’n Chronologiese oorsig van Suid-Afrikaanse riglyne vir residensiële gemiddelde jaarlikse waterverbruik met erfgrootte as onafhanklike veranderlike

A chronological review of South African guidelines for residential average annual water demand with property size as independent variable

H.E. Jacobs
Senior lektor, Departement Siviele Ingenieurswese,
Universiteit van Stellenbosch
Privaatsak X1, Matieland, 7602
hejacobs@sun.ac.za

Heinz Jacobs

Heinz Jacobs is tans ’n senior lektor aan die Universiteit Stellenbosch. Die fokus van sy werk oor die afgelope dekade sluit onder meer in: modellering van waterverbruik, waternetwerk-ontleding en meesterbeplanning van water- en rioolstelsels. Na voltooiing van grade in meganiese en siviele ingenieurswese aan die destydse RAU (tans Universiteit van Johannesburg), het hy by die raadgewende firma Merz & McLellan (SA) aangesluit. Daarna het hy eers by KweziV3 in Worcester en ook GLS Raadgewers in Stellenbosch gewerk. Voordat hy by die US aangesluit het, was hy vir bykans ’n jaar by die Kanadese firma QDS, in die provinsie “British Columbia”, as spesialis in watermeesterbeplanning werksaam.	**Heinz Jacobs** is a senior lecturer at Stellenbosch University. The focus of his work over the past decade was water demand modelling, water network analysis and master planning of water and sewer networks. After graduating as both mechanical and civil engineer from RAU (now University of Johannesburg) he joined Consultants Merz & McLellan (SA). He was subsequently employed by KV3 in Worcester and then GLS Engineers in Stellenbosch. Before joining the University he spent almost a year with Canadian consulting firm QDS in British Columbia as a specialist in water master planning.

ABSTRACT

A chronological review of South African guidelines for residential average annual water demand with property size as independent variable

Guidelines for residential average annual water demand (AADD) based on property size were introduced to the South African Civil Engineering fraternity in about 1960, with the most recent publication of such guidelines in 2008. The AADD forms the basis of calculations performed during the design and analysis of water systems. Over the years technology has improved, scientific progress was made and demand has changed, resulting in improved and updated guidelines for AADD. Changes in the guidelines over the years could be considered to be a result of improvement

– larger and more accurate data sets are nowadays analysed statistically by improved computer technology. Also, the changes are considered to be the result of scientific advances in the fields of metering, modelling and analysis of water demand. Finally, actual changes in demand occur with time. This research provides the first documented review of the chronological development of AADD guidelines in South Africa. It is noted that only two guidelines were used for relatively long periods of time. In both cases the guidelines would not compare favourably to others from a pure research perspective, but their successful application is the result of a co-ordinated educational and marketing effort. The value of a sustained guideline structure (AADD versus stand size in this case) is also underlined.

UITTREKSEL

Riglyne vir die beraming van residensiële gemiddelde jaarlikse waterverbruik (GJV) met erfgrootte as onafhanklike veranderlike is sedert 1960 in Suid-Afrika deur siviele ingenieurs gebruik. Die mees onlangse publikasie het in 2008 die lig gesien. Die GJV vorm die basis van verskeie berekenings wat uitgevoer word tydens die ontwerp en ontleding van watertoevoerstelsels. Oor die jare het tegnologie verbeter, wetenskaplike vooruitgang is gemaak en waterverbruik het verander, met die gevolg dat riglyne vir GJV dienooreenkomstig verbeter en aangepas is. Eerstens is sodanige verandering te danke aan verbetering – groter datastelle kan aan die hand van moderne rekenaartegnologie geredelik statisties ontleed word. Tweedens kan die aanpassings toegeskryf word aan wetenskaplike vooruitgang aangaande die meting, modellering en ontleding van waterverbruik. Boonop verander waterverbruik met tyd. Hierdie navorsingstuk voorsien die eerste gedokumenteerde oorsig van die chronologiese ontwikkeling van GJV riglyne in Suid-Afrika. Daar word opgemerk dat slegs twee riglyne vir relatief lang periodes toegepas was. In beide gevalle het ’n gekoördineerde opvoedings- en bemarkingsaksie die latere toepassing van die riglyn bevorder – werk wat andersins sou afsteek by ander publikasies uit ’n suiwer navorsingsoogpunt. Die waarde van ’n riglynstruktuur (GJV teenoor erfarea in hierdie geval) wat onveranderd bly kom ook na vore.

INLEIDING

Wat is die residensiële GJV?

Ontleding van waterverbruiksdata ontbloot sekere onderliggende verbruikspatrone, byvoorbeeld seisoenaal, daagliks en uurliks. Verbruikspatrone is oor die jare in internasionale studies, [1,2] sowel as plaaslik ontleed. [3,4,5] Ten spyte van hierdie verbruikspatrone word waterverbruik gereeld as ’n genormaliseerde gemiddelde jaarlikse waarde, bekend as die gemiddelde jaarlikse verbruik (GJV), uitgedruk en gerapporteer. Die meer bekende Engelse akroniem vir die GJV, oftewel “average annual daily demand (AADD)” word soms verkeerdelik in Afrikaanse dokumente gebruik. Die residensiële GJV word bekom wanneer die GJV beperk word tot een sektor, naamlik residensiële verbruikers.

Die GJV word uitgedruk as ’n volume water wat per dag gebruik word en het derhalwe die eenheid kl/d. Om hierdie rede word soms daarna verwys as “gemiddelde daaglikse verbruik”. In Suid-Afrika is gebruik van die GJV sedert ongeveer 1960 die norm vir ontleding van waterverbruik, soos ook uit hierdie navorsingstuk na vore kom.

Die maksimum vloei, oftewel spitsvloei, is noodwendig meer krities uit ’n ontwerpsoogpunt as die GJV. Tydens ontwerp word verskeie spitsfaktore – naamlik die delers in die normaliseringsproses – met die GJV vermenigvuldig om die spitsverbruik te bekom. Dit impliseer dat die GJV die basis vorm van die oorgrote meerderheid ontwerpe en ontledings van waterstelsels in Suid-Afrika. Akkurate beraming van die GJV in die vroeë stadiums van die ontwerpsproses is dus kritiek.

Riglyne vir die beraming van die GJV word algemeen deur siviele ingenieurs gebruik. Sodanige riglyne word toegepas tydens die ontwerp van dienste vir nuwe woongebiede asook met die ontleding van bestaande infrastruktuur. Sodanige riglyne word van tyd tot tyd aangepas om tred te hou met verandering.

Die fokus van vorige publikasies in dié verband is op die metodiek en resultate van die betrokke navorsing in elke geval. Hierdie manuskrip is die eerste gedokumenteerde chronologiese oorsig van voorheen gepubliseerde werk in Suid-Afrika. Dit word opgevolg deur ’n beskrywing van die veranderinge wat oor ’n bepaalde tydperk plaasvind. Hierdie in diepte ondersoek na die progressie met tyd bring nuwe, interessante bevindings na vore.

Eerstens stel hierdie artikel hom ten doel om volledig die beskikbare, gepubliseerde riglyne vir residensiële GJV met erfgrootte as veranderlike te dokumenteer. Tweedens fokus die daaropvolgende bespreking op spesifieke veranderinge in die riglyne met verloop van tyd. Gevolgtrekkings uit hierdie navorsing onderstreep die waarde van voorheen gepubliseerde werk en lewer ’n bydrae om toekomstige navorsing in hierdie beperkte veld, sowel as ander wetenskappe, te rig.

RELEVANSIE VAN RESIDENSIËLE VERBRUIK

In ag genome die behuisingsagterstand in Suid-Afrika en die hoë prioriteit wat tans deur die regering op voorsiening van gedienste huise geplaas word,[6] is die akkurate beraming van waterverbruik op ’n vroeë stadium van die ontwerpsproses van kardinale belang. Residensiële waterverbruik in beboude gebiede omvat tipies die oorwegende fraksie van waterverbruik in vergelyking met ander verbruikersektore. In die geval van Kaapstad dra hierdie een sektor byvoorbeeld by tot meer as 50% van die totale verbruik.[7] Die akkurate beraming van residensiële waterverbruik in Suid-Afrika is een van die sleutels tot effektiewe, ekonomiese voorsiening van waterinfrastruktuur.

Navorsing van vorige riglyne is veral van pas by die residensiële sektor waar riglyne oor ’n relatief lang tyd – tot en met die hede – toegepas, nagevors en gepubliseer is. Boonop is residensiële verbruik tans spesifiek relevant, omdat residensiële verbruikers gereeld die voorste linie vorm wanneer dit kom by waterbesparingsmaatreëls. Sodanige maatreëls impakteer noodwendig op waterverbruik, wat gevolglik ’n direkte impak sal hê op toekomstige GJV-riglyne.

METODOLOGIESE EN TEORETIESE OORSIG

Navorsingsmetodiek

Die volgende punte beskryf die metodiek van hierdie navorsingstuk:

- voorsien ’n oorsig en teoretiese agtergrond van riglyne vir residensiële GJV, met ’n fokus op daardie riglyne met erfgrootte as onafhanklike veranderlike
- voorsien ’n chronologiese beskrywing van GJV riglyne wat in Suid-Afrika gebruik is
- identifiseer, beskryf en bespreek spesifieke veranderinge in die riglyne wat met die verloop van tyd voorgekom het.

Riglyne vir gemiddelde jaarlikse waterverbruik

Klassifikasie van waterverbruiksontledingsmetodes

Daar word op verskillende maniere onderskei tussen ontledingsmetodes tydens die analise van waterverbruik. Een benadering beskou byvoorbeeld dwarsprofiele en tydreekse.[8] Dwarsprofiel-ontledings word op ’n datastel van baie waterverbruiksrekords wat oor ’n relatief kort tydstip geneem is, gegrond. Die data in die monster wat vir ontleding geneem is, is (hopelik) ’n verteenwoordigende

snit deur die populasie waaruit die data geneem is. Dwarsprofielontledings word normaalweg uitgevoer met die opstel van riglyne vir GJV, waaroor hierdie navorsingstuk handel.

Tydreeksontledings behels ’n regressiepassing aan data van ’n sekere verbruiker (of beperkte groep verbruikers) oor ’n relatief lang periode. Regressiemodelle met meervoudige veranderlikes is minder algemeen in Suid-Afrika, alhoewel die toepassing daarvan per geleentheid ook reeds in die verlede in Suid-Afrika ondersoek is. Die metodiek en toepasbaarheid van tydreeksontledings is byvoorbeeld tydens ’n navorsingsprojek in 1995 vir Bloemfontein en Pretoria ondersoek. [9,10,11] Tydreeksontledings is veral van pas waar vooruitskattings van verbruik gemaak wil word en val buite die bestek van hierdie studie.

Per capita riglyne

Verskeie riglyne vir die raming van residensiële waterverbruik is oor die jare in Suid-Afrika gebruik. Die eenvoudigste is sogenaamde per capita riglyne, wat een onafhanklike veranderlike bevat, naamlik die getal mense. Per capita waterverbruik is teen die 1950’s deur die Departement van Besproeiing as ontwerpsriglyn voorgehou.[12] Per capita verbruikswaardes is lank reeds in publikasies aangaande waterverbruik gerapporteer [13,14] en is ook byvoorbeeld in wetlike dokumente aangewend vir die raming van waterverbruik.[15] Ten spyte van die eenvoud (of dalk te danke daaraan) word hierdie tipe riglyn steeds van tyd tot tyd gebruik, veral om verbruikers se vlak van waterverbruik volgens ’n breë dog eenvoudige metode met ander verbruikers te vergelyk.[16] Waterverbruik van ’n residensiële erf volgens hierdie model word as volg beskryf:

$$Q = n \cdot q$$

waar

Q = waterverbruik van die erf (l/erf·dag)

n = die getal inwoners op die erf (persone/erf)

q = per capita verbruik (l/c·dag)

Per capita riglyne word ook aangewend om die totale waterverbruik vir ’n hele woonbuurt of dorp te beraam deur bloot die eenheidsverbruik q met die totale populasie wat bedien word te vermenigvuldig. Dié eenvoudige riglyn bied slegs beperkte inligting aan die gebruiker. Dit is byvoorbeeld lank reeds bekend dat groter erwe meer water gebruik as kleiner erwe, gegewe dieselfde hoeveelheid inwoners per erf. In die verband is per capita riglyne al uitgebrei om ook voorsiening te maak vir toenemende vlakke van lewenstandaard.[17] Tog skiet die tipe riglyn tekort by meer gevorderde modelle.

Riglyne met erfgrootte as onafhanklike veranderlike

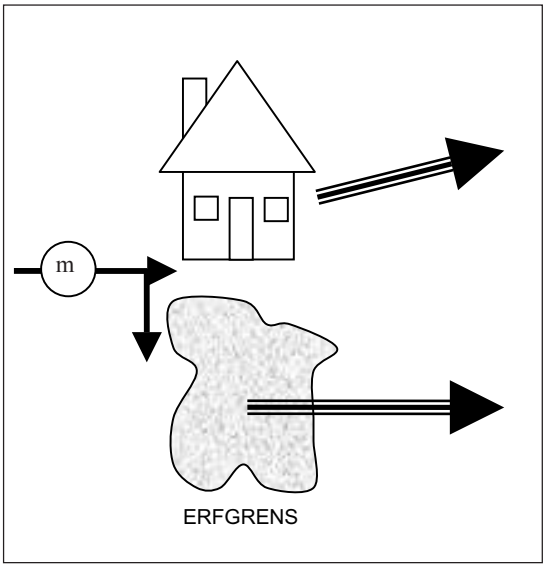
Hierdie studie fokus op plaaslike riglyne vir GJV met erfgrootte as onafhanklike veranderlike. Riglyne met erfgrootte as onafhanklike veranderlike is vir die doel van hierdie studie die mees geskikte tipe riglyn geag, omdat dit oor die tydsduurte van bykans 50 jaar, tot en met die hede, gereeld toegepas, nagevors en verbeter is. Terselfdertyd voorsien die tipe riglyne interessante inligting aangaande tendense van waterverbruik vir verskillende groottes erwe. Die relatiewe hoë frekwensie van plaaslike publikasies in dié verband, in vergelyking met ander tipes verbruiksramings, maak hierdie tipe riglyn veral geskik vir navorsing.

Riglyne met meer as een veranderlike

Relatief komplekse, aangemete riglyne is ook al in Suid-Afrika opgestel tydens gedetaileerde ondersoeke. Een so ’n riglyn is byvoorbeeld vir Rand Water opgestel en neem die koste van water, eiendomswaardasie, waterdruk en erfgrootte in ag.[18] Die kennis wat uit meer komplekse riglyne spruit is nuttig met die beskrywing van die veranderinge wat in waterverbruiksriglyne met tyd opgemerk word. Slegs riglyne waar erfgrootte as veranderlike ingesluit word, word in hierdie ondersoek aangespreek.

Eindverbruikmodelle

Waterverbruik word op grond van hedendaagse kennis en met behulp van moderne inligtingstegnologie op ’n fyner resolusie beskryf. Hierdie proses staan bekend as eindverbruikmodellering en behels ’n model wat die erf en huis in fyn detail beskryf deurdat eindverbruike afsonderlik wiskundig beskryf word.[19,20] ’n Skematiese beskrywing van die analiseproses vir ’n residensiële erf word in Figuur 1 getoon.



BINNEHUISE EINDVERBRUIKE
TOILET
BAD
STORT
WASMASJIEN (KLERE)
SKOTTELGOEDWASMASJIEN
KOMBUISWASBAK
BADKAMERWASBAK
ANDER

BUITEMUURSE EINDVERBRUIKE
GRAS
BEDDINGS
SWEMBAD
ANDER

Figuur 1: *Skematiese voorstelling van ’n residensiële erf met eindverbruike van water en die verbruiker se watermeter (M)*

Eindverbruikmodelle kan aangewend word om die veranderinge in bykans enige parameterwaarde – insluitend erfgrootte – op waterverbruik te ondersoek. Die modellering van eindverbruike op ’n erf in stede van die verbruik op ’n residensiële erf as geheel is om verskeie redes voordelig, insluitend die feit dat waterbesparingsmaatreëls daarmee ontleed kan word. Enkele publikasies aangaande die toepassing van eindverbruikmodellering in Suid-Afrika het oor die afgelope paar jaar die lig gesien.[21,22]

Die wiskundige struktuur van ’n eindverbruikmodel wat plaaslik ontwikkel is, kan byvoorbeeld deur vyf vergelykings opgesom word.[20] Elke vergelyking beskryf een komponent van waterverbruik in en om die huis, naamlik binnenshuise verbruik, buitemuurse verbruik, warmwaterverbruik, en rioolvloei asook kwaliteit van die terugvloeistroom. Slegs twee van die vergelykings is direk relevant

wanneer GJV ontleed word, naamlik vergelyking (1) vir binnenshuise verbruik en vergelyking (2) vir buite-verbruik: [20]

$$AMDD_{i,m,e} = (a_e \cdot b_e \cdot c_e \cdot n) \tag{1}$$

$$AMDD_{o,m,e} = (f_{m,e} \cdot s_e) \cdot \frac{(k_{m,e} \cdot p_m) - r_m}{30.44} \tag{2}$$

Die notasie wat deur Jacobs en Haarhoff [20] voorsien is, word sonder verandering in hierdie teks aangeneem. Die GJV word uit vergelykings (1) en (2) bereken deur die gemiddelde van die 12 maandelikse resultate (AMDD) oor twaalf maande te neem, waar die voetskrif m die maand beskryf.

Uit bovermelde wiskundige beskrywing is dit duidelik dat erfgrootte *per se* nie in die model as onafhanklike veranderlike opgeneem word nie. Die areas van verskillende tipes plantegroei (byvoorbeeld die grasperk) word in plek van totale erfarea in die model aangewend om die waterbehoefte van hierdie eindverbruik (byvoorbeeld die grasperk) te beskryf. Die area van die betrokke gewas word deur parameter s in vergelyking (2) voorgestel. Die waarde van s sou byvoorbeeld opwaarts aangepas kon word om ’n groter area (byvoorbeeld groter grasperk) te modelleer. Sodanige aanpassing sal tot ’n verhoogde buitenshuise verbruik en derhalwe ook tot ’n groter totale GJV vir die gemodelleerde erf lei.

Tot hede is eindverbruikmodelle nog nie toegepas om ’n rasioneel-gegronde algemene Suid-Afrikaanse riglyn vir GJV op te stel nie. Alle GJV riglyne tot die hede is empiries bepaal. Werk aangaande die toepassing van eindverbruikmodelle om erfgrootte as onafhanklike veranderlike met GJV te vergelyk, is egter reeds in Suid-Afrika gepubliseer.[23]

CHRONOLOGIESE BESKRYWING VAN GJV RIGLYNE

Baanbrekerswerk en vroeë riglyne vir GJV

’n Publikasie in 1960 is die eerste wat tydens hierdie navorsing opgespoor kon word waar waterverbruik op grond van residensiële erfgrootte in Suidelike-Afrika onderskei word.[13] Op grond van daardie outeur se eie beskrywing was die gepubliseerde waardes bloot ter illustrasie aangebied en boonop spesifiek relevant tot die betrokke geografiese streek, naamlik Bulawayo, in die destydse Suid-Rhodesië. Die werk is nie as ’n riglyn voorgehou nie en per capita verbruik is gerapporteer (in stede van die waterverbruik per erf, wat die fokus van hierdie ondersoek vorm). Soos in Tabel 1 getoon, word agt verskillende tipes ontwikkelingskategorieë van residensiële areas gelys. In vier gevalle is erfgrootte as beskrywende maatstaf bygevoeg. Vir die doel van hierdie ondersoek is die GJV per erf vir hierdie vier gevalle beraam en in die laaste kolom van Tabel 1 bygevoeg deur ’n huishoudingsgrootte van drie persone te aanvaar.

In dieselfde jare is ’n Suid-Afrikaanse riglyn vir GJV met erfgrootte as onafhanklike veranderlike deur die Departement van Waterwese (DW) opgestel. Die riglyn is onder meer in die laat 1950’s, kort na die ontstaan van die DW, aangewend om subsidie-aansoeke vir waterinfrastruktuur deur Munisipaliteite op ’n gelyke grondslag te evalueer.[24] Geen gepubliseerde bewys hiervan kon egter tydens die literatuuroorsig opgespoor word nie. Voorgraadse studiemateriaal van die Universiteit van Stellenbosch (US) het egter teen 1965 as volg daarna verwys: “*Die Departement van Waterwese het die volgende verbruikskode vir ontwerpdoeleindes opgestel*”.[25]

TABEL 1: Die eerste gerapporteerde residensiële waterverbruik met erfgroote in Suid-Afrika[13]

Soos aangebied in 1960			SI-eenhede		
Beskrywing / groep	**Erfgrootte**	**GJV per kop (gpd)**	**A (m^2)**	**Verbruik (l/c·d)**	**GJV [A] (l/erf·d)**
Europese middelinkomste	$^1/_4$ - $^1/_3$ Akker	88	1 012 - 1 349	400	1 200
Europese middelinkomste	$^1/_3$ - $^1/_2$ Akker	119	1 349 - 2 023	541	1 623
Hoë inkomste	¾ Akker	222	3 035	1 009	3 027
Hoogste inkomste	1 Akker	235	4 047	1,068	3 204
Kleurling woonbuurtes	-	50	-	227	-
Bantu, gemeenskaplike toilette	-	19	-	86	-
Bantubuurtes met staankrane	-	14	-	64	-
Bantu enkelkwartiere	-	8	-	36	-

Notas:

A) Beraam om as vergelyking met ander studies te dien deur ’n huishoudingsgrootte van drie mense te aanvaar.

TABEL 2: Riglyne vir GJV (l/erf·d) met erfgrootte as veranderlike vir die tydperk van 1965 tot 1982

	DW		TPA (1976) [B]			Main Industries (1982)		
A (m^2)	1965 [A]	1975	Minimum	Gemiddeld	Maksimum	Minimum	Gemiddeld	Maksimum
200	700	500	600	750	1000	-	-	-
500	-	-	600	750	1000	600		
1000	900	1500	1200	1500	2000	1200	1500	2000
2000	1350	2500	2500	3000	3500	2500	3000	3500
4000	1600	4000	4000	5000	6000	4000	5000	6000

Notas:

A) Die DW riglyn vir GJV per perseel (gallon per dag), soos aangebied in die 1960’s (een woonstel ekwivalent aan 200 m^2 erf geag):

"	Beskrywing	Gemiddelde daaglikse verbruik	
	1 Woonstel	150 gpd	
	1/4 Akker perseel	200 gpd	
	1/2 Akker perseel	300 gpd	
	1 Akker perseel	400 gpd	"

B) Direk proporsionele verband: GJV word pro-rata bereken volgens erfgrootte met ’n minimumwaarde ekwivalent aan ’n 500 m^2 erf.

Die riglyn word in Tabel 2 weergegee, tesame met ander riglyne wat voortaan bespreek sal word, en toon ’n positiewe verband tussen erfgrootte en GJV. Dit is die eerste gerapporteerde dokumentasie in dié verband wat tydens die literatuuroorsig opgespoor kon word. Die riglyn van die DW was heelwat minder konserwatief as die waardes wat in 1960 gepubliseer is.[13]

In die 1960's was die DW-riglyn in plaaslike ingenieurskringe algemeen bekend. Die GJV riglyn van die DW is byvoorbeeld in 1965 in 'n watersuiweringswerke ontwerpsriglyn van die Wetenskaplike en Nywerheidnavorsingsraad (WNNR) opgeneem, wat ook die destydse toepassing daarvan elders in die land voor 1965 bevestig. [26,27] Laasgenoemde outeur maak ook die eerste bewering in plaaslike literatuur dat ontleding van individuele verbruikersmetersrekords, bygehou deur die stadstesourie, 'n meer akkurate resultaat behoort te lewer vir die raming van GJV as bloot die ontleding van grootmaatsyfers. Die eerste publikasie van die aard sou eers in 1974 volg (die ontleding van individuele verbruikersmetersrekords vorm vandag die grondslag van alle publikasies aangaande waterverbruiksontledings in Suid-Afrika).

Die riglyn van die destydse DW is steeds teen 1975 in voorgraadse studiemateriaal van die Universiteit van Stellenbosch (US) voorgehou.[28] Alhoewel die riglyn self nie tussen 1965 en 1975 verander het nie, was dit teen 1975 reeds na SI-eenhede omgeskakel. Die DW riglyn vir GJV is in Junie 1975 hersien [29] deurdat die geraamde GJV vir alle erfgroottes verhoog is. Die GJV vir erwe met erfgrootte 1000 m^2 het met ongeveer 60 % verhoog in vergelyking met die vorige riglynwaarde, terwyl dit vir 4000 m^2 groot erwe met 150% verhoog het.

Die Munisipaliteit van Port Elizabeth het in 1970 'n riglyn vir residensiële waterverbruik voorgehou met erfgrootte as veranderlike,[30] wat meer konserwatief was as die van die DW. Onderskeid is, soos die geval was met Lock,[13] getref tussen rassegroepe – verteenwoordigend van die vlak van dienslewering in daardie dae. Geen bewys kon in die literatuur of tydens persoonlike navrae gevind word dat die PE-riglyn ooit elders in die land gebruik is nie. Die riglyn was veel meer konserwatief as die een van die DW wat in daardie tyd in gebruik was.

In 1974 het die eerste gepubliseerde werk in Suid-Afrika die lig gesien waar waterverbruik, gemeet deur individuele verbruikersmeters, in detail ontleed is.[3] Hierdie baanbrekerswerk is in 1974 as addisionele studiemateriaal tot voorgraadse klasnotas aan siviele ingenieursstudente aan die Universiteit van Pretoria (UP) voorgehou.[31] In die ondersoek word waterverbruik vir die eerste keer in Suid-Afrika met eiendomswaardasie gekorreleer en 'n direkte verband tussen die GJV en eiendomswaarde word bevestig. Alhoewel erfgrootte nie as onafhanklike veranderlike in die werk ingesluit word nie, lig 'n stelling in die manuskrip wel die effek van erfgrootte as volg uit:

> Deur gebruik te maak van die stadstesourier van Pretoria se gegewens is waterverbruik geplot teen die grondwaardasie en die waardasie van verbeterings op die erf ... Hieruit blyk dit dat waterverbruik in 'n toenemende mate verhoog met beide grondwaardasie en verbeterings. Daar moet egter in gedagte gehou word dat die hoër grondwaardasie en verbeterings gewoonlik gepaard gaan met groter erwe.[3]

Aangevuur deur die baanbrekerswerk in 1974 het verskeie navorsingswerkstukke en publikasies, wat onder andere GJV riglyne ingesluit het, in die laat 1970's verskyn:

- 1976: 'n riglyn vir GJV is deur die destydse Transvaalse Provinsiale Administrasie (TPA) voorgehou.[32] Sommige literatuurverwysings vertoon die datum van laasgenoemde dokument as 1974, alhoewel so 'n weergawe van die dokument nie in die literatuuroorsig opgespoor kon word nie.
- 1977: 'n riglyndokument wat deur die Departement van Siviele Ingenieurswese te UP gepubliseer is.[33] Die outeurs verwys hierin na die TPA-dokument [32] en neem die GJV riglyn van laasgenoemde dokument bykans net so in hul werk aan. Die dokument is vir 'n geruime tyd by die destydse Stadsraad van Pretoria as riglyn vir GJV gebruik en het ook vir enkele jare deel gevorm van nagraadse studiemateriaal by die UP.[34]
- 1979: 'n Meestersgraadtesis wat onder die mentorskap van Van Duuren voltooi is.[35] Deel van daardie navorsingswerk is ook in Mei 1978 elders gepubliseer, te wyte aan getuienis deur die

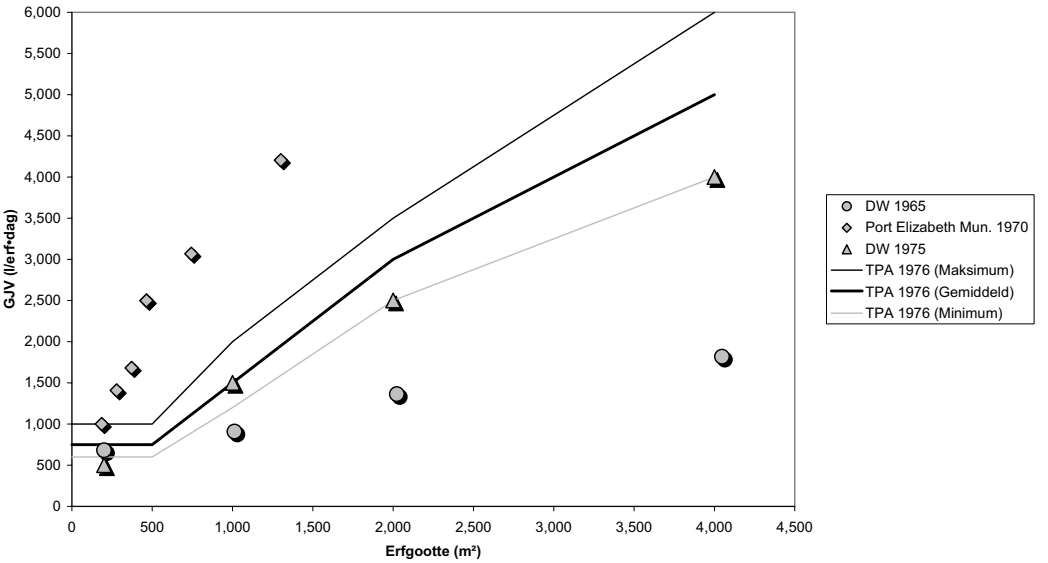
destydse outeurs en ook ’n verwysing daarna in ander gepubliseerde werk.[26,36] Die betrokke publikasie [37] kon egter nie tydens die literatuuroorsig opgespoor word nie.

Bovermelde navorsing en verwante publikasies is kort daarna in ’n praktiese riglyn omskep. Ontwerpstabelle vir allerlei waterverwante ontwerpsaangeleenthede is in 1982 as deel van ’n pypkatalogus van ’n plastiekpypvervaardiger (Main Industries) gepubliseer.[38] Die katalogus was in die ingenieursindustrie gesog vanweë die waardevolle ontwerpstabelle daarin vervat, insluitend ’n riglyn vir GJV. Die tabulêre Main Industries GJV riglyn gebruik erfgrootte as onafhanklike veranderlike, soos getoon in Tabel 2. Die riglyn is deur akademici saamgestel wat ook op daardie stadium by bovermelde werk te UP betrokke was [39,34] en steun hoofsaaklik op inligting uit die laat 1970’s wat reeds hier bo aangehaal is.[35,32,33]

Die betrokke Main Industries katalogus, insluitend die GJV riglyn daarin vervat, is terselfdertyd deur die outeurs in Afrikaans vertaal. Teen ongeveer 1990 is die pypkatalogus in sy geheel met ’n nuwer een vervang [40] en die GJV riglyn daarin vervat het daarna in onbruik begin verval. Dié 26-jaar oue publikasie van Main Industries [38] bevat dan ook die laaste GJV riglyn wat in Afrikaans voorgehou is. Die riglyne vir die periode 1965 tot 1980 word in Figuur 2 grafies gesuperponeer.

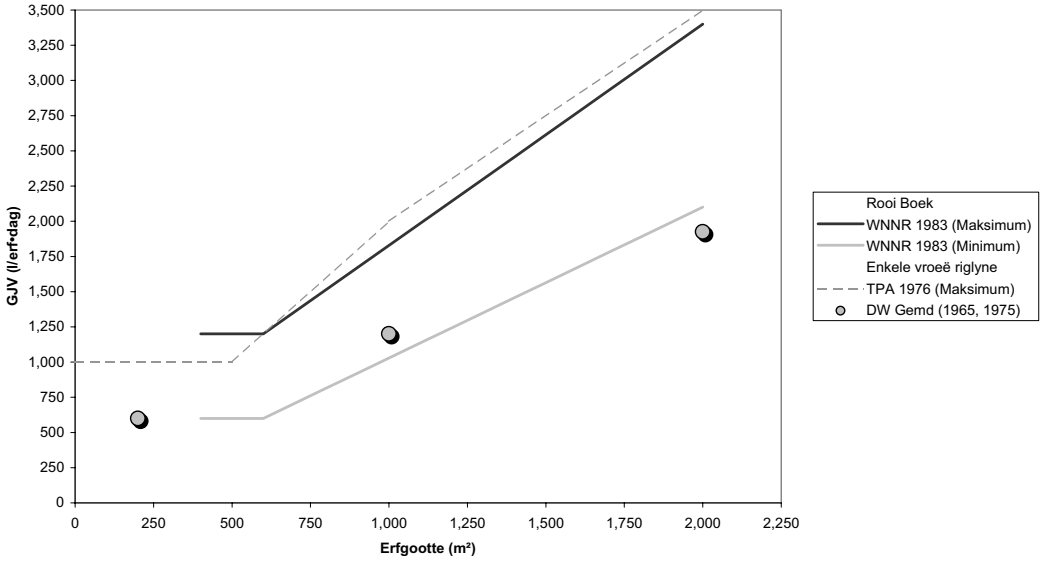
Die Blou boek en Rooi boek

’n Effektiewe grafiese aanbieding van ’n erfgrootte-gebaseerde riglyn vir GJV is teen 1983 in die sogenaamde Blou boek, wat handel met die ontwerp van ingenieursdienste, gepubliseer.[41] Die GJV riglyn daarin vervat het later as die “Rooi boek riglyn” bekend geword en was geskik vir praktiese toepassing, met lae en hoë limietkurwes. Dit word in Figuur 3 getoon, waar enkele vorige riglyne ook daarop gesuperponeer is, met die doel om dit met ouer riglyne te vergelyk. Die laer limiet blyk ongeveer dieselfde te wees as die gemiddeld van die twee DW-riglynwaardes. Die boonste limietkurwe strook grootliks met die boonste limiet van die TPA riglyn,[32] met die uitsondering dat die 1983



Figuur 2: *Vroeë GJV riglyne met erfgrootte as veranderlike (1965 tot 1980)*

riglynkurwe vir erwe kleiner as 600 m² horisontaal is (in stede van 500 m² soos vroeër). Die voorspelde GJV vir die horisontale gedeelte van die kurwe by klein erwe is 20% hoër met die 1983 riglyn in vergelyking met die vroeëre een, indien die mees konserwatiewe riglyne vergelyk word.



Figuur 3: *Die Rooi boek GJV riglyn met erfgrootte as veranderlike, asook twee vroeër riglyne*

Vir die eerste keer sedert 1965 het die WNNR weer ’n dokument gepubliseer wat (onder meer) ’n GJV riglyn ingesluit het. Die Blou boek as geheel is in die Suid-Afrikaanse siviele ingenieursindustrie bemark en die GJV riglyn daarin het sedertdien die grondslag gevorm van GJV-raming in Suid-Afrika. As voorwoord het die destydse Minister van Gemeenskapsontwikkeling, Mnr Kotze, die praktiese toepassing van riglyne in die Blou boek as volg aangemoedig: [41]

> I am convinced that the information and guidelines contained in this valuable document are the most comprehensive on the subjects covered by the respective chapters. I therefore wish to appeal to provincial administrations, local authorities, township developers and all disciplines concerned with township establishment, to adhere as far as possible to these directives.

In ’n onafhanklike publikasie het die opstellers van die Blou boek kort na die datum van publikasie gerapporteer dat daardie gedeeltes wat met watervoorsiening handel hoofsaaklik gemik was op rasionalisering van basiese ontwerps- en konstruksiekriteria.[42] In ’n referaat wat handel oor die omvang van navorsing deur die WNNR se Nasionale Bounavorsingsintituut in daardie dae, word onder meer oor water verslag gedoen.[43] Daarin is bevestig dat waterverbruik van slegs enkele personeelwonings vir ’n periode van een jaar gemoniteer is. Onderskeid is in die datastel getref tussen binnenshuise-, buitenshuise-, en warmwaterverbruik. Die kommentaar word in die referaat gemaak dat die datastel op daardie stadium nog te klein was om waterverbruik vir verskillende erfgroottes te ondersoek en dat die datastel mettertyd vergroot sou moes word. Hieruit ontstaan die verwagting by die leser dat die GJV riglyn van die 1983 publikasie in die jare wat sou volg, opgedateer sou word deur dit op navorsingsuitsette te grond.

Die verloop en oorsprong van die dokumente in die WNNR publikasiereeks is in die verlede reeds in detail bespreek.[44] Daardie outeur lig uit dat die riglyne in die dokumentreeks oorspronklik gegrond is op navorsingswerk wat reeds deur die WNNR uitgevoer was, met insette deur ander navorsers en ook praktisyns – beide nasionaal en internasionaal (hierdie stelling verwys na die Blou boek riglyne oor die algemeen en nie noodwendig na die GJV riglyn wat in die dokumentreeks vervat is nie).

Die 1983 publikasie is wel in 1988,[45] 1994,[46] 1995,[47] 2000,[48] en weer in 2003 hersien.[49] Die oorspronklike riglyn vir residensiële GJV wat in die eerste publikasie [41] (in 1983) voorgehou is, is onveranderd in die latere uitgawes, tot en met die hede, behou. Die enigste uitsondering is dat geen GJV riglyn in die 1988 weergawe ingesluit was nie. Die boek het mettertyd as die Rooi boek bekend geword, danksy die kleur van die omslag waarin dit sedert 1994 tot op hede gepubliseer is.[50] Voortaan word in hierdie teks daarna verwys as die Rooi boek.

Die GJV riglyn van die Rooi boek reeks het sy ontwyfelbare merk op die siviele ingenieursindustrie in Suid-Afrika gelaat. Die Rooi boek word tot die hede deur ingenieurs in die praktyk gebruik en word steeds deur die WNNR bemark.

Die laaste jare van die twintigste eeu

Kort na die eerste publikasie van die 1983 GJV riglyn is reeds in die industrie aanvaar dat dit te konserwatief was. ’n Publikasie aangaande waterverbruik in 1989 bevestig beide dat dié vermoede bestaan het en ook dat die GJV riglyn konserwatief was in vergelyking met resultate uit daardie ondersoek.[5]

Residensiële GJV met erfgrootte as onafhanklike veranderlike is om verskeie redes kort voor die draai van die eeu in meer detail nagevors. Teen hierdie tyd het maandelikse waterverbruiksmeting van individuele eiendomme algemeen geword en rekenaars met voldoende verwerkingskapasiteit was geredelik beskikbaar. Dit het die weg gebaan vir detail ondersoeke in dié verband. Die beskikbaarheid van ruimtelike inligting van die Landmeter Generaal (LG) op geografiese inligtingstelsels (GIS) het boonop ontleding van erfgroottes op groot skaal vergemaklik.

Resultate aangaande waterverbruik per area is na aanleiding van waterverbruiksontleding in die destydse Oos-Rand (tans Ekurhuleni Metropolitaanse Munisipaliteit) in 1995 gepubliseer.[51] Die werk het egter nie op residensiële verbruik gefokus nie en dit is nie as residensiële GJV riglyn voorgehou nie. Daar is bevind dat die waterverbruik van lae digtheid residensiële gebiede tussen 8.0 en 11.0 kℓ/ha·d wissel, terwyl dit vir medium digtheidsgebiede tussen 11.0 en 15.0 kℓ/ha·d wissel. Hierdie gerapporteerde areas het grondgebruike bo en behalwe erwe ingesluit (byvoorbeeld paaie, sypaadjies en parke) en kan nie direk met die ander GJV riglyne vergelyk word nie.[52]

Waterverbruikspatrone elders in Gauteng is terselfdertyd tydens ’n navorsingsprojek ontleed, met publikasie van die resultate ’n jaar later.[36] Tien datapunte, verteenwoordigend van 10 onafhanklike waterverbruiksgebiede, is daarin direk met die 1983 riglyn vir GJV vergelyk. Die publikasie is op sigself nie as ’n riglyn vir GJV voorgehou nie en het van grootmaatsyfers gebruik gemaak eerder as individuele meterlesings. Daar is bevind dat van die datapunte nie deur die 1983 riglyn vir GJV se limietkurwes bevredig is nie en dat die Rooi boek riglyn vir GJV moontlik teen die draai van die eeu onvoldoende geraak het.

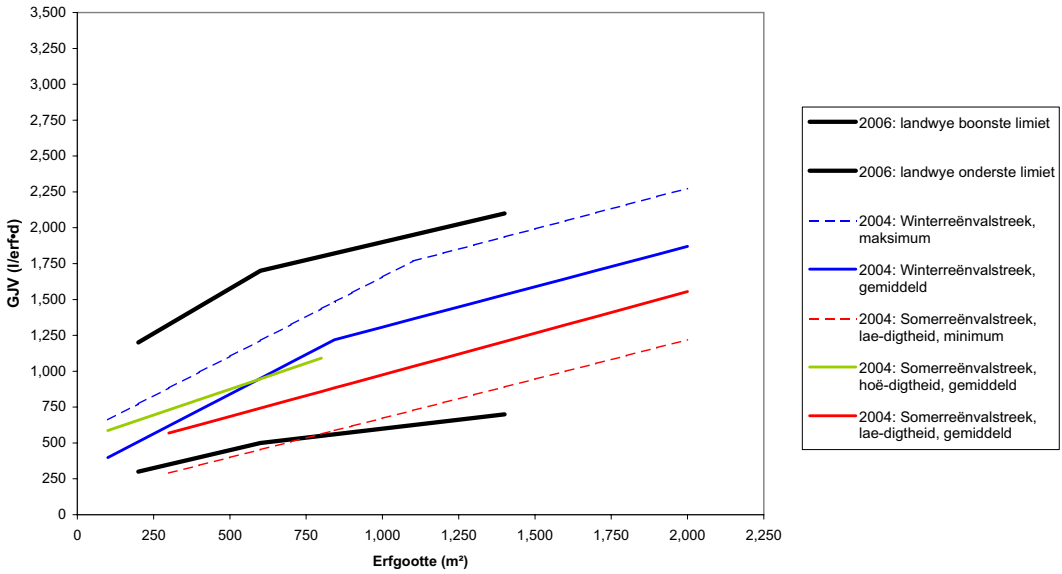
Weer slegs ’n jaar later, in 1997, is ’n projek van die Waternavorsingskommissie (WNK) aangaande die her-evaluering van waterverbruikspatrone in Pretoria afgehandel.[53] Die skaal van die werk ten opsigte van GJV word as substansieel geag, alhoewel die werk tot een geografiese streek beperk was. Die resultate vir GJV is vir die eerste keer tydens hierdie ondersoek in verskillende inkomstekategorieë verdeel en elk is direk met die GJV riglyn van die Rooi boek vergelyk. Die Rooi boek riglyne vir GJV was relatief konserwatief in vergelyking met resultate uit hierdie gedetailleerde navorsingsondersoek.

Dié publikasie [53] is die laaste werk aangaande waterverbruiksriglyne in ’n erkende joernaal in Afrikaans. Met die uitsondering van hierdie manuskrip was alle verwante publikasies sedertdien in Engels.

Nuwe momentum in die nuwe millennium

In ooreenstemming met navorsingswerk in 1997 is daar teen die draai van die eeu algemeen aanvaar dat die 1983 riglyn vir GJV konserwatief was, veral vir groter erwe. Selfs spesialis Raadgewende Ingenieurskonsultante GLS het teen daardie tyd reeds verskeie onafhanklike in-huis riglyne vir ontwerpsdoeleindes opgestel, byvoorbeeld tydens watermeesterplanstudies vir Alberton, Edenvale, George, en Vereeniging tussen 1990 en 1992 en ook vir Pretoria in 1997.[52] Teen hierdie agtergrond het Rand Water in 2002 in-huis GJV riglyne nagevors.[18] Die betrokke Rand Water studie is in samewerking met die destydse Randse Afrikaanse Universiteit (nou Universiteit van Johannesburg) en GLS Raadgewers uitgevoer. Die studie het noemenswaardige momentum aan navorsing in die veld gegee en die behoefte vir nuwe, verbeterde, en omvattende residensiële GJV riglyne het duidelik geword. In die lig van die groot hoeveelheid gemete waterverbruiksdata van regoor die land, wat met verbeterde moderne tegnologie en plaaslik-ontwikkelde sagteware vir navorsing beskikbaar geword het, kon sodanige riglyn na die draai van die eeu opgestel word.

As nadraai van die Rand Water ondersoek is verdere navorsing uitgevoer en nuwe Suidelike-Afrikaanse riglyne vir GJV met erfgrootte as onafhanklike veranderlike is in 2004 in ’n erkende plaaslike joernaal gepubliseer.[54] Die verbeterde riglyn het die verbruiker vir die eerste keer in staat gestel om ook tussen vier geografiese streke in die land te onderskei en ook tussen hoë en lae inkomste huishoudings in een van die gebiede, naamlik die somerreënvalstreek. Die riglyn is beide wiskundig en grafies aangebied. Die gemiddelde riglynkurwe vir drie geografiese streke word as voorbeeld in Figuur 4 getoon. Vir die eerste keer sedert 1983 is ’n nuwe GJV riglyn voorgehou. Vergelyking van die 2004 riglyn met die van 1983 bevestig vroeëre navorsingsresultate dat die 1983 riglyn met verloop van tyd konserwatief geraak het, of met aanvanklike opstelling te konserwatief was (of beide).



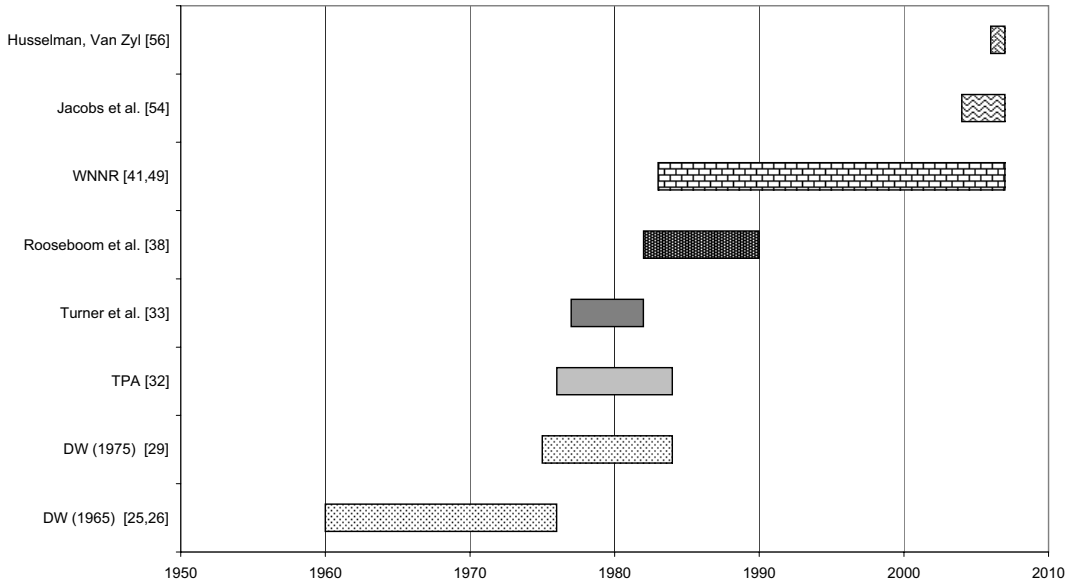
Figuur 4: *Selektiewe onlangse GJV riglynkurwes (2004 en 2006) 54,56*

Die WNK het in 2004 twee parallelle projekte geloods om eerstens ’n nasionale waterverbruiksargief op te stel en tweedens te fokus op ontleding van die data daarin, met die oog op ’n meer volledige riglyn. ’n Nasionale waterverbruiksargief is teen 2006 deur die WNK opgestel. Dit is ’n databasis van maandelikse waterverbruike vir individuele erwe van regoor die land en bevat ongeveer 2 150 000 waterverbruiksrekords.[55] In 2006 is ’n riglyn vir GJV met waardasie (as sekundus vir huishoudings-inkomste) as bykomende veranderlike tot erfgrootte as deel van dieselfde studie gepubliseer,[56] soos ook in Figuur 4 getoon.

Teen 2007 is die GJV riglyn vir residensiële erwe verder uitgebrei met onafhanklike veranderlikes vir beide erfgrootte en inkomste asook geografiese streke, naamlik binnelands versus kus.[57] Die riglyn is ook beide wiskundig en grafies aangebied. Die residensiële GJV raming per erfgrootte en inkomste bevestig onderskeidelik die bevindings van die 2004- en 2006 riglyne.

OPSOMMING

’n Opsomming van al die GJV riglyne met erfgrootte as onafhanklike veranderlike asook noemenswaardige, relevante publikasies word in Tabel 3 voorsien. Die GJV riglyne en toepassingsperiode van elke riglyn word in Figuur 5 teenoor tyd geplot. Dit is duidelik uit die Figuur dat relatief min van die publikasies (uit Tabel 3) uiteindelik in praktiese riglyne vir GJV omskep is. Figuur 6 is ’n skematiese uitleg van die chronologiese publikasieproses. Daar word opgemerk dat die publikasies twee groeperings vorm wanneer dit chronologies gerangskik word, naamlik die periode van 1975 – 1983 (ses publikasies in agt jaar) en weer 1996 – 2006 (vyf publikasies in tien jaar).



Figuur 5: *Tydperke vir praktiese toepassing van Suid-Afrikaanse GJV riglyne*

TABEL 3: Chronologiese oorsig van prominente publikasies aangaande waterverbruik en GJV riglyne

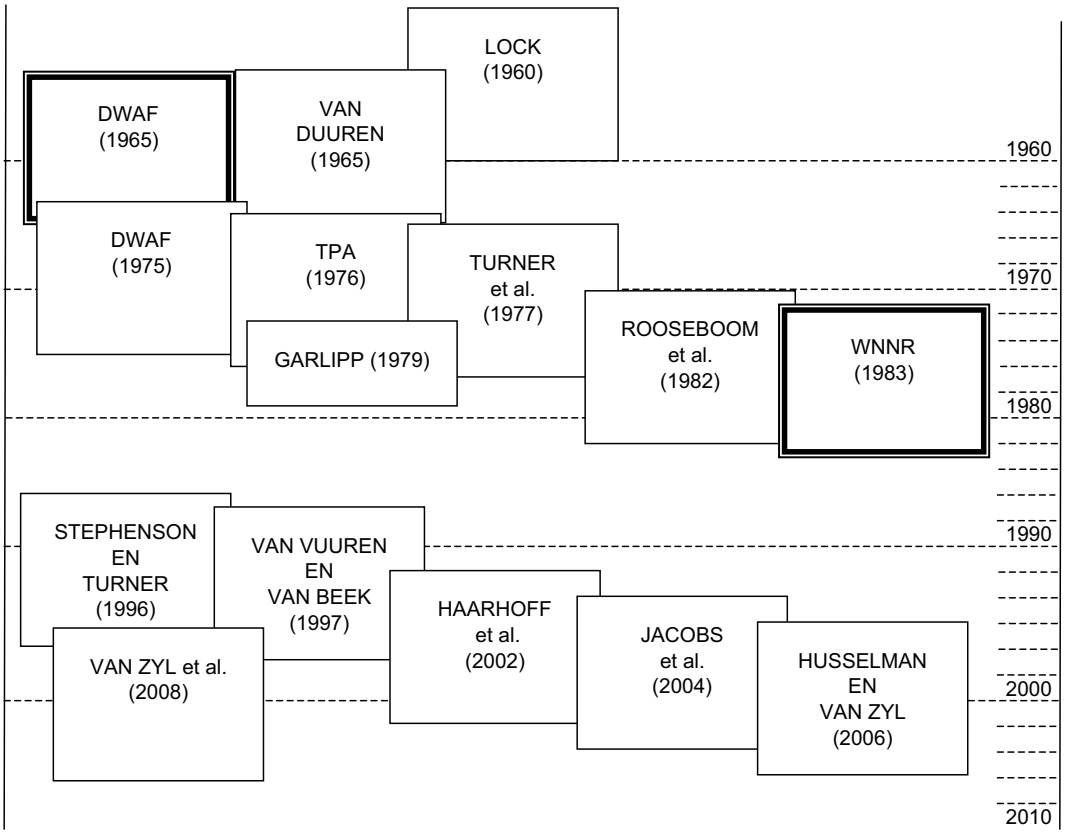
Jaar	Verwysing	Data [A]	Onafhanklike veranderlikes [B]	Kommentaar
1960	Lock [13]	Onseker	A, LS	Eerste publikasie met waterverbruik as funksie van A
1965	DW (1965) [25]	Onseker	A	Eerste GJV riglyn in Suid-Afrika met A as veranderlike
1965	Van Duuren [26]	Onseker	A	Riglyn identies aan die van DW (1965)
1970	Port Elizabeth Mun. [30]	O	A, LS	Riglyn beperk tot Port Elizabeth
1971	Morris [14]	O	n.v.t.	Publikasie voorsien inligting t.o.v. residensiële eindververbruike
1974	Ellis, Van Duuren [3]	m: ± 1500	HI	Resultate nie as GJV riglyn voorgehou nie
1975	Gebhardt [4]	g: 3 (796)	D	Resultate nie as GJV riglyn voorgehou nie
1975	DW (1975) [29]	O	A	1965 Riglyn is hersien en herpubliseer in Junie 1975
1976	TPA [32]	O	A	Gemik op binnelandse verbruikers (eertydse Transvaal)
1977	Turner et al. [33]	O	A	Tabulêre GJV riglyn byna identies aan TPA (1976)
1979	Garlipp [35]	m: ± 300	A, G, HI	Eerste detail navorsing van GJV met A as veranderlike
1982	Rooseboom et al. [38]	O	A	Tabulêre GJV riglyn byna identies aan TPA (1976)
1983	WNNR [41]	O	A	GJV riglyn in gewilde dokument - wyd gepromoveer en gebruik
1989	Hare [5]	g: 3 (645)	A	Eerste verifiëring van 1983 GJV riglyn teenoor gemete data
1996	Stephenson, Turner [36]	g: 14 (9731)	A, HI	Tweede verifiëring van 1983 GJV riglyn teenoor gemete data
1997	Van Vuuren, Van Beek [53]	g: 62 (2 147)	A, HI	62 Datapunte is met 1983 GJV riglyn vergelyk
2002	Haarhoff et al. [18]	m: 113 159	A, HI, P, D	Loodsprojek; resultate nie as GJV riglyn voorgehou nie
2004	Jacobs et al. [54]	m: 492 997	A, G, LS	Eerste GJV riglyn met geografiese streke
2006	Husselman, Van Zyl [56]	m: 194 816	A, HI	Eerste riglyn wat fokus op huishoudingsinkomste
2008	Van Zyl et al. [57]	m: 2 151 954	A, G, HI	Riglyn met grootste datastel tot hede

Notas

A) Die databasisgrootte is die hoeveelheid watermeterlesings wat ontleed is met die opstel van die riglyn. In hierdie kolom beteken:
- die inskrywing "m: i " dat i verskillende, individuele verbruikersmeters ontleed is.
- die inskrywing "g: s (h)" dat s verskillende grootmaatmeters (gebiede of sones) ontleed is, met die totale hoeveelheid huise in die studiegebied gelyk aan h.
- die simbool ± voor 'n waarde dat die hoeveelheid datapunte deur die oorspronklike outeurs afgerond of beraam was.
- die letter "O" dat professionele oordeel oënskynlik gebruik is met die opstel van die riglyn (dit rugsteun klaarblyklik nie op dataontleding nie)

B) Dit is die hoeveelheid onafhanklike veranderlikes in die riglyn (of studie), met beskrywings as volg:

A = Erfgrootte
D = Druk in waterstelsel (tipies word residuele druk tydens spitsvloei of statiese druk gebruik)
G = Geografiese streke, oftewel onderskeid tussen geografiese dele van die land
HI = Huishoudinginkomste of waarde van erwe (as sekundus vir huishoudinginkomste)
LS = Lewenstandaard of onderskeid vir tipes woonbuurte
P = Prys



Figuur 6: *Skematiese uitleg van publikasies - chronologies gerangskik*

Een metode om die wetenskaplike waarde van ’n publikasie te bepaal is om die hoeveelheid verwysings na die betrokke publikasie uit ander literatuurbronne te evalueer. Voor 1983 word min kruisverwysing tussen bronne opgemerk en boonop verwys die Rooi boek riglyn, met sy oorsprong in 1983, na geen vorige publikasies nie. Na 1983 is weer sonder uitsondering slegs na die Rooi boek riglyn verwys en resultate van ander werk is gereeld daarop gesuperponeer. Die eerste verwysing in die literatuur na ander GJV riglyne is in 2006,[56] waarin die outeurs na beide die 1983- en 2004 GJV riglyne verwys. Die eerste publikasie waarin resultate slegs op die 2004 riglyn gesuperponeer word, het eers in 2007 verskyn.[7] Navorsing in die veld is steeds aktief en sal waarskynlik nog tot verdere publikasies lei.

BESPREKING

Oorsig

Verskeie veranderinge in riglyne met verloop van tyd word waargeneem. Indien aanvaar word dat elke riglyn ten tye van publikasie wel in eie reg akkuraat was, impliseer dit dat veranderinge in die riglyne ’n oorsprong het in een of meer van die volgende:

- werklike verandering met tyd in die waterverbruike wat tydens die opstel van die riglyn ontleed is

- sekere eienskappe van die riglyn is bygevoeg of uitgelaat in vergelyking met die vorige riglyn(e) waarvan dit verskil, byvoorbeeld, onverrekende water wat by die riglyn in- of uitgesluit word of addisionele toelating in die riglyn vir toekomstige groei in eenheidsverbruik per erfarea
- verbeterde resultate, omdat die monstergrootte meer verteenwoordigend geword het van die totale populasie, te danke aan verbeterde tegnologie wat nie voorheen beskikbaar (of haalbaar) was nie.

Met verwysing na die chronologiese beskrywing van die beskikbare riglyne word die volgende veranderinge met verloop van tyd tydens hierdie ondersoek aangespreek:

- verandering met tyd in die voorspelde GJV vir ’n gegewe erfgrootte
- verbeterde besluitnemingsprosesse met betrekking tot konserwatiwiteitsvlak
- die hoeveelheid onafhanklike veranderlikes, bo en behalwe erfgrootte
- verandering van die riglynkurwes ten opsigte van helling en resolusie.

Verandering in voorspelde GJV

Die noemenswaardige verhoging in voorspelde GJV tussen 1965 en 1983 kan waarskynlik toegeskryf word aan die verbeterde vlak van dienslewering, veral ten opsigte van spoelriolering. Die verbeterde vlak van dienslewering uit ’n waterbron-oogpunt is ook van belang met die oprigting van noemenswaardige watervoorsieningskemas in die 1970’s (byvoorbeeld Gariep dam in 1971, Sterkfontein dam in 1977 en verhoging daarvan in 1980; Theewaterskloofdam in 1980) wat water meer beskikbaar gemaak het aan verskeie stedelike sentra in die land. Boonop is daar algemeen aanvaar dat die 1983 riglyn vir GJV baie konserwatief was in vergelyking met gemete verbruik in daardie dae, soos deur latere navorsing bevestig. Een verklaring vir hierdie konserwatiwiteit word met noukeurige ondersoek na vorige werk [5] ontbloot: in 1989 word die persepsie geskep dat die 1983 GJV riglyn voorsiening sou gemaak het vir toekomstige groei in eenheidsverbruik, omdat sodanige groei van 1983 tot 1989 in daardie berekeninge van die voorspelde riglynwaardes afgetrek word. Die groei blyk 2% per jaar oor 20 jaar te wees en impliseer dus dat die 1983 riglyn op ’n vlak van ongeveer 48% meer konserwatief gestel is as wat in daardie jare realisties sou wees. Die voorspelde groei in eenheidsverbruik sedert 1983 tot die hede, ingesluit in die riglyn, het egter nooit plaasgevind nie (die teenoorgestelde is eerder waar).

Verskeie inisiatiewe om water te bespaar of te verminder word tans deur Munisipaliteite bevorder. Aanpassings in verbruik buite die woning, soos droogtebestande landskapontwerp en meer effektiewe besproeiingsmetodes, lei byvoorbeeld daartoe dat die volume water wat buite die huis benodig word ook verminder. Herstel van waterlekke op die erf lei ook tot laer verbruik, soos gemeet deur die Munisipale watermeter.

Groot erwe

Daar is reeds bevind dat waterbesparings by groot erwe meer noemenswaardig is as by klein erwe. In Kaapstad het verbruik tydens waterbesparings in 2004-2005 by groot erwe met 40% verminder in vergelyking met slegs 10% by klein erwe.[7] Waterbesparing en meer effektiewe wateraanvraagbestuur word as een van die mees noemenswaardige verklarings geag in die lig van die vermindering in riglynwaardes van 1983 tot 2007 by groter erwe.

Die maksimumwaarde op die x-as van die riglyne het selfs met tyd verminder van een Akker, dit is ongeveer 4000 m^2 (in 1965) na 2000m^2 (in 2004) en na 1400 m^2 (in 2006). Dit kan toegeskryf word aan ’n onvoldoende getal erwe in die >2000 m^2 kategorieë tydens meer onlangse statistiese ontledings.

Verandering wat in die GJV riglyne by relatief groot erwe opgemerk word, is noemenswaardig. Die beraamde GJV vir ’n 2 000m² groot residensiële erf in Suid-Afrika is volgens die 1965 riglyn 1 363 ℓ/erf·d. Hierdie beraamde waarde verhoog na 3 400 ℓ/erf·d volgens die 1983 riglyn – gegewe dat die meer konserwatiewe kurwe gebruik word. Indien die mees konserwatiewe riglyn van 2004 toegepas word, sou die beraamde GJV vir ’n erf in die winter-reënvalgebied 2 273 ℓ/erf·d beloop, of 2 216 ℓ/erf·d in die somerreënvalstreek. Die beraamde GJV volgens die 2004 riglyn is onderskeidelik 1 127 ℓ/erf·d (33%) en 1 184 ℓ/erf·d (35%) minder as wat dit sou wees volgens die 1983 riglyn vir die twee streke, terwyl dit 910 ℓ/erf·d (24 %) en 853 ℓ/erf·d (39%) meer is as volgens die 1965 riglynwaarde.

Klein erwe

Die voorspelde GJV vir relatief klein erwe (neem byvoorbeeld 400m^2) het teen 1983 ’n bereik van 600 ℓ/erf·d gehad. Met die 2004 riglyn het die bereik vergroot na 743 ℓ/erf·d en weer selfs verder tot 1 050 ℓ/erf·d in die meer onlangse publikasie in 2006. Dus, die maksimum waarde het mettertyd verhoog en die minimum verlaag.

Verklarings hiervoor sluit onder meer in onlangse watervoorsiening aan ’n groot hoeveelheid huise in die lae-inkomstegroepe waar die huishoudingsgrootte baie wissel, asook die feit dat daar ’n verhoging is in die getal duurder dog kleiner erwe (groter inkomste impliseer groter verbruik). Huishoudingsgrootte, oftewel die getal mense per huishouding, is ’n sterk determinant van waterverbruik [19] en het boonop ’n vergrote bereik by veral lae-inkomste huishoudings.[58] Dit verklaar tot ’n mate die relatief groot bereik van GJV wat by kleiner erwe opgemerk word. Waterlekke – wat redelik onvoorspelbaar is – is ook by kleiner erwe meer prominent as by groter erwe vanweë die groter digtheid van konneksies op die toevoerpype.[59] By riglyne waar van grootmaatmeters in die ontledings gebruik gemaak was, sou dit ook ’n implisiete rol gespeel het om die voorspelde GJV te verhoog.

Verbeterde besluitnemingsvermoë en hoeveelheid veranderlikes

Die 1983 riglyn vir GJV het ’n boonste en onderste riglynkurwe voorsien. Die kurwes beskryf onderskeidelik lae en hoë waterverbruik, wat deur die subjektiewe oordeel van die ontwerpingenieur bepaal word. Die riglyngidse het gebruikers aangemoedig om deur middel van subjektiewe keuses aangaande huishoudingsinkomste geskikte GJV waardes uit die gebied tussen die twee riglynkurwes te kies. Sodanige keuses word egter deur die gebrek aan kwantifiseerbare huishoudingsinkomste-waardes of lewenstandaarde bemoeilik. Ingenieurs verkies tipies om die meer konserwatiewe keuse na te volg, trou aan die ingenieursprofessie waar eerder veilig gespeel word met ontwerpstandaarde.

Besluitnemingsvermoë van riglyne is mettertyd verbeter deur die byvoeg van addisionele onafhanklike veranderlikes. Uit Tabel 3 word opgemerk dat die hoeveelheid onafhanklike veranderlikes oor die algemeen toeneem met meer onlangse publikasiedatums.

Klimaatstreke

In 2004 word vir die eerste keer onderskeid in ’n GJV riglyn getref tussen klimaatstreke[54], naamlik:

- die winterreënvalstreek (Kaapstad as basisdatastel)
- die kusgebied met reënval regdeur die jaar (George as basisdatastel)
- die somerreënval gebied (Gauteng, met hoofsaaklik Johannesburg en Pretoria as basisdatastelle)
- Windhoek, Namibië.

Daarna word in 2008 twee modelle voorgestel, naamlik een vir binnelandse en een vir kusgebiede.[57] Dit is soortgelyk aan die konsep in 2004, maar is vereenvoudig tot slegs twee streke om praktiese aanwending in die siviele praktyk aan te moedig.

Huishoudingsinkomste en lewenstandaard

So vroeg as 1960 [13] (en weer in 1970) [30] is rassegroepe ingesluit as veranderlike om lewenstandaarde te verteenwoordig. In 1974 is die impak van eiendomswaarde op waterverbruik in detail ontleed, alhoewel die publikasie nie op erfgrootte gefokus het nie.[3] Verskeie pogings is oor die jare daarna aangewend om onderskeid te tref tussen sogenaamde ontwikkelde en ontwikkelende gebiede [49] of lae-, medium- en hoë-digtheid residensiële gebiede. [51,54]Alhoewel die impak van huishoudings-inkomste op verbruik onafhanklik van erfgrootte reeds gerapporteer was, het plaaslike riglyne vir GJV met waardasie (as sekundus vir huishoudingsinkomste) as bykomende veranderlike tot erfgrootte eers in 2006 verskyn.[56]

Erfwaarde is in al die studies as sekundus vir huishoudingsinkomste gebruik. Alhoewel dit ooglopend mag blyk dat groot erwe beperk is tot relatief hoë-inkomste buurte en derhalwe dat sulke erwe nie in lae-inkomste gebiede voorkom nie, is ’n ontleding uitgevoer om hierdie vermoede te bevestig. Data van erwe in Ekurhuleni wat vir ’n ondersoek in 2004 gebruik is, is vir die doel van hierdie ondersoek herontleed deur dit met behulp van GIS te ondersoek.

Daar is bevind dat al 90 950 erwe in die datastel met area groter as 800m² (en kleiner as 2 000m²) in relatief hoë-inkomste woonbuurte voorkom, met geen van hierdie grootte residensiële erwe wat in lae-inkomste buurte voorkom nie. Erwe groter as 800 m² is tipies verteenwoordigend van relatief hoë inkomste huishoudings. Die teenoorgestelde is nie noodwendig waar nie.

Met ontleding van relatief kleiner erwe in die Ekurhuleni datastel is bevind dat daar ’n totaal van 120 389 residensiële erwe met area kleiner as 500m² in Ekurhuleni voorkom, waarvan 11 982 as medium- tot hoë-inkomste buurte geklassifiseer kan word. Die oorblywende 108 407 erwe is in lae-inkomste buurte. Dus, 9% van alle erwe kleiner as 500m² is geleë in relatief hoë-inkomste woonbuurte. Klein erwe kom dus voor in lae- en hoë-inkomste woonbuurte.

Kurwebeskrywing

Helling

Ten spyte van merkbare verandering in geraamde GJV waardes, is daar ooreenkomste tussen al die riglyne. Al die riglyne het ’n positiewe helling, wat wys dat die waterverbruik toeneem met erfgrootte – die helling, wat die tempo van toename met erfgrootte verteenwoordig, verskil egter.

Die eerste riglyne maak gebruik van enkele datapunte, wat nie met kurwes verbind word nie. Die TPA riglyn van 1976 is die eerste waarin ’n lineêre riglynkurwe met twee omhullingslyne voorgestel word, soos getoon in Figuur 2. Die riglyn is egter in ’n tabulêre formaat gepubliseer (getoon in Tabel 2). Die kurwes het knakpunte by 500 m^2 en 2 000 m^2 en die helling neem onderskeidelik toe en plat daarna af met toenemende erfgrootte.

Die Rooi boek riglyne vir GJV bestaan uit twee lineêre omhullingskurwes. Albei die kurwes het ’n knakpunt by 600 m^2. Die riglyn het ’n horisontale helling vir erwe met $A < 600$ m^2, soortgelyk aan die TPA[32] vir erwe kleiner as 500 m^2. Die helling van beide omhullingslyne neem toe met erfgrootte.

In 2004 word die reglynige konsep behou vir Suid-Afrikaanse klimaatstreke. ’n Paraboliese kurwe word egter vir Windhoek voorsien. Kumulatiewe verspreidingsfrekwensie kurwes word ook vir die klimaatstreke in Suid-Afrika geplot, waardeur die lineêre riglynkurwes gepas was. Die knakpunt

in die lyn vir die winterreënvalstreek is by 840 m^2, terwyl die ander streke bloot reguit lyne voorstel. Die helling van eersgenoemde lyn plat af met toenemende erfgrootte.

In 2006 word twee lineêre omhullingskurwes weer gebruik, soos getoon in Figuur 4. Weereens plat beide kurwes af met toenemende erfgrootte. Die knakpunt is in hierdie geval weer by 600 m^2.

Resolusie

Die resolusie van die riglynkurwe is afhanklik van statistiese vereistes aangaande die hoeveelheid datapunte wat tydens die opstel van die riglyn ontleed is. Vroeë riglyne het noodwendig ’n relatief laer resolusie, te danke aan relatief klein datastelle. Die DW het begin met vier enkel datapunte op ’n x-as bereik van 4 000m^2. Teen 2004 is vir die eerste keer riglyne voorgehou met klasgrense vir elke 100m^2 op die x-as.[54] Dieselfde resolusie is in publikasies in 2006 en 2008 herhaal.[56,57] Resultate in elke klasgrens was statisties noemenswaardig, in teenstelling met vroeëre riglyne waar onvoldoende datapunte beskikbaar was vir statistiese ontleding.

Verbeterde tegnologie en grootte van basisdatastel

Party veranderings is verskuil en word nie onmiddellik opgemerk wanneer na die riglyne self gekyk word nie. Een so ’n verskuilde verandering is die grootte van die basis datastel wat met die opstel van die riglyn gebruik is.

Vandag bestaan die waterverbruiksargief van die WNK uit 2 792 053 individuele waterverbruiksrekords, waarvan 2 151 954 residensiële erwe is (dit verteenwoordig bykans 25% van alle formele erwe in Suid-Afrika). Hierdie volledige datastel is statisties ontleed met die mees onlangse riglynontledings.[57] In Tabel 3 word die hoeveelheid datapunte wat met die opstel van elke riglyn ontleed is, getoon. Met die uitsondering van twee studies[3,35] is die eerste publikasie wat op individuele waterverbruiksrekords gegrond is, in 2002 uitgevoer. Sedertdien is dit die voorkeurmetode van dataontleding. Al die vroeë GJV riglyne was op grootmaatmeters of ramings gegrond, hoofsaaklik omdat relatief min residensiële gebiede in daardie jare individueel gemeter is. Residensiële watermeters is byvoorbeeld eers op grootskaal tussen 1970 en 1976 in Port Elizabeth, Kaapstad en Durban geïnstalleer.[60] Riglyne is dus oor die jare aangepas in die lig van nuwe (en meer) data wat mettertyd beskikbaar geword het.

Rekenaarkapasiteit wat aangewend is met ontleding van data het ’n impak op die GJV riglyne gehad, omdat dit tot ’n mate bepaal hoeveel datapunte gestoor en dan verwerk kon word (binne ’n realistiese tydsverloop). Hedendaagse watervoorsieners hou normaalweg waterverbruiksinligting in elektroniese formaat by as deel van groter tesouriestelsels wat ook finansiële aspekte van kliënte (waterverbruikers) hanteer. Tegnologie in die vorm van moderne rekenaarkapasiteit en gepaardgaande hoogs-gespesialiseerde sagteware stel hedendaagse navorsers in staat om toegang te verkry tot gedetailleerde datastelle,[55] wat in ’n kort tydsbestek statisties ontleed kan word. Met hedendaagse tegnologie is dit byvoorbeeld ook moontlik om elke individuele erf se area vanaf ’n GIS te bepaal en dit teenoor dieselfde erf se spesifieke GJV te plot. Relatief tot wat vandag beskikbaar is, was die inligting drie dekades gelede uiters beperk. Die feit dat die eerste riglyne in sekere opsigte relatief min van die huidige verskil, onderstreep die ywer en noukeurigheid van die destydse navorsers.

Onverrekende water

Onverrekende water word gedefinieer as die verskil tussen water wat in ’n stelsel gelewer word en die verkope aan verbruikers wat daaruit bedien word. Die totale volume water wat aan alle verbruikers in die stelsel gelewer word, word op ’n enkele strategiese punt deur ’n grootmaatmeter gemeet. Waterverkope aan individuele verbruikers word deur verbruikersmeters by elke erfgrens gemeet. Ten

spyte van die algemene gebruik van die term "onverrekende water" word 'n meer tegnies korrekte metode van die infrastruktuurlekindeks (ILI) deesdae voorgestel.[59] Vir die doel van hierdie beskrywing is die gebruik van die algemene term onverrekende water egter voldoende.

Met die opstel van sommige GJV riglyne is ontledings op die individuele verbruikersmeterlesings gegrond, wat dus onverrekende water in die analiseproses sou uitsluit. In teenstelling hiermee is ander riglyne weer op grootmaatmeterlesings gegrond, wat noodwendig onverrekende water sou insluit. Hierdie verskil in die aard van die basisdata kan tot 'n noemenswaardige verskil in GJV riglyne lei. Daar sou verwag word dat die meer onlangse riglyne, wat op individuele verbruikersmeters gegrond is, minstens met die onverrekende water komponent van vorige riglyne verskil – 'n tipiese waarde van tussen 10% en 30%. Tabel 3 toon of onverrekende water by die betrokke riglyn ingereken is al dan nie, deurdat die tipe basisdata daarin as grootmaat (g) of individuele meter (m) geklassifiseer word.

Met meer onlangse GJV riglyne is dit nodig om addisionele toelating vir onverrekende water te maak alvorens die beraamde GJV vir ontwerp aangewend word. Die onverrekende water kan onafhanklik van die GJV beraam word en by die riglynwaarde gevoeg word. Riglyne wat onverrekende water uitsluit sal laer ramings vir die GJV voorsien as die ouer riglyne wat onverrekende water insluit.

Die koste van water

Dit word algemeen aanvaar dat 'n groter koste van water lei tot laer verbruik. Hedendaagse navorsers maak steeds van sogenaamde pryselastisiteit gebruik om die impak van prys op waterverbruik te ondersoek.[61,62,18]

In die "ou dae" was die koste van water relatief laag en watervoorsieners het soms groot verbruik by residensiële verbruikers aangemoedig om hul inkomstes te maksimeer. Verbruikers het geredelik 'n vaste koste per eenheid betaal vir water, of selfs bloot 'n vaste maandelikse koste vir voorsiening ongeag die totale volume gebruik. In teenstelling met die verlede word water deesdae algemeen as 'n skaars hulpbron gereken. Hendendaagse tariewe weerspieël die waarde van water as 'n kosbare kommoditeit. Die internasionale tendens om bloktariewe in plek te bring het ook in die laaste dekade na Suid-Afrika oorgespoel. Hierde tipe riglyne behels 'n trapsgewyse kurwe wat 'n verhoogde prys per eenheid voorstel (tipies in Rand per kiloliter per maand) soos die totale maandelikse verbruiksvolume toeneem. Dit ontmoedig hoë verbruik, omdat die verbruiker meer betaal per eenheid water soos die totale maandelikse volume met elke tariefblok toeneem. Verbruikers met groot erwe het normaalweg 'n relatief groot tuin en ooreenkomstige groot besproeiingsbehoefte. Eienaars van groot erwe word dus veral deur bloktariewe swaar getref.

'n Verhoogde prys van water word met laer verbruik geassosieer – vandaar die positiewe pryselastisiteit wat in die literatuur gerapporteer word.[18] Boonop is bevind dat die pryselastisiteit van buiteverbruik groter is as binnenshuiseverbruik.[18,63] Dit beteken dat verbruikers groter aanpassings in verbruik (besparings) maak buite die huis eerder as binne wanneer 'n gegewe prysverhoging in die gesig gestaar word. Die instelling van hoër watertariewe en bloktariefstrukture in Suid-Afrika sou derhalwe tot 'n afname in verbruik lei – veral ten opsigte van buiteverbruik by groot verbruikers (normaalweg woonagtig op groot erwe). Met die uitsondering van die 1965 DW riglyn word 'n vermindering in voorspelde GJV vir groot erwe wel met verloop van tyd in riglyne waargeneem.

Huishoudingsinkomste

Die effek van huishoudingsinkomste op waterverbruik is onlangs in GJV riglyne ingebou. 'n Groter inkomste relatief tot die prys van water beteken dat water effektief goedkoper is, omdat dit relatief tot inkomste gemeet word. Eiendomswaarde word gereeld in ondersoeke na waterverbruik as

plaasvervanger vir huishoudingsinkomste gebruik, omdat eersgenoemde waarde normaalweg meer geredelik beskikbaar is. Soos reeds in 1974 opgemerk, het erwe met ’n groter waardasie ook normaalweg ’n groter area. Die moderne tendens na klein dog duur erwe verg verdere navorsing in dié verband.

Residuele en statiese waterdruk

Teorie toon dat verlaagde waterdruk tot verminderde verbruik by sekere eindverbruike op ’n erf sal lei. Navorsing aangaande die verandering in stelseldruk met verloop van tyd ontbreek egter, wat ondersoek na druk op verbruik met verloop van tyd tans nog beperk.

SAMEVATTING

In hierdie navorsingstuk word ’n volledige, chronologiese oorsig voorsien van riglyne wat sedert 1960 in Suid-Afrika gebruik is vir die raming van residensiële GJV. Die waarde daarvan om bevindings in gepubliseerde literatuur te rapporteer het tydens hierdie navorsing na vore gekom. Dit is ook opmerklik dat die identifisering van die belangrike parameter(s) wat GJV beskryf, naamlik erfgrootte in hierdie geval, vroeg reeds as bousteen vir die eerste riglyn aangewend is. Die waarde hiervan is dat navorsing oor ’n tydperk van vyf dekades reeds voortbou op die vroeë werk. Verdere navorsing is noodsaaklik om ander kritieke parameters, soos geografiese streke, inkomste en huishoudingsgrootte, as ’n integrale deel van ’n nuwe enkele GJV riglyn by te werk.

Twee GJV riglyne vir residensiële verbruik, met erfgrootte as onafhanklike veranderlike, het toepassing in die siviele ingenieurspraktyk van Suid-Afrika gedomineer. Die eerste is voorgehou deur die destydse DW (toegepas ongeveer 1960 tot 1983) en die tweede deur die WNNR – die Rooi boek reeks (1983 – 2007). Onderskeidelik dek die twee riglyne praktiese toepassingsperiodes van ongeveer 23 en 24 jaar – oftewel ’n byna ononderbroke tydperk van 47 jaar. Die DW riglyn het net eenkeer in 1975 verander en die WNNR se riglyn nog nooit.

Die gewildheid van die DW riglyn kan toegeskryf word daaraan dat dit:

- eenvoudig was en min verander het
- die enigste riglyn in daardie dae was en onveranderd in ander dokumente opgeneem is[26,27]
- dit deel gevorm het van die voorgraadse studiemateriaal van minstens een Universiteit.[25,28]

Die sukses van die Rooi boek riglyn word toegeskryf aan die feit dat verskeie Universiteite die dokument as deel van die voorgraadse kursusmateriaal voorgeskryf het. Boonop het dit heelwat inligting onverwant aan hierdie navorsingstuk bevat, wat dit uit ’n meer algemene oogpunt vir ingenieurs gemoeid met dienste gewild gemaak het. Verskeie werkswinkelaanbiedings, konferensie-aanbiedings en publikasies is deur belanghebbende partye gedoen om die dokument oor die jare te promoveer.[44,64,65,66] Die opstellers van die oorspronklike riglyndokument het as volg kommentaar gelewer oor hoe sukses met die nuwe riglyn behaal sou kon word.[42]

> [previous efforts] ... have fallen down in failing to come to grips with resistance to change, which requires a co-ordinated educational and marketing effort.

Die Rooi boek riglyn vir GJV blyk suksesvol te wees, omdat dit sedert die eerste publikasie daarvan:

- eenvoudig was, konserwatief was en nie verander het nie
- as voorgraadse studiemateriaal by Universiteite gebruik is
- tydens verskeie werkswinkels bekendgestel is; daar word byvoorbeeld gerapporteer dat 685

afgevaardigdes tydens Februarie en Maart 1995 sodanige werkswinkels te Bloemfontein, Kaapstad, Pretoria, Durban en Port Elizabeth, bygewoon het.[44]

- gerugsteun is deur ’n gekoördineerde opvoedings- en bemarkingsaksie, wat ook ondersteun is deur ’n staatsdepartement en politici.

Die gewildheid van bovermelde twee riglyne en verskeie verwysings deur outeurs in later jare na hierdie bronne (eerder as na ander veel meer volledige publikasies in erkende joernale) onderstreep belangrike aspekte met die toepassing van navorsingsresultate in die industrie, naamlik die waarde van ’n gekoördineerde opvoedings- en bemarkingsaksie. Die waarde van gemeenskapsaksies, werkswinkels en skakeling met belanghebbende partye voor en tydens bekendstelling van navorsingsresultate aan die industrie moet nie onderskat word nie. Die waarde van ’n wetenskaplike publikasie stem tot ’n mate uit hierdie nie-tegniese aspekte.

ERKENNINGS

Hiermee die nodige dank vir bystand, raad, inligting en ondersteuning met die insameling van inligting wat moeilik bekombaar was of ’n noemenswaardige inset was tydens hierdie ondersoek: E. Bosman (US) vir hulp met die opspoor van die 1965 DW riglyn; E.H. Johnson (bestuurder van die Waterafdeling, GHD, Australië), vir die voorsiening van verskeie waardevolle dokumente en insette tydens die projek; R.B. Turner (“Turner and Associates” te Gansbaai) asook J. Prins (KV3, Bellville) vir toegang tot enkele dokumente. Opregte dank en waardering aan F.A. Van Duuren (Waterkloof, Pretoria) vir insette en agtergrond aangaande werk in die jare tussen 1960 en 1980.

Die volgende persone word ook opreg bedank vir insette tydens hierdie navorsingsprojek: C.A.J. Vancoillie (KV3, Worcester), A.R. Rooseboom (Stellenbosch), W.A. Alexander, L.C. Geustyn en B.F. Loubser (GLS Raadgewende ingenieurs, Stellenbosch), J.A.V.B. Strasheim (US), S.J. Van Vuuren (UP), M. Van Dijk (UP), T.B.C. Van Robbroeck (Stellenbosch), asook J. Haarhoff, M. Griffioen en J.E. Van Zyl (Universiteit van Johannesburg), P. Bawden (Petzetakis Africa and Sekunjalo Piping Systems), L.M. Austin (WNNR), en laaste maar nie die minste, personeel van die US Ingenieursbiblioteek.

VERKLARING VAN AFKORTINGS EN AKRONIEME

A	-	Erfgrootte, oftewel die area van ’n residensiële erf (m^2)
AADD	-	“Average annual daily demand” (Engelse benaming vir GJV)
Akker	-	Destydse eenheid vir area (1 Akker is gelyk aan 4 047 m^2)
CSIR	-	Council for Scientific and Industrial Research
d	-	Dag
D	-	Druk
DW	-	(Eertydse) Departement van Waterwese
G	-	Geografiese streek/streke
GIS	-	Geografiese inligtingstelsel
GJV	-	Gemiddelde jaarlikse daaglikse waterverbruik (kℓ/d)
g:	-	’n studie waarin grootmaatwatermeters ontleed is (Tabel 3)
gpd	-	Gallon per dag (soos destyds gerapporteer)
h	-	Totale hoeveelheid huise in studiegebied (Tabel 3)
HI	-	Huishoudingsinkomste
i	-	die getal verskillende, individuele verbruikersmeters (Tabel 3)

kℓ/d	-	kiloliter per dag
kℓ/ha·d	-	kiloliter per hektaar per dag
LG	-	Landmeter Generaal
LS	-	Lewenstandaard, of onderskeid vir tipe woonbuurt
ℓ/c·d	-	liter per capita (of persoon) per dag
ℓ/erf·d	-	liter per erf (of perseel) per dag
m	-	'n studie waarin individuele verbruikersmeters ontleed is (Tabel 3)
m^2	-	Vierkante meter (eenheid van meting vir area)
n	-	getal mense permanent woonagtig op 'n erf
Q	-	Waterverbruik van 'n erf (ℓ/erf·d)
P	-	Prys
q	-	Waterverbruik deur een persoon (ℓ/c·d)
s	-	hoeveelheid verskillende sones of grootmaatmeters in studie (Tabel 3)
TPA	-	(Eertydse) Tranvaalse Provinsiale Administrasie
UP	-	Universiteit van Pretoria
US	-	Universiteit van Stellenbosch
WNK	-	Waternavorsingskommissie
WNNR	-	Wetenskaplike en Nywerheidnavorsingsraad

BIBLIOGRAFIE

1 Edwards K., Martin L. (1995). A methodology for surveying domestic water consumption. Water and Environmental Management, Vol.9, 477-488.

2 De Moel, P.J., Verberk, J.Q.J.C., Van Dijk, J.C. (2006). Drinking water – principles and practices (World Scientific publishing Co., Londen).

3 Ellis, S.J.P., Van Duuren, F.A. (1974) Waterverbruik in Pretoria. The Civil Engineer in South Africa, May 1974, 153-163.

4 Gebhardt, D.S. (1975). The effects of pressure on domestic water supply including observations on the effect of limited garden-watering restrictions during a period of high demand. WaterSA 1(1), 3-8.

5 Hare, A.H. (1989). Aspects on peak flows in water mains. Journal of the Institution of Municipal Engineers of Southern Africa, 14(4), 24-28.

6 Anoniem (2007). "Upfront: South Africa's housing efforts not enough – UN expert" en ook "Upfront: Let's build together – Minister of Public Works", The Water Wheel, 6(4), July/August 2007, 5-6.

7 Jacobs, H.E., Fair, K., Geustyn, L.C., Daniels, J. en Du Plessis, J.A. (2007). Analysis of water savings: A Case study during the 2004-2005 water restrictions in Cape Town. J.S.Afr.Inst.Civ.Eng., 49(3), 16-26.

8 Baumann, D.D., Boland, J.J., Hanneman, W.M. (1998). Urban Water Demand Management and Planning (McGraw-Hill, New York).

9 Pretorius, C.J., Viljoen, M.F., Van Der Merwe, R.B. (1995). Projektering van waterbehoeftes in stedelike gebiede (Deel 1): Metodologiese oorsig. Water SA, 21(1), 15-20.

10 Viljoen, M.F., Pretorius, C.J. (1995). Projektering van waterbehoeftes in stedelike gebiede (Deel2): 'n Ex-post analise van die akkuraatheid van verskillende projeksiemetodes. Water SA, 21(1), 21-26.

11 Van Niekerk I.E., Viljoen M.F., Pretorius C.J., Van der Merwe, R.B. (1995). Projektering van watervraag in stedelike gebiede (Deel3): Die meervoudige regressiemodel as makroprojeksiemodel. Water SA 21(1), 27-36.

12 Leslie, R. (1957). Water reticulation – records and standards. The Transactions of the South African Institution of Civil Engineers, 7(2), 74-77.

13 Lock, H.V.H. (1960). Some aspects of town water supply. Annual Journal of the Institution of Municipal Engineers South African District, 1(13), 75-91.

14 Morris, S.S (1971). The role of water in urban communities. South African Journal of Science (Suid-Afrikaanse tydskrif vir Wetenskap), Maart 1971, 73-85.

15 Republiek van Suid-Afrika (1975). Verslag oor die voorgestelde Bergrivier (Saldanha) Waterprojek. Sekretaris van Waterwese, opgestel ingevolge Artikel 58 van die Waterwet, 1956 (Wet 54 van 1956),

ISBN 0621010332.

16 Du Plessis, J.A. (2007). Benchmarking water use and infrastructure based on water services development plans for nine Municipalities in the Western Cape. J.S.Afr.Inst.Civ.Eng., 49(4), 18-27.

17 Van Schalkwyk, A. (1996). Guidelines for the estimation of domestic water demand of developing communities in the Northern Transvaal. WNK Verslag No. 480/1/96.

18 Haarhoff, J., Geustyn, L.C., Van Zyl, J.E. (2002). Compilation of a residential water use model for Rand Water with elasticity for price, erf area, income and pressure – Pilot Study. A report to Rand Water by the Rand Afrikaans University and GLS Consulting Civil Engineers Inc., August 2002.

19 Jacobs, H.E., Haarhoff, J. (2007). Prioritisation of parameters influencing residential water use and wastewater flow. Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA, 56(8), 495-514.

20 Jacobs, H.E., Haarhoff, J. (2004a). Structure and data requirements of an end-use model for residential water demand and return flow. Water SA, 30(3), 293-304.

21 Castillo, G., Garbharran, H.P. (2003). The IWR-MAIN water model and its applicabiilty for water provision to squatter communities in Kwa-Zulu-Natal. Association of American Geographers, Illustrated paper session: 5508. South Africa into the 21st Century, 3 June 2003.

22 Van Zyl, J.E., Husselman, M., Haarhoff, J. (2003). Potential application of end-use demand modelling in South Africa. J.S.Afr.Inst.Civ.Eng., 45(2), 9-19.

23 Jacobs, H.E., Haarhoff, J. (2004b). Application of a residential end-use model for estimating cold and hot water demand, wastewater flow and salinity. Water SA, 30(3), 305-316.

24 Alexander, W.J.R. (2007). Persoonlike korrespondensie en telefoniese kommunikasie, September 2007 (Alexander was tussen 1953 en 1956 te DW Hoofkantoor onder meer betrokke by die toekenning van staatsubsidies aan Munisipaliteite vir die daarstel van watervoorsieningstelsels).

25 Universiteit van Stellenbosch (1965). Voorgraadse klasnotas vir die Baccalaureus graad in Siviele Ingenieurswese, Universiteit van Stellenbosch.

26 Van Duuren, F.A. (1965). Design criteria for water purification plant. Special Report No. WAT31, National Institute for Water Research, Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, February 1965, 1-13.

27 Van Duuren, F.A. (2007). Persoonlike kommunikasie te Waterkloof, Pretoria, 22 Oktober 2007 en verdere korrespondensie tot 30 November 2007.

28 Universiteit van Stellenbosch (1975). Voorgraadse klasnotas vir die Baccalaureus graad in Siviele Ingenieurswese, Universiteit van Stellenbosch.

29 Departement van Waterwese (1975). Acceptabile minimum design standards for reticulation systems. Sekretaris van Waterwese, Departement van Waterwese, Junie 1975.

30 Port Elizabeth Munisipaliteit (1970). Design standards for water systems – Port Elizabeth Municipality. Memorandum, 1-16.

31 Universiteit van Pretoria (1975). Voorgraadse klasnotas vir die Baccalaureus graad in Siviele Ingenieurswese, Universiteit van Pretoria.

32 Transvaal Provinsiale Administrasie (1976). Recommended guidelines for the provision of essential services to residential townships, Pretoria, 1976. / TPA Steering committee for Municipal Services – Guidelines for water supply – Residential townships.

33 Turner, R.B., Bode E.C.W., Stander, N., Van der Merwe C. (1977). Guidelines for the design of water distribution pipe networks. A report by the University of Pretoria, Department of Civil Engineering, Applied Hydraulics, November 1977.

34 Turner, R.B. (2007). Persoonlike kommunikasie te Gansbaai, 14 September 2007.

35 Garlipp, D.K.C.O. (1979). Water consumption patterns in urban areas. M.Sc. Tesis, Universiteit van Pretoria, Departement van Chemiese Ingenieurswese, 1979.

36 Stephenson, D., Tuner, K. (1996). Water demand patterns in Gauteng. Journal of the Institution of Municipal Engineers of Southern Africa, 21(1), 11-16.

37 Van Duuren, F.A., Garlipp, D.K.C.O. en Barnard, K.S. (1978). Water consumption patterns in urban areas – norms for water consumption in the different geographic areas. Verslag aan die WNK deur die Universiteit van Pretoria, Departement van Chemiese Ingenieurswese, Mei 1978 (hierdie dokument kon egter nie opgespoor word nie; die verwysing is bygevoeg ter volledigheid en is nie in die navorsingsstuk gebruik nie).

38 Rooseboom, A.R., Stephenson, D., Turner R.B., Garlipp, K.D.C.O. (1982) Main Industries (Edms.) Bpk. – oPVC Drukpypmanuaal.

39 Rooseboom, A.R. (2007). Persoonlike kommunikasie te Stellenbosch by verskeie geleenthede tussen

Junie en Oktober 2007.
40 Bawden, P. (2007). Persoonlike korrespondensie en telefoniese kommunikasie, 25 September 2007 (van "Petzetakis Africa and Sekunjalo Piping Systems"; die destydse "Main Industries" is oorgeneem deur laasgenoemde firma).
41 Wetenskaplike en Nywerheidnavorsingsraad (1983). Guidelines for the provision of engineering services in Residential Townships ("Blue Book"). Compiled for the Department of Community Development.
42 Crabtree, P.R., Cameron, W.M. (1983). Guidelines for the provision of engineering services in residential townships – an introduction. Journal of the Institution of Municipal Engineers of Southern Africa, 8(10), 9-15.
43 Crabtree, P.R. (1980). Water supply and drainage research at the National Building Research Institute. Referaat 11 van Seminaar S239 (1980): Watervoorsienings- en dreineringsdienste in ontwikkelende lande, Georganiseer deur die Nasionale Bounavorsingsinstituut van die WNNR, 2-8.
44 Austin, L.M. (1995). The Red Book : A tool for the municipal engineer in a changing environment. Journal of the Institution of Municipal Engineers of Southern Africa, 20(11), 10-12.
45 Wetenskaplike en Nywerheidnavorsingsraad (1988). Towards guidelines for services and amenities in developing communities ("Green Book"). Compiled for the Department of Development Aid.
46 Wetenskaplike en Nywerheidnavorsingsraad (1994). Guidelines for the provision of engineering services in residential townships ("Red Book"). Issued by the National Housing Board.
47 Wetenskaplike en Nywerheidnavorsingsraad (1995). Guidelines for the provision of engineering services and amenities in residential township development – Revised Edition (Chapters 1 & 2 amended, Chapter 11 added). Issued by the National Housing Board.
48 Wetenskaplike en Nywerheidnavorsingsraad (2000). Guidelines for Human Settlement Planning and Design. Boutek Report BOU/E2001. A report compiled under the patronage of the Department of Housing by the CSIR.
49 Wetenskaplike en Nywerheidnavorsingsraad (2003). Guidelines for Human Settlement Planning and Design – Revised August 2003 (Chapters 9 and 10 revised). A report compiled under the patronage of the Department of Housing by the CSIR.
50 Austin, L.M. (2007). Persoonlike korrespondensie, 12-15 Oktober 2007 (WNNR, "Built Environment Unit, Planning Support Systems").
51 Vorster J., Geustyn L.C., Loubser E., Tanner A. en Wall K. (1995). A strategy and master plan for water supply, storage and distribution in the East Rand region. J.S.Afr.Inst.Civ.Eng., 37(2), 1-5.
52 Geustyn, L.C. (2007) Persoonlike kommunikasie te Stellenbosch by verskeie geleenthede in 2006 en 2007. Direkteur, GLS Raadgewende Ingenieurs (met spesifieke verwysing na die ongepubliseerde dokument: A Strategy and master plan for bulk water supply, storage and distribution in the Greater Pretoria Region. A report compiled by GLS Consulting Civil Engineers Inc. for the Greater Pretoria Metropolitan Council, June 1997).
53 Van Vuuren, S.J., Van Beek, J.C. (1997). Her-evaluering van die bestaande riglyne vir stedelike en industriële watervoorsiening gebaseer op gemete waterverbruike, Fase 1 : Pretoria voorsieningsgebied. WNK Verslag No. 705/1/97, 1997.
54 Jacobs, H.E., Geustyn, L.C., Loubser, B.F., Van Der Merwe, B. (2004). Estimating residential water demand in South Africa. J.S.Afr.Inst.Civ.Eng., 46(4), 2-13.
55 Van Zyl, J.E., Geustyn, L.C. (2007). Development of a national water consumption archive. WNK Verslag No. 1605/1/07.
56 Husselman, M.L., Van Zyl, J.E. (2006). Effect of stand size and income on residential water demand. J.S.Afr.Inst.Civ.Eng., 48(3), 12-16.
57 Van Zyl, H.J., Ilemobade, A.A., Van Zyl, J.E. (2008). An improved area-based guideline for domestic water demand estimation in South Africa. WaterSA 34(3), 381-392.
58 Jacobs, H.E., Geustyn, L.C., Loubser, B.F. (2006). Water – How is it used at home? Proceedings of the Water Institute of South Africa Biennial Conference, Durban, Suid-Afrika, 22-25 Mei 2006. http://www.ewisa.co.za/literature/
59 McKenzie R., Seago C. (2005). Benchmarking of leakage from water reticulation systems in South Africa. WNK Verslag No. TT 244/05, Maart 2005.
60 Bekker, A.P. (1980). Need for control of water consumption in low income housing projects – a technical report. Referaat 19 van Seminaar S239 (1980): Watervoorsienings- en dreineringsdienste in ontwikkelende lande, Georganiseer deur die Nasionale Bounavorsingsinstituut van die WNNR, 1-3.
61 Veck, G.A., Bill, M.R. (2000). Estimation of the residential price elasticity of demand for water by

means of a contingent evaluation approach. WNK Verslag No. 790/1/00, 2000.

62 Van Vuuren, D.S., Van Zyl H.J.D., Veck G.A., Bill M.R. (2004). Payment strategies and price elasticity of demand for water for different income groups in three selected urban areas. WNK Verslag No. 1296/1/04.

63 Howe C.W. en Linaweaver, F.P. (1967). The impact of price on residential water demand and its relation to system design and price structure. Water Resources Research, 1967, 3(1), pp13-32.

64 Austin L.M., Biermann S. (1998). Sustainable human settlements: Engineers and planners get their act together. 'n Referaat aangebied by die negende Jaarlikse SAICE Kongres, April 1998, Oos-London.

65 Schotfeldt, C.J. (1995a). The "Red Book": Background, purpose and way forward. Paper presented at Red Book Workshops. February and March, Bloemfontein, Cape Town, Pretoria, Durban, Port Elizabeth.

66 Schotfeldt, C.J. (1995b). Blue plus green equals red: Bridging the housing gap. Building South Africa, April 1995.