek. Ook die visuele ondersoek van die afloophydrogramme kan uiters belangrike inligting oplewer. Moontlike foute sal dan nog steeds in die rekords kan voorkom. Omdat die bestaande meetstasies geklassifiseer is, kan prioriteite ook hier toegeken word. Primêre netwerkstasies se datarekords sal meer intensief ondersoek moet word, terwyl voorlopig met die bogenoemde evaluasie vir sekondêre netwerkstasies en die ander meetstasies volstaan kan word.

8.3.10 Die data-evaluasie sal as neweresultaat die vas lê van standarde hê vir die insameling van die betrokke data en die verwerking daarvan. Sistematiese foute of afwykings sal dan in die toekoms hopelik verminder kan word. Menslike en ander nie-sistematiese foute, en die identifikasie en korreksie daarvan sal natuurlik nog steeds 'n probleem wees.

8.3.11 Voordat die optimisering van die netwerke in die afsonderlike opvanggebiede aangepak kan word, sal eers vasgestel moet word watter tegnieke gebruik gaan word om data van 'n gemete punt oor te dra na 'n ongemete plek in die opvanggebied.

8.3.12 Die keuse van die tegnieke wat gebruik sal word, sal afhang van die toelaatbare fout wat gemaak mag word. Daar sal dus 'n ondersoek ingestel moet word na die behoeftes van die verskillende gebruikers van die vloeddata. Ook sal die praktyk 'n rol speel in die bepaling van die fout. Hier kan met vrug gebruik gemaak word van 'n soortgelyke ondersoek in Nederland (Van der Made, 1986). Hierdie ondersoek kan as Fase 3 beskou word en volg nie chronologies op Fase 2 nie, maar kan terselfdertyd aangepak word.

- 8.3.13 Die uiteindelijke optimisering van die netwerke in die afsonderlike opvanggebiede (Fase 4) sal dan die laaste stap in die proses wees, waarna netwerkbeplanning 'n bestuursproses word om sorg te dra dat die netwerk optimaal bly en tred hou met die veranderende behoeftes.
- 8.3.14 Die keuse van metodes en tegnieke om die optimisering teweeg te bring sal afhanklik wees van die tipe opvanggebied. Kombinasies van tegnieke sal waarskynlik beter resultate lewer. Die keuse sal ook onderhewig wees aan praktiese beperkings. Is die nodige fasiliteite en tyd beskikbaar om die metodes toe te pas?

Om netwerkbeplanning werklik sinvol en effektief voort te sit na die eerste fase, is dit dus uiters belangrik dat die volgende eers vasgestel en gedefinieer word:

- hoe akkuraat wil of kan ons meet.

VERWYSINGS

ACOCKS, J.P.H., 1988. Veldtipes van Suid-Afrika. Memoirs van die Botaniese opname van Suid-Afrika, no. 57. Nasionale Botaniese Instituut, Pretoria.

AMOROCHO, J & HART, W.C., 1964. A critique of current methods in hydrological system investigation. Transactions, American Geophysical Union, Vol. 45, No. 2.

AUSTRALIAN WATER RESOURCES COUNCIL, 1969. The representative basin concept in Australia. A progress report, Hydrological Series 2. Canberra.

CHUNNETT, FOURIE & VENNOTE, 1985. Hydrology of the Crocodile River Catchment. Department of Water Affairs, Pretoria.

CHUNNETT, FOURIE & VENNOTE, 1990. Water Resources Planning of the Sabie River Catchment. Catchment study report. Department of Water Affairs, Pretoria.

DEPARTMENT OF IRRIGATION AND WATER SUPPLY, 1906. Hydrographic Districts and Catchment Areas under Observation. Plan No. 2, Transvaal Colony. The Government Printing and Stationary Office, Pretoria.

DEPARTEMENT VAN OMGEWINGSAKE, 1982. Jaarverslag. Gedruk vir die Staatsdrukker Pretoria deur Kaap en Transvaal Drukkers Bpk., Kaapstad.

DEPARTEMENT VAN OMGEWINGSAKE, 1983 en 1984. Jaarverslae. Staatsdrukker, Pretoria.

DEPARTEMENT VAN WATERWESE, 1972, 1974 en 1979. Jaarverslae. Gedruk vir die Staatsdrukker, Pretoria deur Kaap en Transvaal Drukkers Bpk., Kaapstad.

DEPARTEMENT VAN WATERWESE, 1973, 1977 en 1978. Jaarverslae. Staatsdrukker, Pretoria.

DEPARTEMENT VAN WATERWESE, 1987. WATER, Julie 1987 (75 jaar Jubileum van die Departement). Pretoria.

DEPARTEMENT VAN WATERWESE EN BOSBOU, 1986. Die Bestuur van die Waterhulpbronne van die Republiek van Suid-Afrika. Gedruk vir die Staatsdrukker Pretoria deur CTP Boekdrukkers, Kaapstad.

DEPARTEMENT VAN WATERWESE, BOSBOU EN OMGEWINGSBEWARING, 1980, 1981. Jaarverslae. Gedruk vir die Staatsdrukker Pretoria deur Kaap en Transvaal Drukkers Bpk., Kaapstad.

DIRECTOR OF IRRIGATION, 1905. Report of the Director of Irrigation for the Two Years ending 31 December 1905. Kaapstad. Cape Times Limited, Government Printers, 1906.

DIRECTOR OF IRRIGATION, 1910. Report of the Director of Irrigation for the Year 1910. The Government Printing and Stationery Office, Pretoria.

DIRECTOR OF IRRIGATION, 1911 - 1928. Yearly reports of the Director of Irrigation. Cape Times Limited, Government Printers, Cape Town.

DIRECTOR OF IRRIGATION, 1929 - 1956. Yearly reports of the Director of Irrigation. Staatsdrukker, Pretoria.

DIREKTEUR VAN WATERWESE, 1957, 1958 en 1959. Jaarverslag van die Direkteur van Waterwese. Staatsdrukker, Pretoria.

FLETCHER, P., 1860. Reports of Surveys of the Olifants River, conducted by Mr. P. Fletcher, C.E., with the view to ascertaining its capabilities for the purpose of Navigation and Irrigation. Saul Solomom & Co., Steam Printing Office, Cape Town.

GILLHAM, S., 1992a. Phase 1, Network Planning Report for the U6 and U7 Catchments. Ongepubliseerde verslag. Natalstreek, Departement van Waterwese.

GILLHAM, S., 1992b. Phase 1, Network Planning Report for the U1 and U8 Catchments. Ongepubliseerde verslag. Natalstreek, Departement van Waterwese.

GILLHAM, S., 1992c. Phase 1, Network Planning Report for the V-Drainage Region. Ongepubliseerde verslag. Natalstreek, Departement van Waterwese.

HORTON, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America, Bulletin 56: 275-370.

HUSAIN, T., 1989. Hydrological Uncertainty measure and Network Design. Water Resources Bulletin, American Water Resources Association, Vol. 25, No. 3: 527 - 534.

HYDRAULIC ENGINEER CAPE OF GOOD HOPE, 1877. Report of the Hydraulic Engineer for the Year 1877. Ministerial Department of Crown Lands and Public Works, Cape of Good Hope.

JOHNSON, F.R., 1899. Special report on Colonial Irrigation and Hydrographic Survey. Cape Times Limited, Government Printers.

KRUGER, G.P., 1983. Terreinmorfologiese kaart van Suidelike Afrika. Departement van Landbou, Pretoria.

LANGBEIN, W.B., 1960. Hydrological data networks and methods of extrapolating or extending available hydrological data. Hydrological Networks and Methods, United Nations Flood Control series no. 15. Bangkok.

LANGBEIN, W.B., 1965. National networks of Hydrological data. IAHS publ. 67, Proceedings of the Symposium of Quebec, Vol. I: 5 - 11.

MEIJER, E.J., 1991a. Fase 1 Netwerkbepanningsverslag vir die X1-opvanggebied. Ongepubliseerde verslag. Departement van Waterwese, Pretoria.

MEIJER, E.J., 1991b. Fase 1 Netwerkbepanningsverslag vir die X2-opvanggebied. Ongepubliseerde verslag. Departement van Waterwese, Pretoria.

MEIJER, E.J., 1991c. Fase 1 Netwerkbepanningsverslag vir die X3-opvanggebied. Ongepubliseerde verslag. Departement van Waterwese, Pretoria.

MEIJER, E.J., 1993. Fase 1 Netwerkbepanningsverslag vir die K1 tot K5 sekondêre opvanggebiede. Ongepubliseerde verslag. Departement van Waterwese, Pretoria.

MIDGLEY, D.C. & PITMAN, W.V., 1969. Surface water resources of South Africa. Report No. 2/69, Hydrological Research Unit, University of the Witwatersrand, Johannesburg.

MULLER, A.M.M., 1977. Die beplanning van 'n optimale riviervloeiemeetstasienetwerk vir Suid-Afrika. Ongepubliseerde MSc. (Ing) verhandeling, Universiteit van Pretoria, Pretoria.

PITMAN, W.V., MIDDLETON, B.J. & MIDGLEY, D.C., 1981. The eastern escarpment. Surface Water Resources of South Africa, Vol. VI. Report No. 9/81, Hydrological Research Unit, University of the Witwatersrand, Johannesburg.

POYNTON, R.J., 1971. A silvicultural map of Southern Africa. Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Wetenskap, Vol. 67: 58-60.

READER'S DIGEST, 1984. Atlas of Southern Africa. Produced in conjunction with the Directorate of Surveys and Mapping.

SEKRETARIS VAN WATERWESE, 1960 - 1962, 1964, 1965 en 1971. Jaarverslae van die Sekretaris van Waterwese. Staatsdrukker, Pretoria.

SEKRETARIS VAN WATERWESE, 1963, 1966 - 1970, 1975 en 1976. Jaarverslae van die Sekretaris van Waterwese. Gedruk vir die Staatsdrukker, Pretoria deur Kaap en Transvaal Drukkers Bpk., Kaapstad.

SHREVE, R.L., 1966. Statistical law of stream numbers. Journal of Geography, Vol. 74: 17-37.

SOLOMON, S.I., DENOUVILLIEZ, I.P., CHART, E.J., WOOLLEY, J.A. & CADOU, C., 1968. The use of a square grid system for computer estimation of precipitation, temperature and runoff. Water Resources Research, Vol.4 No. 5: 919 - 929.

SZESZTAY, K., 1965. On principles of establishing Hydrological Representative and Experimental areas. IAHS publication no. 66, Symposium of Budapest, Vol. I: 64 - 73.

URYVAEV, V.A., 1965. Basic principles governing the design of hydrological networks. IAHS publication No. 67: 199-206.

VAN DER MADE, J.W., 1988. Analysis of some criteria for design and operation of surface water gauging network. Ongepubliseerde PhD-proefskrif, Tegniese Universiteit Delft, Nederland.

VAN DER MERWE, N.J. & MEIJER, E.J., 1992. Fase 1 Netwerkbeplanningsverslag vir die H-dreineringsstreek. Ongepubliseerde verslag. Departement van Waterwese, Pretoria.

VAN ZYL, J.A., 1985. 'n Kaart van die landvormstreke van Suid-Afrika. Die Suid-Afrikaanse Geograaf, Vol. 13: 105-108.

WMO, 1981. Guide to Hydrological Practices, Volume 1, Data Acquisition and Processing. Fourth Edition. WMO No. 168.

WMO, 1972. Case book on Hydrological Network Design Practice. WMO No. 324.

BYLAE 1

Die groei van die meetstasienetwerk van 1910 tot 1984

Jaar	Aantal Vloei- meet- stasies	Ander meet- stasies	Korreksie	Totaal	Stasie- kata- logus
1910	20		29	49	68
1911	21		30	51	
1912			53	53	
1913	25		32	57	
1914			58	58	
1915			60	60	99
1916			62	62	
1917	28		36	64	
1918	27		37	64	
1919	25		44	69	
1920	25		46	71	122
1921	25		47	72	
1922	22		49	71	
1923	26	3	50	79	
1924	29	13	51	93	
1925	36	18	52	106	157
1926	35	18	53	106	
1927	43	18	54	115	
1928	43	19	55	117	
1929	43	18	56	117	
1930	48	21	57	126	251
1931	53	20	58	131	
1932	56	18	59	133	
1933	62	30	60	152	
1934	137	42		179	
1935	140	42		182	280
1936	146	42		188	
1937	143	42		185	
1938	150	40		190	
1939	158	42		200	
1940	159	43		202	303
1941					
1942					
1943					
1944					
1945					297
1946					
1947	132		44	176	
1948	149	45		194	
1949	139	64		203	
1950	116	88		204	349
1951	158	84		242	
1952			245	245	
1953	183	67		250	

BYLAE 1 (vervolg)

Die groei van die meetstasienetwerk van 1910 tot 1984

Jaar	Aantal vloei- meet- stasies	Ander meet- stasies	Korreksie	Totaal	Stasie- kata- logus
1954	183	74		257	
1955	182	72		254	411
1956	257			257	
1957	271			271	
1958	279			279	
1959	303			303	
1960	321			321	586
1961	354			354	
1962	401			401	
1963	449			449	
1964	471			471	
1965	530			530	779
1966	569			569	
1967	597			597	
1968	621			621	
1969	643			643	
1970	678			678	938
1971	712			712	
1972	739			739	
1973	760			760	
1974	784			784	
1975	795			795	1065
1976	794			794	
1977	780	24		804	
1978	779	24		803	
1979	780	25		805	
1980	715	26		741	1065
1981	725	26		751	
1982	710	26		736	
1983	708	26		734	
1984		26	708	734	1116

Die kolomindelings van Bylae 1 is soos volg:

Kolom 1 - Jaar: die tabel begin by 1910 en eindig in 1984, omdat daar nie meer, vanaf 1984, die verskillende soorte meetstasies se aantalle in die jaarverslae van die Departement van Waterwese vermeld word nie.

- Kolom 2 - Vloeimeetstasies: van 1910 tot 1922 verteenwoordig die hoeveelheid die eerste klas rivier vloeimeetstasies. Van 1923 tot 1933 verander die formaat van die verslaggewing en word in hierdie kolom die som van die rivier vloeimeetstasies met of sonder strukture aangegee. In 1934 verander die verslaggewing weereens en word die totale aantal rivier vloeimeetstasies, uitsluitend die suiwer laag-vloeimeetstasies, in die kolom aangegee. In 1956 word weggedoen met die onderskeid tussen laagvloei en ander vloeimeetstasies en word slegs die totaal gemeld. In 1977 is die onderskeid skielik weer terug.
- Kolom 3 - Ander: hier word al die ander meetstasies soos in die verslae vermeld, gesommeer. Tot 1922 is dit nie moontlik nie en word dit benader deur die totale in die Korreksiekolom. Van 1923 tot 1956 en 1977 tot 1984 word die aantal laagvloei meetstasies weergegee. Vanaf 1934 tot 1956 word daar egter in die verslae gepraat van die belangrikste laagvloei meetstasies, wat dus impliseer dat daar ander laagvloei meetstasies is wat nie in die verslag opgeneem is nie.
- Kolom 4 - Korreksie: die kolom word eintlik net gebruik vir die beginjare om 'n gelykmatige aansluiting by die totale van 1934 te bewerkstellig. Daar was nog ander meetstasies buiten die vermelde eerste klas stasies. In 1911 word verslaggedoen dat daar ongeveer 30 is. In 1919 word gemeld dat daar nog ses opgerig is en in 1920 en 1922 een elk. Met inagneming van hierdie gegewens word die waarskynlike totale aantal meetstasies slegs rekenkundig aangepas om 'n geleidelike toename tot die 1934-getalle te verkry. Verder word die kolom nog gebruik om die ontbrekende aantal laagvloei meetstasies in die verslag van 1947 aan te vul met die gemiddeld van die totale in 1940 en 1948, die ontbrekende data vir 1952 in te vul en om die

aantal vloeimeetstasies in 1984 aan te vul met die
totaal van 1983.

Kolom 5 - Totaal: die som van die eerste drie kolomme word
vermeld.

Kolom 6 - Stasiekatalogus: in hierdie kolom word die totale
aantal oop vloeimeetstasies volgens die meetstasie-
katalogus op 31 Maart van die betrokke jaar weergegee.

Nota: Van 1941 tot 1946 is alles as gevolg van die oorlog nie
verslag gedoen nie. In 1946/47 word daar weer 'n opname gedoen
om die stand van sake vas te stel. Die gaping in die data van
Bylae 1 as gevolg hiervan, word nie ingevul nie.

BYLAE 2

Die totale aantal meetstasies per sekondêre opvanggebied in vyf jaar intervalle van 1910 tot 1984

Sekon. opvang- gebied	Jaar															
	1910	1915	1920	1925	1930	1935	1940	1945	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1984
A1											8	9	7	7	7	7
A2	13	13	16	19	25	24	25	25	22	25	29	40	39	51	56	71
A3	7	7	7	8	8	7	6	2	2	4	13	14	22	22	22	22
A4							1	1	1	2	2	6	5	5	7	7
A5							1	1	1	3	4	4	3	4	3	2
A6			1	2	2	2	4	4	4	4	6	7	11	22	19	18
A7							1	1	2	3	3	3	3	3	3	3
A8							1	5	3	1	2	3	4	4	3	3
A9							4	4	4	7	10	14	14	14	14	14
Totaal	20	20	24	29	35	38	47	41	40	52	77	100	108	132	134	147
B1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	3	4	6	7
B2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	5
B3					1	2	4	4	4	5	5	6	10	9	11	14
B4						1				2	5	10	11	10	10	10
B5			1	1	1				1	1	1	1	1	1		
B6	3	3	3	2	2	2	1	1	3	3	6	10	11	12	10	10
B7							1	1	4	7	9	10	12	11	11	11
B8					4	4	4	4	9	7	13	12	12	16	16	20
B9											1	1	1	1	1	5
Totaal	6	6	8	7	12	12	13	13	24	27	45	55	62	65	66	82
C1	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	8	9	14	16	16
C2	15	16	14	17	18	17	19	20	18	25	62	56	57	56	57	59
C3	1	1	1	5	6	6	4	3	3	3	5	6	7	7	7	6
C4				2	2	3	5	5	3	2	3	3	4	3	3	5
C5	2	4	6	7	6	12	14	14	13	13	13	12	15	15	18	18
C6		2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	4	4	4	3	3
C7			1	2	3	3	3	3	3	3	6	6	8	8	9	10
C8		2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	8	7	22	23	23
C9	3	1	1	1	2	3	5	5	5	5	7	8	10	10	9	9
Totaal	25	30	31	42	45	51	57	57	55	61	107	111	121	139	145	149
D1		3	3	4	4	5	5	5	6	7	12	24	26	27	9	6
D2			2	2	2	6	6	7	6	7	5	10	17	18	4	5
D3	1	3	3	4	4	7	6	5	5	6	8	10	10	13	14	13
D4					3	4	4	5	5	5	14	13	19	18	17	18
D5					6	9	10	10	5	3	10	8	7	10	8	8
D6	1	1			1	1	1								1	1
D7	2	3	3	3	5	4	3	6	7	7	7	7	7	9	9	9
D8	1	1	1		1	1	1	1	1	1	2	3	3	6	8	8
Totaal	5	11	12	13	25	37	36	39	35	36	58	75	89	101	70	68
E1	1	1	2	2	2	4	10	4	4	4	4	4	4	5	5	5
E2	1		1	1	7	7	7	7	5	5	4	4	6	7	7	5
E3																1
E4					1	1	1	1								
Totaal	2	1	3	3	10	12	18	12	9	9	8	8	10	12	12	16
F1																
F2																
F3																
F4																
F5														1	1	1
F6																
Totaal													1	1	1	1
G1	1	1	1						2	5	7	19	27	31	38	44
G2						1	4	6	10	9	9	11	16	20	24	21
G3													1	2	2	1
G4			1						2	1	1	9	16	17	17	17
G5									2	5	4	5	5	5	3	3
Totaal	1	1	2	0	0	1	4	6	16	20	21	44	65	75	84	86
H1		1		1	3	4	4	3	8	6	6	13	19	19	18	14
H2					3	3	3	3	2	2	2	4	6	9	10	13
H3				2	2	3	3	2			1	3	10	6	5	4
H4		3	2	2	2	3	4	4	4	5	5	7	18	20	28	24
H5										1	1	1	3	4	6	6
H6						3	2	2	2	2	2	8	9	10	13	13
H7		1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	5	7	8	8
H8												1	2	3	3	2
H9										1		2	6	6	6	6
Totaal	0	5	3	6	11	17	17	15	17	20	20	42	78	84	97	90

BYLAE 2 (vervolg)
Die totale aantal meetstasies per sekondêre opvanggebied

Sekon. opvang- gebied	Jaar															
	1910	1915	1920	1925	1930	1935	1940	1945	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1984
J1				3	3	3	4	7	6	5	5	8	10	16	17	12
J2		3	4	4	7	7	7	6	6	9	10	12	12	13	13	13
J3		7	6	11	12	12	13	14	13	13	12	15	20	20	19	20
J4		1	1	1	1							3	4	4	4	2
Totaal	0	11	11	19	23	22	24	27	25	27	27	38	46	53	53	47
K1										1	3	3	7	7	6	6
K2										1	1	4	4	3	3	3
K3												4	5	5	5	5
K4												1	3	3	3	3
K5											1	2	2	2	2	1
K6												2	2	2	2	1
K7												1	1	1	1	1
K8												2	2	2	2	2
K9									1	1	1	1	1	1	1	2
Totaal	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	7	22	27	26	25	24
L1			2	2	2	2	2					1	1	3	3	1
L2				2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1
L3			1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	1
L4																
L5																
L6					1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
L7					1	1	2	2	1	1	1	3	3	3	3	4
L8												3	5	5	4	4
L9							1	1				1	2	1	1	1
Totaal	0	0	3	5	7	7	9	6	4	4	3	12	15	17	16	14
M1							1	1	1	1	1	2	2	2	3	2
M2																
M3														3	3	3
Totaal	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	5	6	5
N1				3	10	7	7	7	3	3	3	13	13	9	8	8
N2			1	2	5	4	4	4	2	3	2	2	2	2	5	5
N3					1	1	1	1							1	1
N4		2	4	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	3
Totaal	0	2	5	6	17	13	13	13	6	8	7	17	17	12	15	17
P1									1		1	1	1	1	1	1
P2																
P3													1	1	1	1
P4													1	1	1	1
Totaal	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3	3	3	3
Q1			4	5	11	9	9	8	4	4	7	7	7	4	6	7
Q2					1	1	1	1						1	1	1
Q3					2	3	1	1						1	2	2
Q4		2	2					2	2	2	6	6	7	8	9	9
Q5					2	2	1	1							2	1
Q6			1	1	1	1								1	2	2
Q7	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Q8				1	1	1	1	1	1	1	7	3	3	3	6	4
Q9		1	1	2	9	9	8	7	6	6	6	9	9	9	14	16
Totaal	1	4	9	11	29	28	23	23	14	15	28	27	28	28	43	43
R1			1	1	2	2	4	4	12	13	13	13	14	13	6	7
R2					1	2	3	4	9	9	13	13	12	12	11	11
R3													1	2	2	2
R4																
R5																
Totaal	0	0	1	1	3	4	7	8	21	22	26	26	27	27	19	20
S1									1	1	1	1	5	5	5	1
S2									2	1	2	7	7	7	7	5
S3									1							8
S4									1							
S5									1	1		1	1	1	2	2
S6									2	2	2	3	3	4	4	4
S7									1	1	1	1	1	1	1	1
Totaal	0	0	0	0	0	0	0	0	7	6	6	13	17	18	19	21
T1									3	4	2	2	2	1	1	4
T2											1	1	1	1	1	2
T3				1	1	1	1	1	4	7	7	9	10	10	10	10
T4								1	1	1	1	1	1	1	1	1
T5					2	2	1	1	5	5	8	9	9	9	9	9
T6													1	1	1	1
T7													2	2	2	1
T8																
T9																
Totaal	0	0	0	0	1	3	3	3	13	17	19	22	26	25	25	28

BYLAE 2 (vervolg)

Die totale aantal meetstasies per sekondêre opvanggebied in vyf jaar intervalle van 1910 tot 1984

Sekon. opvang- gebied	Jaar															
	1910	1915	1920	1925	1930	1935	1940	1945	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1984
U1						1				1	2	3	2	2	2	2
U2					1	2	2	2	4	6	12	13	14	19	18	26
U3									3	3	3	3	3	4	3	3
U4					1	1	1	1	1	1	5	4	3	3	3	3
U5																
U6															1	5
U7									1	5	6	8	7	3	3	4
U8																
Totaal	0	0	0	0	2	4	3	3	9	16	28	31	29	31	30	43
V1				1	1	2	2	2	5	12	13	26	32	44	46	44
V2						1	1	1	1	1	3	2	2	6	6	8
V3					3	4	4	4	7	7	10	9	9	7	7	7
V4																
V5										1	1	1	1	1	1	1
V6					3	1	1	1	1	3	3	4	4	4	4	5
V7	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	13	15	18	18	18
Totaal	1	1	1	2	9	10	10	10	16	26	32	55	63	80	82	83
W1				1	3	1			4	4	8	9	8	14	13	17
W2									2	2	4	7	5	7	6	11
W3					2	2	2	2	2	2	2	3	9	7	7	7
W4					1	1	1	1	3	3	5	5	5	8	7	7
W5	1	1	1	1	2	2	2	2	5	10	11	12	19	22	15	16
W6											2	3	3	3		
W7																
Totaal	1	1	1	2	8	6	5	5	16	21	32	39	49	61	48	58
X1	2	3	3	6	6	7	6	6	7	8	9	11	13	20	20	20
X2	4	3	3	3	6	6	5	7	8	7	17	21	35	42	42	46
X3			2	2	2	2	2	2	4	5	7	7	7	8	10	10
X4																
Totaal	6	6	8	11	14	15	13	15	19	20	33	39	55	70	72	76
Som- totaal	68	99	122	157	251	280	303	297	349	411	586	779	938	1065	1065	1116

BYLAE 3

Statistieke van die sekondêre opvanggebiede

Sek. opvang-gebied	Oppvl. km ²	GJA 10 ⁶ m ³	Nstasies	Nstasies per 1000 km ²	WMO-gebied	GJA/ Oppvl. 1000 m ³ /km ²
A1	1870	33	6	3.21	0.27	17.65
A2	29308	748	58	1.98	0.40	25.52
A3	12066	135	16	1.33	0.27	11.19
A4	14367	323	7	0.49	0.64	22.48
A5	6727	90	5	0.74	0.27	13.38
A6	19336	274	17	0.88	0.64	14.17
A7	15844	74	5	0.32	0.27	4.67
A8	4130	84	3	0.73	1.18	20.34
A9	5956	529	11	1.85	1.18	88.82
B1	7046	325	10	1.42	0.40	46.13
B2	4321	172	9	2.08	0.40	39.81
B3	11221	280	9	0.80	0.70	24.95
B4	7127	401	9	1.26	1.00	56.26
B5	9718	129	2	0.21	0.40	13.27
B6	2860	540	7	2.45	2.11	188.81
B7	12141	437	12	0.99	1.18	35.99
B8	13824	819	18	1.30	1.18	59.24
B9	5276	88	5	0.95	0.27	16.68
C1	20499	1277	11	0.54	0.40	62.30
C2	35845	643	41	1.14	0.40	17.94
C3	30939	140	7	0.23	0.27	4.53
C4	19161	468	3	0.16	0.40	24.42
C5	34959	355	21	0.60	0.34	10.15
C6	7868	212	4	0.51	0.40	26.94
C7	6630	171	6	0.90	0.40	25.79
C8	18110	1011	27	1.49	0.40	55.83
C9	22336	210	11	0.49	0.27	9.40
D1	43071	4982				115.67
D2	14900	1483				99.53
D3	34208	322	6	0.18	0.27	9.41
D4	111111	202	13	0.12	0.27	1.82
D5	93690	268	8	0.09	0.27	2.86
D6	33657	126	2	0.06	0.27	3.74
D7	39528	137	7	0.18	0.27	3.47
D8	33186	50	7	0.21	0.27	1.51
E1	2891	399	3	1.04	1.54	138.01
E2	21383	495	6	0.28	0.27	23.15
E3	21889	71	2	0.09	0.27	3.24
E4	2717	50	2	0.74	0.27	18.40

BYLAE 3 (vervolg)

Statistieke van die sekondêre opvanggebiede

Sek. opvang-gebied	Oppvl. km ²	GJA 10 ⁶ m ³	Nstasies	Nstasies per 1000 km ²	WMO-gebied	GJA/ Oppvl. 1000 m ³ /km ²
F1	2749	3	0	0.00	0.27	1.09
F2	3121	3	0	0.00	0.27	0.96
F3	9730	54	0	0.00	0.27	5.55
F4	5391	6	0	0.00	0.27	1.11
F5	4845	34	2	0.41	0.27	7.02
F6	2793	10	0	0.00	0.27	3.58
G1	8892	1036	31	3.49	0.91	116.51
G2	4145	535	9	2.17	0.57	129.07
G3	5165	59	1	0.19	0.27	11.42
G4	3075	447	9	2.93	1.54	145.37
G5	4138	81	2	0.48	0.27	19.57
H1	2063	980	11	5.33	1.54	475.04
H2	864	175	5	5.91	1.54	206.86
H3	1205	27	5	4.15	0.27	22.41
H4	2629	105	14	5.33	1.54	39.94
H5	649	11	4	5.76	1.54	15.85
H6	2261	316	8	3.54	1.54	139.76
H7	2898	144	6	2.07	0.91	49.69
H8	1362	90	2	1.47	0.91	66.08
H9	1700	106	4	2.35	0.91	62.35
J1	13346	108	10	0.75	0.27	8.09
J2	18423	213	8	0.43	0.27	11.56
J3	10964	165	16	1.46	0.27	15.05
J4	2295	53	3	1.31	0.91	23.09
K1	913	66	4	4.38	1.06	72.29
K2	173	39	3	17.34	1.06	225.43
K3	705	160	9	12.77	1.06	226.95
K4	703	149	3	4.27	1.06	211.95
K5	432	133	1	2.31	1.06	307.87
K6	1271	196	1	0.79	1.06	154.21
K7	281	85	1	3.56	1.06	302.49
K8	1210	389	2	1.65	1.06	321.49
K9	1539	155	2	1.30	1.06	100.71
L1	10237	40	0	0.00	0.27	3.91
L2	10337	89	1	0.10	0.27	8.61
L3	1493	11	2	1.34	0.27	7.37
L4	1341	11	0	0.00	0.27	8.20
L5	1024	12	0	0.00	0.27	11.72
L6	1344	12	1	0.74	0.27	8.93
L7	3701	45	2	0.54	0.27	12.16
L8	4053	222	5	1.23	0.27	54.77
L9	1260	62	1	0.79	0.57	49.21

BYLAE 3 (vervolg)

Statistieke van die sekondêre opvanggebiede

Sek. opvang-gebied	Oppvl. km ²	GJA 10 ⁶ m ³	Nstasies	Nstasies per 1000 km ²	WMO-gebied	GJA/ Oppvl. 1000 m ³ /km ²
M1	1374	79	2	1.46	0.57	57.50
M2	616	43	0	0.00	0.57	69.81
M3	546	7	0	0.00	0.57	12.82
N1	7140	87	1	0.14	0.27	12.18
N2	7790	60	4	0.51	0.27	7.70
N3	1933	26	0	0.00	0.27	13.45
N4	4193	27	2	0.48	0.27	6.44
P1	2733	38	2	0.73	0.67	13.90
P2	990	17	0	0.00	1.08	17.17
P3	661	16	1	1.51	1.08	24.21
P4	1185	31	1	0.84	1.08	26.16
Q1	7839	81	4	0.51	0.27	10.33
Q2	1734	25	1	0.58	0.27	14.42
Q3	1930	24	2	1.04	0.27	12.44
Q4	4719	73	4	0.85	0.27	15.47
Q5	1241	20	1	0.81	0.27	16.12
Q6	807	24	1	1.24	0.27	29.74
Q7	948	10	1	1.05	0.27	10.55
Q8	2845	35	3	1.05	0.27	12.30
Q9	8182	237	12	1.47	0.27	28.97
R1	2707	171				63.17
R2	1290	92				71.32
R3	2299	220	2	0.87	1.08	95.69
R4	856	70				81.78
R5	832	48				57.69
S1	2932	115				39.22
S2	1618	82				50.68
S3	6900	195	8	1.16	0.27	28.26
S4	2176	80	0	0.00	0.57	36.76
S5	3440	340				98.84
S6	1299	113	5	3.85	0.57	86.99
S7	2170	139				64.06
T1	5968	897				150.34
T2	2597	452				174.05
T3	19781	2968				150.04
T4	2201	460	1	0.45	1.08	209.00
T5	6675	1472	7	1.05	0.83	220.52
T6	3741	1040				278.00
T7	1882	420				223.17
T8	1050	249				237.14
T9	2630	543				206.46

BYLAE 3 (vervolg)

Statistieke van die sekondêre opvanggebiede

Sek. opvang-gebied	Oppvl. km ²	GJA 10 ⁶ m ³	Nstasies	Nstasies per 1000 km ²	WMO-gebied	GJA/ Oppvl. 1000 m ³ /km ²
U1	4371	1036	2	0.46	0.83	237.02
U2	4425	683	18	4.07	0.83	154.35
U3	1301	271	2	1.54	1.08	208.30
U4	2747	483	2	0.73	1.08	175.83
U5	294	55	0	0.00	1.08	187.07
U6	1517	190	6	3.96	1.08	125.25
U7	1104	140	3	2.72	1.08	126.81
U8	2508	316	3	1.20	1.08	126.00
V1	7600	1795	18	2.37	0.57	236.18
V2	2880	522	7	2.43	0.57	181.25
V3	9792	1290	8	0.82	0.57	131.74
V4	1750	191	0	0.00	1.08	109.14
V5	1349	149	1	0.74	1.08	110.45
V6	3675	309	4	1.09	0.57	84.08
V7	1920	333	5	2.60	0.57	173.44
W1	5639	969	8	1.42	1.08	171.84
W2	10061	885	11	1.09	0.83	87.96
W3	9574	395	6	0.63	0.90	41.26
W4	11785	1253	5	0.42	0.83	106.32
W5	8356	2005	15	1.80	1.00	239.95
W6	3864	287				74.28
W7	2638	100	0	0.00	0.72	37.91
X1	11279	1443	12	1.06	0.86	127.94
X2	10455	1238	30	2.87	0.86	118.41
X3	6252	849	10	1.60	1.19	135.80
X4	3171	34	1	0.32	0.27	10.72