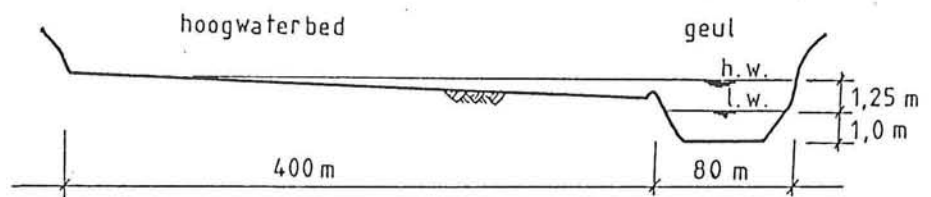


WATERVERLIES VAN DE RIVIER DE HADEJIA

augustus 1989

Arnold van der Kraan





1209
VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT
faculteit der Civiele Techniek
vakgroep waterbouwkunde

augustus 1989

WATERVERLIES VAN DE RIVIER DE HADEJIA

Arnold van der Kraan
Oranje Nassauplein 24
2635 HZ DEN HOORN

Begeleiders: Prof. ir. R. Brouwer
Prof. dr. ir. M. de Vries

INHOUD

SAMENVATTING	2
1 INLEIDING	3
2 RIVIER DE HADEJIA	5
2.1 Overzicht	5
2.2 Rivierbeschrijving	5
2.3 Hydrologische gegevens	10
3 THEORIEËN	15
3.1 Overzicht	15
3.1.1 Theorie van Bouwer	15
3.1.2 Theorie van Schropp	18
3.1.3 Methoden	19
3.2 Vergelijking van praktijkmetingen en theorieën	22
4 BEPALING VAN HET WATERVERLIES	25
4.1 Overzicht	25
4.2 Uitgangspunten en randvoorwaarden	27
4.3 Berekeningen	28
4.3.1 Verdamping	28
4.3.2 Ondergrondse afstroming	30
5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	34
BIJLAGEN A-1 - A-8	
SYMBOLEN	47
LITERATUURLIJST	

SAMENVATTING

De rivier de Hadejia in Nigeria stroomt over de goed waterdoorlatende bodem van het Tsjaadbekken. De grondwaterstand in het Tsjaadbekken ligt op 5 meter of dieper onder de rivierbodem. Er stroomt dus water af vanuit de rivier door de bodem naar het grondwater.

Het is belangrijk te weten wat de grootte van het waterverlies door de bodem is ten opzichte van het debiet in de rivier over een bepaald traject.

Met behulp van een aantal theorieën om het waterverlies door de bodem te bepalen is een schatting gemaakt van de hoeveelheid water die door de bodem afstroomt. De belangrijkste factoren daarbij zijn de doorlatendheid van de bodem, de afmetingen van het doorstroomoppervlak en de diepte van de grondwaterstand. Ook is er een schatting gemaakt van het waterverlies door verdamping. De afmetingen en het reliëf van het hoogwaterbed van de Hadejia bepalen, samen met het debiet, de oppervlakte van het overstroomde gebied. Met de afmetingen van het rivieroppervlak is daarmee de grote van het verdampingsoppervlak bepaald.

Uit de berekeningen blijkt dat het waterverlies van de Hadejia voor ruim 90% wordt veroorzaakt door afstroming door de bodem en slechts een klein gedeelte door verdamping.

1 INLEIDING

Rivieren kunnen een deel van hun afvoer verliezen door ondergrondse afstroming, met name in gebieden met een bodem van goed doorlatend materiaal, zoals zand en grind.

Als deze bodemlagen dik zijn en de grondwaterstand laag is, kunnen zelfs aanzienlijke verliezen optreden.

In Afrika komen verschillende van deze gebieden voor. Het Tsjaad-bekken op de grens van Nigeria en Niger bestaat uit een zand- en grindpakket tot 600 m dik. Hier doorheen stroomt in Nigeria de rivier de Hadejia. In het stroomgebied van de Hadejia is er een toenemende vraag naar water voor irrigatieprojecten.

De grondwaterstand in het gebied bevindt zich op een diepte van 10 meter of meer onder het maaiveld. Aftappen van water vanuit de Hadejia is eenvoudiger en goedkoper dan het oppompen van grondwater. Het aftappen kan echter leiden tot een tekort aan afvoer op verder stroomafwaarts gelegen trajecten. De hoeveelheid water die aan de rivier onttrokken kan worden is dus beperkt. Niet alle potentiële irrigatiegebieden kunnen van (voldoende) rivierwater worden voorzien.

Het is belangrijk te weten wat de grootte van de verliezen zijn door ondergrondse afstroming en verdamping, en de invloed daarvan op het debiet dat door de rivier stroomt. Eventuele maatregelen om het waterverlies door de bodem te beperken hangen daarvan af.

In hoofdstuk 2 wordt de Hadejia beschreven met de belangrijkste kenmerken van de rivier en de hydrologische gegevens. In hoofdstuk 3 wordt een aantal theorieën behandeld waarmee het waterverlies door de bodem bepaald kan worden.

Er zijn onvoldoende gegevens beschikbaar om het waterverlies door de bodem van de Hadejia nauwkeurig te bepalen. In hoofdstuk 4 is een schatting gemaakt voor het waterverlies door verdamping en ondergrondse afstroming. In hoofdstuk 5 worden conclusies getrokken uit de berekende waterverliezen, en worden er aanbevelingen gedaan om het waterverlies door de bodem nauwkeuriger te kunnen bepalen.

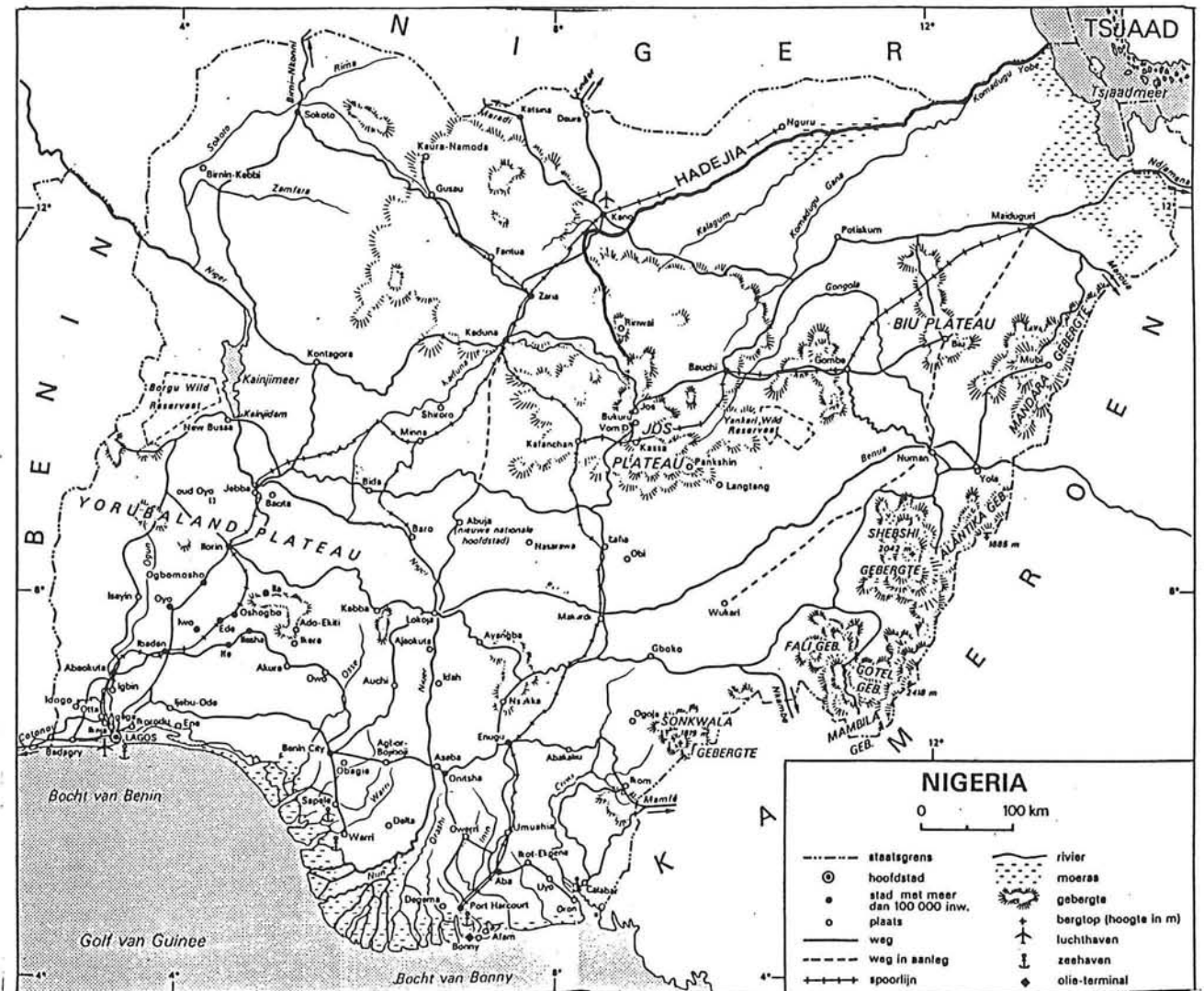


fig. 1.1 Overzichtskaart

2 RIVIER DE HADEJIA

2.1 Overzicht

De rivier de Hadejia stroomt door het Tsjaadbekken in het noordoosten van Nigeria. De rivier ontspringt ten zuiden van de stad Kano in het Basement Complex, een granieten rotsformatie, en stroomt uit in het Tsjaadmeer op de grens van Nigeria en Tsjaad. Het Tsjaadbekken bestaat uit een alluviale sedimentlaag, de Tsjaadformatie, van klei-, zand-, en grindlagen met een dikte tot maximaal 600 meter.

De toplaag van de Tsjaadformatie bestaat uit een sterk waterdoorlatende laag van zand.

In par 2.2 wordt het verloop van de rivier beschreven, met de bijzondere kenmerken, die het beeld van de rivier bepalen. In par 2.3 volgen de gegevens van neerslag, afvoer en verdamping.

2.2 Rivierbeschrijving

De Hadejia begint stroomopwaarts van de stad Wudil, waar de rivier de Kano samenkomt met de rivier de Challawa. De Kano is de grootste bronrivier van de Hadejia en ontspringt 200 kilometer ten zuiden van de stad Kano in het Basement Complex.

Het Basement Complex is een granieten rotsformatie met een sterk verweerde toplaag en ligt op een hoogte van 500 meter boven zeeniveau.

Een belangrijke zijrivier van de Challawa is de Walari. Samen met de Kano vormen zij de belangrijkste aanvoerstromen van de Hadejia.

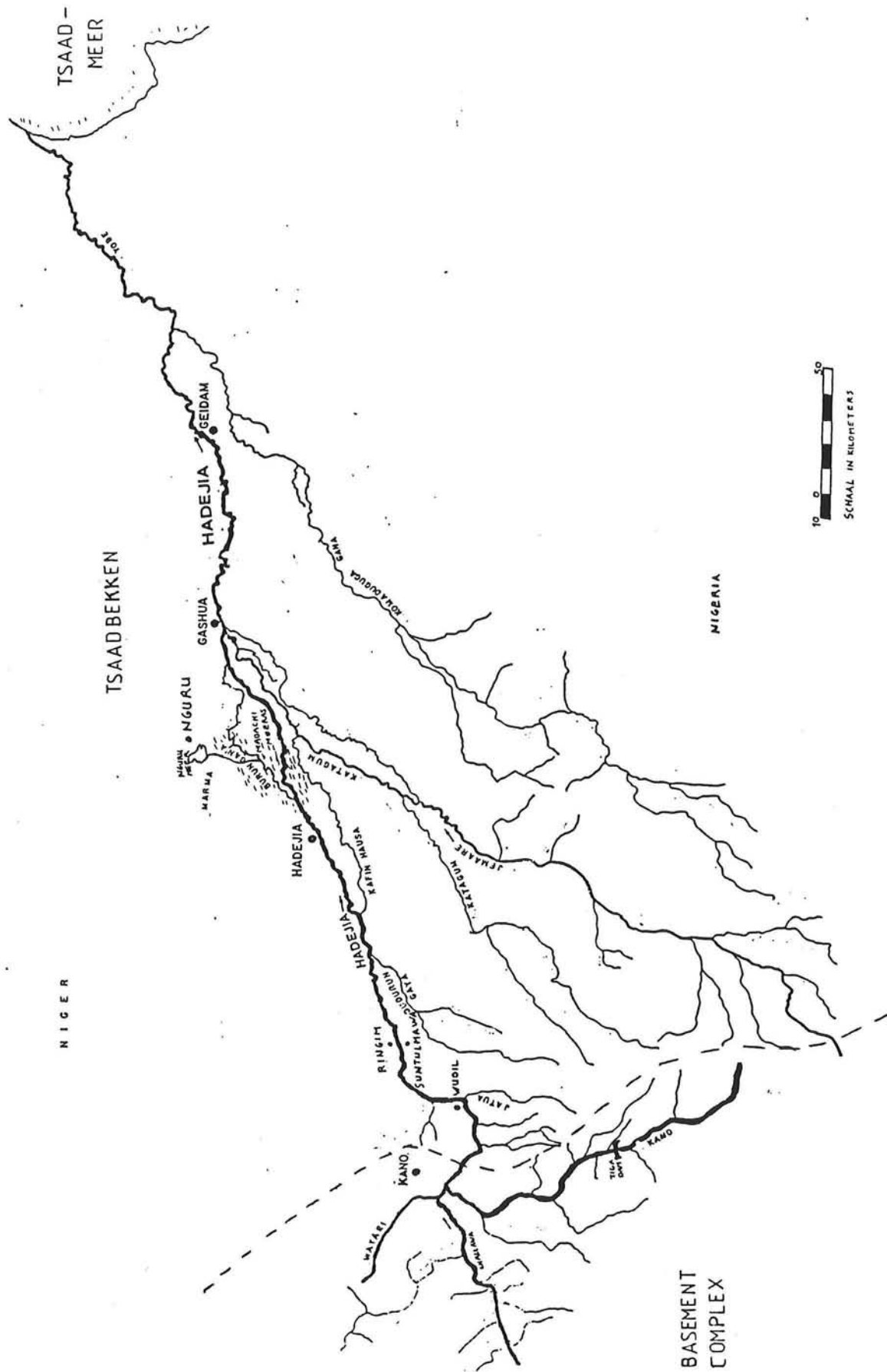


fig. 2.1 Overzicht van de rivier de Hadejia

De Hadejia is een regenrivier, die het grootste gedeelte van het jaarlijkse debiet afvoert in de regentijd van mei tot en met september. (fig. 2.2)

Waar de Challawa uitstroomt in de Kano is het Basement Complex al bedekt met een dikke laag sediment, door de rivieren zelf afgezet.

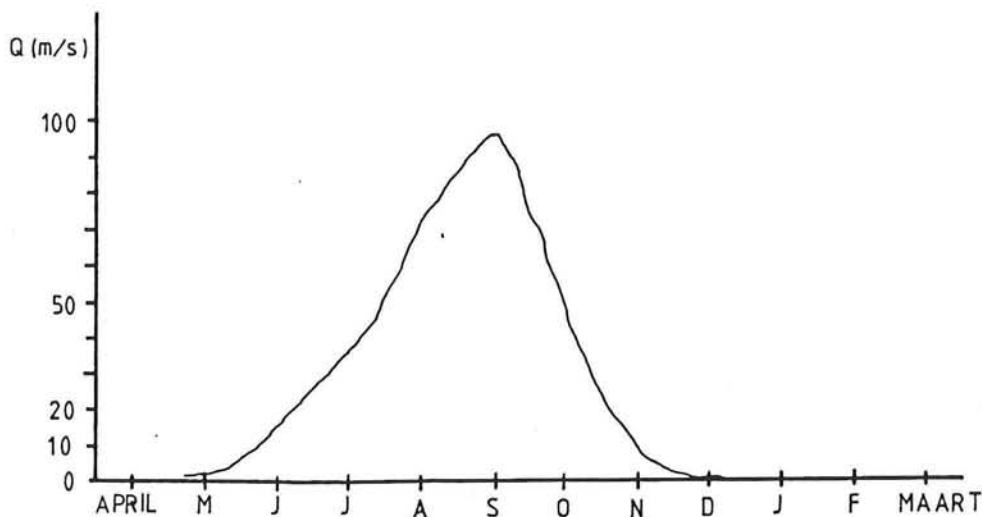


fig. 2.2 vb. afvoerkromme van de Hadejia nabij Hadejia
afvoer in maandgemiddelden

Door de flauwe bodemhellingen, de grote doorlatendheid van de bodem en de diepe grondwaterstand stroomt het regenwater van het Tsjaadbekken niet naar de rivier af en is de bijdrage van de regen aan de rivierafvoer nagenoeg gereduceerd tot nul.

In 1974 is de Tiga-dam in de Kano gereed gekomen, waarachter zich een stuwwaai heeft gevormd met een oppervlakte van circa 160 vierkante kilometer en een inhoud van circa 1600 miljoen kubieke meter.

Ook in de Challawa en de Watari zijn stuwwaaien gepland of in aanbouw.

Vanaf Wudil stroomt de rivier over een sedimentpakket met een dikte van enkele tientallen meters, oplopend tot ruim honderd meter. Dat gebied wordt het Tsjaadbekken genoemd.

De rivier is tot aan Ringim een zandbankenrivier met vlechtende gedeelten. Het hoogwaterbed wordt hier omgeven door natuurlijk gevormde dijken.

Het bodemmateriaal van de rivier bestaat voornamelijk uit zand, waarvan de fijnste fracties zijn afgezet op de zandbanken.

Stroomopwaarts van Ringim stroomt de rivier de Gaya uit in de Hadejia. Verderop splitst de rivier zich in tweeën door een hoge, brede zandduin in de rivier. De noordelijke tak houdt de naam Hadejia en de zuidelijke tak wordt de Kefin Hausa genoemd. Van het totale debiet stroomt circa 25 % weg via de Kefin Hausa. Deze rivier stroomt uiteindelijk uit in de rivier de Katagum. Een deel van het debiet is dan verloren gegaan via ondergrondse afstroming, verdamping en uitstroming via verschillende geultjes in hoefijzermeertjes. Die hoefijzermeertjes zijn ontstaan door kortsluiting van meanderbochten.

De Katagum is even stroomopwaarts van Gashua een belangrijke instromende zijrivier van de Hadejia.

De Hadejia heeft vanaf de splitsing met de Kefin Hausa tot circa 30 kilometer stroomafwaarts van de stad Hadejia een enkelvoudige geul zonder belangrijke toe- of afvoer van water via zijrivieren. Ten zuiden van Madachi stroomt de rivier echter uit in een omvangrijk moerasgebied, van waaruit drie afzonderlijke rivieren stromen: de Marma, de Burum Gana en de Hadejia met een geschatte afvoerverdeling van respectievelijk 40-, 10- en 50% van het totale debiet.

De Marma stroomt door verschillende moerasgebieden uiteindelijk uit in het Nguru meer ten zuiden van de stad Nguru.

Van het water van de Marma stroomt niets meer terug in de Hadejia.

Het water van de Burum Gana wordt intensief gebruikt voor irrigatie van het omliggende land. Het restant van het water stroomt weer terug in de Hadejia circa 50 kilometer stroomopwaarts van Gashua.

Verder stroomopwaarts, nog voor Gashua, komt de Katagum uit in de Hadejia. Voor dat punt stromen die twee rivieren over een afstand van 50 kilometer parallel aan elkaar, maar blijven gescheiden door natuurlijk gevormde dijken.

Vanaf Gashua wordt het hoogwaterbed bepaald door de vele moerassen, hoefijzermeertjes en oude rivierbeddingen die in de regentijd met hoog water vol lopen. Van het water dat in de

terreindepressies achterblijft stroomt slechts een klein gedeelte weer terug in de rivier bij laag water. Door de afzetting van de fijnere sedimentdeeltjes op het hoogwaterbed is er een toplaag gevormd met een hoge intreeweerstand, waardoor het water op het hoogwaterbed voornamelijk via verdamping verloren gaat en niet door ondergrondse afstroming.

Stroomafwaarts van Geidam stroomt de Hadejia samen met de rivier de Komadugu Gana en verandert de naam in de rivier de Yobe. De naam Yobe wordt ook wel gebruikt om het hele rivierencomplex aan te duiden. De Yobe stroomt uit in het Tsjaadmeer via een brede, ondiepe delta.

De totale lengte van de rivier vanaf de oorsprong van de Challawa tot aan het Tsjaadmeer bedraagt circa 1100 kilometer. Het verval bedraagt in totaal ongeveer 250 meter. De bodemhelling varieert van $1 \cdot 10^{-3}$ in de bovenloop stroomopwaarts van Wudil tot kleiner dan $1 \cdot 10^{-4}$ in de benedenloop in het meanderende gedeelte. De loop van de rivier is nog steeds aan verandering onderhevig. Er zijn potentiële kortsluitingen in meanderbochten in de rivier en het zand en de klei zijn gemakkelijk erodeerbaar.

De dikte van het klei-, zand- en grindpakket van de Tsjaadformatie, waarover de Hadejia stroomt, varieert van 20 meter te Wudil tot meer dan 120 meter te Gashua.

De toplaag van de Tsjaadformatie bestaat langs de Hadejia voornamelijk uit zand met een dikte van circa 20 meter. Daaronder bevinden zich afwisselend zand- en kleilagen, met ook enkele grindlagen. (fig. 2.3)

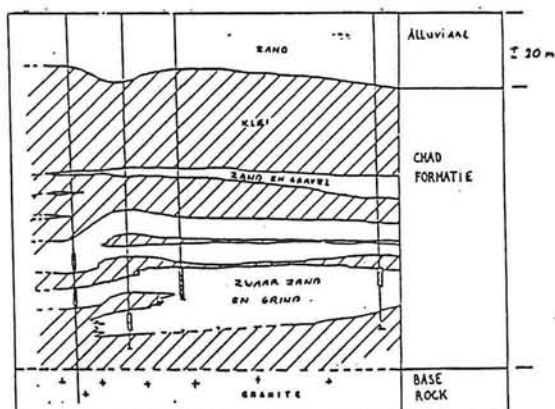


fig. 2.3 Voorbeeld van het geologisch profiel. (Schoorl, 1986)

In de hoogwaterbedden en de gedeelten tussen twee dicht bij elkaar stromende rivieren bestaat de toplaag echter uit een slecht waterdoorlatende kleilaag, afgezet tijdens hoogwater van de rivieren.

De grondwaterstand varieert van circa vijf meter diep onder de rivier tot meer dan 50 meter op een afstand van 30 kilometer ten noorden van de Hadejia. (fig. 2.4)

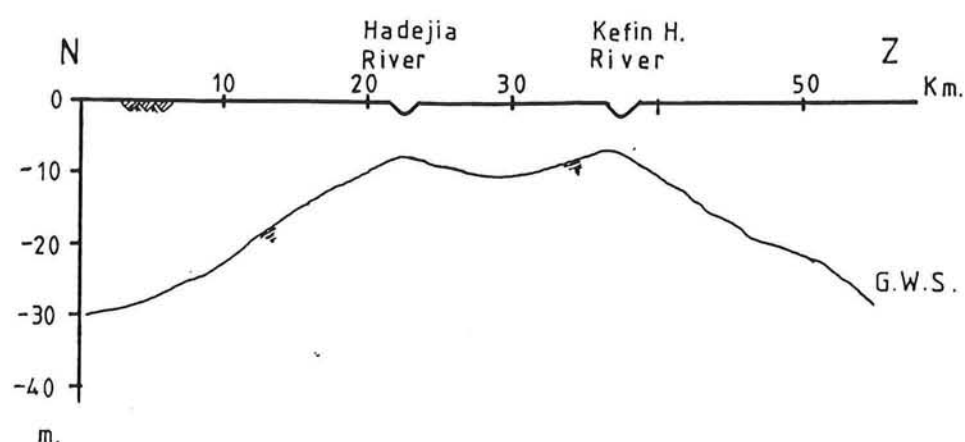


fig. 2.4 Verloop van de grondwaterstand ter hoogte van Hadejia (Schultz, 1986)

2.3 Hydrologische gegevens

Een hydrologisch jaar loopt in Nigeria van april tot en met maart van het jaar daarop.

De afvoer van de Hadejia wisselt sterk over het verloop van de rivier. (fig 2.5) Dat wordt veroorzaakt door de vele zijrivieren en riviertjes die in of uit de Hadejia stromen, de verdamping van vooral het water op het hoogwaterbed en de ondergrondse afstroming door de sterk doorlatende bodem. Ook fluctueert de afvoer op één plaats per dag, voornamelijk ten gevolge van de regenval. (fig. 2.5)

$1 \text{ m}^2 = 35,34 \text{ CFS (cubic feet per second)}$

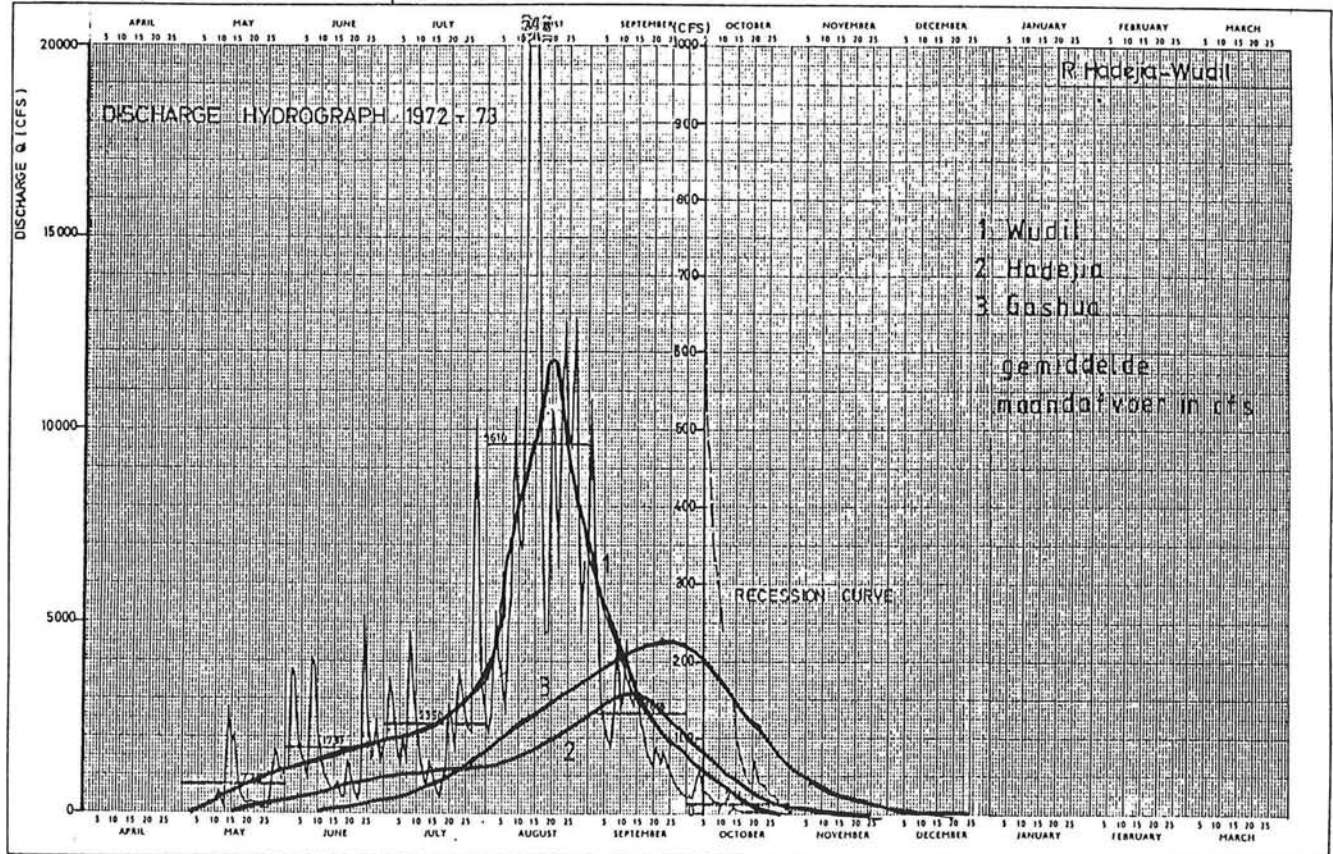


fig. 2.5 Afvoerkromme van de Hadejia te Wudil

Ingetekend de afvoerkrommen te Hadejia en Geidam

De belangrijkste aanvoer van de rivier komt van de regenval in het Basement Complex ten zuiden van Kano.

Zoals in paragraaf 2.2 beschreven is, wordt de toevoer van regenwater naar de rivier nagenoeg gereduceerd tot nul als de rivier uitstroomt over het Tsjaadbekken. De top in de afvoer komt stroomafwaarts dan ook later in het jaar, mede veroorzaakt door het vasthouden van water op het hoogwaterbed.

De afvoer van de Hadejia is op vijf verschillende plaatsen gemeten: te Wudil, Suntulmawa, Hadejia, Gashua en Geidam.

De belangrijkste kenmerken van de Hadejia zijn het geringe verval, het brede hoogwaterbed met vele oude beddingen, hoefijzermeertjes en moerassen en de vele in- en uitstromende rivieren.

Gedurende het regenseizoen zorgen de genoemde kenmerken voor een ingewikkeld afvoersysteem van het regenwater.

Fig. 2.6 geeft de overstroomde gebieden weer tijdens het natte jaar 1974-1975, wat eind september leidde tot een overstroomd gebied van circa 720 vierkante kilometer over het traject Wudil-Gashua. Bij een rivierlengte van circa 500 kilometer geeft dit een gemiddelde breedte van 1,4 kilometer overstroomd land.

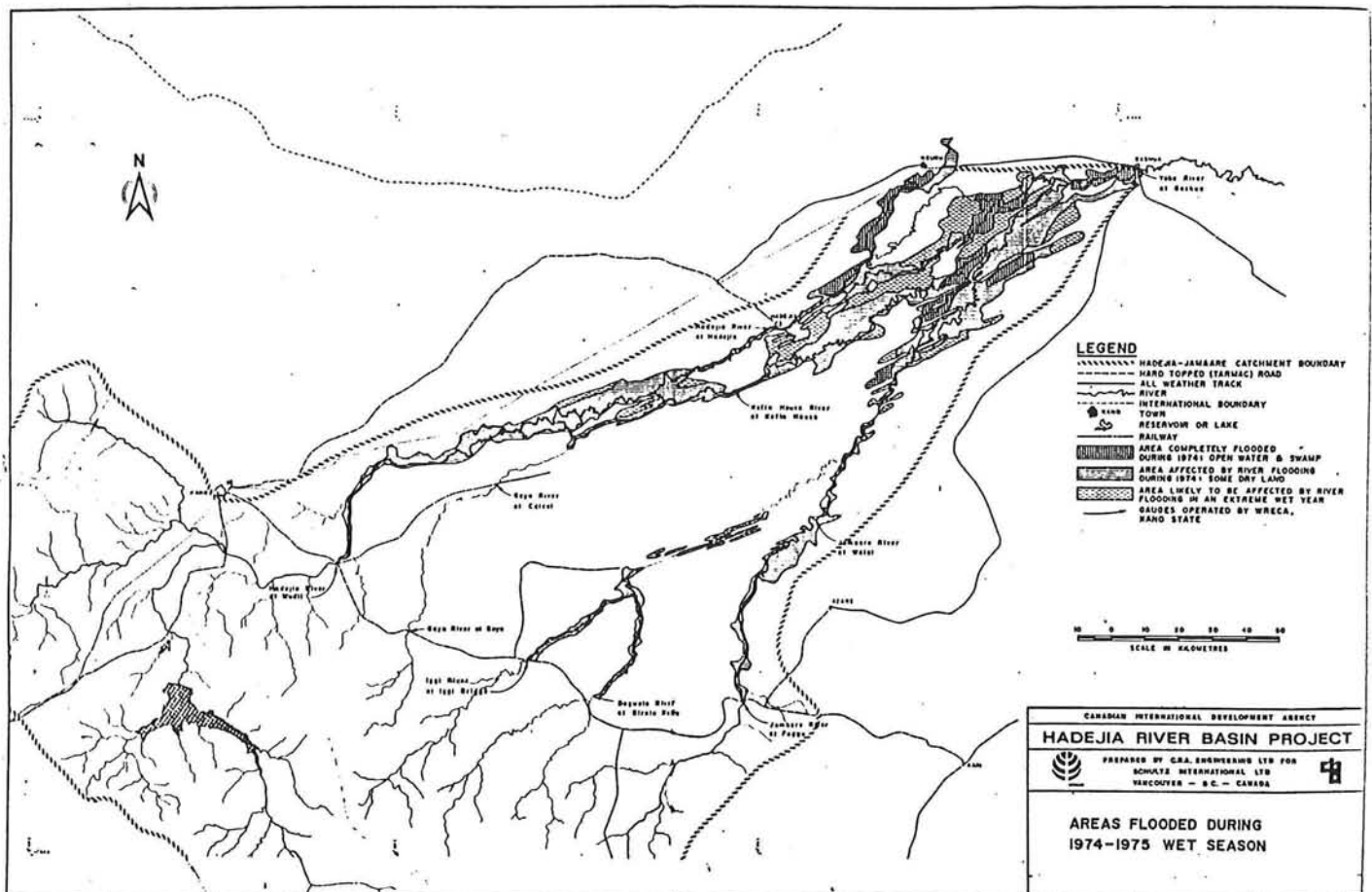


fig. 2.6 Overstroomde gebieden in het regenjaar 1974-1975

De regenval is de belangrijkste bron van de rivierafvoer. Tabel 2.1 geeft voor Kano de gemiddelde regenval per maand in verschillende jaren.

KANO AIRPORT METEOROLOGICAL STATION - MONTHLY RAINFALL DATA (IN mm)

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL AVERAGE (1964-72)
1964	0	0	0	0.5	60.7	148.3	206.7	258.8	72.1	0	1.6	0	-
1965	0	0	0	0	0.2	247.4	269.5	270.8	109.6	11.7	0	0	-
1966	0	0	0	18.0	111.2	93.2	95.5	324.6	173.0	2.3	0	0	-
1967	0	0	0	-	-	-	251.0	228.1	47.2	0	0	0	-
1968	0	0	0	104.6	75.2	147.3	113.5	122.9	47.2	0	0	0	-
1969	0	0	0	8.6	20.1	191.3	236.5	285.7	98.5	70.4	0	0	-
1970	0	0	0	17.0	55.1	329.7	-	234.4	3.0	0	0	0	-
1971	0	0	0	3.3	88.6	24.2	173.9	222.9	200.7	0	0	0	-
1972	0	0	0	3.1	105.6	127.9	71.5	235.8	44.7	5.1	0	0	-
1973	0	0	0	0	3.1	39.0	164.4	171.8	35.8	0	0	0	-
TOTAL	0	0	0	152.1	499.8	1348.3	1582.5	2355.8	820.8	89.5	1.5	0	-
AVERAGE	0	0	0	17.0	55.5	149.8	175.8	235.6	82.1	8.9	0.1	0	724.8

Source: Meteorological Dept., Kano.

Tabel 2.1 Gemiddelde maandelijkse neerslag in mm.

Ook verdamping speelt een belangrijke rol, vooral op de hoogwaterbedden, waar de ondergrondse afstroming geremd wordt door de geringe waterdoorlatendheid van de kleilaag. Het waterverlies komt hier dus voornamelijk voor rekening van de verdamping. Tabel 2.2 geeft voor Kano de gemiddelde maandelijkse verdamping.

AVERAGE OF THE MONTHLY EVAPORATION AT KANO (1959-1964)

Month	Recorded Evaporation millimetres	Pan Factor %	Lake Evaporation millimetres
January	273.3	60	164.0
February	308.6	57	175.9
March	341.0	55	209.6
April	401.6	58	232.9
May	375.4	64	240.3
June	303.0	71	215.1
July	206.5	72	148.7
August	177.5	76	134.9
September	205.0	78	159.9
October	257.5	68	195.5
November	290.8	60	174.5
December	270.3	60	162.2
TOTAL	3480.5		2213.5

Source: Detailed Feasibility, Jikara River Irrigation Project by
Dar Al-Rundash, Consultants.

Tabel 2.2 Gemiddelde maandelijkse verdamping in mm/maand

De verdamping is gemeten met behulp van een Tank'A'-pan. Dat is een ronde stalen verdampingbak, met een diameter van 1,22 m (4 feet) en een hoogte van 254 mm (10 inch), geplaatst op een houten rooster, met een dikte van 174 mm (6 inch). Het rooster staat op maaiveldhoogte.

De directe en langdurige zonneschijn op de metalen bak maakt de bak veel heter dan in gematigder klimaatstreken. Dat geeft een verhoging van de gemeten verdamping. Om dat tegen te gaan is de buitenkant van de bak geïsoleerd, maar daardoor ontstaat een afwijking van de standaardisatie. De correctiefactor van gemeten verdamping (E_a) naar open water verdamping (E_o), de zogenaamde pancoëfficient, is daarop aangepast. De potentiële verdamping (E_p) is gelijk aan de open water verdamping (E_o) vermenigvuldigt met een reductiefactor α_v . α_v is in de regel < 1 (bv. 0,7), maar kan oplopen tot 1,1 à 1,2 in het geval van vegetatie boven een wateroppervlak. De werkelijke verdamping (E_w) is kleiner of gelijk aan de potentiële verdamping, afhankelijk van de hoeveelheid beschikbaar water.

$$\text{In formule : } E_w \leq E_p = \alpha_v \cdot E_o \quad (2.1)$$

Verdampingberekeningen met behulp van de formule van Penman (Penman, 1948) over de jaren 1950-1959 geven een gemiddelde verdamping te Kano van 1896 mm/jaar voor kort gras op een open wateroppervlak. (Balek, 1977)

Als beide methoden juist zijn toegepast en de berekende verdampingswaarden representatief zijn voor een langere periode dan is $\alpha_v = 0,85$.



3 THEORIEËN

3.1 Overzicht

Er zijn weinig gegevens bekend betreffende ondergrondse afstroming uit waterlopen. Theorieën hiervoor zijn ontwikkeld door Bouwer (1965) en Schropp (1987), terwijl French (1985) en Linsley/Franzini (1979) een aantal methoden aangeven om het waterverlies door de bodem te bepalen. Chifana consultants (1986) geeft een formule voor de bepaling van het waterverlies door de bodem van de Hadejia. De bovengenoemde theorieën en methoden worden in de volgende paragrafen behandeld. In paragraaf 3.2 worden deze theorieën en methoden voor wat betreft de praktische toepassing met elkaar vergeleken.

3.1.1 Theorie van Bouwer

Bouwer (1965) heeft een theorie ontwikkeld voor de bepaling van het waterverlies uit kanalen, stromend over een goed waterdoorlatende bodem met een grondwaterstand lager dan de rivierwaterstand.

Hij onderscheidde daarbij 4 theoretische gevallen.

(fig. 3.1, 3.2)

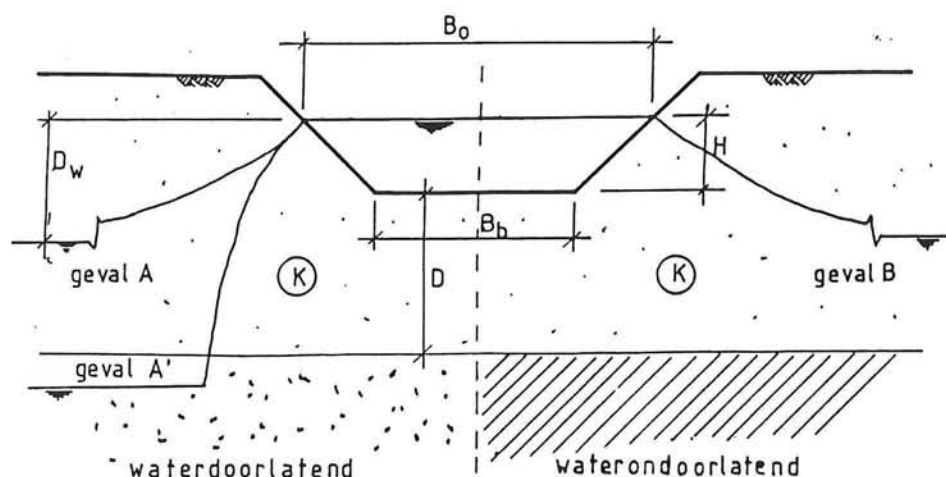


fig. 3.1 Gevallen A, A', B

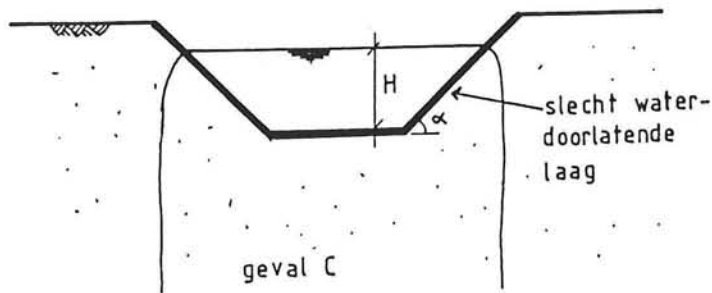


fig. 3.2 Geval C

geval A : afstroming van water door een uniforme bodem met daaronder een grondlaag met een grotere waterdoorlatendheid. (fig. 3.1)

A' Als de grondwaterstand onder de top van de onderliggende laag ligt is er sprake van afstroming naar een drainage laag. Dat wordt geval A' genoemd.

geval B : afstroming van water door een uniforme bodem met daaronder een ondoorlatende laag. (fig. 3.1)

geval C : afstroming van water uit een kanaal met een dunne, slecht waterdoorlatende bodem. (fig. 3.2)

Oplossingen voor de gevallen A en B zijn verkregen met een electrisch analogon, waarbij de weerstand werd gerelateerd aan een bepaalde k -waarde. (fig. 3.3)

k : de doorlatendheidscoëfficiënt volgens de wet van Darcy (o.a. Bear 1969)

Aannamen:- De helling van de grondwaterstand wordt nul verondersteld op een afstand die groter is dan tien maal de waterbreedte.

- Er is uitgegaan van stationaire toestanden. Deze komen echter zelden voor. Je krijgt dus een momentopname voor een quasi-stationaire toestand.

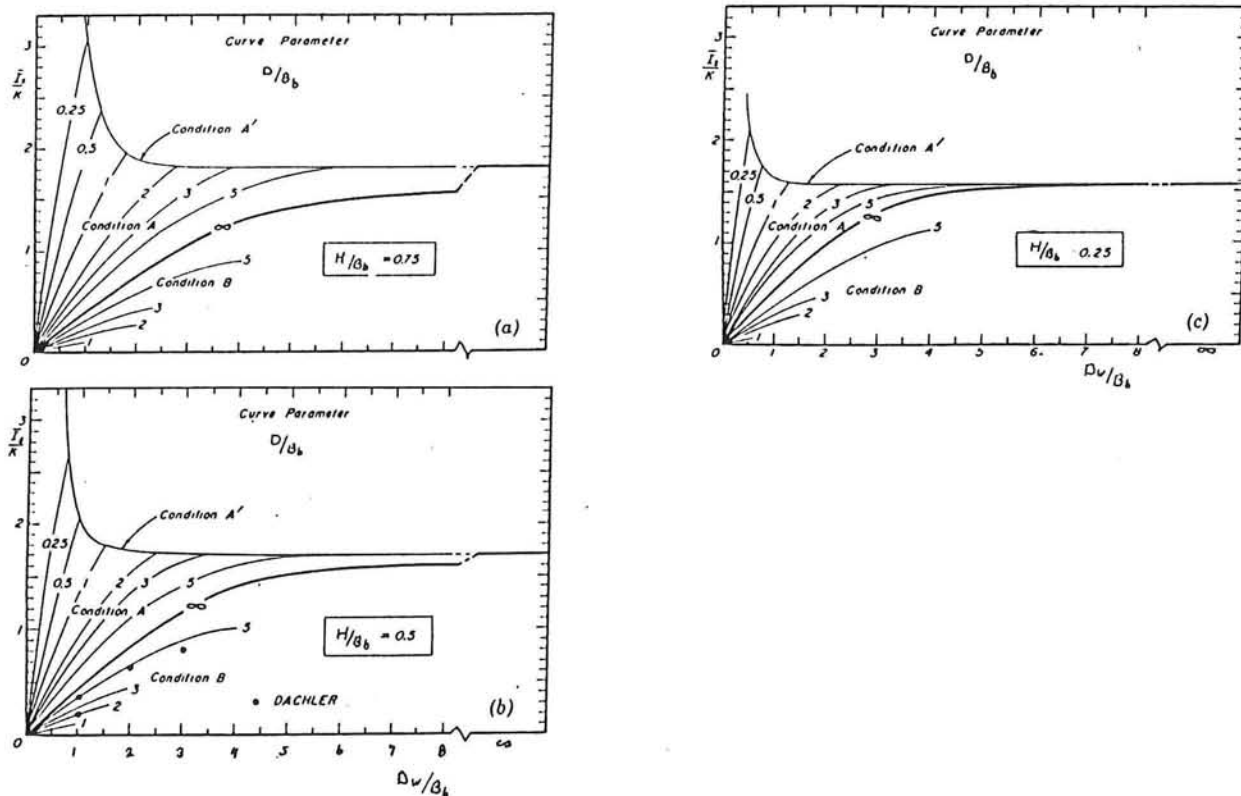


fig. 3.3 Grootte van het waterverlies.

I_s = waterverlies per m^2 wateroppervlak in m/dag

De grootte van het waterverlies hangt af van de volgende parameters: H/B_b = verhouding tussen waterdiepte en bodembreedte

D_w/B_b = verhouding tussen diepte grondwaterstand onder rivierwaterstand en bodembreedte

D/B_b = verhouding tussen diepte tweede laag onder rivierbodem en bodembreedte

Bij een brede, ondiepe rivier ($B_b \gg H$, $B_o \approx B_b$) gaat de waarde I_s/k naar 1, wat uiteindelijk betekent dat de wet van Darcy geldt. Deze theorie is vooral toegespitst op kleine waterlopen met een diepte/breedte-verhouding groter dan 0,25.

De oplossing voor geval C is verkregen met behulp van analytische methoden voor stroming door een dichtgeslibte laag op een goed waterdoorlatende ondergrond. Deze oplossing wordt hier verder niet behandeld.

3.1.2 Theorie van Schropp

De theorie van Schropp (1987) is ontwikkeld uit een impuls- en een massabalans voor waterlopen, met daarin een extra term voor het waterverlies door de bodem. Dat leidde tot de volgende differentiaalvergelijking voor de waterdiepte a als functie van de afstand x .

$$\frac{da}{dx} = \frac{i_B - \frac{q^2}{C a^3} - \frac{\xi q k}{2 ga} \cdot \frac{dq}{dx}}{1 - \frac{q^2}{ga^3}} \quad (3.1)$$

$$\text{met: } \frac{dq}{dx} = -(\alpha \cdot a^\beta + \tau) \quad \text{volgens Darcy} \quad (3.2)$$

$$\text{geldt: } \frac{dq}{dx} = -k \cdot \left(\frac{1}{d} \cdot a - 1 \right) \quad (3.3)$$

- a = waterdiepte (m)
- d = dikte filterlaag (m)
- x = ordinaat in stroomrichting
- i_B = bodemhelling
- q = debiet (m/s)
- C = bodemruwheid (m^{1/2}/s)
- ξ = maat voor de horizontale filtersnelheid
- g = zwaartekrachtversnelling (m/s²)

Voor deze differentiaalvergelijking gelden de volgende vereenvoudigingen en aannamen:

vereenvoudigingen:

1. voor $x < 0$: $Q = Q_0 = \text{constant}$
2. een vaste, vlakke bodem (d.w.z. geen sedimenttransport)
3. kleine bodemhelling i_B ($\cos i_B \approx 1$, $\sin i_B \approx 0$)
4. constante breedte B
5. geen zijdelingse afstroming

aannamen:

6. overal hydrostatische drukverdeling
7. constante dichtheid van het water ρ
8. de snelheid u is constant over het dwarsprofiel $\bar{u}$
9. turbulente stroming over het hele traject
10. laminaire stroming door het filterbed

Met deze differentiaalvergelijking kan een stuwkromme worden berekend. De theorie is getoetst met behulp van een proefopstelling waarin een stuwkromme werd gemeten bij een gegeven aanstroomdebiet. (fig. 3.4)

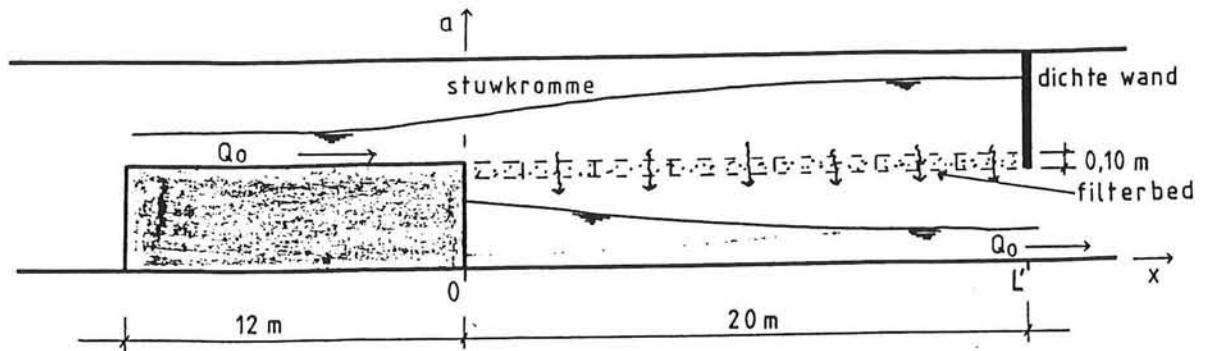


fig. 3.4 Experimentele opstelling

Het instroomdebiet Q_0 stroomt over een ondoorlatende bodem voor $x \leq 0$. Stroomafwaarts stroomt het water over een filterbed met een lengte L' (20 meter) tot de wand, met een dikte d van 0,10 meter en met een doorlatendheid k . Boven het filterbed stelt zich een stationaire stuwkromme in. Het verloop van de waterdiepte van de stuwkromme wordt opgemeten. Het water dat door het filterbed zakt (Q_0) kan ongehinderd afstromen.

De theorie van Schropp is vooral bedoeld om de stuwkromme van de waterloop te bepalen met afnemende afvoer door ondergrondse afstroming. In dit rapport is vooral de grootte van de ondergrondse afstroming belangrijk. De toepasbaarheid van de theorie om, met de gemeten stuwkromme als gegeven voor de differentiaalvergelijking, het waterverlies te bepalen is onbekend.

3.1.3 Methoden

Door French (1985) en Linsley/Franzini (1979) worden een zestal methoden aangegeven om het waterverlies te bepalen.

Die methoden zijn:

1. De zogenaamde vijvermethode. Er wordt tijdelijk een riviertraject afgesloten met bijvoorbeeld waterdichte dijken. Het volume is bekend en rekening houdend met verdampingsverliezen kan het waterverlies door de bodem bepaald worden.
2. Een schatting maken van het waterverlies door de bodem aan de hand van zorgvuldig gemeten in- en uitstroom-debieten van een riviertraject.
3. Het graven van een teststuk op de plaats waar een kanaal gepland is. Daar kan de vijvermethode op worden toegepast.
4. Meting van de doorlatendheid met een seepage meter. Een stalen bak met een open onderkant wordt op de bodem van de rivier geplaatst. Via een gat aan de bovenkant is de bak met een slang verbonden aan een waterzak, die onderwater gehouden wordt. Het verlies van water uit de zak met bekend volume geeft het waterverlies door de bodem over het bekende oppervlak van de metalen bak. (fig. 3.5)
5. Een schatting maken van het waterverlies door de bodem met behulp van historische metingen voor het waterverlies. (Tabel 3.1)
6. het berekenen van het waterverlies door de bodem met behulp van analytische methoden voor waterstroming door poreus materiaal. (o.a. Bouwer, 1965; Chifana consultants, 1986)

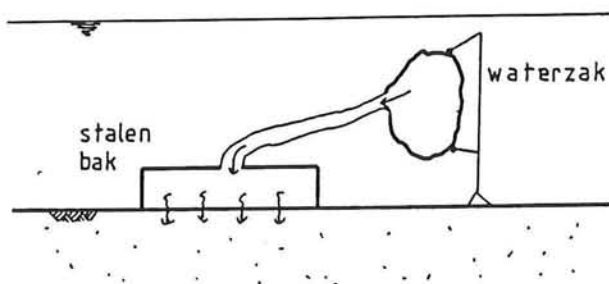


fig. 3.5 Seepage meter

materiaal	I (m/dag) (waterverlies)
klei	0,05 - 0,1
klei en zand	0,2 - 0,3
fijn zand	0,3 - 0,5
zand	0,5 - 0,7
grof zand	0,7 - 0,9
grind	1,0 - 2,0

Tabel 3.1 Waterverlies door de bodem (o.a. French 1985)

Opmerkingen:

- ad 1. Deze methode is zeer ingrijpend in het rivierregime, en zal daardoor slechts zelden worden toegepast.
- ad 2. Deze methode is minder betrouwbaar dan methode 1. Als het waterverlies door de bodem slechts een klein percentage is van het debiet, zal een kleine fout in de debietmetingen een relatief grote fout geven voor het waterverlies.
- ad 3. Een simpele en vrij nauwkeurige methode. Eventuele maatregelen om het waterverlies in het nieuwe kanaal te beperken kunnen eenvoudig worden genomen.
- ad 4. Metingen met de seepage meter moeten op verschillende plaatsen worden gedaan om de invloed van lokale afwijkingen in de doorlatendheid te beperken. De invloed van zijdelingse afstroming is met deze methode moeilijk te bepalen.
- ad 5. De herkomst van Tabel 3.1 is niet achterhaald. De omstandigheid tijdens het meten en de meetmethode zijn onbekend. De metingen komen uit Amerika en de gegevens zijn niet zonder meer toepasbaar voor de Hadejia.

ad 6. Chifana consultants (1986) geeft de volgende formule voor de bepaling van het waterverlies door de bodem van de Hadejia .

$$I = 5,0 \cdot Q^{0,0625} \quad (3.4)$$

Q = debiet in cfs (cubic feet per second)

$$1 \text{ cfs} = 0,0283 \text{ m}^3/\text{s}$$

I = waterverlies in cfs per miljoen vierkante feet (0,3048 m) van de natte omtrek

Bij deze formule is geen toelichting gegeven hoe de formule bepaald is.

3.2 Vergelijking van praktijkmetingen en theorieën

De behandelde theorieën van Schropp en Bouwer gaan uit van een doorlatendheid van de bodem gelijk aan de k-waarde van Darcy. Bij Schropp wordt gewerkt met een verticale afstroming met een eventuele horizontale component in de stroomrichting. Bouwer houdt rekening met een horizontale component loodrecht op de stroomrichting. Dat kan een belangrijke toename van het waterverlies van de bodem geven.

De praktijkmetingen die zijn aangehaald door French en Linsley /Franzini geven een afwijkend beeld te zien ten opzichte van de k-waarde. (Tabel 3.2)

De vergrote afstroming door een ondergrond van klei ten opzichte van de afstroming volgens Darcy is zeer opvallend.

materiaal	gemidd. korrel- diameter mm	k - waarde m/dag	I (Tabel 3.1) m/dag
klei	0,005	$1 \cdot 10^{-4}$	0,05 - 0,1
zand	0,1 - 1,0	0,1 - 10	0,3 - 0,9
grind	2,0	250 - 500	1,0 - 2,0

Tabel 3.2 Vergelijking k-waarde met I-waarde uit Tabel 3.1

In droge kleilagen kunnen diepe scheuren ontstaan. De klei zelf is slecht waterdoorlatend. De waterdoorlatendheid wordt vrijwel geheel bepaald door de scheuren. Het is moeilijk te bepalen hoever de scheuren doorlopen. In sterk gescheurde klei (bv. in de Ijsselmeerpolders) kan de waterdoorlatendheidsfactor oplopen tot meer dan 10 m/dag. Dat kan eventueel de sterk vergote waterafvoer door klei in de praktijkmetingen verklaren.

De k-waarde van zand komt redelijk overeen met de praktijkmetingen op zand. De k-waarde van grind is juist weer hoger dan de doorlatendheid die via de praktijkmetingen is bepaald. Een eventuele oorzaak daarvan kan liggen in het optreden van stroming door een onverzadigde bodem, waardoor de k-waarde sterk terugloopt. (fig 3.6)

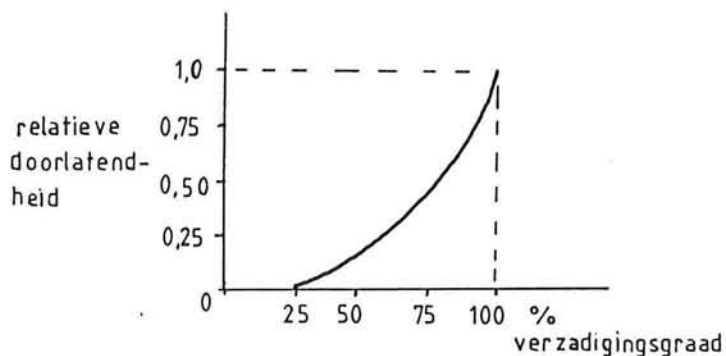


fig. 3.6 vb. doorlatendheid bij onverzadigde bodem (Bear, 1972)

Het toegevoerde water wordt eerst gebruikt voor een verhoging van de verzadigingsgraad van de bodem, waardoor het water dat door de bodem afstroomt wordt beperkt.

De bodem van de Hadejia bestaat voornamelijk uit zand met een gemiddelde diameter D_{50} van 0,3 millimeter. De praktijkwaarden komen dan redelijk overeen met de k-waarde ($k = \pm 1,0$ m/dag). De grootte van het debiet heeft in formule (3.4) slechts een geringe invloed op de grootte van het waterverlies per m^2 wateroppervlak. De I - waarde varieert tussen de 0,15 en 0,25 m/dag.

Een schematisch profiel van de Hadejia is gegeven in figuur 3.7.

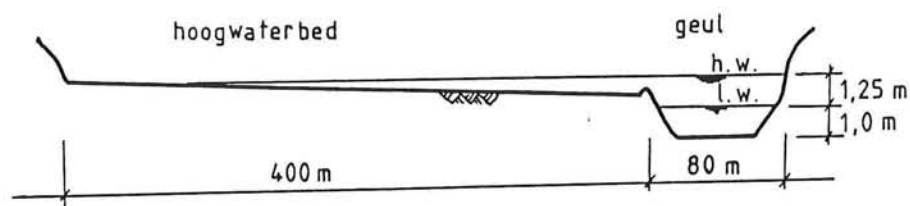


fig. 3.7 Schematisch dwarsprofiel van de Hadejia.

Bouwer geeft voor de genoemde geulafmetingen geen oplossing. De grote breedte t.o.v. de diepte geeft echter een nagenoeg volledige verticale afstroming, en de invloed van zijdelingse afstroming is dan verwaarloosbaar.

4 BEPALING VAN HET WATERVERLIES

4.1 Overzicht

Om de theorieën en de toepasbaarheid van de praktijkmetingen te kunnen toetsen zijn van de Hadejia de volgende gegevens nodig:

- 1 - lengteprofiel van een rivierstuk
- 2 - breedteprofiel van een rivierstuk
- 3 - instroom- en uitstroomdebiet
- 4 - waterbreedte
- 5 - waterdiepte
- 6 - grondwaterstand
- 7 - bodemprofiel
- 8 - verdamping
- 9 - neerslag

Er zijn van de Hadejia debietmetingen beschikbaar op de volgende plaatsen:

Wudil
Suntulmawa
Hadejia
Gashua
Geidam

De lengte van de trajecten met de belangrijkste kenmerken zijn:

- Wudil - Suntulmawa:
- lengte 79 km
 - breed hoogwaterbed
 - enkele instromende zijriviertjes
 - uitstromende geulen die bij hoogwater meertjes en laaggelegen gebieden voeden
- Suntulmawa - Hadejia:
- lengte 200 km
 - breed hoogwaterbed
 - instroom van de Gaya
 - uitstroom van de Kefin Hausa

- Hadejia - Gashua:
- lengte 215 km
 - breed hoogwaterbed met moerassen en meertjes, dat ten zuiden van de rivier wordt gedeeld met de Katagum
 - uitgebreid moerasgebied bij Madachi
 - instroom van de Katagum
 - uitstroom van de Burum Gana
 - uitstroom van de Marma

- Gashua - Geidam:
- lengte 210 km
 - breed hoogwaterbed met veel moerassen, meertjes en oude beddingen die met hoogwater vol lopen.

Van deze trajecten zijn onvoldoende gegevens bekend om het waterverlies door de bodem te kunnen bepalen.

Van de trajecten Wudil - Suntulmawa, Suntulmawa - Hadejia en Hadejia - Gashua zijn de in- en uitstroomdebieten van de zijrivieren onbekend. Het debiet van de instromende riviertjes op het traject Wudil - Suntulmawa lijken echter verwaarloosbaar. Het traject Gashua - Geidam heeft geen instromende en uitstromende zijrivieren, maar veel oude geulen die tijdens het begin van hoogwater de vele moerassen en meertjes met water voeden dat later gedeeltelijk weer terugstroomt in de rivier. Voor alle trajecten geldt dat de afmetingen en het reliëf van het hoogwaterbed onbekend zijn.

Het dwarsprofiel van de rivier is op enkele plaatsen gegeven, maar dat zegt niets over de verdere verloop van het dwarsprofiel.

Van deze vier trajecten is het gedeelte tussen Wudil en Suntulmawa het meest geschikt om aan de hand van de in- en uitstroomdebieten het waterverlies te bepalen. Nadeel is wel dat er van dit traject slechts vergelijkbare afvoerdebieten bekend zijn over de jaren 1971-1972 en 1972-1973. (Bijlage A-1)

In dit hoofdstuk worden nu eerst de uitgangspunten en randvoorwaarden voor de bepaling van het waterverlies gegeven (par 4.2), waarna in par 4.3 de verliesberekeningen volgen.

4.2 Uitgangspunten en randvoorwaarden

Het waterverlies door de bodem wordt geschat voor het traject Wudil - Suntulmawa.

De beschikbare gegevens van dit traject zijn:

- 1 - instroomdebieten te Wudil van 1963 - 1972 (Bijlage A-2)
- 2 - uitstroomdebieten te Suntulmawa van 1971 - 1972
(Bijlage A-3)
- 3 - de loop van de rivier (Bijlage A-4)
- 4 - de grondwaterstand onder de rivier en de omgeving
(Bijlage A-5)
- 5 - verdampinggegevens van 1968 - 1973 (Bijlage A-6)
- 6 - neerslaggegevens van 1968 - 1973 (Bijlage A-6)
- 7 - bodemprofiel
- 8 - het dwarsprofiel van de rivier te Wudil (Bijlage A-2)

Onbekend zijn:

- a - het instroomdebiet van de twee zijriviertjes
- b - het dwarsprofiel van de rivier op verschillende plaatsen
- c - de afmetingen en het relief van het hoogwaterbed
- d - eventuele aftappunten ten behoeve van irrigatie
- e - de capaciteit van het hoogwaterbed voor het vasthouden van rivierwater
- f - de mate van terugstroming van water van het hoogwaterbed na de regentijd
- g - de waterstand waarbij het hoogwaterbed overstroomd wordt

Dat leidt tot de volgende aannamen:

- 1 - de invloed van de zijriviertjes op het debiet is verwaarloosbaar
- 2 - er zijn geen aftappunten voor irrigatie
- 3 - de capaciteit van het hoogwaterbed voor het vasthouden van rivierwater kan worden bepaald aan de hand van de

ondergelopen gebieden in 1974 en de daarbij behorende debieten (Bijlage A-7)

- 4 - er stroomt geen water vanaf het hoogwaterbed terug in de rivier
- 5 - het hoogwaterbed is ondoorlatend
- 6 - een vast rivierprofiel over het hele traject
- 7 - 1972 wordt als een representatief jaar veronderstelt (tabel 4.1)

ad - 5 - : de doorlatendheid van klei met een k - waarde van $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ m/dag = $3 \cdot 10^{-3}$ m/maand is verwaarloosbaar ten opzichte van een verdamping van 0,2 m/maand (par 2.3)

maand	Wudil $\cdot 10^{-6}$ m ³ /maand	Suntulmawa $\cdot 10^{-6}$ m ³ /maand	verlies $\cdot 10^{-6}$ m ³ /maand	%
mei	57	2	55	96
juni	127	29	98	77
juli	172	31	141	82
aug	705	335	370	52
sept	191	61	130	68
okt	17	0,3	17	98
1972	1296	458	811	64

Tabel 4.1 Afvoergegevens Hadejia van 1972.

4.3 Berekeningen

4.3.1 Verdamping

Verdamping treedt niet alleen op boven het wateroppervlak van de rivier maar vooral ook boven het uitgestrekte hoogwaterbed tijdens hoogwater.

Verdamping wordt bepaald door de volgende factoren:

1. zonnestraling
2. bewolkingsgraad
3. temperatuur van lucht en water
4. luchtvochtigheid
5. windsnelheid

De beschikbare verdampinggegevens zijn op 2 manieren bepaald, met behulp van een zogenaamde Tank'A'-pan en met behulp van de formule van Penman, waarmee de verdamping van een open wateroppervlak wordt bepaald. (par 2.3)

Uit bijlage A-6 volgt voor 1972 een gemiddelde gemeten verdamping (E_a) van 0,3 m/maand. Met een pancoëfficiënt van 0,65 (par 2.3) volgt daaruit een open water verdamping van circa 0,2 m/maand. De open water verdamping wordt in de volgende berekeningen aangenomen als werkelijke verdamping ($\alpha_v = 1$ in formule 2.1).

Voor de berekening van het verdampingsverlies gelden dan de volgende gegevens:

- lengte van het riviertraject Wudil - Suntulmawa
 $L = 80$ kilometer
- rivierbreedte $B = 20 - 80$ meter
- werkelijke verdamping $E_w = 0,2$ m/maand

Aan de hand van de overstroomde gebieden in 1974 en de daarbij behorende debieten kan een schatting gemaakt worden van het overstroomde gebied in 1972. (Bijlage A-7)

In tabel 4.2 staan de geschatte verdampingsverliezen. Deze zijn als volgt bepaald:

$$\text{verdampingsverlies} = (L \cdot B + \text{overstr.geb.}) \cdot E_w \quad \text{m}^3/\text{maand} \quad (4.1)$$

maand	rivierbreedte (geschat) m	overstroomd gebied km ²	verdampingsverlies 10 ⁶ m ³ /maand
mei	20	--	0,3
juni	30	--	0,5
juli	40	--	0,7
aug	80	10	3,3
sept	40	5	1,7
okt	30	--	0,5
1972			7,0

Tabel 4.2 Verdampingsverlies

Instroomdebiet te Wudil = $1269 \cdot 10^6 \text{ m}^3/1972$

verdampingsverlies = $7/1269 \cdot 100\% = 0,6\%$ van het instroomdebiet

4.3.2 Ondergrondse afstroming

In hoofdstuk 3 zijn de verschillende theorieën behandeld voor de bepaling van de grootte van het waterverlies door de bodem.

De bodem van de Hadejia River bestaat voornamelijk uit zand met een gemiddelde korreldiameter van $D = 0,3 \text{ mm}$, met een gemeten doorlatendheid van $k = \pm 1,2 \text{ m/dag}$. (Bijlage A-8)

De gemiddelde korreldiameter zal op het traject Wudil-Suntulmawa groter zijn dan op het traject Gashua-Geidam. De zwaarste deeltjes worden afgezet op de trajecten met het grootste verval en het grootste debiet, en zowel het verval als het debiet is te Wudil groter dan te Gashua.

Wudil	$D_{50} \approx 0,35 \text{ mm}$	$k \approx 1,3 \text{ m/dag}$
Gashua	$D_{50} \approx 0,25 \text{ mm}$	$k \approx 0,8 \text{ m/dag}$

Door de grote breedte-diepte verhouding en een grondwaterstand op ± 5 meter onder de rivierbodem (Bijlage A-5) geeft de afstroming volgens Darcy een goede benadering van de werkelijkheid en kan de invloed van zijdelingse afstroming verwaarloosd worden.

Voor het waterverlies geldt dan:

$$I = k(a/d + 1) \text{ m/dag} \quad (4.2)$$

Het waterverlies door de bodem op het riviertraject Wudil - Suntulmawa wordt nu berekend (Tabel 4.3). Daarvoor wordt gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- lengte van het riviertraject $L = 80 \text{ km}$
- rivierbreedte $B = 20 - 80 \text{ m}$
- gemiddelde korreldiameter van de bodem $D_{50} = 0,35 \text{ mm}$
 $\Rightarrow$ doorlatendheid van de bodem $k \approx 1,3 \text{ m/dag}$

$$\begin{aligned} \text{Met (4.2) : } I &\approx 1,3 \cdot (1,5/5 + 1) \\ &\approx 1,6 \text{ m/dag per m}^2 \text{ wateroppervlak} \end{aligned}$$

maand	rivierbreedte (geschat) m	berekend waterverlies $\cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{maand}$	werkelijk verlies $\cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{maand}$
mei	20	77	55
juni	30	115	98
juli	40	154	141
aug	80	307	370
sept	40	154	130
okt	30	38	17
1972		845	811

Tabel 4.3 Waterverlies door de bodem

De berekende verliezen komen redelijk overeen met de werkelijke verliezen. Uit het berekende waterverlies door de bodem, en het berekende verdampingsverlies kan worden geconcludeerd dat nagenoeg al het waterverlies op het traject Wudil - Suntulmawa voor rekening komt van de ondergrondse afstroming.

Toepassing van formule (3.4) voor de berekening van het waterverlies op dit traject voor bv augustus 1972 geeft:

$$\begin{aligned} I &= 5,0 \cdot Q^{0,0625} \\ Q &= 9610 \text{ cfs (cubic feet per second)} \\ \Rightarrow I &= 5,0 \cdot 9610^{0,0625} = (\text{omgerekend}) \quad 7,0 \text{ m/maand} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{trajectverlies} \quad I_{\text{tot}} &= I \cdot B \cdot L & (4.3) \\ &= 7,0 \cdot 80 \cdot 80 \cdot 10^3 = 45 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{augustus} \end{aligned}$$

Dit is een veel lagere waarde voor het verlies. Het geeft geen verklaring voor het waargenomen verlies.

Dezelfde grove berekening is gedaan voor het traject Gashua - Geidam (tabel 4.4). Daarvoor worden dezelfde aannamen gebruikt als voor het traject Wudil - Suntulmawa die zijn vermeld in par 4.2.

Er gelden de volgende gegevens:

- trajectlengte $L = 210 \text{ km}$
 - rivierbreedte $B = 10 - 50 \text{ m}$
 - korreldiameter bodem: $D_{50} = 0,25 \text{ mm}$
- $$\Rightarrow k \approx 0,8 \text{ m/dag}$$

Met (4.2) en een gemiddelde waterdiepte van $a = 1,0 \text{ m}$ geeft : $I \approx 1,2 \cdot k = 0,95 \text{ m/dag}$

Uit de gegevens van tabel 4.4 blijkt dat het berekende verlies op dit traject een factor 5 hoger ligt dan het werkelijke verlies.

Mogelijke oorzaken zijn :

- de werkelijke doorlatendheid van de bodem is kleiner dan de gebruikte doorlatendheid
- er treedt onverzadigde stroming op door de bodem
- er bevinden zich slecht doorlatende lagen net onder de rivierbodem

maand	Gashua $\cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{maand}$	Geidam $\cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{maand}$	verlies	
			werkelijk $\cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{maand}$	berekend
mei	0	0	0	0
juni	11	2	9	60
juli	63	37	26	180
aug	192	100	92	240
sept	298	143	155	300
okt	187	175	12	240
nov	19	93	- 74	60
dec	3	12	- 9	30
1972	772	564	208	1110

Tabel 4.4 Afvoergegevens en waterverlies door de bodem

Wat verder opvalt in tabel 4.4 is de toename van het debiet op het traject Gashua - Geidam in november en december. Daaruit kan worden geconcludeerd dat een gedeelte van het water van het hoogwaterbed weer terugstroomt in de rivier.

Toepassing van formule (3.4) voor de berekening van het waterverlies op dit traject in 1972 geeft:

$$I = 5,0 \cdot Q^{0,0625}$$

$$Q = 865 \text{ cfs (jaargemiddelde)}$$

$$\Rightarrow I = 5,0 \cdot 865^{0,0625} = (\text{omgerekend}) 73,4 \text{ m/jaar}$$

$$\begin{aligned} \text{gemiddelde rivierbreedte in 1972 } B &= 15 \text{ m} \\ \text{trajectverlies } I_{\text{tot}} &= I \cdot B \cdot L \\ &= 73,4 \cdot 15 \cdot 210 \cdot 10^3 = 232 \cdot 10^6 \text{ m}^3/1972 \end{aligned}$$

Dit verlies komt goed overeen met het werkelijke verlies. Mogelijk is deze formule bepaald met de verliesgegevens op dit traject.

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Conclusies

De gebruikte rekenmethode voor de bepaling van het waterverlies door de bodem van de Hadejia via zuiver verticale afstroming over de oppervlakte van het water is een goede benadering van de werkelijkheid. De zwakte van de berekeningen ligt in de aangenomen grootte van de belangrijkste factoren die het verlies bepalen:

Voor ondergrondse afstroming:

- de breedte van de rivier bij verschillende afvoeren
- de doorlatendheid van de ondergrond
- de diepte van de grondwaterstand

Voor verdamping :

- de afmetingen van het overstroomde gebied bij verschillende afvoeren

Er kan echter worden geconcludeerd dat het waterverlies van de Hadejia voor ruim 90% wordt veroorzaakt door waterverlies door de bodem, en slechts een klein gedeelte door verdamping.

Het verlies aan debiet door ondergrondse afstroming kan op het traject Wudil - Suntulmawa bij hoge afvoeren oplopen tot circa 10% per 10 kilometer rivierlengte.

De doorlatendheid stroomafwaarts op het traject Gashua - Geidam is aanzienlijk kleiner. De verhouding doorlatendheid te Wudil - doorlatendheid te Gashua bedraagt ongeveer 5 : 1.

5.2 Aanbevelingen

De berekeningen in dit rapport geven een ruwe schatting van het waterverlies door de bodem van de Hadejia. Aan de hand van deze schattingen kan een afweging worden gemaakt of er maatregelen genomen moeten worden om het waterverlies door de bodem te beperken. De verwachte waterwinst moet opwegen tegen de kosten. Het is dus belangrijk om het werkelijke verlies te bepalen.

Om de berekeningen van het waterverlies te verbeteren is een nauwkeurig onderzoek naar de doorlatendheid van de bodem nodig. In hoofdstuk 3 zijn een zestal methoden genoemd om het waterverlies door de bodem, en dus de doorlatendheid van de bodem, te bepalen.

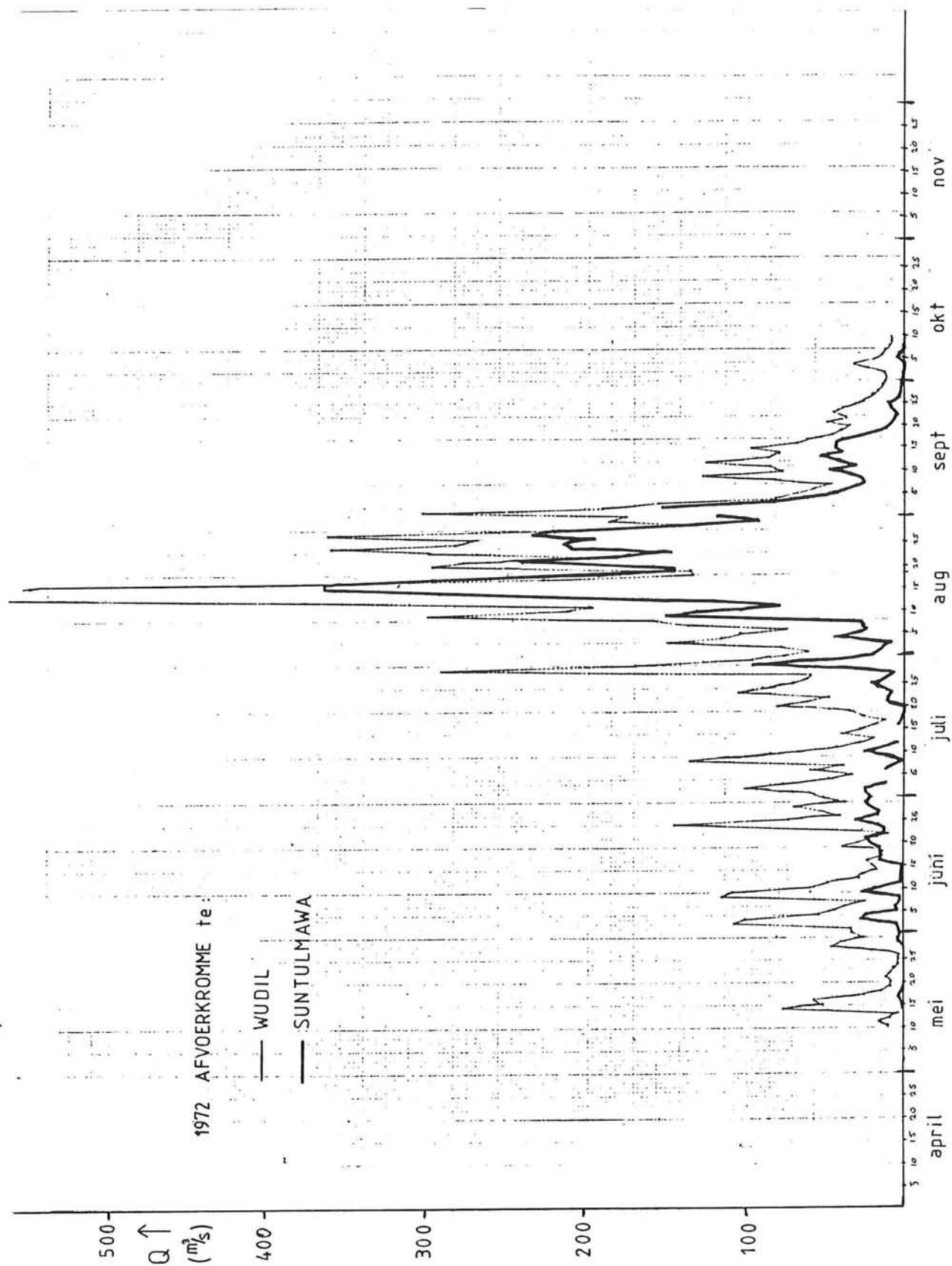
De eenvoudigste en redelijk betrouwbare methode is het doen van metingen met de seepage meter. Dat moet op veel verschillende plaatsen gebeuren, om de invloed van lokale afwijkingen in de doorlatendheid te beperken.

De methode om het debiet op twee plaatsen te meten en uit het verschil het waterverlies door de bodem te bepalen is ook bruikbaar, mits de debietmetingen betrouwbaar zijn en er voldoende gegevens zijn van het dwarsprofiel van de rivier op het te meten traject.

De belangrijkste factoren die het waterverlies door de bodem bepalen zijn:

1. de doorlatendheid van de bodem
2. de waterbreedte
3. de rivierlengte
4. de diepte van de grondwaterstand

Om het verlies te beperken moeten één of meerdere factoren verkleind worden (1 , 2 , 3) of moet de grondwaterstand worden verhoogd tot een niveau boven de rivierbodem.



Bijlage A-1

Vergelijking van de afvoerkrommen
te Wudil en Suntulmawa

KANO STATE
MINISTRY OF WORKS & SURVEY
HYDROLOGY SECTION

RECORD OF DAILY MEAN DISCHARGE (IN CFS)

RIVER	HADEJIA		STATION		WUDIL		H. YEAR		1971 - 1972			
DATE	APRIL	MAY	JUNE	JULY	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	JAN.	FEB.	MAR.
1			503	568	5790	4301	1066	106	2.39			
2			438	460	4357	5267	888	101	1.09			
3			503	439	7680	7635	860	82.5	1.87			
4			807	382	10642	12319	903	84.0	1.45			
5			566	282	8702	15848	868	75.8	0.96			
6			342	970	10414	13244	818	70.2	0.00			
7			241	2548	12417	13384	851	87.0				
8			163	2107	8783	14823	568	53.0				
9			101	2167	7818	11080	517	46.3				
10			95.0	4074	12602	13507	488	39.5				
11			73.0	4401	12557	7226	478	39.5				
12			637	13545	25097	4937	432	39.5				
13			524	6584	14221	5333	418	37.7				
14			903	3670	15949	17743	397	34.3				
15			559	2806	12802	15145	375	32.5				
16			301	5089	8493	7799	347	30.8				
17			218	4555	5617	5333	305	29.0				
18			255	2927	12837	9602	292	27.3				
19			287	2806	6435	10609	284	25.8				
20			186	2137	4823	15789	255	22.1				
21			425	2515	4755	10317	250	19.5				
22			328	1373	7362	6410	241	18.4				
23		186	269	1114	8911	5741	227	9.34				
24		566	177	675	9091	4511	200	9.34				
25		453	106	616	12452	3750	181	9.34				
26		390	241	1530	21186	3533	167	7.94				
27		787	315	7634	13958	2772	135	6.54				
28		259	246	1397	12981	1875	106	5.01				
29		29.0	489	1585	9061	1412	103	3.84				
30		951	461	2122	7280	1192	154	2.84				
31		659		2452	5239		172					
MAX		951	903	13545	25097	19080	1066	106	2.14			
MEAN		122	359	2582	10339	8712	430	37.9	0.24			
MIN		0.00	73.0	282	4357	1192	103	2.14	0.00			
A.C.F.T		7501	71362	158761	835720	518400	28440	2755	14.8			
C.F.S.M		0.019	0.057	0.41	1.63	1.38	0.07	0.008	0.00			

RATING TABLE

R. HADEJIA - WUDIL
1971 - 1972

stage height	discharge
feet	cfs
0.8	0.00
0.9	2.29
1.0	9.30
1.5	116.8
2.0	346.9
2.5	701.0
3.0	1180
3.5	1785
4.0	2515
4.5	3373
5.0	4357
5.5	5468
6.0	6707
6.5	8074
7.0	9569
7.5	11192
8.0	12943
8.5	14823
9.0	16831
9.5	18729
10.0	21236
10.5	23631
11.0	26158
11.5	28812
12.0	31596
12.5	34510
13.0	37554
13.5	40728
14.0	44034
14.5	47468
15.0	51031
15.5	54729
16.0	58554
16.5	62507
17.0	66597
17.5	70811
18.0	75159
18.5	79638
19.0	84247

DURATION TABLE

R. HADEJIA - WUDIL
1971 - 1972

discharge	duration
cfs	day
1	25097
2	21186
3	19080
4	17743
5	15949
10	14221
15	13319
20	12802
30	9061
40	7280
60	4301
80	1397
100	566
120	390
140	246
160	103
180	27.3
190	5.1
195	1.4
196	1.2
197	0.5
198	0.0
	*
	* empty
	0

1971-1972

KANO STATE
WATER RESOURCES & ENGINEERING CONSTRUCTION AGENCY
PLANNING INVESTIGATION AND DESIGNING DIVISION
HYDROLOGICAL SECTION

RECORD OF DAILY MEAN DISCHARGE (CFS)

RIVER	HADEJIA			STATION			WUDIL			H. YEAR			1972 - 1973		
DATE	APRIL	MAY	JUNE	JULY	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	JAN.	FEB.	MAR.			
1			1158	2170	2164	10790	477	3							
2			5760	3559	2776	6707	467	1							
3			3558	2726	5282	5145	859	0.02							
4			1921	1726	4048	2811	1148								
5			1553	1202	3074	2405	688								
6			1360	2105	2644	2033	508								
7			878	1360	4830	1758	453								
8			4048	4786	5687	2911	347								
9			3869	3540	10592	4569	374								
10		335	2134	2344	7429	2776	291								
11		544	1705	1578	6917	3037	240								
12		307	993	993	13308	4484									
13		127	878	709	70633	3067									
14		2776	612	1407	38016	2809	157								
15		1839	701	973	31887	3465	101								
16		2043	832	660	14708	2437	80								
17		887	487	460	8074	2708	87								
18		474	474	925	4720	1641	48								
19		786	1383	1257	4786	1443	40								
20		786	1047	2843	10494	1235	40								
21		313	587	2708	9788	1758	89								
22		286	352	1692	6398	1337	40								
23		245	944	3712	10559	1628	38								
24		157	5144	3155	12762	1382	34								
25		153	2395	2500	9978	1105	28								
26		148	1443	2708	9568	924	22								
27		735	1866	2134	12798	718	13								
28		1654	2468	10289	7901	805	9								
29		1407	1314	5249	4786	508	7								
30		896	1798	3410	6557	460	5								
31		1148		2678	8121										
MAX.		2776	5144	10289	36016	10790	1148								
MEAN		776	1720	2350	9610	2618	234								
MIN.		0.00	359	460	2164	460	5								
ACFT		47630	10278	144243	582862	155509	14547								
CFSM		0.123	0.274	1.520	0.414	0.037									

RATING TABLE

R. HADEJIA - WUDIL
1972 - 1973

stage height	discharge
feet	cfs
0.8	0.00
0.9	2.29
1.0	9.30
1.5	116.8
2.0	346.9
2.5	701.0
3.0	1180
3.5	1785
4.0	2515
4.5	3373
5.0	4357
5.5	5468
6.0	6707
6.5	8074
7.0	9569
7.5	11192
8.0	12943
8.5	14823
9.0	16831
9.5	18729
10.0	21236
10.5	23631
11.0	26158
11.5	28812
12.0	31596
12.5	34510
13.0	37554
13.5	40728
14.0	44034
14.5	47468
15.0	51031
15.5	54729
16.0	58554
16.5	62507
17.0	66597
17.5	70811
18.0	75159
18.5	79638
19.0	84247

DURATION TABLE

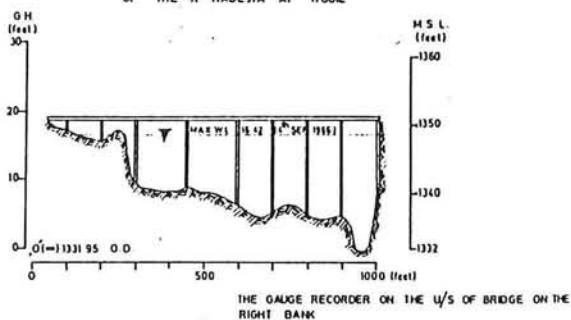
R. HADEJIA - WUDIL
1972 - 1973

discharge	duration
cfs	day
1	36016
2	31887
3	20833
4	14708
5	13308
10	10559
15	9568
20	6707
30	4786
40	3712
60	2505
80	1758
100	1257
120	735
140	359
160	67
170	9
171	7
172	5
173	3
174	1
175	0.07
176	0
	*
	* empty
	0

1972-1973

CROSS SECTION

OF THE R. HADEJIA AT WUDIL



Bijlage A-2

Afvoergegevens Wudil

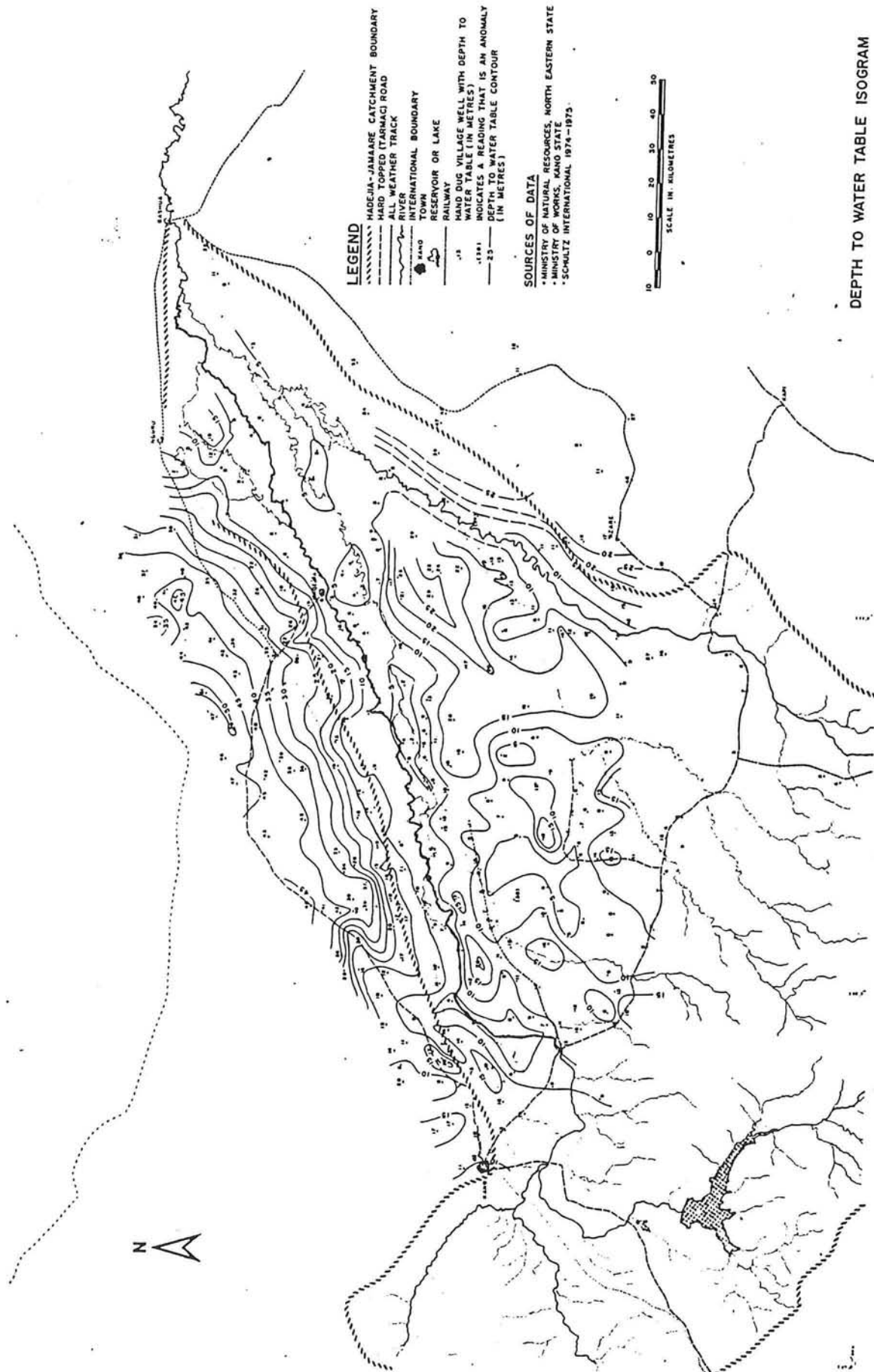
KANO STATE
WATER RESOURCES & ENGINEERING CONSTRUCTION AGENCY
PLANNING, INVESTIGATION AND DESIGNING DIVISION
HYDROLOGICAL SECTION

RECORD OF DAILY MEAN DISCHARGE (in cfs)

DATE	APRIL	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR
1						2631	807	1.98	0.41	0.18		
2						2349	839	1.37	0.41	0.18		
3						1045	750	1.37	0.36	0.18		
4					4363	4026	619	1.37	0.36	0.18		
5					5964	6527	535	1.32	0.36	0.18		
6					4283	6196	897	1.37	0.36	0.18		
7					7898	7699	431	1.37	0.36	0.18		
8					6729	7212	368	1.37	0.36	0.18		
9					4416	7921	209	1.37	0.36	0.00		
10					3230	10185	213	1.37	0.36	0.00		
11					7524	9730	200	1.37	0.36	0.00		
12					7523	5114	185	1.37	0.36	0.00		
13					10568	5870	154	1.37	0.27	0.00		
14					8786	6658	12.49	1.37	0.27	0.00		
15					8324	9228	3.43	1.37	0.27	0.00		
16					6985	8390	3.18	1.37	0.27	0.00		
17					5002	7728	2.26	1.37	0.27	0.00		
18					5759	3942	2.63	1.37	0.27	0.00		
19					6964	6181	3.63	1.37	0.27	0.00		
20					2600	7560	1.08	1.37	0.27	0.00		
21					2610	8444	2.81	1.37	0.27	0.00		
22					3786	6335	2.33	1.37	0.27	0.00		
23					4001	7819	1.98	1.37	0.27	0.00		
24					5333	3361	1.98	1.37	0.27	0.00		
25					2924	2023	1.98	1.37	0.27	0.00		
26					6580	2621	1.98	0.41	0.27			
27					6792	2470	1.98	0.41	0.27			
28					6900	2312	1.98	0.41	0.27			
29					7156	2175	1.98	0.41	0.27			
30					8210	1006	1.98	0.41	0.27			
31							1.08					
MAX					10469	10305	807	1.98	0.41	0.18		
MEAN					6196	5457	197	1.24	0.31	0.05		
MIN					2610	1006	1.98	0.41	0.27	0.00		
RE-T					111819	124.083	11968	73.79	18.48	2.88		
CSN												

RATING TABLE
R. HADEJIA - SUNTULMAWA
1971 - 1972

gauge height	discharge	duration	discharge
feet	cfs	day	cfs
2.3	0	1	10469
2.4	7.65	2	10385
2.5	1.98	3	9923
3.0	28.9	4	9930
3.5	91.6	5	9525
4.0	103	10	8346
4.5	154	15	7699
5.0	150	20	6964
5.5	179	30	5714
6.0	177	40	4026
6.5	147	60	839
7.0	1701	80	1.99
7.5	2112	100	1.37
8.0	2573	120	0.41
8.5	1977	160	0.27
9.0	1512	161	0.27
9.5	4237	162	0.27
10.0	4892	163	0.27
10.5	4444	164	0.27
11.0	4444	165	0.27
11.5	4444	166	0.27
12.0	4444	167	0.27
12.5	4444	168	0.27
13.0	4444	169	0.27
13.5	4444	170	0.27
14.0	4444	171	0.27
14.5	4444	172	0.27
15.0	4444	173	0.27
15.5	4444	174	0.27
16.0	4444	175	0.27
16.5	4444	176	0.27
17.0	4444	177	0.27
17.5	4444	178	0.27
18.0	4444	179	0.27
18.5	4444	180	0.27
19.0	4444	181	0.27
19.5	4444	182	0.27
20.0	4444	183	0.27
20.5	4444	184	0.27
21.0	4444	185	0.27
21.5	4444	186	0.27
22.0	4444	187	0.27
22.5	4444	188	0.27
23.0	4444	189	0.27
23.5	4444	190	0.27
24.0	4444	191	0.27
24.5	4444	192	0.27
25.0	4444	193	0.27
25.5	4444	194	0.27
26.0	4444	195	0.27
26.5	4444	196	0.27
27.0	4444	197	0.27
27.5	4444	198	0.27
28.0	4444	199	0.27
28.5	4444	200	0.27
29.0	4444	201	0.27
29.5	4444	202	0.27
30.0	4444	203	0.27
30.5	4444	204	0.27
31.0	4444	205	0.27
31.5	4444	206	0.27
32.0	4444	207	0.27
32.5	4444	208	0.27
33.0	4444	209	0.27
33.5	4444	210	0.27
34.0	4444	211	0.27
34.5	4444	212	0.27
35.0	4444	213	0.27
35.5	4444	214	0.27
36.0	4444	215	0.27
36.5	4444	216	0.27
37.0	4444	217	0.27
37.5	4444	218	0.27
38.0	4444	219	0.27
38.5	4444	220	0.27
39.0	4444	221	0.27
39.5	4444	222	0.27
40.0	4444	223	0.27
40.5	4444	224	0.27
41.0	4444	225	0.27
41.5	4444	226	0.27
42.0	4444	227	0.27
42.5	4444	228	0.27
43.0	4444	229	0.27
43.5	4444	230	0.27
44.0	4444	231	0.27
44.5	4444	232	0.27
45.0	4444	233	0.27
45.5	4444	234	0.27
46.0	4444	235	0.27
46.5	4444	236	0.27
47.0	4444	237	0.27
47.5	4444	238	0.27
48.0	4444	239	0.27
48.5	4444	240	0.27
49.0	4444	241	0.27
49.5	4444	242	0.27
50.0	4444	243	0.27
50.5	4444	244	0.27
51.0	4444	245	0.27
51.5	4444	246	0.27
52.0	4444	247	0.27
52.5	4444	248	0.27
53.0	4444	249	0.27
53.5	4444	250	0.27
54.0	4444	251	0.27
54.5	4444	252	0.27
55.0	4444	253	0.27
55.5	4444	254	0.27
56.0	4444	255	0.27
56.5	4444	256	0.27
57.0	4444	257	0.27
57.5	4444	258	0.27
58.0	4444	259	0.27
58.5	4444	260	0.27
59.0	4444	261	0.27
59.5	4444	262	0.27
60.0	4444	263	0.27
60.5	4444	264	0.27
61.0	4444	265	0.27
61.5	4444	266	0.27
62.0	4444	267	0.27
62.5	4444	268	0.27
63.0	4444	269	0.27
63.5	4444	270	0.27
64.0	4444	271	0.27
64.5	4444	272	0.27
65.0	4444	273	0.27
65.5	4444	274	0.27
66.0	4444	275	0.27
66.5	4444	276	0.27
67.0	4444	277	0.27
67.5	4444	278	0.27
68.0	4444	279	0.27
68.5	4444	280	0.27
69.0	4444	281	0.27
69.5	4444	282	0.27
70.0	4444	283	0.27
70.5	4444	284	0.27
71.0	4444	285	0.27
71.5	4444	286	0.27
72.0	4444	287	0.27
72.5	4444	288	0.27
73.0	4444	289	0.27
73.5	4444	290	0.27
74.0	4444	291	0.27
74.5	4444	292	0.27
75.0	4444	293	0.27
75.5	4444	294	0.27
76.0	4444	295	0.27
76.5	4444	296	0.27
77.0	4444	297	0.27
77.5	4444	298	0.27
78.0	4444	299	0.27
78.5	4444	300	0.27
79.0	4444	301	0.27
79.5	4444	302	0.27
80.0	4444	303	0.27
80.5	4444	304	0.27
81.0	4444	305	0.27
81.5	4444	306	0.27
82.0	4444	307	0.27
82.5	4444	308	0.27
83.0	4444	309	0.27
83.5	4444	310	0.27
84.0	4444	311	0.27
84.5	4444	312	0.27
85.0	4444	313	0.27
85.5	4444	314	0.27
86.0	4444	315	0.27
86.5	4444	316	0.27
87.0	4444	317	0.27
87.5	4444	318	0.27
88.0	4444	319	0.27
88.5	4444	320	0.27
89.0	4444	321	0.27
89.5	4444	322	0.27
90.0	4444	323	0.27
90.5	4444	324	0.27
91.0	4444	325	0.27
91.5	4444	326	0.27
92.0	4444	327	0.27
92.5	4444	328	0.27
93.0	4444	329	0.27
93.5	4444	330	0.27
94.0	4444	331	0.27
94.5	4444	332	0.27
95.0	4444	333	0.27
95.5	4444	334	0.27
96.0	4444	335	0.27
96.5	4444	336	0.27
97.0	4444	337	0.27
97.5	4444	338	0.27
98.0	4444	339	0.27
98.5	4444	340	0.27
99.0	4444	341	0.27
99.5	4444	342	0.27
100.0	4444	343	0.27
100.5	4444	344	0.27
101.0	4444	345	0.27
101.5	4444	346	0.27
102.0	4444	347	0.27
102.5	4444	348	0.27
103.0	4444	349	0.27
103.5	4444	350	0.27
104.0	4444	351	0.27
104.5	4444	352	0.27
105.0	4444	353	0.27
105.5	4444	354	0.27
106.0	4444	355	0.27
106.5	4444	356	0.27
107.0	4444	357	0.27
107.5	4444	358	0.27
108.0	4444	359	0.27
108.5	4444	360	0.27
109.0	4444	361	0.27
109.5	4444	362	0.27
110.0	4444	363	0.27
110.5	4444	364	0.27
111.0	4444	365	0.27
111.5	4444	366	0.27
112.0	4444	367	0.27
112.5	4444	368	0.27
113.0	4444	369	0.27
113.5	4444	370	0.27
114.0	4444	371	0.27
114.5	4444	372	0.27
115.0	4444	373	0.27
115.5	4444	374	0.27
116.0	4444	375	0.27
116.5	4444	376	0.27
117.0	4444	377	0.27
117.5	4444	378	0.27
118.0	4444	379	0.27
118.5	4444	380	0.27
119.0	4444	381	0.27
119.5	4444	382	0.27
120.0	4444	383	0.27
120.5	4444	384	0.27
121.0	4444	385	0.27
121.5	4444	386	0.27
122.0	4444	387	0.27
122.5	4444	388	0.27
123.0	4444	389	0.27
123.5	4444	390	0.27
124.0	4444	391	0.27
124.5	4444	392	0.27
125.0	4444	393	0.27
125.5	4444	394	0.27
126.0	4444	395	0.27
126.5	4444	396	0.27
127.0	4444	397	0.27
127.5	4444	398	0.27
128.0	4444	399	0.27
128.5	4444	400	0.27
129.0	4444	401	0.27
129.5	4444	402	0.27
130.0	4444	403	0.27
130.5	4444	404	0.27
131.0	4444	405	0.27
131.5	4444	406	0.27
132.0	4444	407	0.27
132.5	4444	408	0.27
133.0	4444	409	0.27
133.5	4444	410	0.27
134.0	4444	411	0.27
134.5	4444	412	0.27
135.0	4444	413	0.27
135.5	4444	414	0.27
136.0	4444	415	0.27
136.5	4444	416	0.27
137.0	4444	417	0.27
137.5	4444	418	0.27
138.0	4444	419	0.27
138.5	4444	420	0.27
139.0	4444	421	0.27
139.5	4444	422	0.27
140.0	4444	423	0.27
140.5	4444	424	0.27
141.0	4444	425	0.27
141.5	4444	426	0.27
142.0	4444	427	0.27
142.5	4444	428	0.27
143.0	4444	429	0.27
143.5	4444	430	0.27
144.0	4444	431	0.27
144.5	4444	432	0.27
145.0	4444	433	0.27
145.5	4444	434	0.27
146.0	4444	435	0.27
146.5	4444	436	0.27
147.0	4444	437	0.27
147.5	4444	438	0.27
148.0	4444	439	0.27
148.5	4444	440	0.27
149.0	4444	441	0.27
149.5	4444	442	0.27
150.0	4444	443	0.27
150.5	4444	444	0.27
151.0	4444	445	0.27
151.5	4444	446	0.27
152.0	4444	447	0.27
152.5	4444	448	0.27
153.0	4444	449	0.27
153.5	4444	450	0.27
154.0	4444	451	0.27
154.5	4444	452	0.27
155.0	4444	453	0.27
155.5	4444	454	0.27
156.0	4444	455	0.27
156.5	4444	456	0.27
157.0	4444	457	0.27
157.5	4444	458	0.27
158.0	4444	459	0.27



DEPTH TO WATER TABLE ISOGRAM

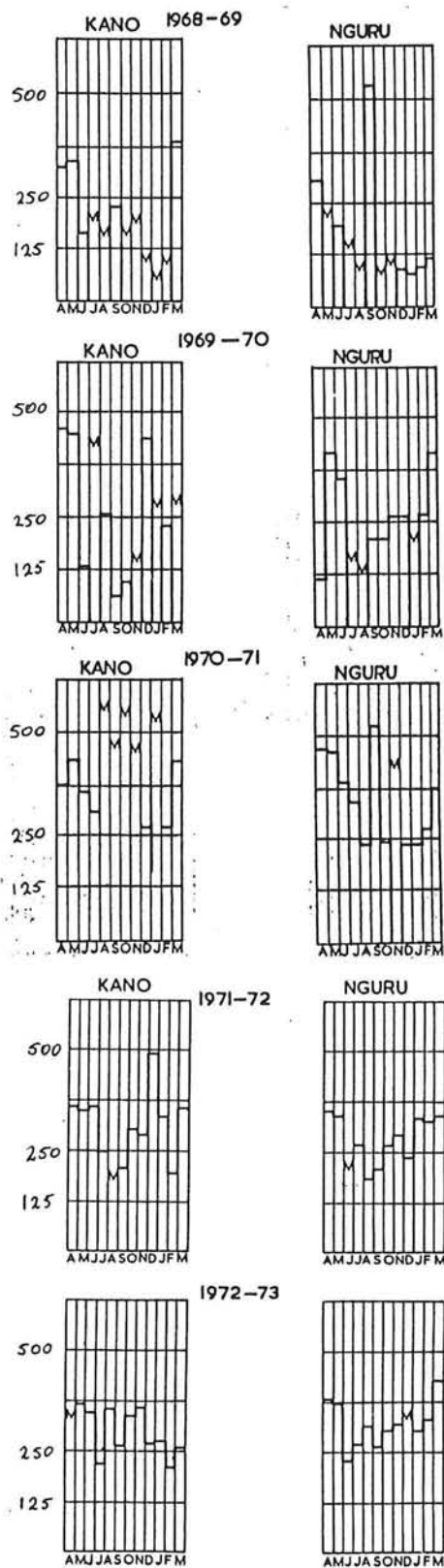
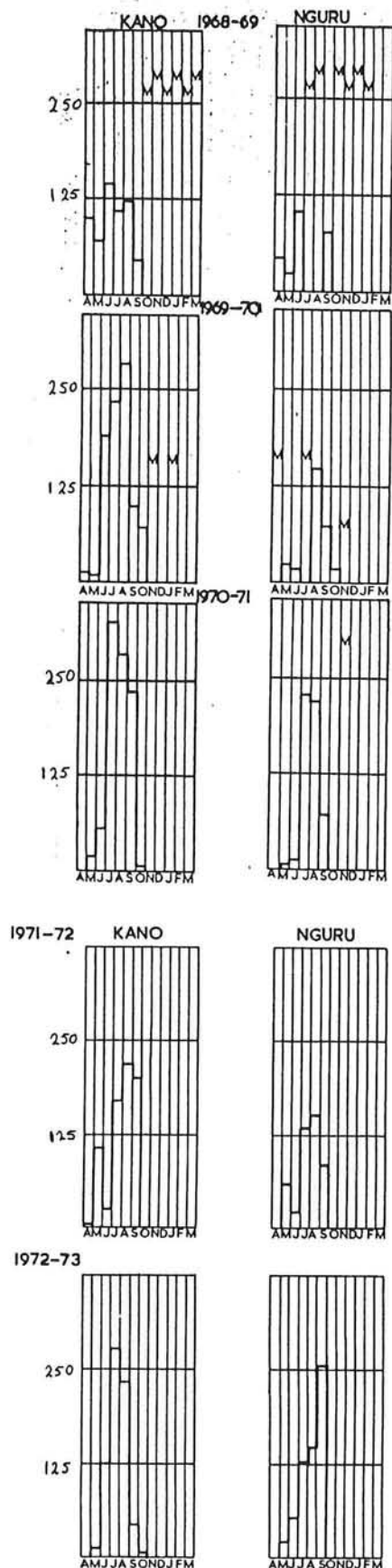
Bijlage A-5

Grondwaterstand dieptelijnen

REGENVAL PER MAAND
in milimeters

VERDAMPING PER MAAND
in milimeters

TANK 'A' PAN metingen



Bijlage A-6

ESTIMATE OF FLOODED AREA BY ZONES FROM 1974 AERIAL SURVEY

Zone	Total Area km ²	Aug. 22 %	Sep. 27 %	Oct. 13 %	Nov. 6 %	Dec. 4 %	Feb. 10 %	Apr. 6 %
1	54.9	100	5	5	0	0	0	0
2	84.7	100	10	10	10	5	5	0
3	171.5	100	50	40	20	10	5	0
4	387.5	70	60	50	40	30	10	2
5	97.7	20	40	40	30	10	10	0
6	383.6	30	40	40	40	30	5	0
7	149.4	30	30	30	30	20	10	0
8	49.7	0	60	100	100	100	60	0
9	134.4	30	90	90	80	60	10	0
10	149.4	0	10	20	10	15	0	0
11	122.0	30	80	90	80	40	5	0
12	294.0	20	70	50	30	20	5	0
13	64.8	10	100	50	40	10	5	0
14	219.1	90	70	40	20	10	5	0
15	74.6	100	50	30	10	5	5	0
16	229.2	40	50	60	50	30	10	0
17	44.8	100	100	100	90	60	20	5
18	134.4	100	100	100	100	100	70	50
19	114.5	80	100	100	100	100	10	0
20	74.6	80	100	100	70	40	10	0
21	49.7	80	100	100	100	100	20	0
22	69.7	100	100	100	100	60	10	0
23	79.0	60	100	100	80	40	5	0
24	29.8	0	100	100	90	60	5	0
TOTALS km ²	3,265.0	1,765	2,004	1,846	1,527	1,085	345	50

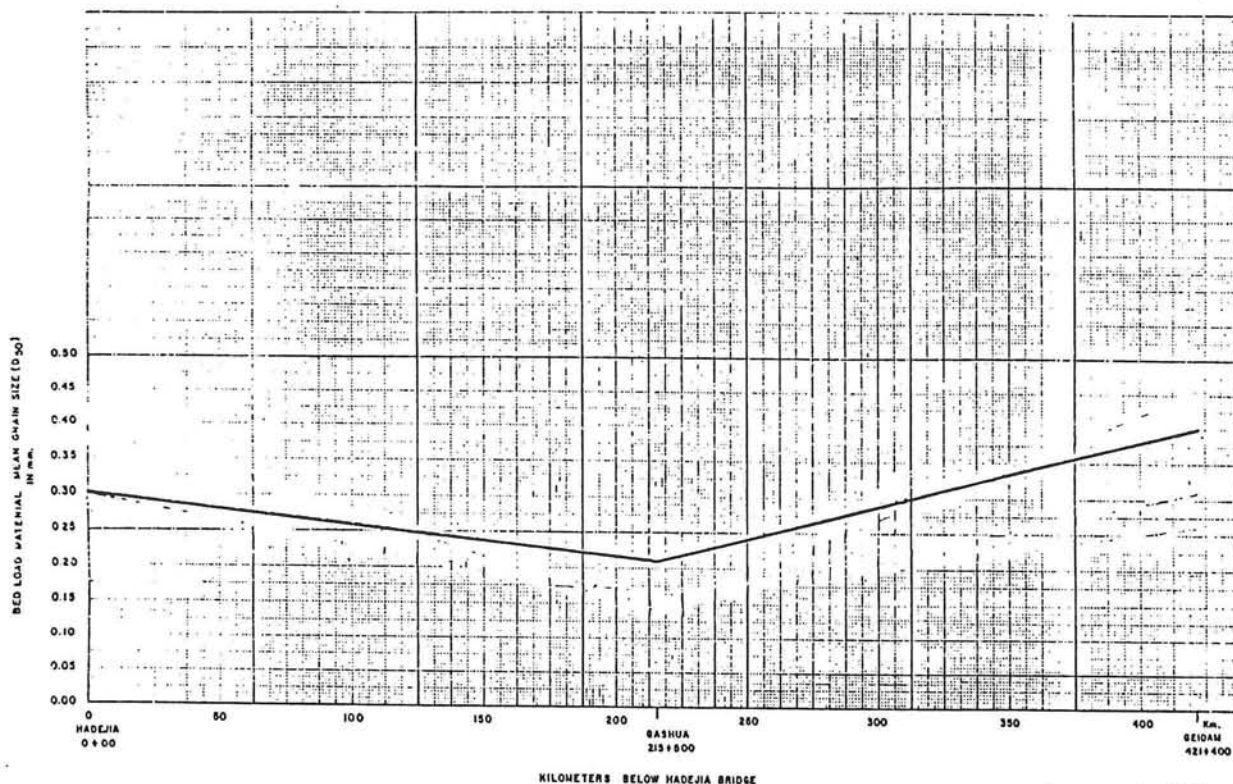
Gemiddelde afvoer te Wudil 1974 in m³/s

april	0	sept	239
mei	60	okt	134
juni	37	nov	14
juli	281	dec	0
aug	558		

Bijlage A-7.2

Overstroomde gebieden van
bijlage A-7.1

en afvoeren te Wudil in 1974



SUMMARY OF INFILTRATION TEST RESULTS, LOCATION AND CLASSIFICATION

Infiltation Test	Location	Accumulated Intake (cm)	Instantaneous Intake Rate (cm/hr)	Average Intake Rate (cm/hr)	Average Intake in 60 min. (cm)
		D	I	I ave.	
HR1	at km 39 & 3 km SW Sauso Village	0.80T ^{0.45}	21.6T ^{-0.55}	48T ^{-0.55}	5
HR2	Murazda Village 2.5 km along Hadejia River	0.825T ^{0.633}	31.35T ^{-0.367}	49.5T ^{-0.367}	11
HR3	Madachi Village North of km 36	0.9T ^{0.417}	22.5T ^{-0.583}	54T ^{-0.583}	5.0
HR4	3 km NW Marra North km 60	0.6T ^{0.5}	18T ^{-0.5}	36T ^{-0.5}	4.6
HR5	1.5 km West Gurri Village North of km 71	0.9T ^{0.566}	30.59T ^{-0.433}	54T ^{-0.434}	9.1
HR6	0.5 km South of Wachakal Village North of km 92	1.1T ^{0.5}	33T ^{-0.5}	66T ^{-0.5}	8.5
HR7	3 km South of Gabania Village North of km 128	1.15T ^{0.233}	16.09T ^{-0.767}	69T ^{-0.767}	3.0
HR8	100 m South of Doggona Village North of km 146	0.37T ^{1.03}	19.16T ^{-0.03}	22.2T ^{-0.03}	19.6
HR9	3 km of SE Bukasti Village North of km 188	0.825T ^{0.5}	24.75T ^{-0.5}	49.5T ^{-0.5}	6.4
HR10	300 m East Gashua Bridge at km 221	0.51T ^{0.4}	12.2T ^{-0.6}	30.5T ^{-0.6}	2.6
HR11	near Gilbaso Village at km 235	0.825T ^{0.567}	28.06T ^{-0.433}	49.5T ^{-0.433}	8.4
HR12	South Kariara Village at km 317	0.4T ^{0.55}	13.2T ^{-0.45}	24T ^{-0.45}	3.8
HR13	2 km NW Belle Village at km 370	0.6T ^{0.565}	20.412T ^{-0.433}	36T ^{-0.433}	6.1
HR14	East Ceidan at km 422	0.62T ^{0.417}	15.499T ^{-0.583}	37.2T ^{-0.583}	3.4

Bijlage A-8

Korrelgrootte en doorlatendhe
(Chifana Consultants, 1986)

SYMBOLENLIJST

SYMBOOL	OMSCHRIJVING	DIMENSIE
B	breedte van het filterbed en rivierbreedte	L
B ₀	waterbreedte	L
B _b	bodembreedte	L
C	Chezy- coëfficiënt	L ^{1/2} /T
D	dikte doorlatende laag	L
D _w	diepte grondwaterstand	L
D ₅₀	gemiddelde korreldiameter	L
E _o	open water verdamping	L/T
E _p	potentiele verdamping	L/T
E _w	werkelijke verdamping	L/T
E _a	tank'A'pan verdamping	L/T
I _{tot}	waterverlies door de bodem	L ³ /T
I	idem per oppervlakte eenheid	L/T
L'	lengte van het filterbed	L
L	trajectlengte	L
Q	debiet	L ³ /T
Q ₀	instroomdebiet	L ³ /T
a	waterdiepte	L
d	dikte van de filterlaag	L
g	versnelling zwaartekracht	L/T ²
i _B	bodemverhang	-
k	doorlatendheidscoëfficiënt volgens Darcy	L/T
q	debiet per eenheid van breedte	L ² /T
x	ordinaat in stroomrichting	L
α	coëfficiënt voor de filtersnelheid	1/T
β	machtscoëfficiënt idem	-
γ	coëfficiënt idem	L/T
ξ	maat voor de horizontale filtersnelheid	-

LITERATUURLIJST

- BALEK, J. Hydrologie and waterresources in tropical Africa
1977 Developments in water science 8.
Elsevier, New York
- BEAR, J. Dynamics of fluids in poreus media
1972 Elsevier, New York
- BOUWER, H. Theoretical aspects of seepage from open channels
1965 ASCE HY3 mei 1965
- DAVIS, C.V. Handbook of applied hydraulics
SORENSEN, K.E. Mc Graw Hill, New York
1969
- FRENCH, R.H. Open channel hydraulics
1985 Mc Graw Hill, New York
- HEATH, R.C. Introduction to ground-water hydrologie
TRAINER, F.W. Wiley, New York
1968
- LINSLEY, R.K. Water resources engineering
FRANZINI, J.B. Mc Graw Hill, New York
1979
- PENMAN, H.L. Natural evapotranspiration from open water,
1948 bare soil and gras
Proc. Roy. Soc. A., 193
- SCHOORL, P. Hadejia River Basin Watercontrol + Irrigation
1986 Afstudeerverslag TH DELFT 1986
- SCHROPP, M. De bepaling van de stuwkromme in waterlopen met
1987 afnemende afvoer door inzijging
Afstudeerverslag TH DELFT april 1987
- UDO, R.K. Geographical regions of Nigeria

COLLEGEDICTATEN :

DAM, J.C. VAN Waterhuishouding, hydrologische gronddslagen
1981 Collegedictaat f14
 TH DELFT, afdeling der Civiele Techniek

DAM, J.C. VAN Geohydrologie
1985 Collegedictaat f15B
 TH DELFT, afdeling der Civiele Techniek.

VERRUYT, A. Grondwatermechanica
1984 Collegedictaat b90
 TH DELFT, afdeling der Civiele Techniek

RAPPORTEN :

CHIFANA CONSULTANTS Improvement of River Channels along
1986 River Hadejia between Geidam en Gashua
 volume I, final report
 Lagos, Nigeria

SCHULTZ INTERNATIONAL Hadejia River Basin Study
1976 Vancouver BC, Canada

HYDROLOGICAL YEARBOOK Hydrological Yearbook 1963 - 1972,
1974 agroclimatological atlas of the northern
 states of Nigeria KANO State, Ministry
 of works and survey hydrologie section
 Kano, Nigeria

VERBETERINGEN EN AANVULLINGEN

blz 8, regel 3	het instroomdebiet van de Gaya bedraagt circa 10 % van het debiet van de Hadejia
blz 11, onderschrift fig. 2.5	Geidam moet worden Gashua
blz 16, verklaring van k	Bear 1969 moet worden Bear, 1972
blz 19, boven en onder fig. 3.4	aanstroomdebiet is instroomdebiet
blz 26, regel 5 van onder	afvoerdebieten moet worden debieten
blz 28, tabel 4.1	$10^{-6} \text{ m}^3/\text{maand}$ moet worden $10^6 \text{ m}^3/\text{maand}$
blz 32, tabel 4.4	idem
blz 34, 2 ^e alinea	moet worden "..... waterverlies van de Hadejia op het traject Wudil - Suntulmawa voor ruim 90%"