

3151

v. Mierlo  
Vergeer  
1981

ANALYSE VAN DE VOORTPLANTING  
EN DE VERVORMING VAN  
GEBAGGERDE GATEN OP DE NIGER

DEEL I

---

TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT  
AFDELING DER CIVIELE TECHNIEK  
VAKGROEP WATERBOUWKUNDE

---

Analyse van de voortplanting en de vervorming  
van gebaggerde gaten op de Niger

Deel I

Vakgroep: Waterbouwkunde  
Vakgroep: Vloeistofmechanica



### Een woord vooraf

Op deze plaats past een woord van dank aan allen die door middel van ideeën, adviezen en begeleiding hebben bijgedragen aan de totstandkoming van dit afstudeerrapport.

Allereerst betreft dit Prof. Ir. J.F. Agema en zijn medewerkers Ir. A. Prins, Ir. J. Stuip en Ir. A.M. Sutmuller die vanuit de vakgroep Waterbouwkunde het hoofdafstudeerontwerp hebben begeleid. Dit betreft de hoofdstukken 1 tot en met 7 en hoofdstuk 11.

Daarnaast werd een deelontwerp bij de vakgroep Vloeistofmechanica gedaan. Dit betreft hoofdstuk 8 tot en met 10. De afstudeerdocent voor dit deelontwerp was Prof. Dr. Ir. C.B. Vreugdenhil. Ook bij Prof. Dr. Ir. M. de Vries, Dr. Ir. N. Booy en Ir. J.S. Ribberink konden wij met onze vragen terecht.

De ingenieursbureau's Nedeco en Haskoning willen wij gaarne bedanken voor de door hun verstrekte informatie. Constance Terink willen wij gaarne bedanken voor het keurig verzorgde type-werk.

M.C.L.M. van Mierlo

G.J.H. Vergeer

juni 1981

## HOOFDSTUK 0 : Inleiding

|       |                    | blz. |
|-------|--------------------|------|
| § 0-1 | Algemeen           | 1    |
| § 0-2 | Doel afstudeerwerk | 2    |

## HOOFDSTUK 1 : De rivier de Niger

|         |                                                                                                | blz. |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| § 1-1   | Algemene beschrijving van het stroom-<br>gebied van de Niger                                   | 4    |
| § 1-2   | Neerslag en Verdamping                                                                         | 13   |
| § 1-3   | Beschrijving van het afvoerregime                                                              | 16   |
| § 1-4   | Veranderingen van het afvoerregime van<br>de Beneden-Niger                                     | 17   |
| § 1-4.1 | De invloed van het Kainji-reservoir<br>op het afvoerregime                                     | 18   |
| § 1-4.2 | De invloed van het Kainji, Jebba- en<br>Shiroro-reservoir op het afvoerregime                  | 21   |
| § 1-4.3 | De invloed van het Kainji-, Jebba-,<br>Shiroro- en het Lokoja reservoir op<br>het afvoerregime | 24   |
| § 1-5   | Riviertypen                                                                                    | 48   |
| § 1-6   | Beschrijving van het sedimenttransport                                                         | 49   |
| § 1-7   | De invloed van de verandering van het<br>afvoerregime op de morfologie van de<br>rivier        | 54   |
| § 1-8   | De invloed van een dam op de bodemlig-<br>ging benedenstrooms van de dam                       | 57   |

## HOOFDSTUK 2: Sedimenttransportformules

|         |                                                             | blz. |
|---------|-------------------------------------------------------------|------|
| § 2-1   | De geteste sedimenttransportformules                        | 60   |
| § 2-1.1 | De aangepaste formule van Meyer-Peter-Müller                | 60   |
| § 2-1.2 | De formule van Meyer-Peter-Müller                           | 64   |
| § 2-1.3 | De formule van Rottner                                      | 65   |
| § 2-1.4 | De formule van Ackers en White                              | 66   |
| § 2-1.5 | De formule van Engelund en Hansen                           | 68   |
| § 2-1.6 | De formule van Einstein en Brown                            | 69   |
| § 2-1.7 | De formule van Inglis en Lacey                              | 70   |
| § 2-2   | De beschikbare sedimenttransportmetingen                    | 72   |
| § 2-3   | De berekeningen uitgevoerd met de formules vermeld in § 2-1 | 75   |
| § 2-3.1 | Berekening met aangepaste formule van Meyer-Peter-Müller    | 75   |
| § 2-3.2 | Berekening met formule van Meyer-Peter-Müller               | 75   |
| § 2-3.3 | Berekening met formule van Rottner                          | 76   |
| § 2-3.4 | Berekening met formule van Ackers en White                  | 76   |
| § 2-3.5 | Berekening met formule van Engelund en Hansen               | 76   |
| § 2-3.6 | Berekening met formule van Einstein en Brown                | 77   |
| § 2-3.7 | Berekening met formule van Inglis en Lacey                  | 77   |
| § 2-4   | Berekening van de lineaire regressielijnen                  | 93   |
| § 2-5   | Keuze van de sedimenttransportformule                       | 105  |

### HOOFDSTUK 3 : Afschatting van de ruwheid

blz.

|         |                                                        |     |
|---------|--------------------------------------------------------|-----|
| § 3-1   | Inleiding                                              | 108 |
| § 3-2   | Scheiding van korrelruwheid en bedruwheid              | 109 |
| § 3-2.1 | De "gemeten" C-waarden                                 | 110 |
| § 3-2.2 | Einstein-Barbarossa                                    | 112 |
| § 3-2.3 | Engelund-Hansen                                        | 116 |
| § 3-2.4 | Lovera-Kenedy / Alam-Kenedy                            | 122 |
| § 3-3   | Keuze methode C-waarden bepaling                       | 130 |
| § 3-4   | Afschatting van de C-waarden in de "te baggeren" gaten | 140 |

HOOFDSTUK 4 : Gevoeligheid C-waarde op het sedimenttransport  
in het gat

blz.

|         |                                                                                                                                           |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 4-1   | Inleiding                                                                                                                                 | 149 |
| § 4-2   | Berekening van de verhanglijnen over de vijf "gatvormen"                                                                                  | 151 |
| § 4-2.1 | Berekening van de verhanglijnen met C-waarden bepaald met de afschatting-methode van Engelund en Hansen                                   | 154 |
| § 4-2.2 | Berekening van de verhanglijnen met C-waarden die ook benedenstrooms op de rivier gelden                                                  | 159 |
| § 4-3   | Berekening van de sedimenttransporten in de diverse gatvormen                                                                             | 164 |
| § 4-4   | Analyse van de invloed die een foutieve konstante van Chezy (C) heeft op de in het "gebaggerde gat" optredende totale sedimenttransporten | 168 |
| § 4-4.1 | De formules waarmee de relatieve fouten in de totale sedimenttransporten kunnen worden berekend                                           | 168 |
| § 4-4.2 | Toetsing van de formules waarmee de relatieve fouten in de totale sedimenttransporten kunnen worden berekend.                             | 173 |
| § 4-4.3 | Mag de verhanglijn over het "te baggeren" gat met de direkt benedenstrooms van het gat aanwezige C-waarde worden berekend?                | 180 |
| § 4-5   | Interpretatie van de in § 4-3 berekende sedimenttransporten met betrekking tot de vervorming van het gebaggerde gat                       | 185 |
| § 4-5.1 | Bovenstrooms van het "te baggeren" gat                                                                                                    | 185 |

|         |                                                                                                         |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 4-5.2 | Hoe plant het "te baggeren" gat zich voort                                                              | 194 |
| § 4-6   | Het baggermaterieel waarmee de vijf gat-<br>vormen kunnen worden gebaggerd                              | 196 |
| § 4-6.1 | De diverse soorten baggerwerktuigen                                                                     | 197 |
| § 4-6.2 | Het horizontale transport van het<br>"gebaggerde zand" over de rivier naar het<br>op te spuiten terrein | 201 |

## HOOFDSTUK 5 : Stelsel toe te passen vergelijkingen

blz.

|         |                                                                                                             |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 5-1   | Basisvergelijkingen                                                                                         | 204 |
| § 5-2   | Stelsel toe te passen vergelijkingen                                                                        | 210 |
| § 5-3   | De aanpassingslengte van de concentratie<br>verticaal van het bodemtransport                                | 214 |
| § 5-3.1 | Het onderzoek van Kerssens                                                                                  | 214 |
| § 5-3.2 | Berekening van de $W_s / k_{u_{\pi}}$ -waarden                                                              | 219 |
| § 5-3.3 | De gevoeligheid van de $W_s / k_{u_{\pi}}$ -waarden<br>voor foutieve C-waarden                              | 229 |
| § 5-3.4 | Berekening van de $W_s / k_{u_{\pi}}$ -waarden<br>bovenstrooms en benedenstrooms van<br>de gebaggerde gaten | 235 |
| § 5-3.5 | Conclusie t.a.v. de berekende<br>$W_s / k_{u_{\pi}}$ -waarden                                               | 240 |



HOOFDSTUK 6 : Analyse karakteristieke voortplantingssnelheid  
bij diverse continuïteits vergelijking

blz.

|       |                                                                                                                                                                                 |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 6-1 | Inleiding                                                                                                                                                                       | 244 |
| § 6-2 | Waar het zand in de rivier kan worden<br>gewonnen                                                                                                                               | 245 |
| § 6-3 | De gecombineerde één-dimensionale<br>beweging/continuïteits vergelijking<br>voor het water                                                                                      | 248 |
| § 6-4 | De één-dimensionale continuïteits<br>vergelijking voor het sediment<br>$\partial s_t / \partial x + \partial^2 / \partial t = 0$                                                | 251 |
| § 6-5 | De één-dimensionale continuïteits<br>vergelijking voor het sediment<br>$\partial s_t / \partial x + \partial^2 / \partial t + \partial c_a / \partial t = 0$                    | 256 |
| § 6-6 | De één-dimensionale continuïteits<br>vergelijking voor het sediment die<br>geldt tijdens het baggeren<br>$\partial s_t / \partial x + \partial^2 / \partial t + g_z / B.L. = 0$ | 263 |

## HOOFDSTUK 7 : De Schematisatie

blz.

|         |                                                                                                |     |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 7-1   | Inleiding                                                                                      | 271 |
| § 7-2   | De schematisatie gegevens                                                                      | 272 |
| § 7-2.1 | Het gekozen referentie niveau                                                                  | 272 |
| § 7-2.2 | De bodemligging t.o.v. Lagos Datum                                                             | 272 |
| § 7-2.3 | Het verloop van de rivierbreedte                                                               | 272 |
| § 7-2.4 | De waarden voor $d_{50}$ , $d_{90}$ , $W_s$                                                    | 274 |
| § 7-2.5 | De geschematiseerde afvoerregimes met bijbehorende C-waarden en peilschaal aflezingen          | 274 |
| § 7-2.6 | De verhanglijnen over de geschematiseerde rivier                                               | 284 |
| § 7-2.7 | De morfologisch doorgerekende schematisatie                                                    | 288 |
| § 7-3   | De wijze waarop is geschematiseerd                                                             | 290 |
| § 7-3.1 | De keuze van het referentie niveau                                                             | 290 |
| § 7-3.2 | Bepaling van de gemiddelde waarden van de $d_{50}$ , $d_{90}$ en valsnelheid $W_s$ per traject | 291 |
| § 7-3.3 | Bepaling van de bodemligging                                                                   | 291 |
| § 7-3.4 | Bepaling van de rivierbreedten                                                                 | 297 |
| § 7-3.5 | Methode om te controleren of de schematisatie een globale evenwichtsligging der rivier is      | 303 |

## HOOFDSTUK 8 : Numerieke methoden en hun eigenschappen

blz.

|         |                                                                          |     |
|---------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 8-1   | Numerieke methoden                                                       | 305 |
| § 8-2   | De eindige differentie-methode                                           | 307 |
| § 8-3   | De eindige differentie-methoden                                          | 310 |
| § 8-3.1 | Het impliciete schema                                                    | 310 |
| § 8-3.2 | Het expliciete schema                                                    | 311 |
| § 8-4   | De differentie-schema's                                                  | 313 |
| § 8-4.1 | De differentie-schema's voor vergelijking 8-5                            | 313 |
| § 8-4.2 | De differentie-schema's voor vergelijking 8-6                            | 316 |
| § 8-5   | Numerieke eigenschappen                                                  | 318 |
| § 8-5.1 | De vergelijking waarop de nauwkeurighedsanalyse wordt toegepast          | 320 |
| § 8-5.2 | De nauwkeurighedsanalyse voor de simple-wave vergelijking                | 322 |
| § 8-5.3 | Stabiliteit van de differentie-schema's                                  | 332 |
| § 8-5.4 | Stabiliteit van de stuwkromme berekening                                 | 333 |
| § 8-5.5 | De afbreekfout en consistentie van de differentie-schema's               | 337 |
| § 8-5.6 | De afbreekfout van de differentie-schema's voor de stuwkromme berekening | 342 |
| § 8-6   | Keuze differentie-schema's                                               | 344 |
| § 8-7   | De in de computerberekeningen gebruikte differentie-schema's             | 345 |

HOOFDSTUK 9 : Afleiding van de criteria die gesteld worden  
aan de numerieke nauwkeurigheid

blz.

|         |                                                                                                          |     |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 9-1   | Inleiding                                                                                                | 348 |
| § 9-2   | Ontwikkeling van een te baggeren gat<br>in een Fourier-reeks                                             | 350 |
| § 9-3   | De analytische oplossing van de hyper-<br>bolische vergelijking                                          | 356 |
| § 9-3.1 | De dempingstijd $T_d$                                                                                    | 357 |
| § 9-3.2 | De relatieve faseverschuiving $c_f$ van<br>de met behulp van de Fourier-analyse<br>gegenereerde sinussen | 359 |
| § 9-4   | Formules waarmee de relatieve fouten in<br>$C_b$ en $T_d$ kunnen worden berekend                         | 360 |
| § 9-4.1 | De relatieve fout in de waterdiepte                                                                      | 361 |
| § 9-4.2 | De relatieve fout in de karakteristieke<br>voortplantingssnelheid ( $C_b$ )                              | 361 |
| § 9-4.3 | De relatieve fout in de dempingstijd                                                                     | 362 |
| § 9-5.1 | Criterium voor de fout in de numerieke<br>demping                                                        | 364 |
| § 9-5.2 | Criterium voor de fout in de numerieke<br>faseverschuiving                                               | 365 |

## HOOFDSTUK 10 : Toetsing criteria

blz.

|        |                                                                                               |     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 10-1 | Inleiding                                                                                     | 368 |
| § 10-2 | De 1-cm. golf                                                                                 | 371 |
| § 10-3 | Toetsing van de linkergedeelten van de criteria uit § 9-5.1 en § 9-5.2 voor een gebaggerd gat | 376 |
| § 10-4 | Gevoeligheidsonderzoek                                                                        | 381 |
| § 10-5 | Gevolgte methode voor keuze ruimtestap voor de gebaggerde gaten op de Niger                   | 390 |
| § 10-6 | Samenvatting                                                                                  | 392 |

## HOOFDSTUK 11 : Interpretatie berekeningsresultaten

blz.

|        |                                                                                                          |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 11-0 | Inleiding                                                                                                | 394 |
| § 11-1 | De afmetingen van de doorgerekende gebaggerde gaten en de rivierverbreding                               | 395 |
| § 11-2 | De ruimtestappen bij de morfologische berekeningen van de verschillende gatvormen en de rivierverbreding | 404 |
| § 11-3 | Berekeningsresultaten                                                                                    | 406 |
| § 11-4 | Het mechanisme van een gebaggerd gat                                                                     | 418 |
| § 11-5 | De verschillen in demping en voortplanting tussen de diverse gatvormen                                   | 423 |
| § 11-6 | De ligging en de overgebleven volumina van de diverse gatvormen na 25 jaar                               | 425 |
| § 11-7 | De betrouwbaarheid van de berekeningsresultaten                                                          | 427 |

## APPENDICES

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| Appendix I :                                      | 430 |
| Afleiding der amplificatie factoren               |     |
| Appendix II :                                     | 435 |
| De formules voor $c_r$ en d                       |     |
| Appendix III :                                    | 438 |
| De stabiliteits analyse                           |     |
| Appendix IV :                                     | 442 |
| De afbreekfouten bij Simple-wave                  |     |
| Appendix V :                                      | 446 |
| De verklaring waarom enkel Upstream beschouwd     |     |
| Appendix VI :                                     | 448 |
| De computerberekeningen behorend bij hoofdstuk 10 |     |
| Appendix VII :                                    | 451 |
| Bepaling van de ruimtestap voor de Niger gaten    |     |

Appendix VIII :

456

Bepaling van relatieve fout in de  
dempingstijd

Appendix IX :

460

De computerberekeningen behorende bij  
hoofdstuk 11



HOOFDSTUK 0

Inleiding

§ 0-1 Algemeen:

In de omgeving van Lokoja zijn in het verleden ijzerertsvoorraden ontdekt (zie fig. 0-1).

Men is van plan deze voorraden te gaan exploiteren. De helft van de voorraad zal geëxporteerd worden. De andere helft zal in Nigeria worden verwerkt. De totale hoeveelheid die men per jaar denkt te verwerken en te exporteren bedraagt 10 miljoen ton erts per jaar.

Voor de verwerking in eigen land wordt te Apla-Apla een hoogovenbedrijf gebouwd. Apla-Apla ligt ongeveer 36 km. benedenstrooms van Lokoja.

T.b.v. de bouw van deze staalfabriek zal een terrein worden opgespoten. De hoeveelheid zand die men hiervoor nodig heeft bedraagt  $20 \text{ à } 25 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Tot een van de mogelijkheden behoort de winning van dit zand uit de rivier de Niger. Dit zal betekenen dat ongeveer 10 x het totale jaarlijkse sedimenttransport te Shintaku aan de rivier wordt onttrokken in een periode van ongeveer 2 jaar.

Door de snelle ontwikkeling van de afgelopen jaren is in Nigeria de vraag naar electriciteit sterk toegenomen. De toename in de vraag was het gevolg van het stijgend gebruik in de industrie (petrochemie) en de particuliere sector.

Om aan de huidige en toekomstige vraag naar elektrische energie te kunnen voldoen is men momenteel bezig met de bouw van een tweetal waterkrachtwerken, namelijk te Jebba en te Shiroro-Gorge (zie fig 0-1). Men denkt deze werken in respectievelijk 1984 en 1983 te voltooien. Daarnaast wil men een waterkrachtwerk maken benedenstrooms van Lokoja, dat men in 1990 denkt te voltooien.

Door de bouw van dammen t.b.v. deze waterkrachtwerken zal het afvoer-regime van de middenloop maar vooral van de benedenloop van de Niger beïnvloed worden.

§ 0-2    Doel afstudeerwerk

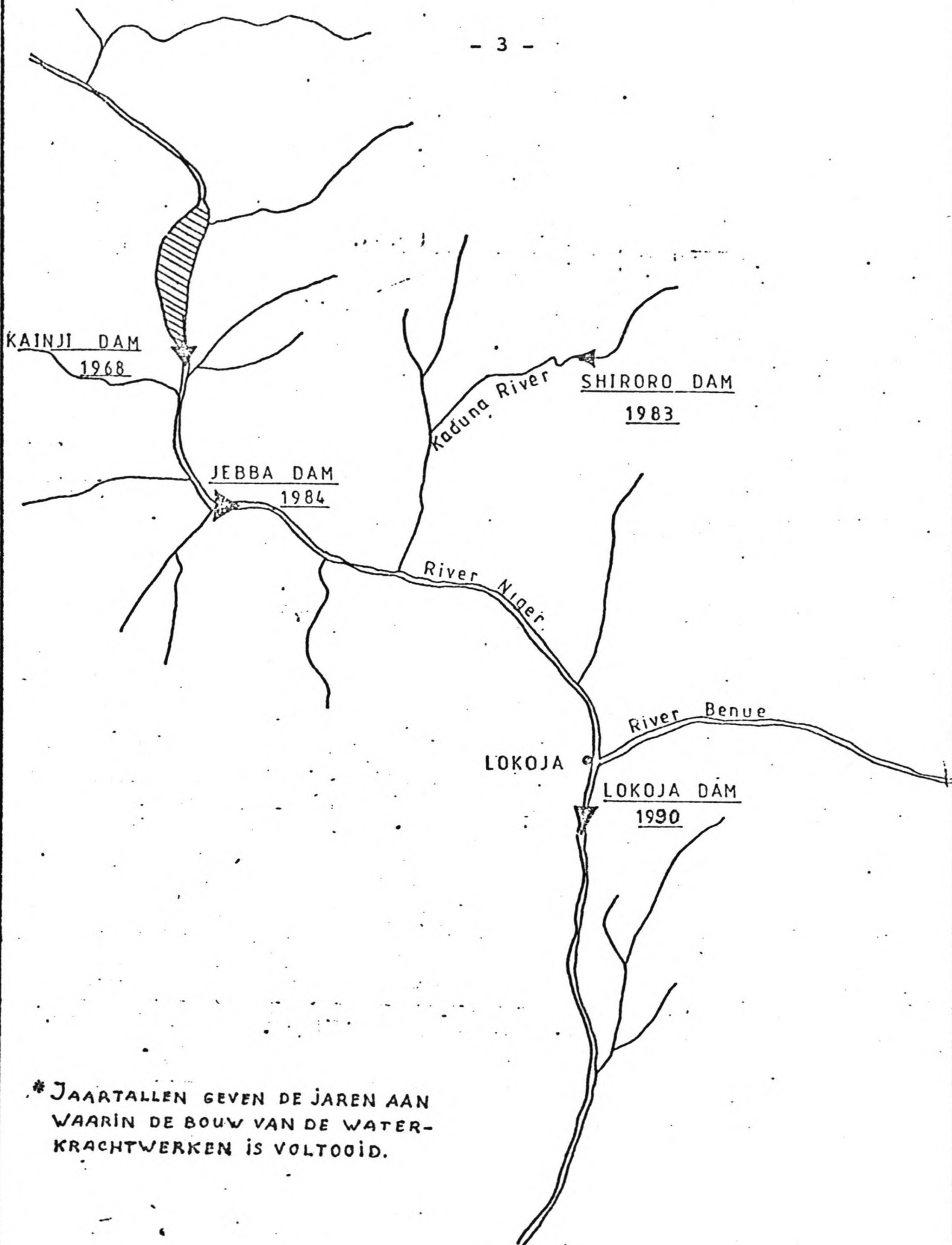
Zowel de winning van het zand, als de bouw van een aantal dammen zal invloed hebben op de morfologie van de Niger beneden Lokoja, de Beneden-Niger.

Doelstelling:

Het doen van een onderzoek naar de vervorming en de voortplanting van een te baggeren gat met een inhoud van 20 à 25 miljoen m<sup>3</sup> op de benedenloop van de rivier de Niger, waarbij rekening moet worden gehouden met het in de toekomst veranderende afvoerregime van de rivier.

FIGUUR 0-1

- 3 -



\* JAARTALLEN GEVEN DE JAREN AAN  
WAARIN DE BOUW VAN DE WATER-  
KRACHTWERKEN IS VOLTOOID.

|                                                  |           |  |
|--------------------------------------------------|-----------|--|
| OUTLINE OF EXISTING AND<br>PROPOSED DAM - SITES. | DATE      |  |
|                                                  | 11-10-'79 |  |
|                                                  |           |  |
| R.N.T.C.-RIVER NIGER TRANSPORT CONSORTIUM        |           |  |

HOOFDSTUK 1

De rivier de Niger

§1-1 Algemene beschrijving van het stroomgebied

De rivier de Niger behoort tot de grotere rivieren van de wereld. De rivier heeft een lengte van 4090 km. (Amazone 6670 km., Rijn 1310 km.).

Ook het oppervlak van zijn stroomgebied is aanzienlijk. Dit bedraagt totaal 1.876.100 km<sup>2</sup>. Hierin is een semi-woestijngebied meegerekend, dat nauwelijks bijdraagt in de afvoer. Zonder dit deel is het stroomgebied 1.112.000 km<sup>2</sup> groot (Amazone 7.050.000 km<sup>2</sup>, Rijn 362.000 km<sup>2</sup>).

De Niger ontspringt op de grens van Guinea en Sierra Leone in het Fouta Jallon gebergte, op ongeveer 240 km van de Atlantische Oceaan. De rivier stroomt vanaf zijn ontspringing echter niet in de richting van de oceaan, maar het binnenland in. (zie kaart 1). De Niger stroomt vanaf de oorsprong op 760 meter hoogte in noordoostelijke richting. Tot aan Kouroussa (3713 km stroomopwaarts) bevinden zich vele kleine stroomversnellingen in de rivier. Het bodemverhang is over dit traject groot ( $20 \times 10^{-5}$ ).

Vanaf Siguiri (3555 km stroomopwaarts) begint de Niger door zijn alluvraile afzettingen te stromen. Bij Ségou (3181 km stroomopwaarts) stroomt de rivier een moerasgebied binnen van 17.000 km<sup>2</sup>, dat een overblijfsel is van een oude delta. In dit gebied verliest de rivier veel water door infiltratie en verdamping. De bodemhelling neemt hier af tot waarden van  $5 \times 10^{-5}$  à  $1 \times 10^{-5}$ . Bij Diré (2533 km stroomopwaarts) als de rivier het moerassengebied verlaat, is de jaarlijkse afvoer met 65% gereduceerd.

Voorbij Timbuctu (2459 km) verlegt de rivier zijn as in vrijwel oostelijke richting en stroomt door een gebied van zandheuvelds en moerassen, totdat de stroomrichting door de aanwezigheid van rotsachtige heuvelds bij Tosay (2185 km stroomopwaarts) in zuidoostelijke richting wordt gedwongen.

Deze richting blijft de rivier houden tot ver op Nigeriaans grondgebied. Het stroomgebied van Tosay tot in de buurt van de Nigeriaanse grens is een

semi-woestijnachtig gebied, waar bijna geen neerslag valt. Bij de Nigeriaanse grens neemt de neerslag weer toe.

Als de rivier Nigeria binnenstroomt (1271 km stroomopwaarts) is het hoogwaterbed breed. Bij Yelwa (1107 km stroomopwaarts) verandert de stroomrichting in zuidelijke richting (zie kaart 2). Tussen Yelwa en Jebba (895 km stroomopwaarts) sluiten heuvels de rivier in. De rivier is hier smal en heeft een rotsachtige bodem. In dit riviertraject komen tussen Bussa (1033 km stroomopwaarts) en Jebba een drietal belangrijke stroomversnellingen voor. Tussen Bussa en Jebba bevindt zich ook de in 1968 gereed gekomen Kainji-dam, waarachter een groot stuwmeer ligt. Beneden Jebba stroomt de rivier weer in zuidoostelijke richting. Benedenstrooms van Jebba stroomt de rivier door een breed en ondiep dal, dat 8 tot 16 km breed is, met moerassige oevers en veel eilanden in de rivier.

Op ongeveer 128 km benedenstrooms van Jebba mondt een belangrijke zijrivier in de Niger uit. Namelijk bij Pategi, waar de Kaduna de Niger ontmoet. Ongeveer 25% van de jaarlijkse afvoer direct benedenstrooms van dit samenvloeiingspunt wordt door de rivier de Kaduna aangevoerd.

Vlak voor Baro (698 km stroomopwaarts) gaat de rivier de Niger tot aan ongeveer Lokoja (583 km stroomopwaarts) in zuidoostelijke richting stromen. Benedenstrooms van Baro verschijnen tafelbergen langs de rivier die op variabele afstand van de rivier liggen. Tussen deze bergen en de oevers van de rivier, bevinden zich min of meer uitgebreide vlakten met hier en daar een overblijfsel van het doorlopende plateau, wat de rivier in de loop van de eeuwen heeft ingeschuurd.

Bij Lokoja verlegt de rivier zijn stroomrichting in zuidelijke richting. Hier stroomt ook de belangrijkste zijrivier, de Benue, in de Niger, die voor meer dan 60% bijdraagt in de jaarlijkse afvoer van de Beneden-Niger. Benedenstrooms van Lokoja sluiten heuvels de rivier in. De rivier wordt hier smal en in dit traject komen enkele rotseilanden in de scheepvaart-route voor. De rivier heeft zich ingeschuurd in het zogenaamde "Basement Complex" (grof gekristalliseerd tot porfierische granieten) dat de naam van "Rocky Section" draagt (zie fig. 1-1).

De diepte waarover de rivier de uitgeschuurde sleuf met alluviaal materiaal heeft opgevuld is niet precies bekend. Aan de hand van geologische en morfologische beschouwingen van Nigeria en door vergelijkingen met dwarsdoorsneden te Onitsha (373 km stroomopwaarts) en Markurdi (gelegen aan de Benue op 238 km stroomopwaarts vanaf het samenvloeiingspunt met de Niger) verwacht men hier tot op diepten van 80 tot 90 meter beneden de aanwezige rivierbodem alluviale afzettingen te vinden (zie fig. 1-2). De alluviale afzettingen bestaan waarschijnlijk hoofdzakelijk uit middel-fijn tot grof zand, met wat grint. De afzettingen zijn goed waterdoorlatend.

Benedenstrooms van het Shutter-eiland (523 km stroomopwaarts) tot aan Idah (499 km stroomopwaarts) wordt de rivier weer breed en stroomt in zijn alluvium. Bij Idah versmalt de rivier zich over een korte afstand, waarbij hij tussen steile zandsteenwanden stroomt.

Verder benedenstrooms wordt de rivier aan de rechteroever op enige afstand hiervan begrensd door flauwglooiende heuvels. Op de linkeroever strekt zich tot aan de zijrivier de Anambra, een ongeveer 30 km brede vlakte uit van alluviale afzettingen. De oevers zijn in dit traject grotendeels van zand met tamelijke dichte vegetatie (zie fig. 1-3). Veel zandbanken komen bij waterstanden van 1,5 à 3 m. beneden H.W.-peil boven water. De bovengenoemde vlakte versmalt zich langzaam tot aan Onitsha (373 km stroomopwaarts). Bij Onitsha versmalt de rivier zich voor de laatste keer. (zie fig. 1-4). Benedenstrooms van Onitsha stroomt de rivier een grote vlakte in. Bij grote afvoeren verliest de rivier hier water aan de parallel stromende rivieren de Orashi en de Asé. Hierdoor zijn de hoogwaterafvoeren bij Aboh (285 km stroomopwaarts) kleiner als bij Onitsha.

Benedenstrooms van Aboh heeft de rivier een goed meanderend patroon ontwikkeld en splitst zich in 2 hoofdtakken, de Forcados en de Nun. Via deze takken en vele kreken bereikt het water van de Niger de Atlantische Oceaan. (zie de figuren 1-5 en 1-6).

Om inzicht te krijgen in hoogteligging van de rivier de Niger t.o.v. het gemiddelde zeeniveau (M.S.L.) over de volledige lengte van de rivier, is

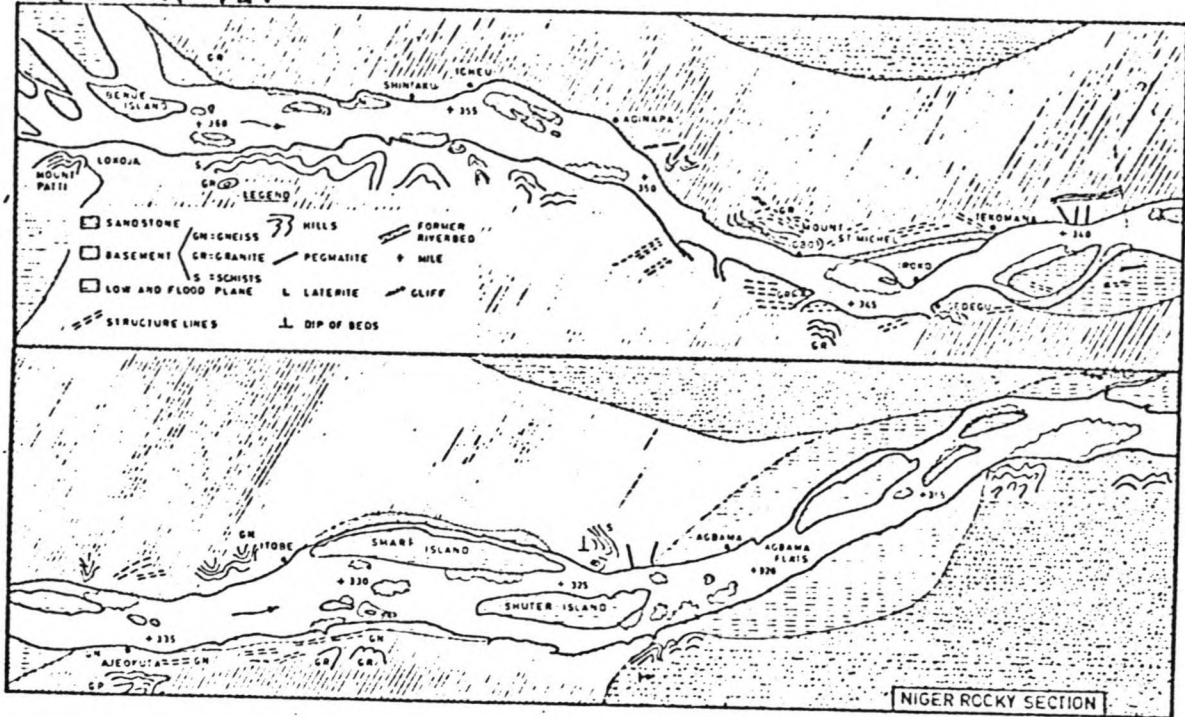


figuur 1-7 toegevoegd.

In figuur 1-8 kan men zien waar de rivier geen "flood plains" heeft en de heuvels/bergen direkt aan de rivier grensen.

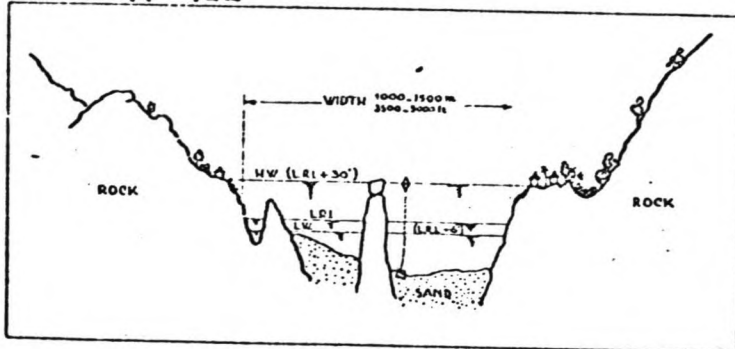
Tabel 1-1 geeft een overzicht van de grote van de stroomgebieden van de Niger en zijn belangrijkste zijrivieren.

FIGURE 1-1



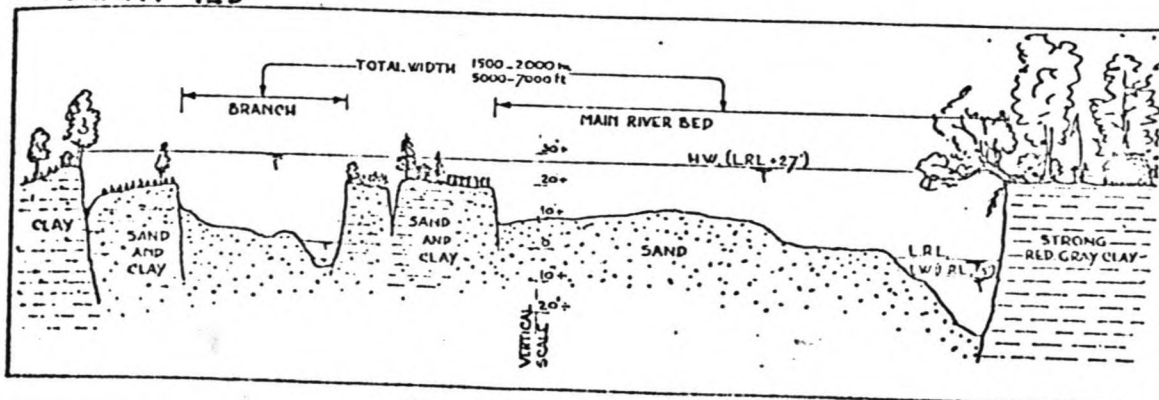
Geological map of Niger Rocky Section

FIGURE 1-2



The Rocky Section of the Niger

FIGURE 1-3



The Niger between Illucki and Qind



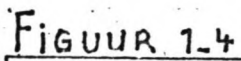
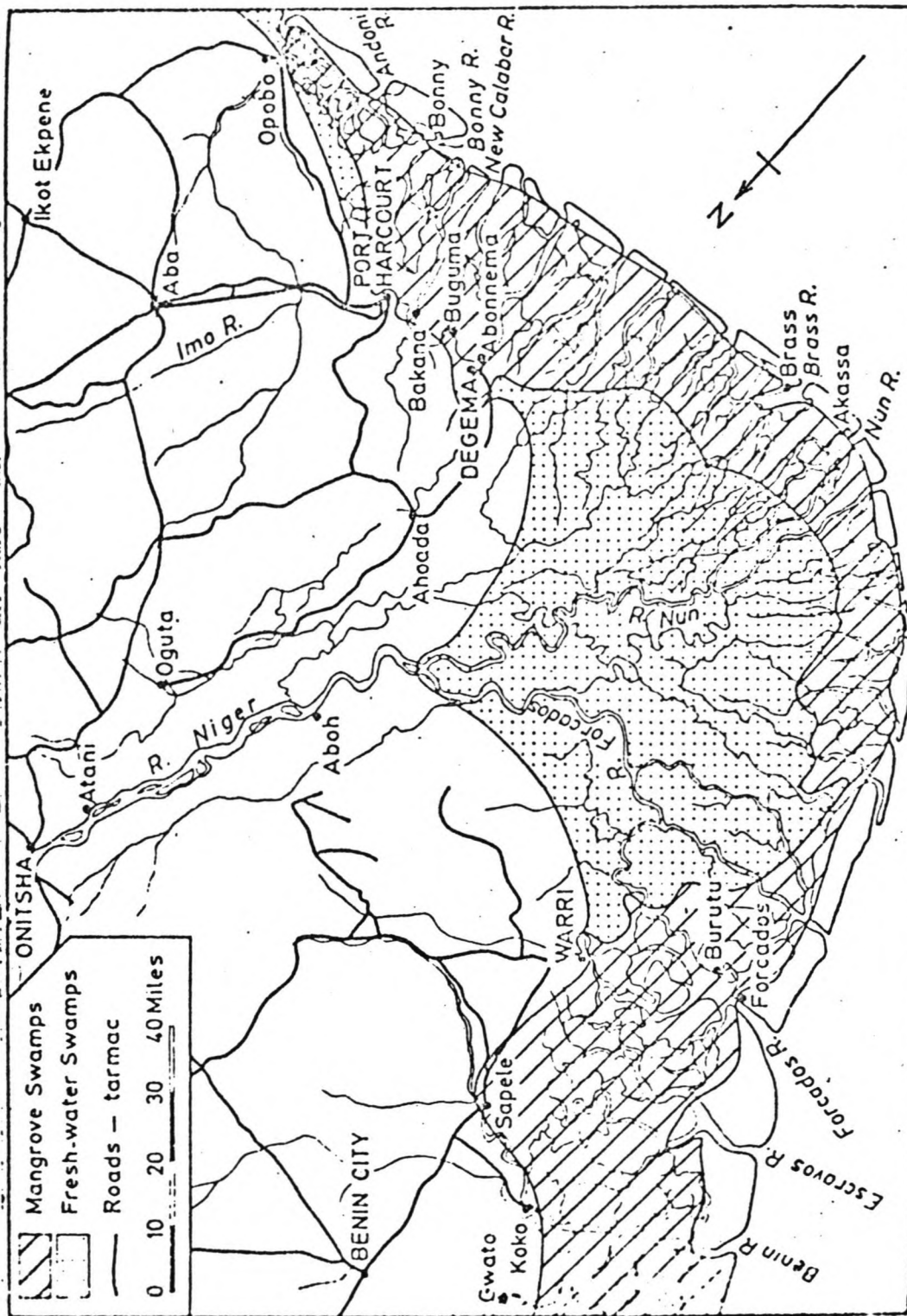
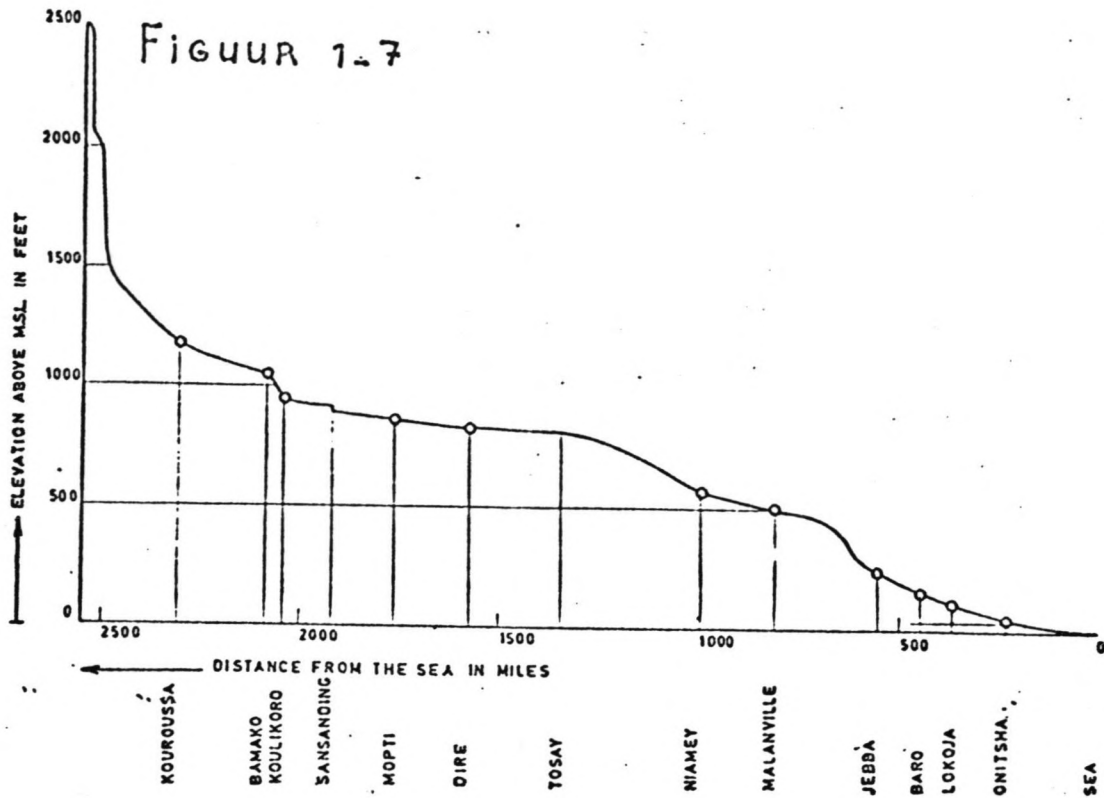
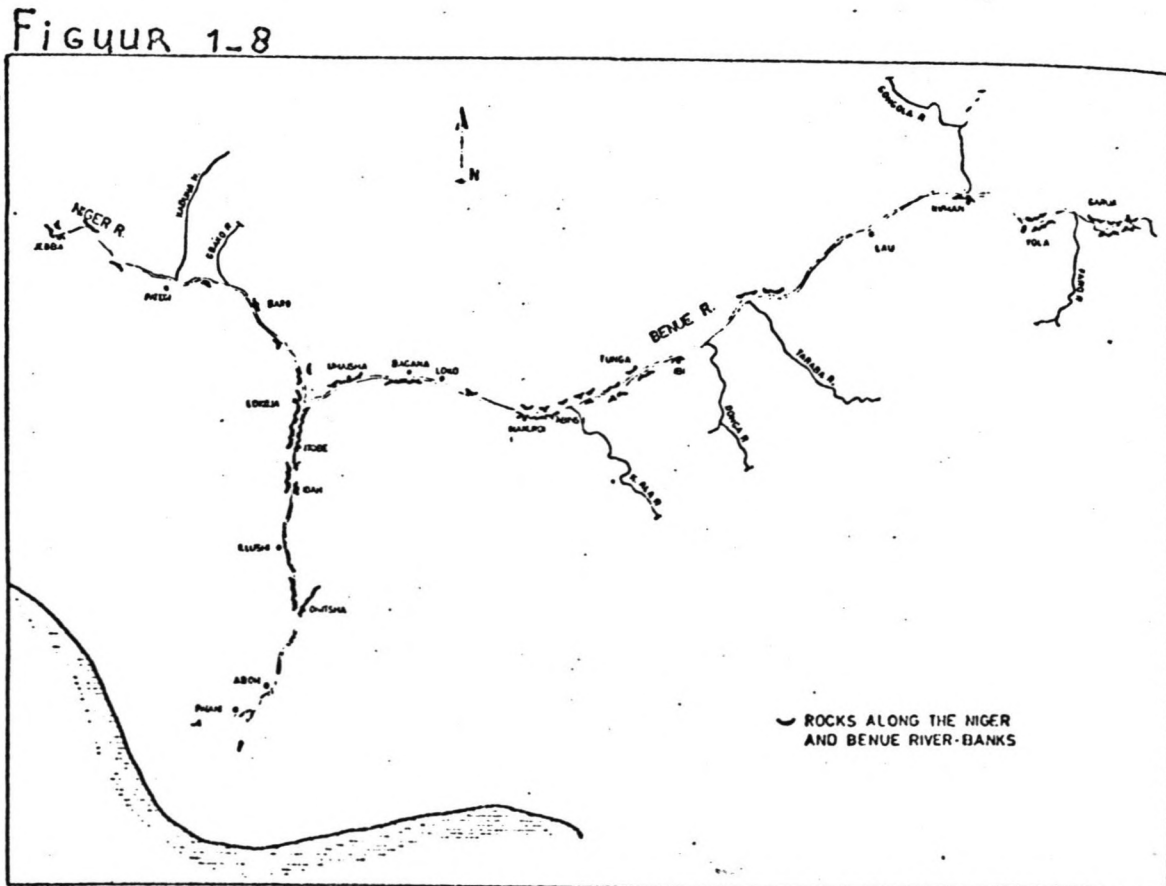


FIGURE 1-6





*Longitudinal profile of the Niger*



*Rocks along the Niger and Benue*

TABEL 1-1

|             | Location/tributary  | drainage area in km <sup>2</sup> |
|-------------|---------------------|----------------------------------|
| BOVENLOOP   | Niger at Koulihore  | 121,700                          |
|             | Niger at Diré       | 304,700                          |
| MIDDENLOOP  | Niger at Malanville | 440,100 (Nigerian frontier)      |
|             | Sokoto              | 88,060                           |
|             | Kaduna              | 66,300                           |
|             | Gurara              | 14,740                           |
| BENEDENLOOP | Niger at Lokoja     | 750,000                          |
|             | Eenue               | 336,000                          |
|             | Anambra             | 13,340                           |
|             | Niger at Onitsha    | 1,113,200                        |

§ 1-2     Neerslag en verdamping.

De neerslagverdeling over het stroomgebied van de Niger wordt bepaald door:

- a) de beweging van een inter-tropisch front dat bepaalt welk deel van het land door depressies vanuit het westen en zuid-westen, wordt beïnvloed.
- b) de effecten die gebergten veroorzaken (orografische effecten);  
de neerslag is aan de windzijde groter dan boven de aangrenzende vlakten. Er vindt grote neerslag plaats op het zogenaamde Jos Plateau en het Cameroun gebergte.

In het algemeen kan men stellen dat er in het zuid-westen van Nigeria een regenseizoen is in de maanden mei, juni en de eerste helft van juli. Daarna volgt een korte droge periode tot eind augustus, waarna een tweede regenseizoen begint tot eind oktober. Van begin november tot eind april is er een lange droge periode.

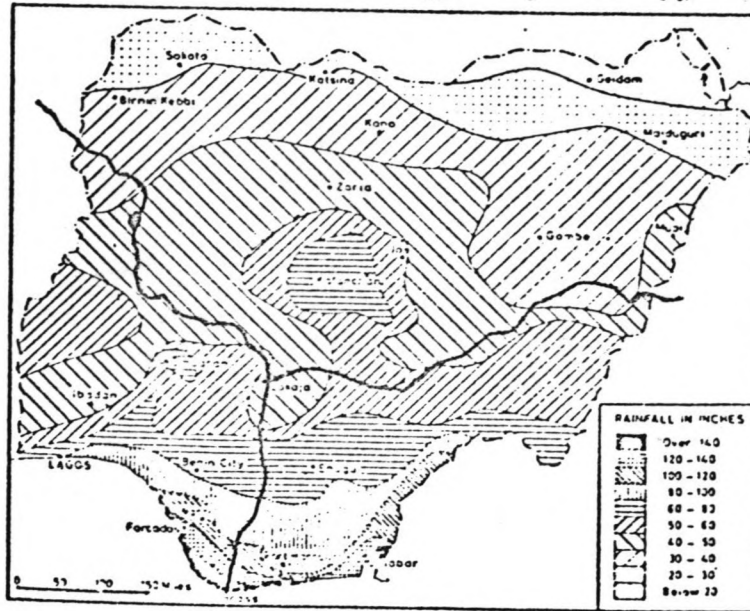
In het noorden en het oosten van Nigeria kent men slechts een regenseizoen van juli tot september. Dit staat in verband met de beweging van het inter-tropische front. (zie Nedeco-rapport 1959 blz 209).

Naarmate men verder naar het noorden komt, neemt de duur van het regenseizoen af. Bovendien verliest de moeson vocht, tijdens zijn weg vanaf het zuiden naar het binnenland. Dit zijn de redenen, waarom de gemiddelde jaarlijkse neerslag afneemt naarmate men verder het binnenland ingaat. Voor een overzicht van de jaarlijkse totale neerslagen zie fig. 1-9.

Op basis van meteorologische gegevens verzameld te Yelwa en Harin, kan de jaarlijkse potentiële verdamping bij benadering op 2000 mm gesteld worden. Tabel 1-2 geeft een indicatie van de verdeling over het jaar van de potentiële verdamping.

Tenslotte wordt opgemerkt dat uit spectraal analyse van de jaarlijkse afvoeren bleek, dat er een duidelijke periodiciteit in de afvoeren zit. Ongeveer 15 droge jaren worden afgewisseld door 15 natte jaren. (zie R.N.T.C.-rapport okt. 1979).

FIGURE 1.9



Annual Total Rainfall

TABEL 1.2

| month                       | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| potential evaporation in mm | 202 | 193 | 208 | 165 | 143 | 155 | 135 | 122 | 124 | 142 | 162 | 186 |

§1-3 Beschrijving van het afvoerregime.

Wanneer het afvoerregime van de Niger wordt bekeken, valt op dat er zich 2 hoogwaterperioden voordoen met daartussen een laagwaterperiòde.

Door de neerslag in het brongebied en de bovenloop van de Niger ontstaat de zogenaamde "Black flood". Deze neerslag valt daar ongeveer in dezelfde periode wanneer in Nigeria het natte seizoen is.

Doordat de "Black flood" door het moerassengebied bij Timbuctu stroomt, wordt de hoogwatergolf ten gevolge van bergingseffecten vertraagt en afgevlakt. Bovenstrooms van het moerassengebied te Koulikouri heeft de Niger zijn maximale afvoer in september, evenals de hierna behandelde zogenaamde "White flood" in de benedenloop van de Niger. Bij Timbuctu, benedenstrooms van het moerassengebied is de afvoer in januari op zijn maximum. Figuur 1-10 geeft de karakteristieke vorm van de "Black flood" weer te Niamey. Niamey ligt ongeveer 225 km. bovenstrooms van het punt waar de Niger Nigeria binnenstroomt en waar zijrivieren de karakteristieke vorm nog nauwelijks hebben verstoord.

De neerslag in het stroomgebied van de Niger en zijn zijtakken binnen Nigeria en Cameroun veroorzaakt de zogenaamde "White flood". Doordat hier de looptijd veel korter is dan bij de "Black flood" zal er veel minder afvlakking van de hoogwatergolf optreden. De maximale afvoeren ten gevolge van de "White flood" vallen voor de midden- en benedenloop van de Niger in de maanden september/oktober en veroorzaken veel hogere waterstanden dan de "Black flood". De "White flood" begint in juli, in oktober neemt hij zeer snel af.

Een goed beeld van de "White flood" geeft fig. 1-11 bij Makurdi aan de Benue gelegen. Hier wordt de afvoerkromme immers niet door de "Black flood" beïnvloed.



Kijken we naar een plaats als Baro, dan zijn in het afvoerverloop beide hoogwatergolven te herkennen (zie fig. 1-12). Hier heeft de Niger in september zijn maximum afvoer ten-gevolge van de "White flood", daarna neemt de afvoer snel af met een kleine verhoging van de afvoer in januari en februari ten gevolge van de "Black flood" die invloed heeft tot de maand maart/april. In de maand mei doen zich de minimum afvoeren voor, omdat beide hoogwatergolven niet meer bijdragen aan de afvoer.

Bij Shintaku is de invloed van de "White flood" nog duidelijker te zien als bij Baro (zie fig. 1-13). Dit komt doordat bij Shintaku de Benue, die voor meer dan 60% in de afvoer van de Beneden-Niger bijdraagt, in de Niger stroomt.

Er zijn hier maximale dagelijkse afvoeren tussen de 12.000 en 26.000 m<sup>3</sup>/s waargenomen, gedurende de "White flood" in september tot midden oktober. De maximale afvoeren gedurende de "Black flood" variëren hier tussen de 1400 en 2800 m<sup>3</sup>/s in de maand januari.

#### §1-4 Veranderingen in het afvoerregime van de Beneden-Niger.

Sinds 1968 wordt het afvoerregime van de Niger beïnvloed door de bouw van een dam tussen Bussa en Jebba in de zogenaamde "Rockey valley". Dit is de Kainji-dam. In 1983 hoopt men de Shiroro-dam op de Kadunarivier, in 1984 de Jebba-dam bij Jebba en in 1990 de Lokoja-dam te Egbu (benedenstroom van Lokoja) gereed te hebben.

De eerste twee dammen bevinden zich momenteel in de bouwfase. Vooral de laatste dam zal grote invloed hebben op het afvoer-regime van de Beneden-Niger, omdat bij benedenstrooms van het samenvloeiingspunt van de Niger en de Benue komt te liggen en de Benue voor meer dan 60% bijdraagt in de jaarlijkse afvoer van de Beneden Niger.

Hierna zal de invloed van de dammen op het afvoer-regime van de Beneden-Niger besproken worden. Onder de Beneden-Niger wordt verstaan de Niger benedenstrooms van het samenvloeiingspunt van Niger en Benue. Hierbij worden als het ware drie stappen in de tijd gemaakt:

1. De huidige situatie met de Kainji-dam.
2. De situatie met de Kainji- , de Shiroro- en de Jebba-dam.
3. De situatie wanneer alle 4 de dammen gereed zijn;  
dus behalve de onder 2 genoemde dammen ook de Lokoja-dam.

Hierbij wordt opgemerkt, dat de gevolgen van de Lokoja-dam minder gedetailleerd bekend zijn, omdat R.N.T.C. (River Niger Transport Consortium) op het moment dat de hieronder volgende berekeningen door hen werden gemaakt, niet over alle noodzakelijke gegevens beschikten.

#### §1-4.1 De invloed van het Kainji-reservoir op het afvoerregime.

Om de gevolgen van het Kainji-reservoir op het afvoerregime van de Beneden-Niger na te gaan, heeft men gemeten afvoeren te Shintaku over de periode 1968-1977 vergeleken met afvoeren die zich zouden hebben voorgedaan wanneer de dam te Kainji niet gebouwd was.

De synthetische afvoeren heeft men bepaald door bij de gemeten gemiddelde dagelijkse afvoeren te Shintaku het verschil tussen de dagelijks instromende en uitstromende hoeveelheid water van het Kainji-reservoir op te tellen.

Dus: 
$$Q_C = Q + (I_R - U_R)$$

|             |                                                    |           |
|-------------|----------------------------------------------------|-----------|
| $Q_c$       | = de syntetische afvoer per dag                    | $[m^3/d]$ |
| $Q$         | = de gemeten gemiddelde afvoer per dag te Shintaku | $[m^3/d]$ |
| $I_R$       | = de gemeten instroming in het reservoir per dag   | $[m^3/d]$ |
| $U_R$       | = de gemeten uitstroming uit het reservoir per dag | $[m^3/d]$ |
| $I_R - U_R$ | = het gevolg van het Kainji-reservoir per dag      | $[m^3/d]$ |

De looptijd van de afvoeren van het reservoir tot Shintaku is in de berekening opgenomen.

Door de sterke variatie in de vraag naar electriciteit, varieerde ook de uitstroming uit het reservoir sterk, met intervallen van ongeveer 1 week. Om deze fluctuaties in de berekeningen te elimineren, heeft men de instroming en de uitstroming over een periode van 7 dagen gemiddeld.

Voor de gemeten afvoeren te Shintaku zie tabel 1-3.

De gecorrigeerde afvoeren (synthetische afvoeren) te Shintaku zijn te vinden in tabel 1-4. In deze tabellen staan de gemiddelde afvoeren in  $m^3/s$  over een maand gemiddeld in de periode 1968-1977.

In figuur 1-14 zijn de gemiddelde maandelijkse afvoeren grafisch weergegeven over de periode 1968-1977. In figuur 1-15 en figuur 1-16 zijn de absolute en de relatieve invloed van het Kainji-reservoir op de afvoer bij Shintaku te zien.

Toelichting op fig. 1-15:

als  $\Delta Q > 0 \longrightarrow Q_c > Q$  of  $Q < Q_c$ ,

dus de afvoer te Shintaku is afgenomen;

als  $\Delta Q < 0 \longrightarrow Q_c < Q$  of  $Q > Q_c$ ,

dus de afvoer te Shintaku is toegenomen.

Uit figuur 1-16 blijkt dat het Kainji-reservoir relatief in de maanden april, mei en juni de grootste invloed heeft op de afvoer te Shintaku (30 à 40%). In de andere maanden is de invloed relatief veel geringer.

In figuur 1-17 is te zien dat het Kainji-reservoir in de maanden maart tot en met augustus ervoor zorgt, dat de standaardafwijkingen van de gemiddelde maandelijkse afvoeren, bekeken over de periode 1968-1977, afnemen.

Toelichting bij figuur 1-17:

$s$  = de standaardafwijking van de gemiddelde maandelijkse afvoeren over de periode 1968-1977  $[m^3/s]$ ;

$\bar{x}$  = het gemiddelde van de gemiddelde maandelijkse afvoeren over de periode 1968-1977  $[m^3/s]$ .

Vooraf in droge maanden, april en mei, is de afvoer stabiel.

Voor de berekening zie tabel 1-5.

#### Conclusie:

Behalve het afvlakken van het gemiddelde jaarlijkse afvoerregime, wat resulteert in een toename van de lage afvoeren en een afname van de hoge afvoeren (zie fig. 1-14), worden ook de fluctuaties in de gemiddelde maandelijkse afvoeren kleiner. Dit laatste is niet het geval voor de maanden oktober tot en met februari.

Voor de jaarlijkse extremen (maxima en minima) van de dagelijkse afvoeren te Shintaku is, op dezelfde manier als hierboven vermeld voor de gemiddelde maandelijkse afvoeren, het gemiddelde en de standaardafwijking over de periode 1968-1977 bepaald. Het resultaat is te zien in tabel 1-6.

Het gemiddelde van de jaarlijkse maxima neemt af, evenals de standaardafwijking van de maxima. Het gemiddelde van de jaarlijkse minima neemt toe; de standaardafwijking van de minima neemt echter ook toe. Er vindt dus ook hier een afvlakking van de gemiddelden plaats, maar de standaardafwijking neemt alleen af voor de maxima.

In figuur 1-18 is het gevolg van het Kainji-reservoir op de gemiddelde doorlijn te Shintaku te zien. Ook dit figuur is gebaseerd op de metingen

te Shintaku over de periode 1968-1977. Het valt op dat het aantal dagen per jaar dat de afvoer van  $1750 \text{ m}^3/\text{s}$  te Shintaku wordt onderschreden niet is veranderd. Voor de afvoeren tussen de  $1750$  en  $3000 \text{ m}^3/\text{s}$  is het aantal dagen van onderschrijding tengevolge van de bouw van de dam toegenomen, evenals voor afvoeren boven de  $9000 \text{ m}^3/\text{s}$ , al is de toename van het aantal dagen van onderschrijding hier kleiner.

Tenslotte wordt opgemerkt, dat de periode van 1968-1977 een vrij droge periode was. Over de langere periode 1915-1977 bedroeg de gemiddelde jaarlijkse afvoer  $5522 \text{ m}^3/\text{s}$ , terwijl deze over de periode 1968-1977  $5129 \text{ m}^3/\text{s}$  bedroeg.

§ 1-4.2 De invloed van het Kainji-, Jebba en Shiroro-reservoir op het afvoer-regime.

Vanaf 1984 zal het afvoerregime van de Beneden-Niger beïnvloed worden door een drietal reservoirs. Het reservoir te Kainji en Jebba, beiden op de Niger, en een reservoir te Shiroro-Gorge op de Kaduna rivier, een zijrivier van de Niger (zie fig. 0-1).

De figuren 1-19, 1-20 en 1-21 geven informatie over de reservoirs. In deze figuren is het volume en het oppervlak van de reservoirs uitgezet tegen het peil in het reservoir. Men streeft ernaar de peilen in het Kainji-reservoir tussen  $139,87 \text{ m} + \text{F.S.}$  en  $126,15 \text{ m} + \text{F.S.}$  te houden (F.S.= Federal Survey Datum). In het Jebba-reservoir zijn deze peilen respectievelijk  $103 \text{ m}$  en  $99 \text{ m} + \text{F.S.}$  en bij het Shiroro-reservoir respectievelijk  $382 \text{ m}$  en  $342 \text{ m}$  boven S.D. (Shiroro Datum)

In de figuren is ook de waterstand benedenstrooms van de dam tegen de afvoer vanuit het reservoir uitgezet. De afstand tussen het Jebba-reservoir en de dam te Kainji bedraagt ongeveer  $100 \text{ km}$ . Hierdoor zal het Jebba-re-

servoir de waterstanden benedenstrooms van de dam te Kainji ten-gevolge van opstuwing verhogen. In fig. 1-19 is tevens het verloop van de waterstanden weergegeven bij verschillende afvoeren vanuit het reservoir te Kainji benedenstrooms van de dam te Kainji, bij een maximale vulling van het reservoir te Jebba (103 m + F.S.).

Het Jebba-reservoir bergt ongeveer 2% van de gemiddelde jaarlijkse afvoer, het is dus relatief een klein reservoir. Daarom zal dit reservoir weinig invloed hebben op het afvoerregime.

Bij het vaststellen van de exploitatieschema's van de verschillende reservoirs is men als volgt te werk gegaan.

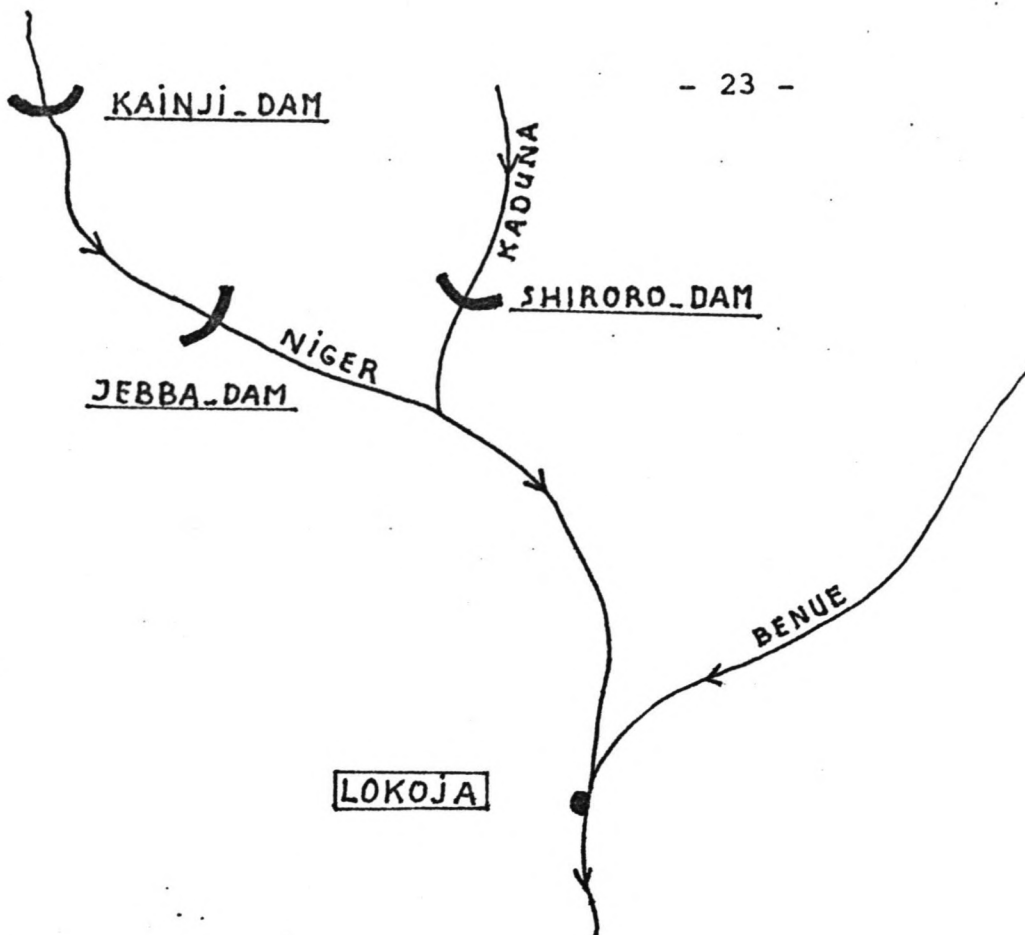
Voor het Kainji- en het Jebba-reservoir is men van een geïntegreerd exploitatie-schema uitgegaan. Zie hiervoor [ 5 ]

De instroming in het Kainji-reservoir en de zijdelingse instroming tussen Kainji en Jebba werden door middel van "routing" door de reservoirs gestuurd. Dit gebeurde met waarnemingen uit de periode 1954-1977, dus een periode van 23 jaar. De resultaten hiervan zijn te zien in figuur 1-22.

Het exploitatie-schema van het Shiroro-reservoir heeft men door middel van "routing" van de maandelijkse afvoeren te Kurmin Gurmana over de periode 1954-1977 vastgesteld. De resultaten van dit onderzoek zijn te zien in figuur 1-23. Voor het exploitatie van het Shiroro-reservoir zie [ 1 ]

Om de gevolgen van deze exploitatie-schema's op het afvoerregime te Shintaku na te kunnen gaan, heeft men de afvoeren benedenstrooms van de dammen (zie fig. 1-22 en 1-23) en de afvoeren daar ter plaatse als er geen reservoirs zouden zijn geweest, bekend uit vroegere metingen, met elkaar vergeleken. De verschillen tussen deze afvoeren zijn gesuperponeerd op de Shintaku-afvoeren, als er geen reservoir zouden zijn. Dit geeft dan de afvoeren bij Shintaku met reservoirs.





$$\begin{aligned}
 Q_n &= Q_{jn} + Q_{sn} + Q_z \\
 &= Q_{j0} + (Q_{jn} - Q_{j0}) + Q_{s0} + (Q_{sn} - Q_{s0}) + Q_z \\
 &= (Q_{j0} + Q_{s0} + Q_z) + (Q_{jn} - Q_{j0}) + (Q_{sn} - Q_{s0})
 \end{aligned}$$

met  $Q_{j0} + Q_{s0} + Q_z = Q_0$

$$Q_n = Q_0 + (Q_{jn} - Q_{j0}) + (Q_{sn} - Q_{s0})$$

$Q_z = Q_{z0} = Q_{zn}$  = de zijdelingse instroming (gemeten)

$Q_{j0}$  = de afvoer te Jebba zonder reservoirs (gemeten)

$Q_{jn}$  = de afvoer te Jebba met reservoirs (routing)

$Q_{s0}$  = de afvoer te Shiroro zonder reservoirs (gemeten)

$Q_{sn}$  = de afvoer te Shiroro met reservoirs (routing)

$Q_0$  = de afvoer te Shintaku zonder reservoirs (gemeten)

$Q_n$  = de afvoer te Shintaku met reservoirs (berekend)

Het resultaat van deze berekening is gegeven in gemiddelde maandelijkse afvoeren voor de periode 1954-1977 in figuur 1-24 en tabel 1-7.

De absolute en relatieve gevolgen van de 3 reservoirs op het afvoerregime van de Beneden-Niger zijn te zien in respectievelijk fig. 1-25 en fig. 1-26. In fig. 1-25 is te zien dat door de aanwezigheid van de 3 reservoirs de afvoeren in absolute zin in de maanden augustus en september het meest worden beïnvloed. Relatief wordt de afvoer in de maand mei het meest beïnvloed, namelijk een toename van 55%. Verder valt op dat over de maanden december tot en met juli er een toename van de afvoeren is te verwachten ten gevolge van de bouw van de dammen.

Uit fig. 1-27 blijkt dat het afvoerregime door het bouwen van de reservoirs stabiel wordt. De standaardafwijkingen van de gemiddelde maandelijkse afvoeren ten opzichte van het gemiddelde over de periode 1954-1977 nemen af voor de maanden februari tot en met juli. Dit is vooral het geval voor de maanden april, mei en juni.

In fig. 1-28 is de invloed van de dammen op de gemiddelde duurlijn te zien voor de lagere afvoeren, terwijl tabel 1-8 (blz 35 ) het aantal dagen van overschrijding over het gehele afvoerregime geeft. Uit de tabel blijkt dat bij een bepaald aantal dagen van overschrijding de lage afvoeren zijn toegenomen t.g.v. de bouw van de dammen.

#### §1-4.3 De invloed van het Kainji-, Jebba-, Shiroro-, en Lokoja-reservoir op het afvoer-regime.

Er zijn plannen om te Egbu (24 km benedenstrooms van Lokoja en 15 km benedenstrooms van Shintaku) in de "Rockey Section" een dam te bouwen. De energie opwekking, die door het ontstaan van een reservoir achter de dam mogelijk wordt, zal ongeveer in 1990 moeten starten.

In een feasibility studie [ 6 ] wordt een damhoogte van 68 m aanbevolen.



R.N.T.C. heeft op basis van de nog spaarzaam bekende gegevens de invloed van dit reservoir op het afvoer-regime van de Beneden-Niger bestudeerd. De berekende waarden moeten volgens R.N.T.C. dan ook als globale waarden worden gezien. In een later stadium zullen opnieuw berekeningen worden gemaakt met behulp van nieuw beschikbaar gekomen gegevens.

In figuur 1-29 zijn de karakteristieken van het reservoir, het oppervlak en het volume, tegen het peil in het reservoir uitgezet. Voor het verloop van de waterstanden benedenstrooms van de dam bij verschillende afvoeren vanuit het reservoir, is de  $Q-h$  kromme te Koji gebruikt. Koji ligt 6 km stroomopwaarts van Egbu. De bekende  $Q-h$  kromme van Koji is hiervoor met 0,6 m omlaag geschoven om de juiste waterhoogten ten opzichte van het gemiddelde zeeniveau te krijgen. Als  $i_b$  het bodemverhang is, dan geldt  $6000 \times i_b = 0,6$  m. Voor de  $Q-h$  kromme te Egbu zie tabel 1-9 ( 35 ).

Om de gevolgen van het reservoir op het afvoer-regime van de Beneden-Niger na te gaan, zijn de maandelijkse afvoeren te Shintaku, afvoeren gecorrigeerd in verband met het Kainji-, Jebba- en Shiroro-reservoir, door middel van routing door het reservoir gestuurd, waarbij men de manier van exploitatie van het reservoir ten behoeve van de energieopwekking in beschouwing heeft genomen. Bovendien is rekening gehouden met verliezen uit het reservoir door verdamping en extra toevoer door neerslag boven het reservoir. Voor uitgangspunten van de exploitatie van het reservoir zie [ 7 ].

In figuur 1-30 zijn de uit bovenstaande berekening volgende gemiddelde maandelijkse afvoeren benedenstrooms van de dam te Egbu uitgezet, evenals de gemiddelde maandelijkse afvoeren als er geen enkele dam geweest zou zijn. Zie voor de berekening van deze laatste waarden §1-4.1.

In figuur 1-30 en tabel 1-10 is te zien dat afvlakking van het afvoer-regime zal plaatsvinden.

In fig. 1-31 en 1-32 zijn respectievelijk de absolute en de relatieve veranderingen van het afvoer-regime te zien.

In absolute zin zal de afvoer in de maanden september en oktober het meest veranderen. Afnamen van respectievelijk  $8000 \text{ m}^3/\text{s}$  en  $7000 \text{ m}^3/\text{s}$  van de gemiddelde maandelijkse afvoer. De relatieve veranderingen zijn het grootst in de droge maanden april, mei en juni. In mei is de toename in de afvoer 250% wat een absolute toename van  $3500 \text{ m}^3/\text{s}$  betekent. Uit figuur 1-33 blijkt dat de fluctuaties in de gemiddelde maandelijkse afvoer in de maanden december tot en met juli sterk zullen afnemen, terwijl ze in de maanden augustus tot en met september zullen toenemen. Tenslotte is in tabel 1-11 (blz 35) de gemiddelde duurlijn gegeven. Ook deze tabel laat zien dat de lage afvoeren zijn toegenomen (tot  $3500 \text{ m}^3/\text{s}$ ) en de hoge afvoeren afnemen.

Volgens het R.N.T.C. neemt de maximale afvoer af van  $23.200 \text{ m}^3/\text{s}$  naar  $17.500 \text{ m}^3/\text{s}$ . De feasibility studie [6] geeft voor de lage afvoeren wat hogere waarden (zie tabel 1-11). De maximale afvoer, die in het rapport wordt vermeld, is lager;  $16.500 \text{ m}^3/\text{s}$  in plaats van  $17.500 \text{ m}^3/\text{s}$  in het R.N.T.C.-rapport. De verschillen zijn het gevolg van een andere aanpak bij de berekeningen. Terwijl men in het R.N.T.C.-rapport uitgaat van waterstanden die aan het eind van de maanden aanwezig moeten zijn, waarbij men de waterstanden in het reservoir in een gemiddeld jaar gebruikt, wordt in de feasibility studie [ 6 ] van een geïntegreerd exploitatieschema uitgegaan.

Voor de verschillen in de gemiddelde duurlijn zie tabel 1-11.

FIGURE 1.10

- 27 -

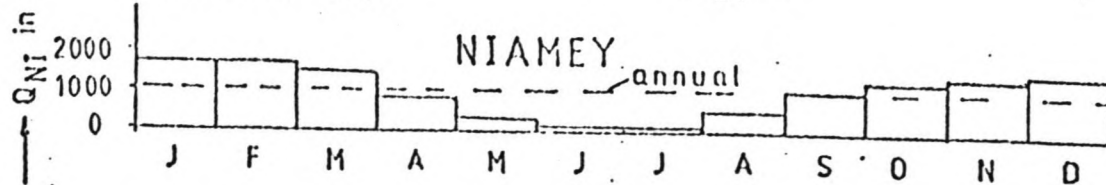


FIGURE 1.12

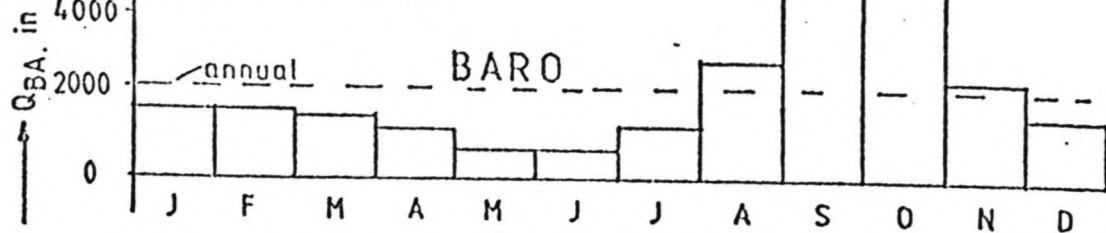


FIGURE 1.11

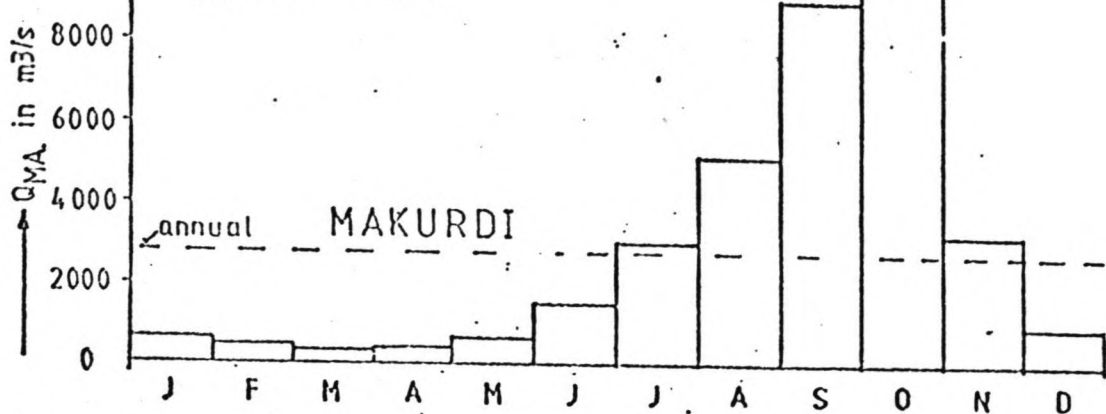
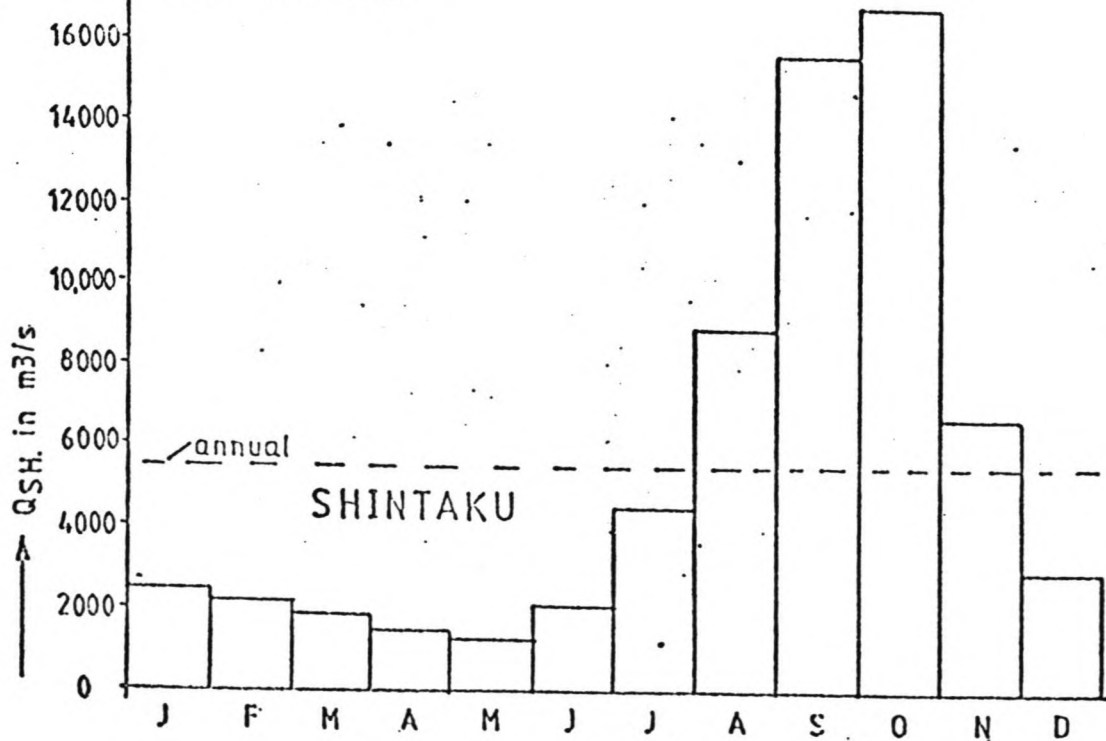


FIGURE 1.13



Note: DISCHARGES IN m³/s.

AVERAGE MONTHLY DISCHARGE DISTRIBUTION FOR NIAMEY BARO MAKURDI & SHINTAKU

DATE

11-10-1979

Table 1-3

| Year<br>19 | Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | Jun  | Jul  | Aug   | Sep   | Oct   | Nov   | Dec  |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| 1968       | 2319 | 2194 | 2158 | 1928 | 1671 | 3652 | 6909 | 12519 | 16822 | 14110 | 4754  | 2542 |
| 1969       | 2127 | 2089 | 1658 | 1467 | 1824 | 2554 | 7099 | 13275 | 21387 | 19748 | 10189 | 3667 |
| 1970       | 2704 | 2537 | 2418 | 2187 | 1631 | 2293 | 3773 | 9678  | 18036 | 15880 | 5065  | 2515 |
| 1971       | 2045 | 1961 | 1546 | 1271 | 1273 | 1944 | 4789 | 11118 | 15826 | 12411 | 3448  | 1941 |
| 1972       | 1897 | 1875 | 1349 | 1345 | 1569 | 3059 | 4187 | 7455  | 13119 | 9553  | 3235  | 1956 |
| 1973       | 1783 | 1570 | 961  | 956  | 1312 | 2294 | 7037 | 11180 | 8927  | 2994  | 1733  |      |
| 1974       | 1636 | 1234 | 838  | 758  | 1358 | 1804 | 4408 | 8200  | 14474 | 15441 | 5519  | 2587 |
| 1975       | 2350 | 2252 | 1385 | 1310 | 1504 | 1978 | 4480 | 10116 | 13641 | 17672 | 5439  | 2939 |
| 1976       | 2377 | 2251 | 1807 | 1512 | 1875 | 3001 | 5241 | 8400  | 9807  | 11365 | 8838  | 2458 |
| 1977       | 1604 | 1770 | 1818 | 1439 | 1400 | 1429 | 3851 | 6376  | 12688 | 14121 | 3737  | 1667 |

Note: Discharges in m3/s

Historical monthly Discharges at Shintaku, period 1968-1977

Table 1.4

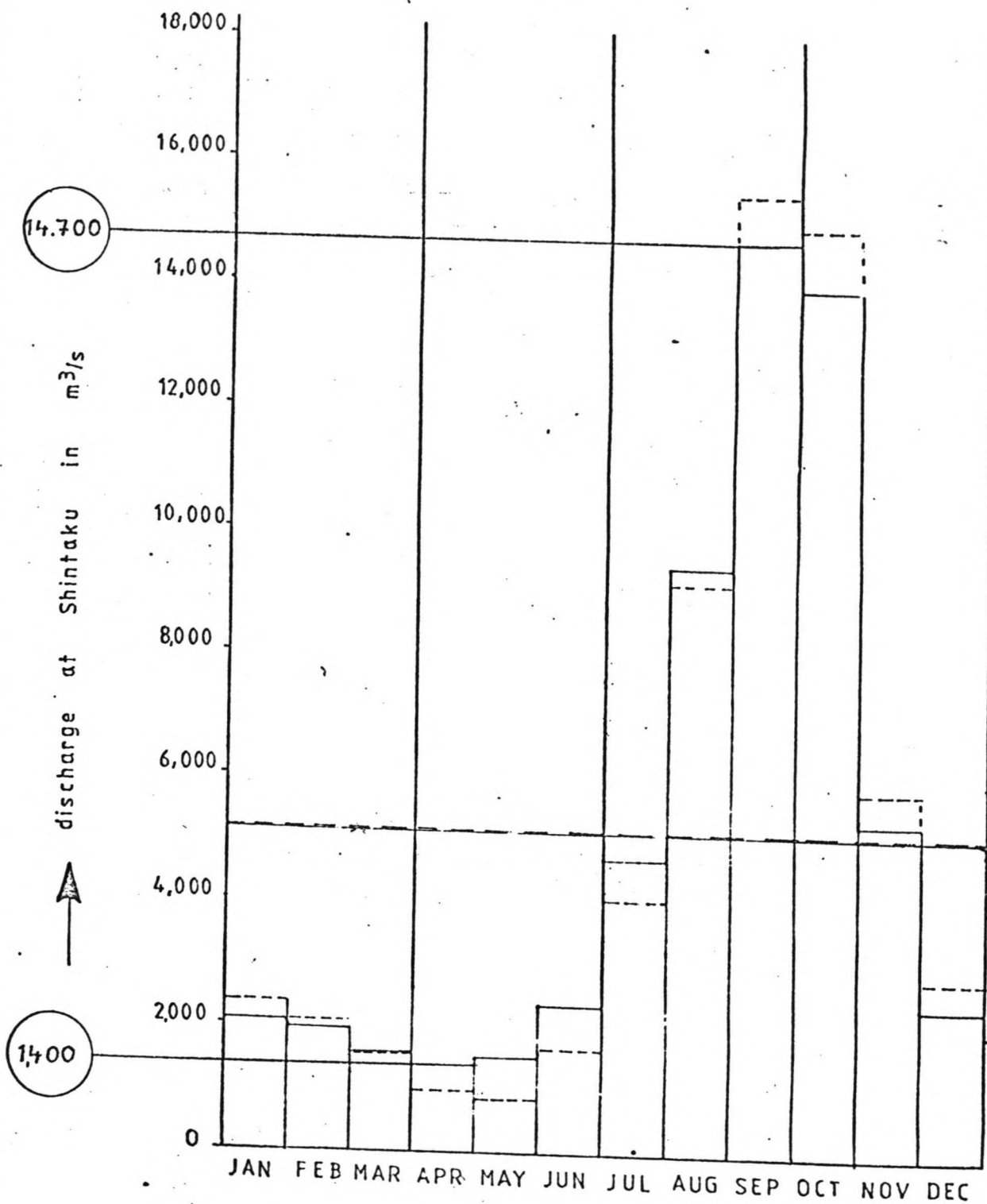
| Year<br>19 | Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | Jun  | Jul  | Aug   | Sep   | Oct   | Nov   | Dec  |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| 1968       | 2319 | 2194 | 2158 | 1929 | 1671 | 3652 | 6909 | 12891 | 18793 | 15625 | 4816  | 2565 |
| 1969       | 2362 | 2153 | 1891 | 1110 | 1165 | 2102 | 6608 | 13189 | 22099 | 21368 | 10415 | 3804 |
| 1970       | 2737 | 2548 | 2396 | 1798 | 1068 | 1526 | 2869 | 9026  | 18672 | 16799 | 5316  | 2763 |
| 1971       | 2342 | 2100 | 1463 | 825  | 496  | 1076 | 4030 | 10256 | 16922 | 13292 | 4096  | 2692 |
| 1972       | 2324 | 2118 | 1273 | 633  | 630  | 2103 | 3450 | 7646  | 14152 | 10711 | 4285  | 2501 |
| 1973       | 2208 | 1611 | 791  | 348  | 354  | 686  | 1763 | 7015  | 11865 | 9802  | 3800  | 2336 |
| 1974       | 1990 | 1280 | 552  | 324  | 782  | 1204 | 4028 | 8211  | 14816 | 16309 | 6034  | 2950 |
| 1975       | 2526 | 2373 | 1274 | 634  | 704  | 1172 | 3716 | 9660  | 14429 | 18875 | 5811  | 3074 |
| 1976       | 2475 | 2309 | 1794 | 1008 | 987  | 2045 | 4204 | 7835  | 9987  | 12040 | 9629  | 3291 |
| 1977       | 2546 | 2221 | 1864 | 1094 | 652  | 1129 | 2965 | 5688  | 12904 | 14429 | 4123  | 2345 |

Note: Discharges in m3/s

Monthly Discharges at Shintaku without Kainji reservoir influence, period 1968-1977

FIGUUR 1.14

- 30 -



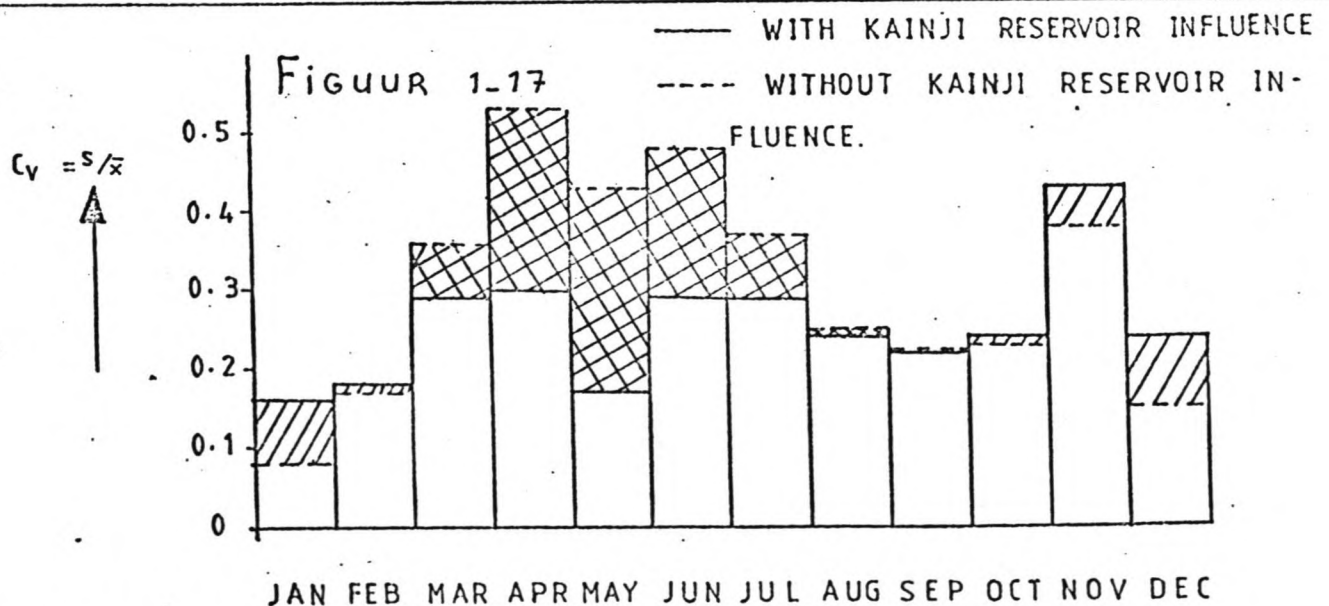
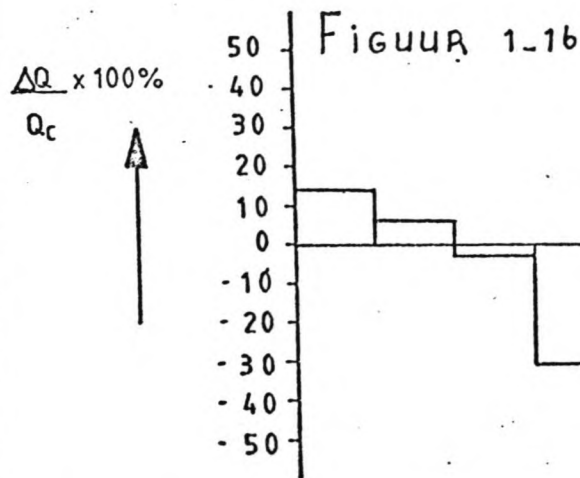
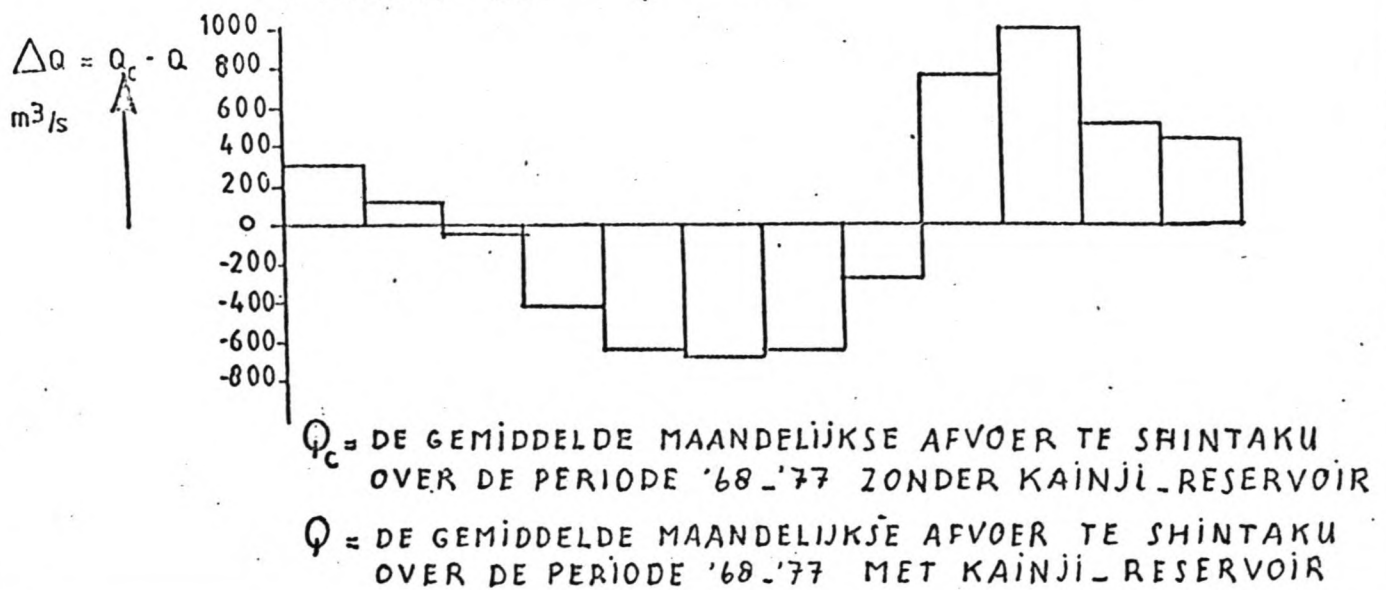
EFFECT OF KAINJI RESERVOIR ON AVERAGE  
MONTHLY DISCHARGES AT SHINTAKU  
(PERIOD 1968 - 1977).

R.N.T.C.-RIVER NIGER TRANSPORT CONSORTIUM.



FIGUUR 1-15

- 31 -



$S$  = DE STANDAARDAFWIJKING VAN DE MAANDELIJKS GEMIDDELDE AFVOER  
 $\bar{X}$  = HET GEMIDDELDE VAN DE MAANDELIJKS GEMIDDELDE AFVOEREN

ABSOLUTE AND RELATIVE INFLUENCE OF  
KAINJI RESERVOIR ON MONTHLY DISCHARGES  
AT SHINTAKU.

R.N.T.C.-RIVER NIGER TRANSPORT CONSORTIUM

Table 1.5

| Month  | Average Discharges [ $m^3/s$ ] |       |            | Standard Deviations |       | Coefficients of Variation |           |
|--------|--------------------------------|-------|------------|---------------------|-------|---------------------------|-----------|
|        | $Q_c$                          | $Q$   | $\Delta Q$ | $S$                 | $S_o$ | $(C_v)$                   | $(C_v)_o$ |
| Jan    | 2084                           | 2383  | -299       | 340                 | 194   | 0.15                      | 0.08      |
| Feb    | 1973                           | 2091  | -118       | 360                 | 354   | 0.18                      | 0.17      |
| Mar    | 1594                           | 1546  | 48         | 465                 | 556   | 0.29                      | 0.36      |
| Apr    | 1397                           | 970   | 427        | 421                 | 519   | 0.30                      | 0.53      |
| May    | 11505                          | 851   | 655        | 260                 | 364   | 0.17                      | 0.43      |
| Jun    | 2353                           | 1670  | 683        | 672                 | 809   | 0.29                      | 0.48      |
| Jul    | 4703                           | 4054  | 649        | 1368                | 1517  | 0.29                      | 0.37      |
| Aug    | 9417                           | 9142  | 275        | 2219                | 2307  | 0.24                      | 0.25      |
| Sep    | 14698                          | 15464 | -766       | 3251                | 3468  | 0.22                      | 0.22      |
| Oct    | 13923                          | 14925 | -1002      | 3272                | 3439  | 0.24                      | 0.23      |
| Nov    | 5322                           | 5832  | -510       | 2287                | 2218  | 0.43                      | 0.38      |
| Dec    | 2400                           | 2832  | -432       | 579                 | 438   | 0.24                      | 0.15      |
| ANNUAL | 5129                           | 5160  | -          | 1005                | 1035  | 0.20                      | 0.20      |

Comparison of monthly discharge statistics at Shintaku with and without Kainji reservoir influence.

$$Q_c = Q + \Delta Q$$

$$(c_v) = s/\bar{x}$$

$$\Delta Q = I_R - U_R$$

$$(c_v)_c = s_c/\bar{x}_c$$



TABEL 1-6

| type of extremum | statistic | with Kainji | without Kainji | factor |
|------------------|-----------|-------------|----------------|--------|
| maximum          | mean      | 17,846      | 18,969         | 0,94   |
|                  | st. dev.  | 3,784       | 3,972          |        |
| minimum          | mean      | 1,133       | 555            | 2,4    |
|                  | st. dev.  | 298         | 216            |        |

Table 1.7

| Month | AVERAGE   |              | Q     | STANDARD DEVIATION |              | COEFF OF VARIATION |              |
|-------|-----------|--------------|-------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|
|       | With Dams | Without Dams |       | With Dams          | Without Dams | With Dams          | Without Dams |
| Jan   | 2542      | 2412         | 130   | 262                | 224          | 0.29               | 0.09         |
| Feb   | 2345      | 2169         | 176   | 259                | 287          | 0.11               | 0.13         |
| Mar   | 2123      | 1863         | 260   | 354                | 484          | 0.17               | 0.26         |
| Apr   | 1916      | 1449         | 467   | 409                | 611          | 0.21               | 0.42         |
| May   | 1890      | 1222         | 668   | 320                | 571          | 0.17               | 0.47         |
| Jun   | 2779      | 2062         | 717   | 805                | 895          | 0.29               | 0.43         |
| Jul   | 4774      | 4485         | 289   | 1105               | 1325         | 0.23               | 0.30         |
| Aug   | 7848      | 8933         | -1085 | 2280               | 2420         | 0.29               | 0.27         |
| Sep   | 14053     | 15681        | -1628 | 3263               | 3032         | 0.23               | 0.19         |
| Oct   | 16588     | 16976        | -388  | 4006               | 3689         | 0.24               | 0.22         |
| Nov   | 6735      | 6764         | -29   | 2377               | 2317         | 0.35               | 0.34         |
| Dec   | 3088      | 2999         | 89    | 569                | 471          | 0.18               | 0.16         |

(Discharges in m3/s)

Comparison of monthly discharge statistics at Shintaku with and without Kainji, Jebba and Shiroro dams, period 1954 - 1977.

TABEL 1-8

- 35 -

| time (%) that indicated discharge is not exceeded | number of days | without dams<br>[m <sup>3</sup> /s] | with Kainji, Jebba and Shiroro dam |
|---------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 5                                                 | 18,3           | 890                                 | 1600                               |
| 10                                                | 36,5           | 1200                                | 1920                               |
| 20                                                | 73,0           | 1800                                | 2120                               |
| 30                                                | 109,6          | 2110                                | 2330                               |
| 40                                                | 146,1          | 2400                                | 2570                               |
| 50                                                | 182,6          | 2650                                | 2950                               |
| 60                                                | 219,1          | 3600                                | 3900                               |
| 70                                                | 255,7          | 5900                                | 5750                               |
| 80                                                | 292,2          | 10200                               | 9200                               |
| 90                                                | 328,7          | 15000                               | 14350                              |
| 95                                                | 347,0          | 18900                               | 18000                              |

TABEL 1-9

| Q (m <sup>3</sup> /s) | H in M.S.L. (Koji) | Egbu [m] |
|-----------------------|--------------------|----------|
| 3,500                 | 33,4               | 32,8     |
| 4,000                 | 33,8               | 33,2     |
| 8,000                 | 36,3               | 35,7     |
| 12,000                | 38,1               | 37,5     |
| 16,000                | 39,6               | 39,0     |
| 20,000                | 40,9               | 40,3     |

TABEL 1-11

| time (%) that indicated discharge is not exceeded | number of days | without dams<br>[m <sup>3</sup> /s] | with Lokoja dam                                  |                                                  |
|---------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                                                   |                |                                     | present reservoir routing<br>[m <sup>3</sup> /s] | Lokoja feasibility report<br>[m <sup>3</sup> /s] |
| 5                                                 | 18,3           | 890                                 | 3 500                                            | 3 500                                            |
| 10                                                | 36,5           | 1 200                               | 3 500                                            | 3 600                                            |
| 20                                                | 73,0           | 1 800                               | 3 500                                            | 3 700                                            |
| 30                                                | 109,6          | 2 110                               | 3 500                                            | -                                                |
| 40                                                | 146,1          | 2 400                               | 3 500                                            | -                                                |
| 50                                                | 182,6          | 2 650                               | 3 500                                            | 4 500                                            |
| 60                                                | 219,1          | 3 600                               | 4 325                                            | -                                                |
| 70                                                | 255,7          | 5 900                               | 5 410                                            | -                                                |
| 80                                                | 292,2          | 10 200                              | 6 760                                            | 7 000                                            |
| 90                                                | 328,7          | 15 600                              | 9 335                                            | 9 300                                            |
| 95                                                | 347            | 18 900                              | 11 000                                           | 12 000                                           |

Table 1.10

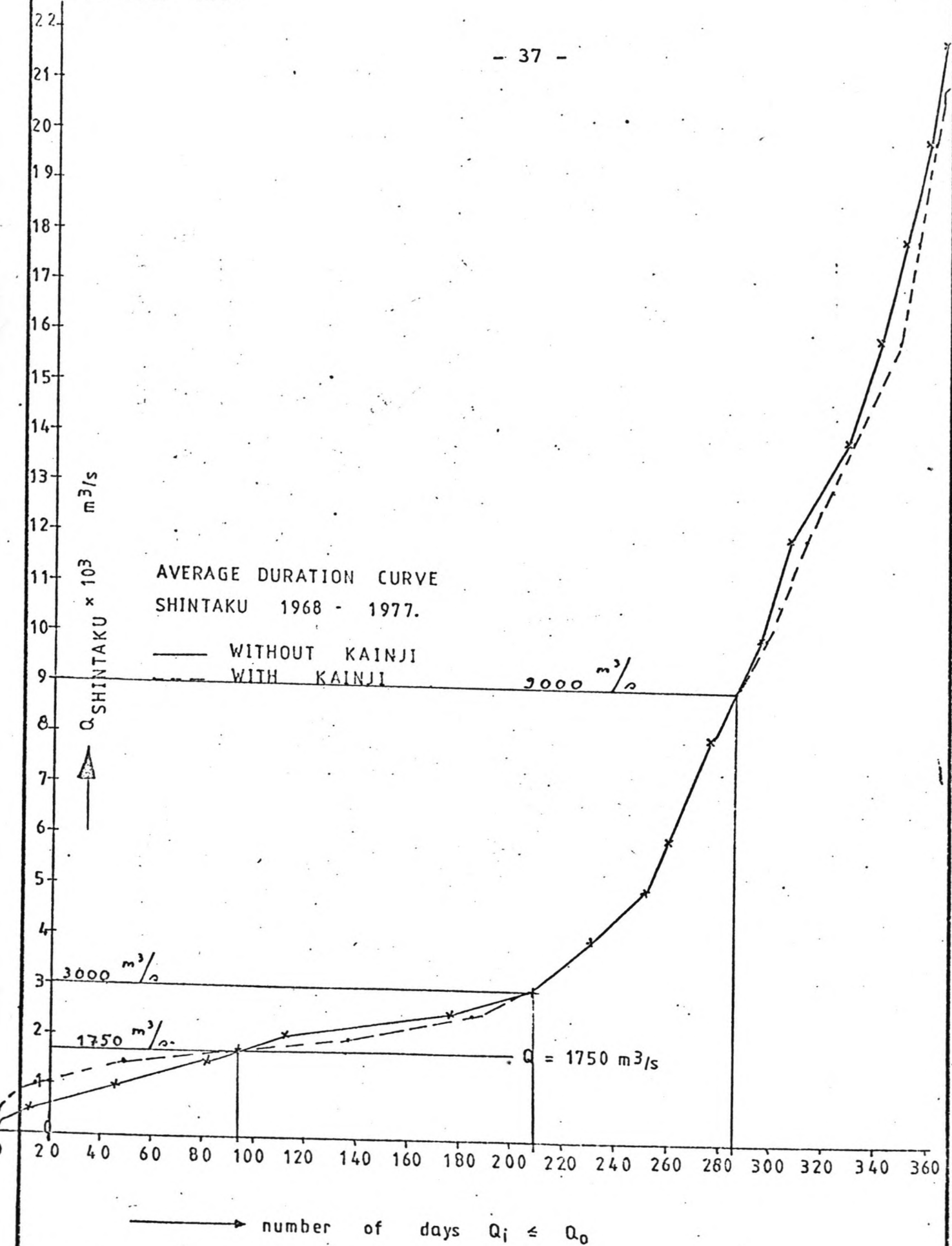
| Month | AVERAGE   |              | Q     | STANDARD DEVIATION |              | COEFF OF VARIATION |              |
|-------|-----------|--------------|-------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|
|       | With Dams | Without Dams |       | With Dams          | Without Dams | With Dams          | Without Dams |
| Jan   | 3500      | 2412         | 1088  | 0                  | 224          | 0.00               | 0.09         |
| Feb   | 3500      | 2169         | 1331  | 0                  | 287          | 0.00               | 0.13         |
| Mar   | 3505      | 1863         | 1642  | 30                 | 484          | 0.01               | 0.26         |
| Apr   | 3785      | 1449         | 2336  | 550                | 611          | 0.14               | 0.42         |
| May   | 4345      | 1222         | 3124  | 880                | 571          | 0.20               | 0.47         |
| Jun   | 4350      | 2062         | 2288  | 790                | 895          | 0.18               | 0.43         |
| Jul   | 6065      | 4485         | 1580  | 1170               | 1325         | 0.19               | 0.30         |
| Aug   | 6405      | 8933         | -2528 | 2140               | 2420         | 0.33               | 0.27         |
| Sep   | 7840      | 15681        | -7841 | 3230               | 3032         | 0.41               | 0.19         |
| Oct   | 10925     | 16976        | -6051 | 4075               | 3689         | 0.37               | 0.22         |
| Nov   | 6345      | 6764         | -419  | 2340               | 2317         | 0.37               | 0.34         |
| Dec   | 3550      | 2999         | 551   | 125                | 471          | 0.03               | 0.16         |

(Discharges in m3/s)

Comparison of monthly discharge statistics at Egbu (Lokoja dam site) with and without Lokoja dam, period 1954 - 1977.

FIGURE 1.18

- 37 -

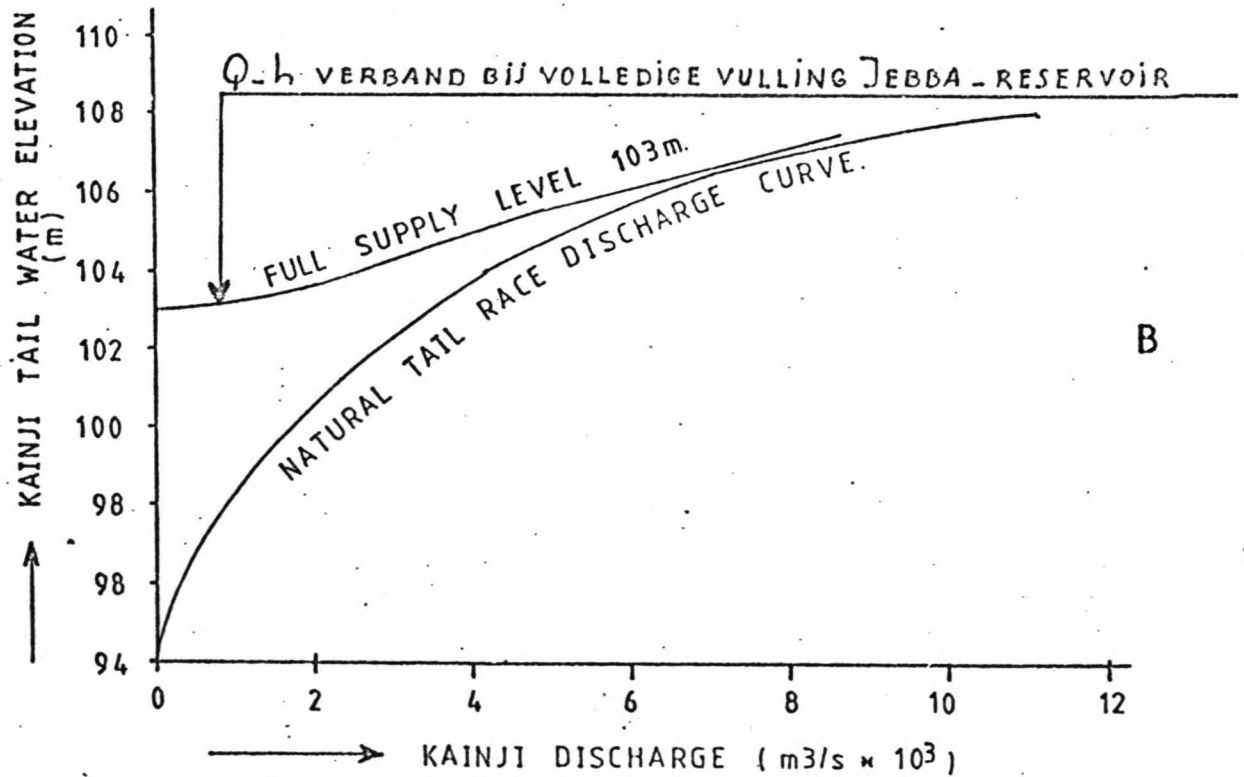
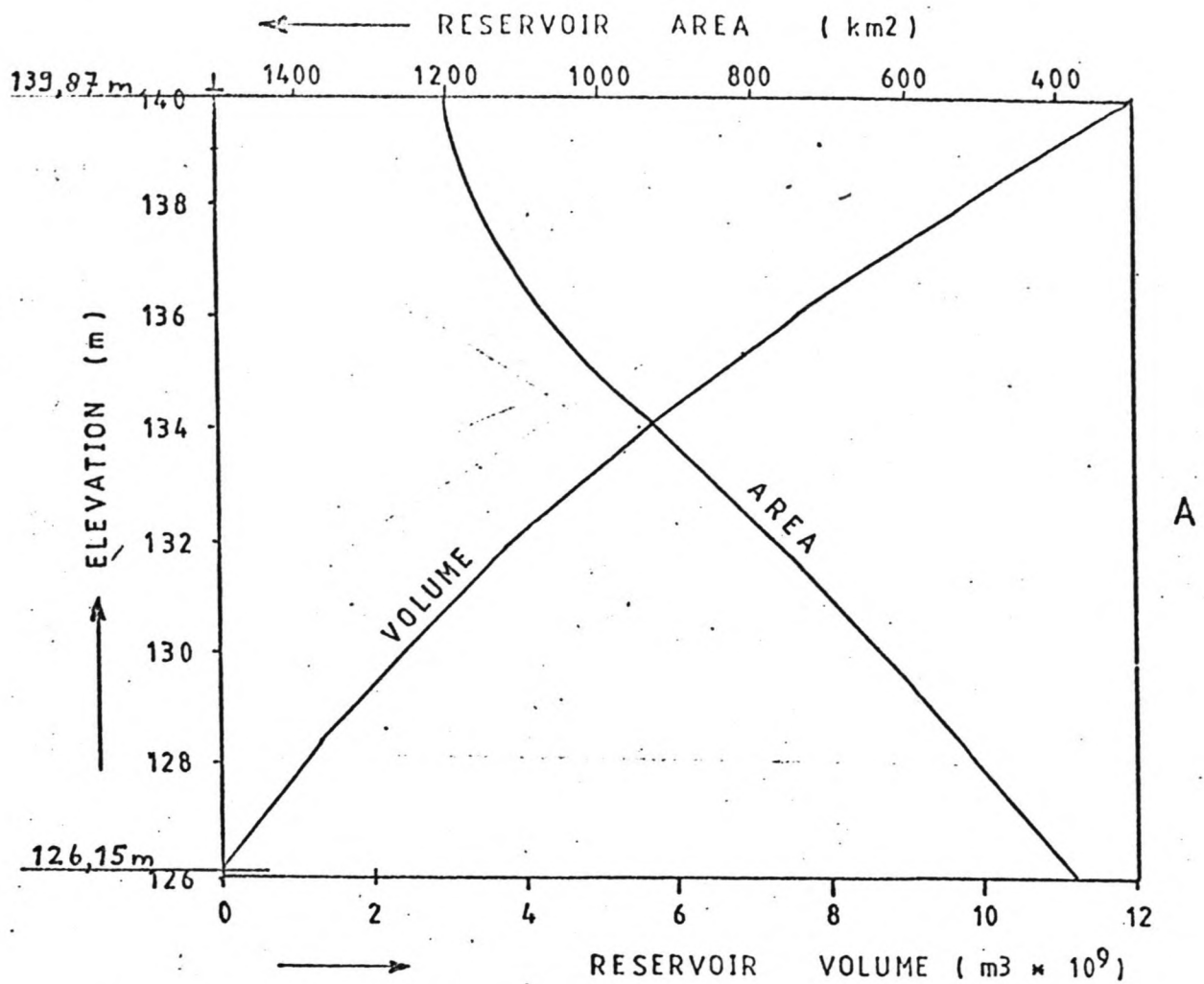


EVALUATION OF KAINJI EFFECT ON AVERAGE  
DURATION CURVE OF SHINTAKU.

R.N.T.C.-RIVER NIGER TRANSPORT CONSORTIUM

FIGURE 1-19

- 38 -



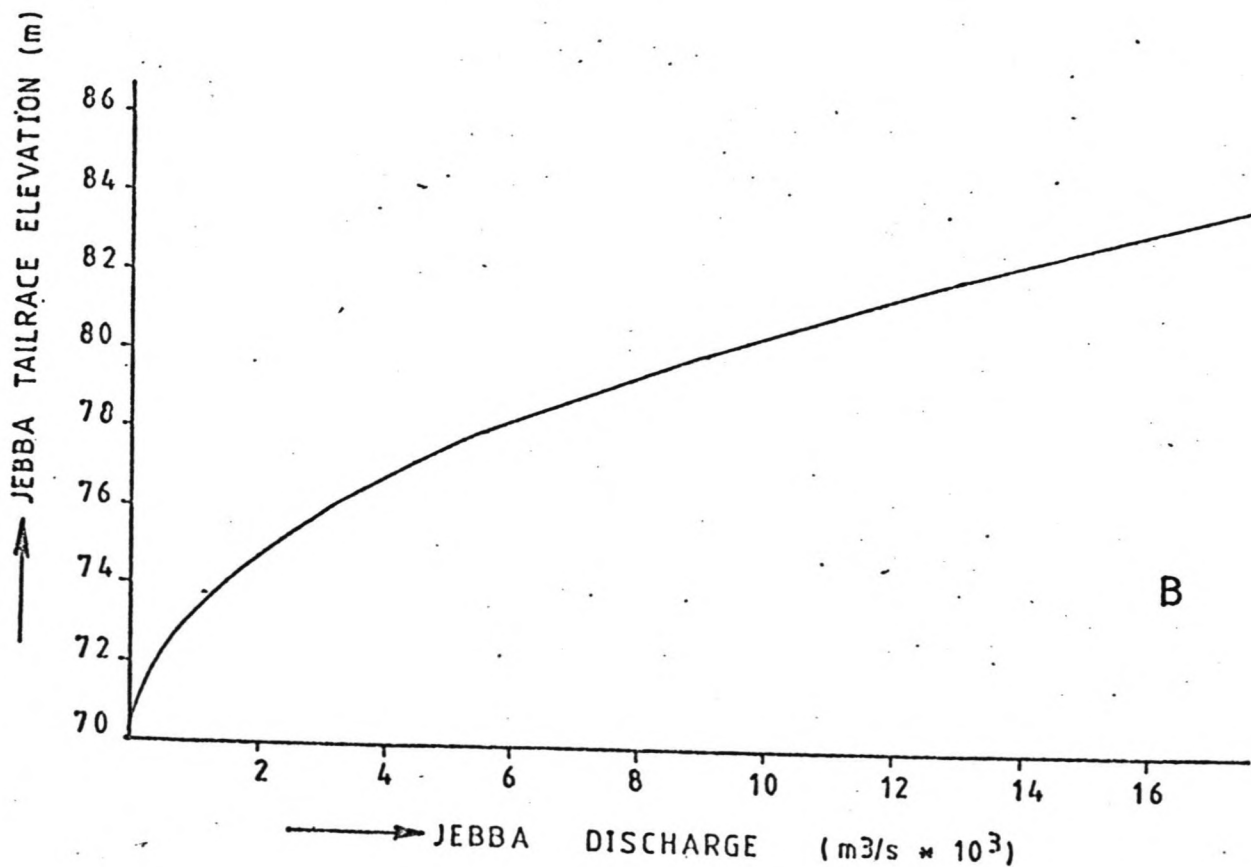
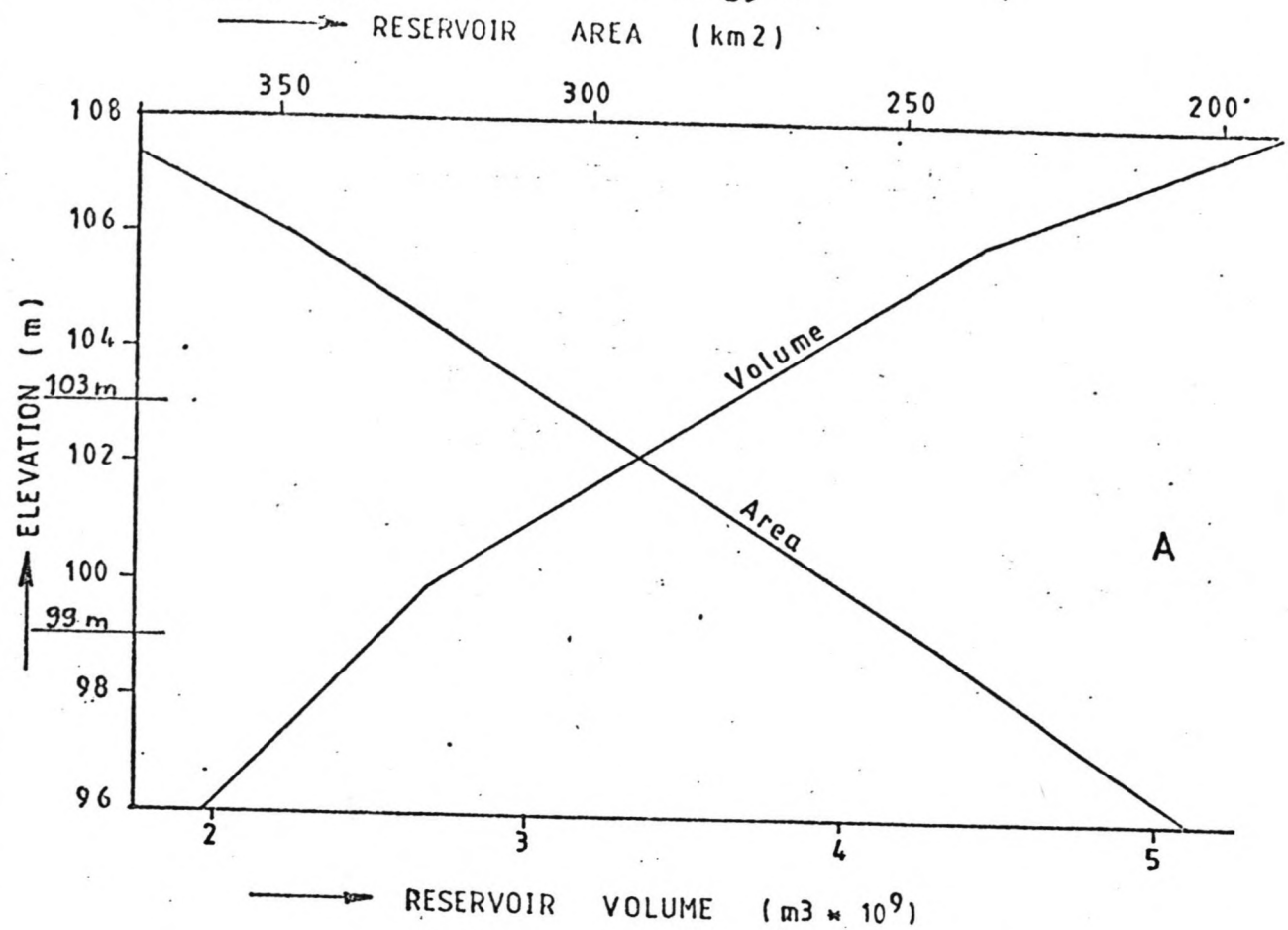
KAINJI RESERVOIR DATA

DATE

13 - 10 - 179

FIGURE 1.20

- 39 -



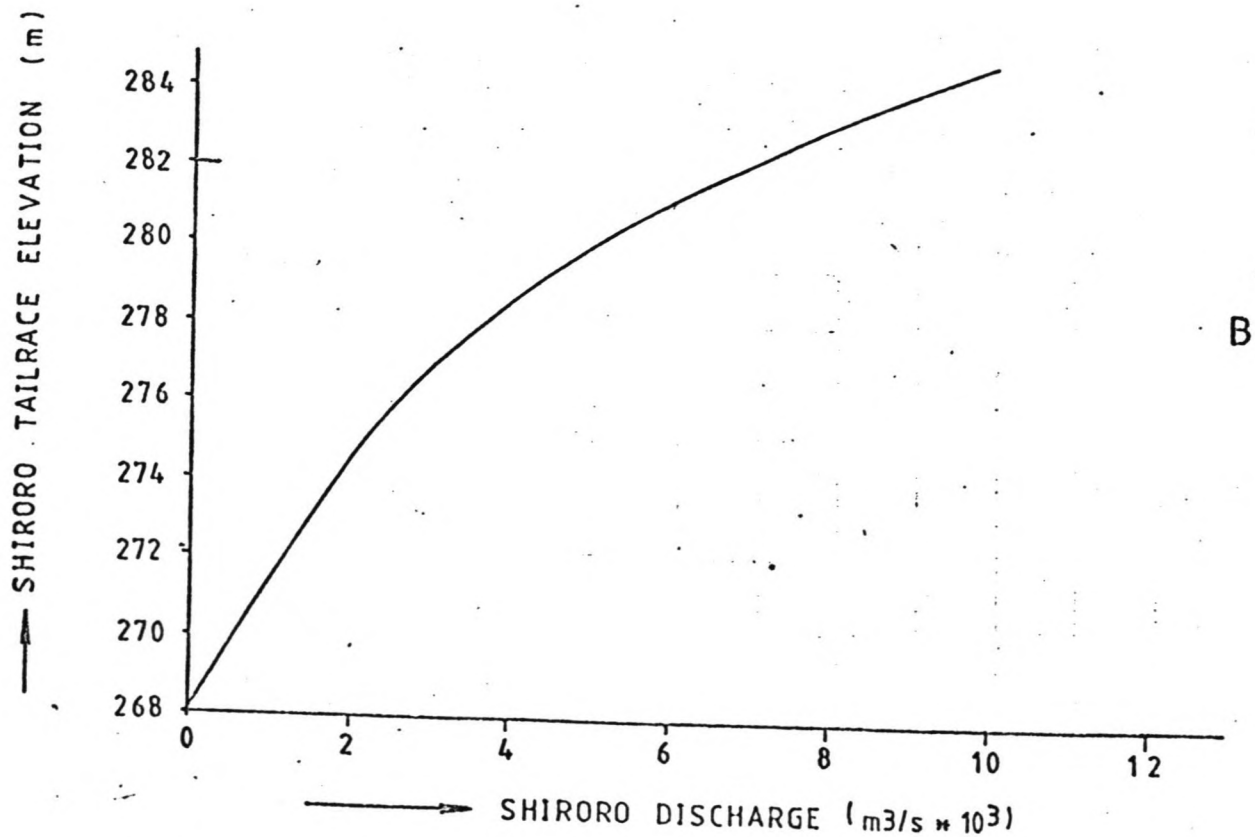
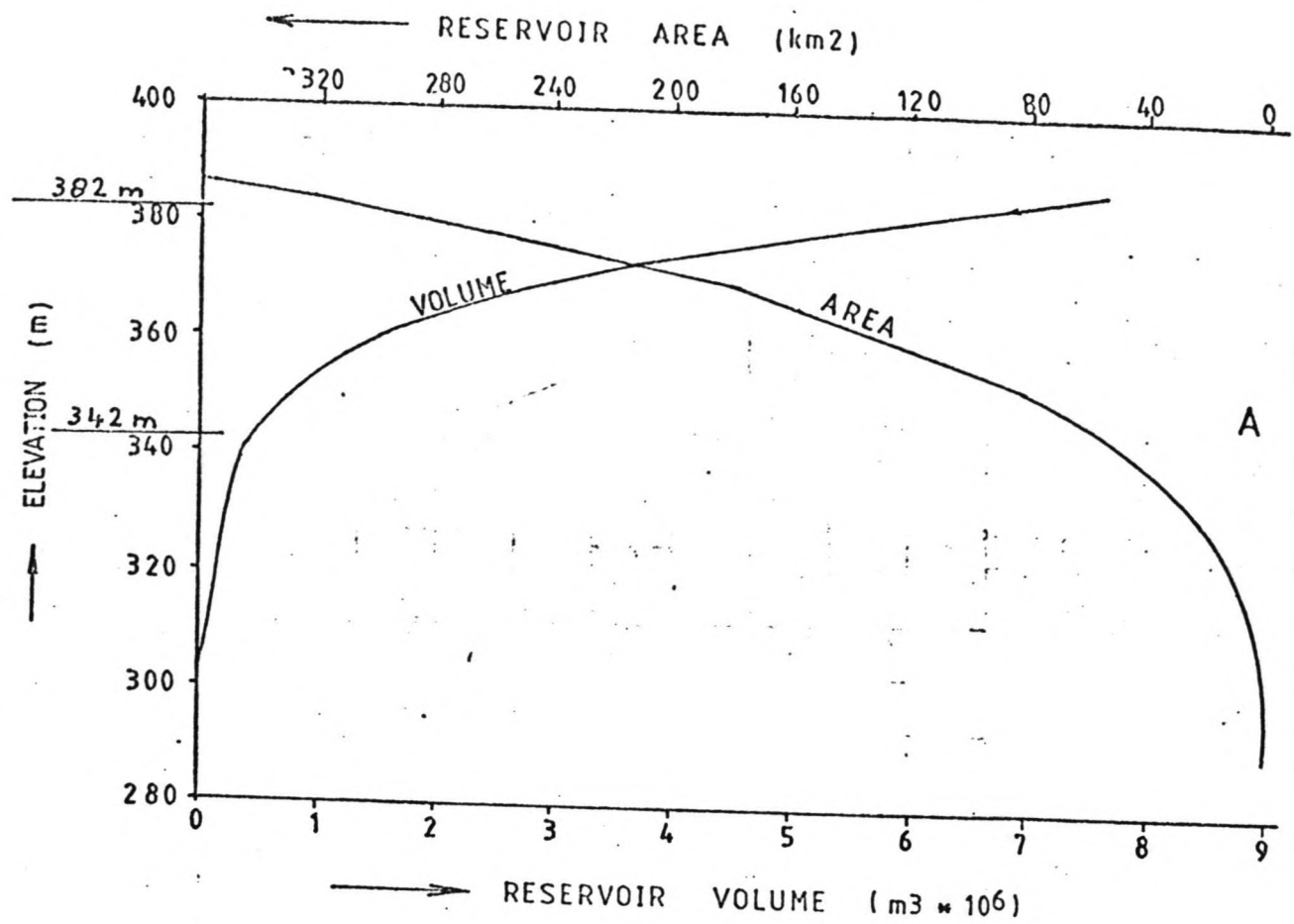
JEBBA RESERVOIR DATA.

DATE  
18 - 1 - 1980



Figure 1-21

- 40 -

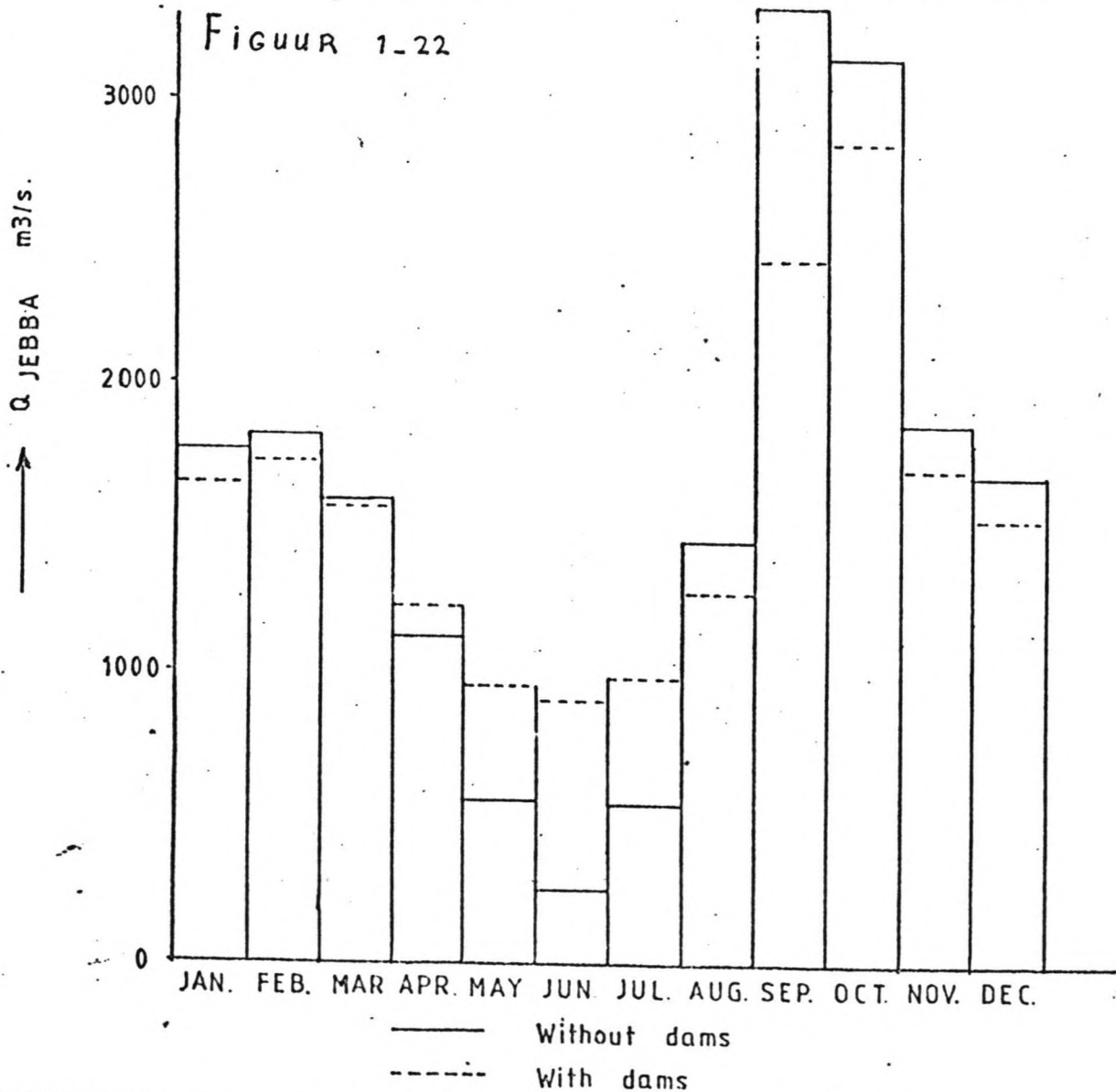
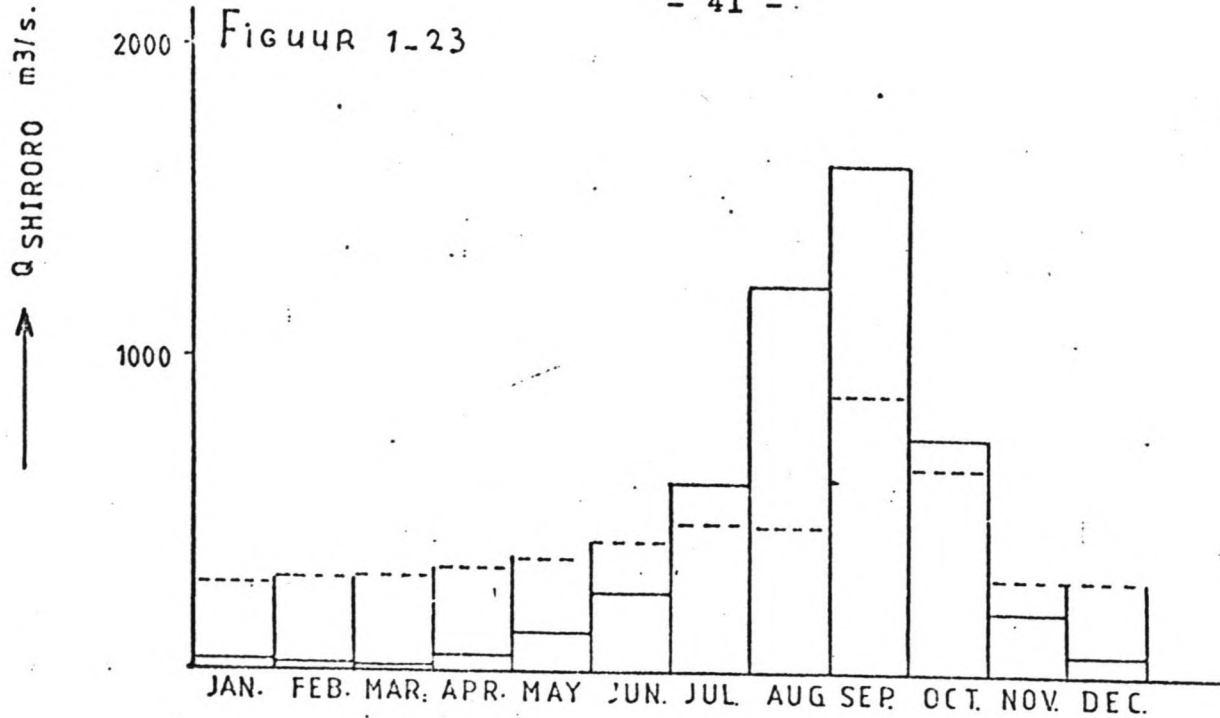


SHIRORO RESERVOIR DATA

DATE

R.N.T.C.-RIVER NIGER TRANSPORT CONSORTIUM.



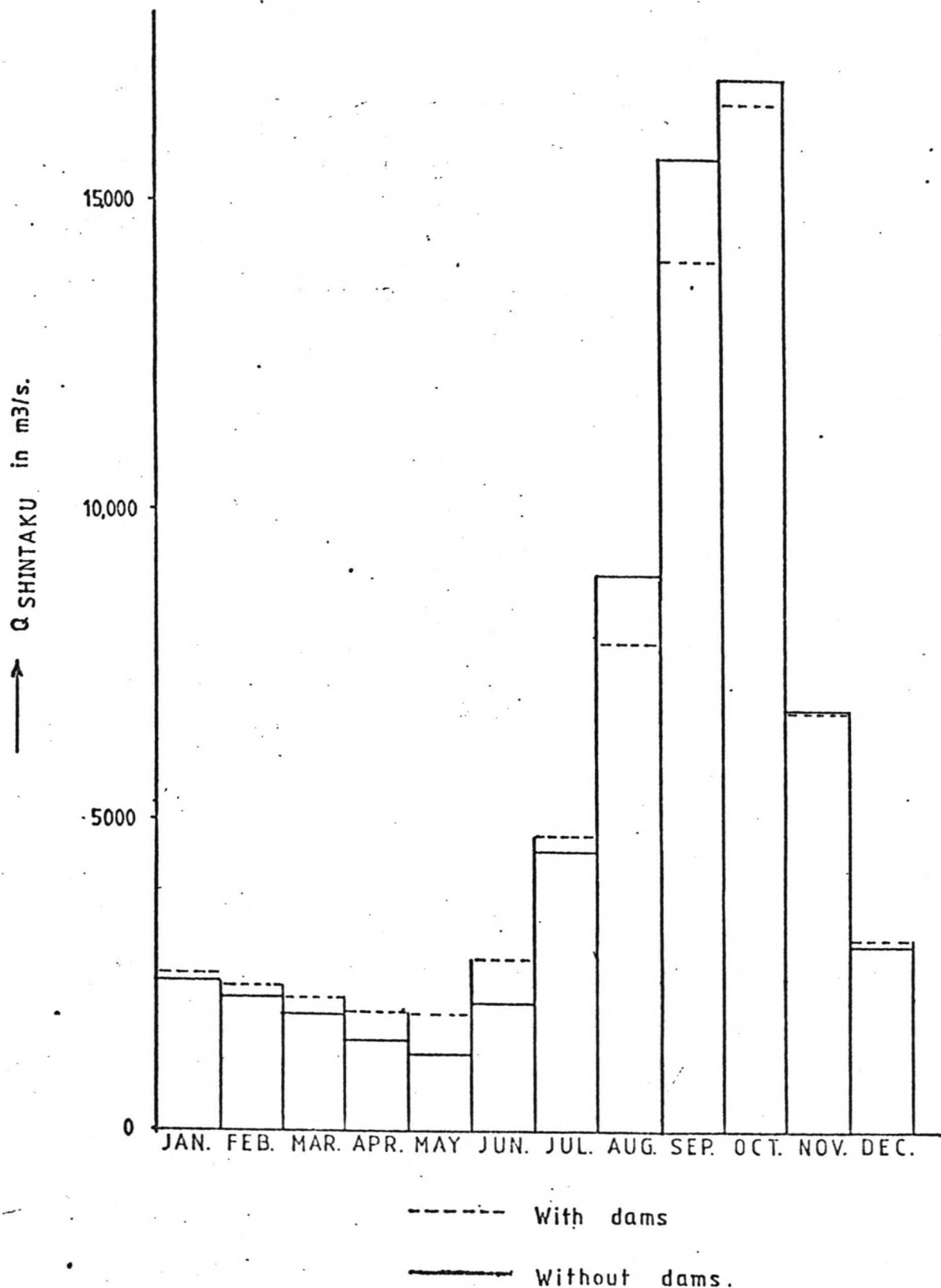


EFFECT OF SHIRORO, KAINJI AND JEBBA RESERVOIRS ON MONTHLY DISCHARGES AT SHIRORO GORGE AND JEBBA.

| DATE |  |
|------|--|
|      |  |
|      |  |
|      |  |

FIGURE 1.24

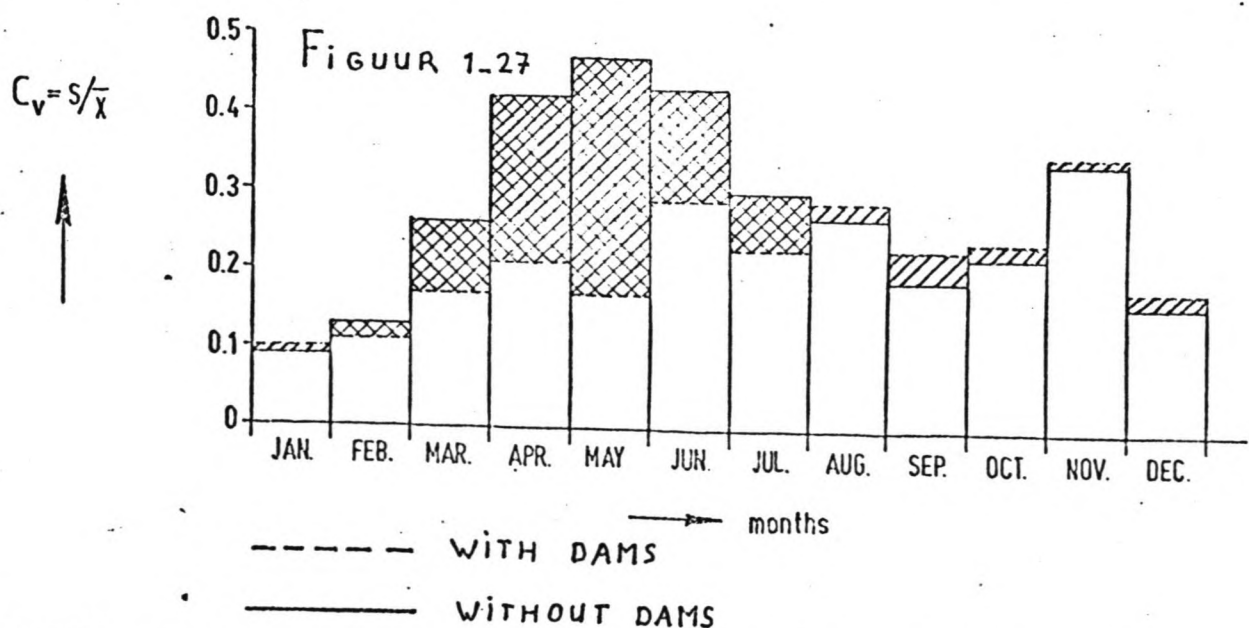
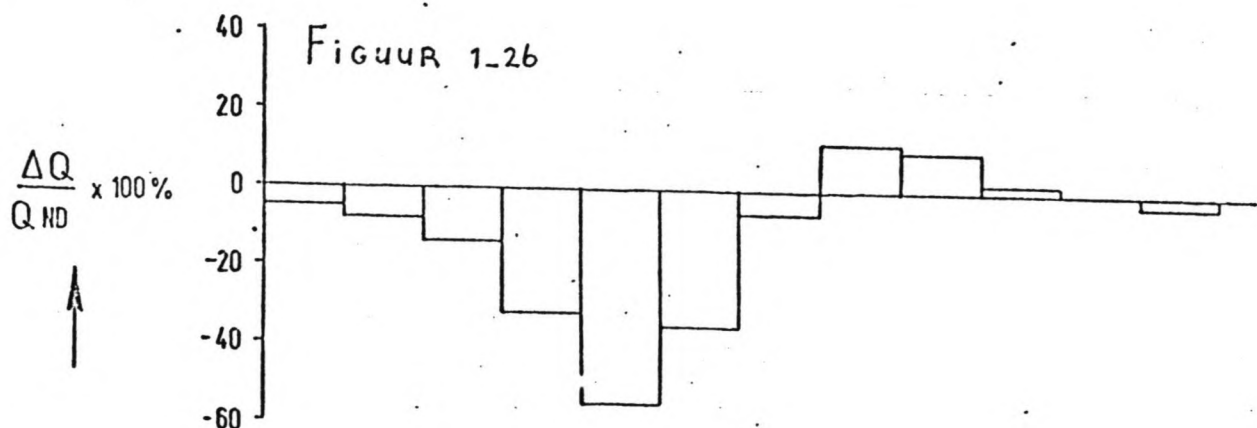
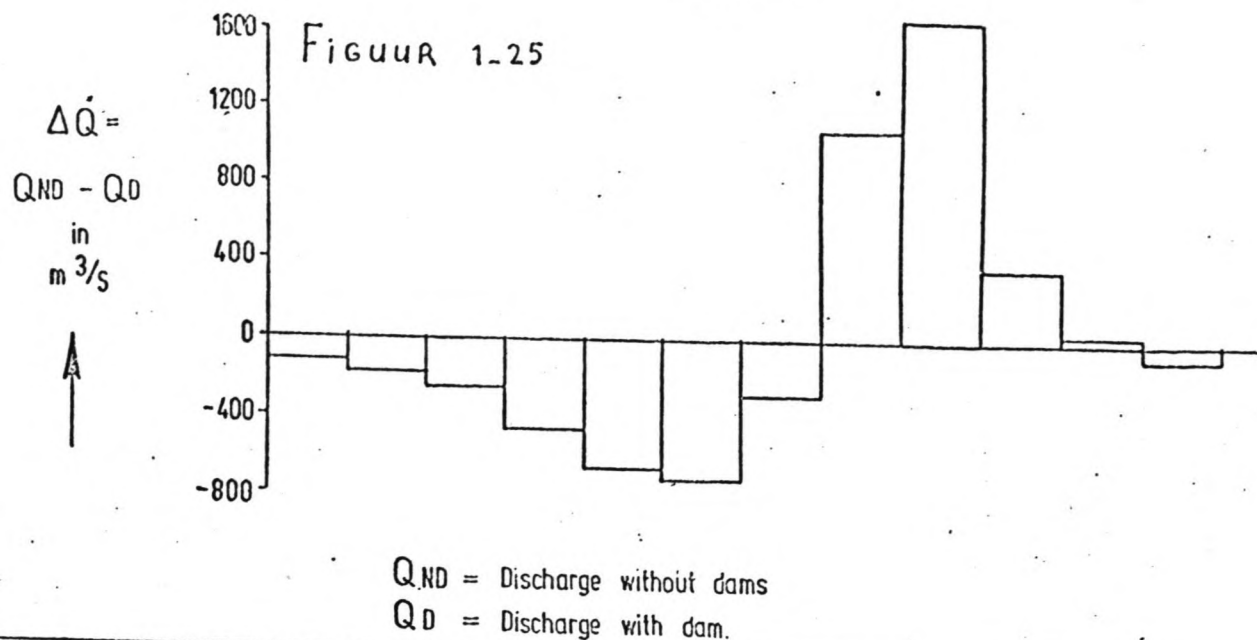
- 42 -



EFFECT OF SHIRORO, KAINJI AND JEBBA  
RESERVOIRS ON MONTHLY DISCHARGES  
AT SHINTAKU.

DATE

R.N.T.C.-RIVER NIGER TRANSPORT CONSORTIUM



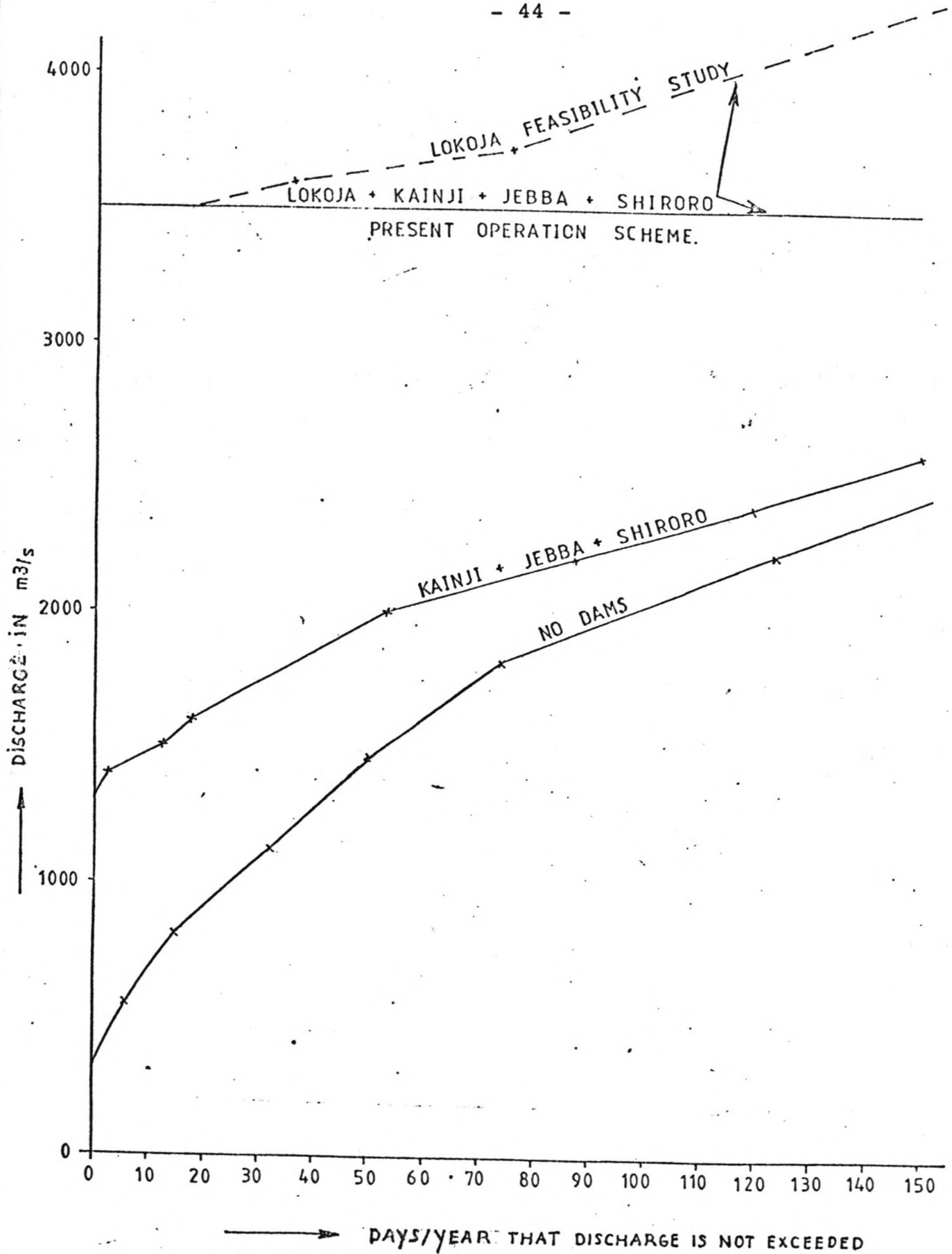
ABSOLUTE AND RELATIVE INFLUENCE OF KAINJI, JEBBA AND SHIRORO RESERVOIRS ON MONTHLY DISCHARGES AT SHINTAKU

R.N.T.C.-RIVER NIGER TRANSPORT CONSORTIUM.

| DATE |  |
|------|--|
|      |  |
|      |  |
|      |  |

FIGURE 1-28

- 44 -



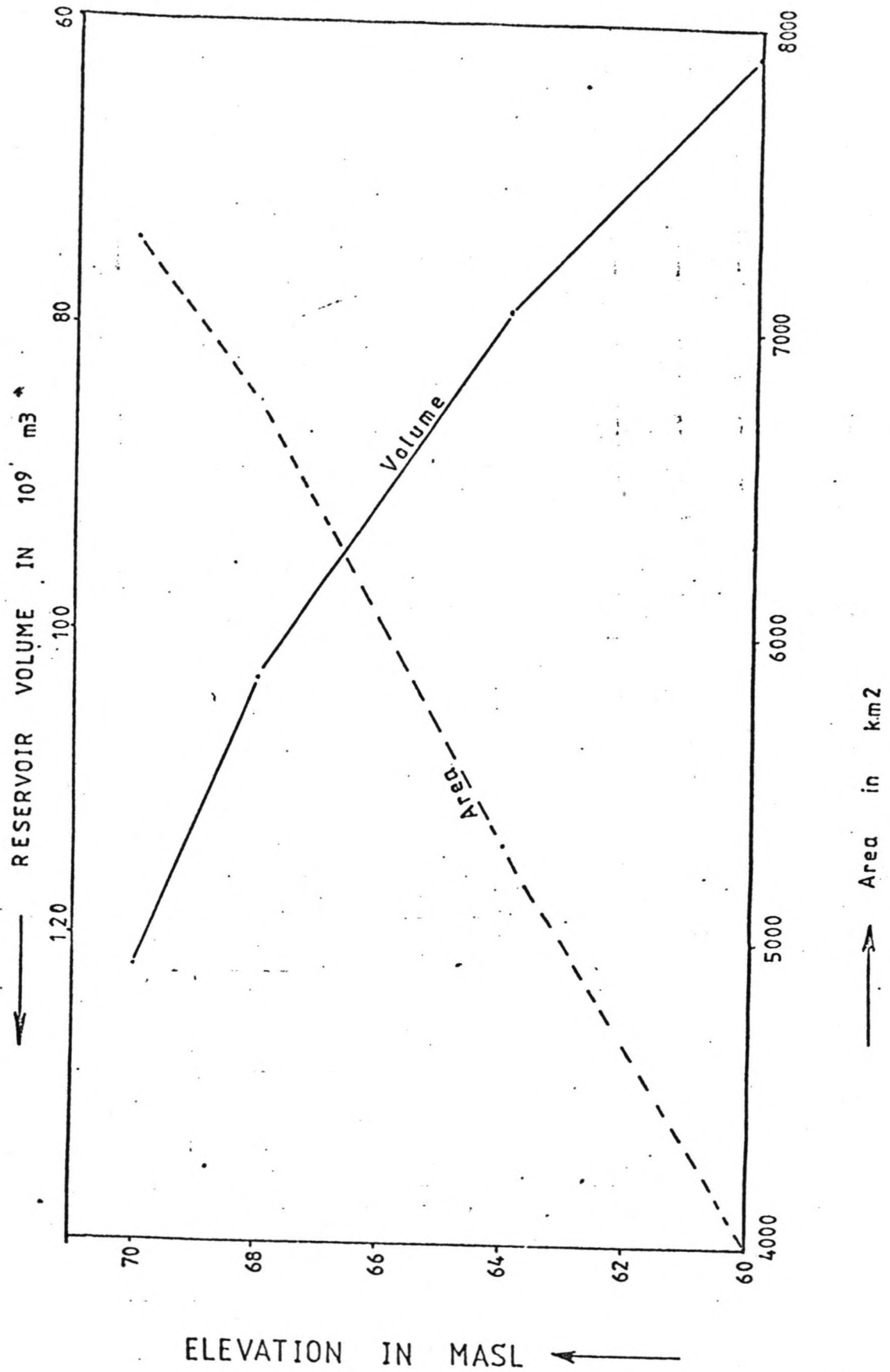
EFFECT OF DAMS ON AVERAGE  
DURATION CURVE OF SHINTAKU.

DATE  
18 - 1 - '80

R.N.T.C.-RIVER NIGER TRANSPORT CONSORTIUM.

FIGURE 1-29

- 45 -

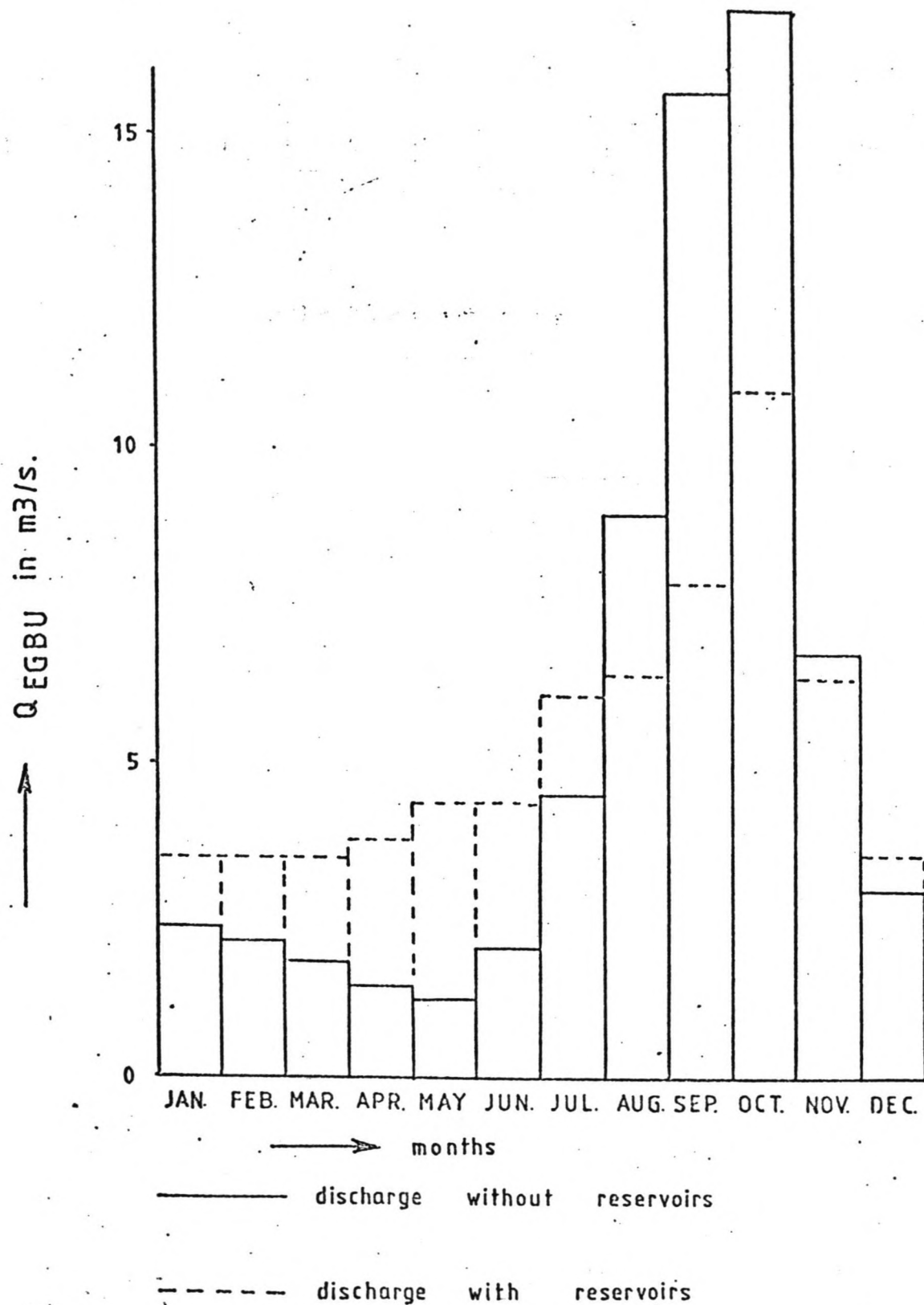


LOKOJA RESERVOIR DATA

DATE

18 - 1 - 80

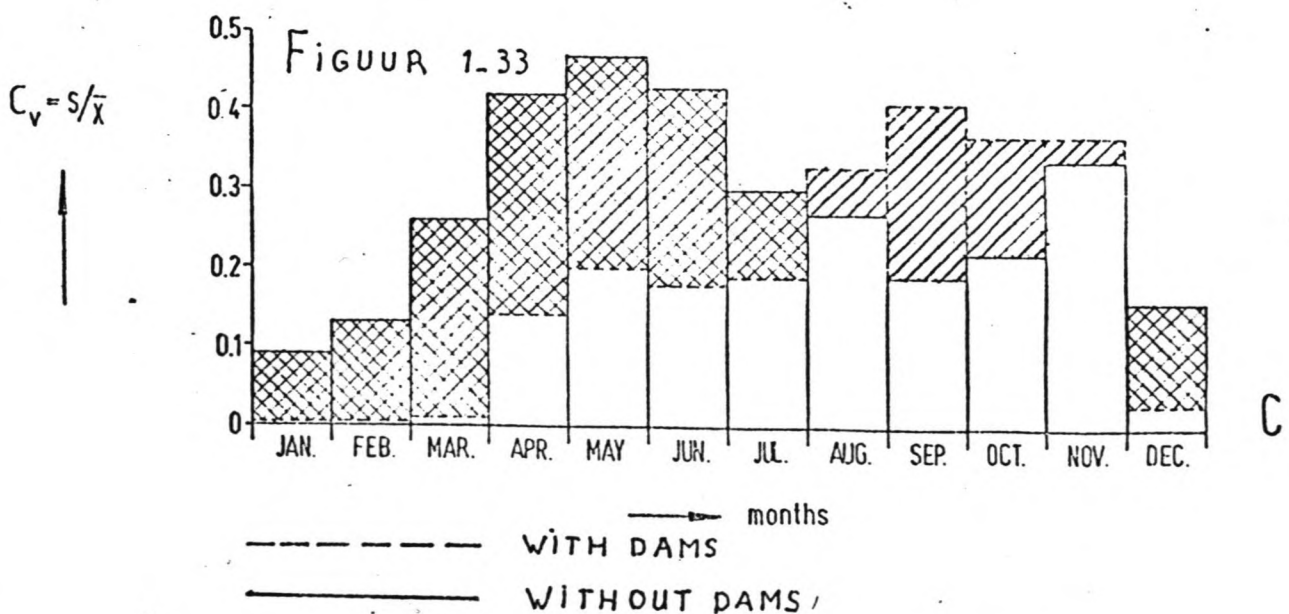
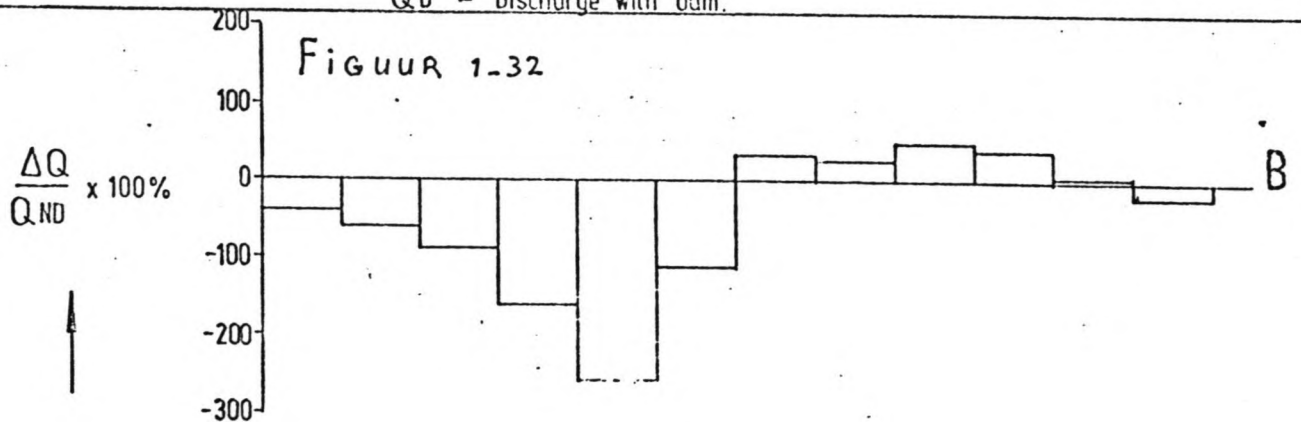
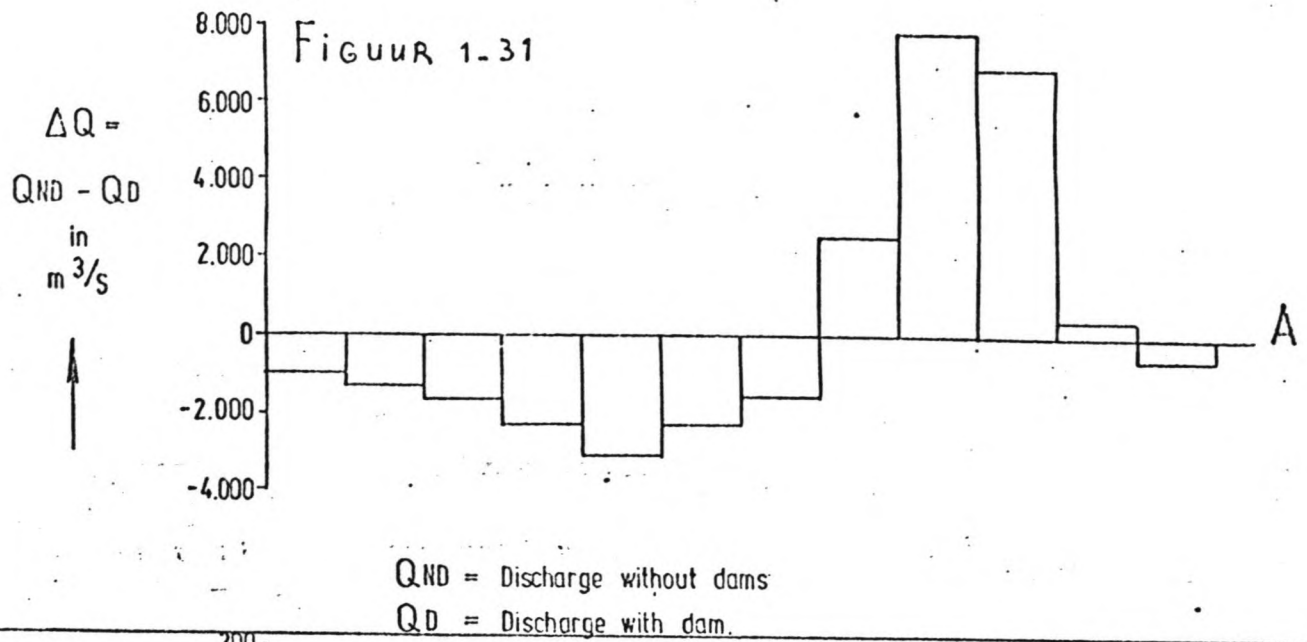
R.N.T.C.-RIVER NIGER TRANSPORT CONSORTIUM



EFFECT OF LOKOJA, SHIRORO, JEBBA AND KAINJI RESERVOIRS, ON THE MONTHLY DISCHARGES AT EGBU.

R.N.T.O. RIVER NIGER TRANSPORT CONSORTIUM

DATE



ABSOLUTE AND RELATIVE INFLUENCE OF LOKOJA, SHIRORO, JEBBA  
 AND KAINJI RESERVOIRS ON MONTHLY DISCHARGES AT SHINTAKU

|      |  |
|------|--|
| DATE |  |
|      |  |
|      |  |

R.N.T.C.-RIVER NIGER TRANSPORT CONSORTIUM



§ 1-5 Riviertypen.

In het algemeen kan men de volgende 3 riviertypen onderscheiden:

a) de meanderende rivier.

Kenmerk: meestal een enkelvoudige geul, bestaande uit aaneenschakeling van sterke krommingen; de kromming heeft niet alleen betrekking op de laagwatergeul, maar ook op het hoogwaterbed; de toestand is niet statisch, maar de rivier bocht steeds verder uit totdat er kortsluiting ontstaat.

b) de zandbanken rivier.

Kenmerk: tussen vrijwel rechte hoge oevers van het hoogwaterbed bevindt zich een zandig bed, waarin een enkelvoudige slingerende geul met altenerende zandbanken aan beide oevers; tijdens hoog water schuiven de geul en de zandbanken stroomafwaarts; soms ontstaat een kortsluitingsgeval; na verloop van tijd zand de kortsluitgeul of de oorspronkelijke geul dicht door het opschuiven van de zandbanken.

c) de vlechtende rivier.

Kenmerk: geulenstelsel over breed gebied dat sterk vertakt is, meestal komen meer dan 2 geulen naast elkaar voor, waartussen begroeide eilanden of zandbanken liggen; de geulen zijn meestal niet gekromd en niet meanderend.

Wanneer men de rivierkaart van de Beneden-Niger bekijkt, het riviertraject beneden Lokoja, dan kan men min of meer een aantal riviertypen onderscheiden.



a) Het traject Lokoja-Illushi:

de rivier heeft over dit traject duidelijk meer het karakter van een zandbankenrivier dan van een vlechtende rivier. Het kenmerkende van de opschuivende zandbanken aan beide oevers vindt plaats, maar de oevers zijn niet recht. Op sommige plaatsen is het echter twijfelachtig gezien het aantal geulen naast elkaar, of men de rivier niet tot het vlechtende type moet rekenen.

b) Het traject Illushi-Asaba

de rivier vertoont hier nog meer dan het vorige traject het karakter van een zandbankenrivier; de oevers zijn hier recht.

c) Het traject Asaba-Aboh:

(zie a)

d) het Traject benedenstrooms Aboh:

meanderend type.

§ 1-6 Beschrijving van het sedimenttransport.

Het sedimenttransport is te verdelen in: bodemtransport, zwevendtransport en spoeltransport.

Het bodemtransport (bed-load) is het transport van bodemmateriaal door rollen en springen; de deeltjes zijn nog in regelmatig onderling contact en bewegen over of vlak bij de bodem.

Het zwevendtransport (suspended load) is het transport van bodemmateriaal waarbij de deeltjes langere tijd zonder contact met de bodem in suspensie blijven. Wanneer ze na enige tijd weer op de bodem komen zijn weer andere deeltjes in suspensie gegaan, zodat wanneer er althans een evenwichtssitu-

atie bestaat, de concentratie in de verschillende lagen van de vertikaal ongeveer constant is.

Het spoeltransport (washload) bestaat uit fijne deeltjes, afkomstig van erosie van het stroomgebied en niet van de rivierbedding. Normaal wordt de wash-load geheel doorgevoerd zonder contact met de bodem. Alleen op plaatsen waar de snelheid sterk afneemt kan wash-load op de bodem worden afgezet. De deeltjes zijn veel kleiner dan van het bodemmateriaal.

Terwijl het transport van bodemmateriaal (bed-load +suspended-load) berekend wordt met transportformules en afhangt van de plaatselijke hydraulische omstandigheden, wordt het spoeltransport berekend met formules, gebaseerd op energiebeschouwingen en is de grootte van dit transport vooral afhankelijk van het aanbod van erosie-materiaal.

De transportformules, waarmee het transport van het bodemmateriaal wordt berekend zijn te splitsen in de zogenaamde bodemtransportformules en de zogenaamde totaaltransportformules.

In de literatuur wordt wel eens gesuggereerd, dat men met de bodemtransportformules alleen het bodemtransport berekend. Dit is onjuist. Men berekent er het totale transport mee, dus het bodemtransport + het zwevend transport. Deze formules zijn in het algemeen geschikt voor die gevallen waarin het bodemtransport ten opzichte van het zwevend transport overheerst. Voor die gevallen, waarbij het zwevend transport en het bodemtransport in dezelfde orde van grootte liggen of waarbij het zwevend transport overheerst ten opzichte van het bodemtransport is in het algemeen een totaaltransportformule geschikt.

Het is echter niet ondenkbaar, dat in een geval waarbij het bodemtransport en het zwevend transport in dezelfde orde van grootte liggen, een bodemtransportformule betere uitkomstens geeft dan een totaaltransportformule (zie hoofdstuk 2).

Onder normale omstandigheden hebben alleen het bodemtransport en het zwevend transport invloed op de ligging van de rivierbodem. Het spoeltransport komt niet in contact met de bodem.

Een aanvoer van bodemmateriaal, groter dan de lokale transportcapaciteit, heeft plaatselijk aanzanding tengevolge; een aanvoer van bodemmateriaal, kleiner dan de transportcapaciteit, heeft uitschuring tengevolge.

De transportcapaciteit wordt bepaald door de hydraulische omstandigheden.

Om een indruk van het bodemtransport op de rivier de Niger te krijgen, wordt verwezen naar tabel 1-12.

Voor de achtergronden over de manier hoe deze tabel is ontstaan, zie blz. 474 van het Nedeco-rapport 1959. Voorzichtigheid is geboden bij het interpreteren van deze tabel. Men heeft namelijk zandtransportmetingen over een periode van slechts 2 jaar gekoppeld aan afvoermetingen over een periode van 32 jaar.

Tabel 1-13 geeft een indruk van het jaarlijks zwevend transport en het spoeltransport op de rivier de Niger. Uit deze tabel kan tevens geconcludeerd worden, dat het jaarlijkse bodemtransport en het jaarlijkse zwevend transport, dezelfde orde van grootte hebben, al zal het laatste iets groter zijn. Het jaarlijkse spoeltransport is vele malen groter dan de beide andere transporten.

Wanneer we de rivier de Niger met andere rivieren vergelijken, dan is de concentratie van het spoeltransportmateriaal laag te noemen. De concentratie is maar weinig hoger dan die van de rivier de Rijn (zie tabel 1-14).

TABEL 1.12

YEAR TRANSPORTS OF BED-LOAD (in  $10^6 \text{ m}^3$ )

| Station        | 1956 | 1957 | AVERAGE YEAR |             |
|----------------|------|------|--------------|-------------|
|                |      |      | transport    | period      |
| <b>Niger</b>   |      |      |              |             |
| Baro           | 0.29 | 0.44 | 0.31         | 1914—1957   |
| Shintaku       | 0.72 | 1.2  | 0.88         | 1915—1956   |
| Idah           | 1.1  | 1.6  |              |             |
| Onitsha        | 0.76 | 1.3  | 1.0          | 1925—1957   |
| Aboh           | 0.45 | 0.75 |              |             |
| Samabri        | 0.70 | 1.1  | 1            | 1919—1949*) |
| <b>Benue</b>   |      |      |              |             |
| Garua          | 0.10 | 0.10 |              |             |
| Wuro Boki      | 0.23 | 0.27 |              |             |
| Yola           | 0.20 | 0.28 | 0.20         | 1934—1957   |
| Numan          | 0.29 | 0.36 |              |             |
| Ibi            | 0.71 | 0.93 |              |             |
| Makurdi        | 0.57 | 0.86 | 0.61         | 1932—1957   |
| <b>Faro</b>    |      |      |              |             |
| Gassol         | 0.40 | 0.50 |              |             |
| <b>Gongola</b> |      |      |              |             |
| Bilachi        | 0.34 | 0.24 |              |             |

\*) From information, given in the report on the Western Niger Delta, NEDECO, 1954

TABEL 1.13 YEAR TRANSPORTS OF SEDIMENT ON NIGER AND BENUE

| STATION                 | YEAR                 | BED-LOAD<br>(incl. salt. load) |                |               | SUSPENDED<br>LOAD  |                |               | WASH-LOAD          |                |               | TOTAL              |                |
|-------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------|---------------|--------------------|----------------|---------------|--------------------|----------------|---------------|--------------------|----------------|
|                         |                      | $10^6 \text{ m}^3$             | $10^6$<br>cuft | % of<br>total | $10^6 \text{ m}^3$ | $10^6$<br>cuft | % of<br>total | $10^6 \text{ m}^3$ | $10^6$<br>cuft | % of<br>total | $10^6 \text{ m}^3$ | $10^6$<br>cuft |
| Upper Niger<br>Baro     | 1956                 | 0.29                           | 10             | 8             | 0.29               | 10             | 8             | 3                  | 100            | 84            | 3.6                | 120            |
|                         | 1957                 | 0.44                           | 16             | 7             | 0.82               | 29             | 13            | 5                  | 180            | 80            | 6.3                | 220            |
|                         | average<br>1915—1957 | 0.31                           | 11             | 6½            | 0.55               | 19             | 11            | 4                  | 140            | 82½           | 4.9                | 170            |
| Benue<br>Yola           | 1956                 | 0.20                           | 6.9            | 6             | 0.17               | 6.0            | 5             | 3.0                | 110            | 89            | 3.3                | 120            |
|                         | 1957                 | 0.28                           | 10             | 6             | 0.24               | 8.5            | 5             | 4.2                | 150            | 89            | 4.7                | 170            |
|                         | average<br>1934—1957 | 0.20                           | 7.2            | 6             | 0.17               | 6.0            | 5             | 3.0                | 110            | 89            | 3.3                | 120            |
| Makurdi                 | 1956                 | 0.57                           | 21             | 5             | 0.87               | 31             | 8             | 9.5                | 340            | 87            | 11                 | 390            |
|                         | 1957                 | 0.86                           | 31             | 5½            | 1.3                | 47             | 9             | 13                 | 470            | 85½           | 15                 | 540            |
|                         | average<br>1932—1957 | 0.61                           | 22             | 5             | 0.95               | 34             | 8             | 10                 | 370            | 87            | 12                 | 420            |
| Lower Niger<br>Shintaku | 1956                 | 0.72                           | 26             | 5             | 1.0                | 36             | 7             | 13                 | 460            | 88            | 15                 | 520            |
|                         | 1957                 | 1.2                            | 42             | 5½            | 1.8                | 65             | 9             | 18                 | 640            | 85½           | 21                 | 750            |
|                         | average<br>1915—1957 | 0.88                           | 31             | 5             | 1.3                | 46             | 8             | 15                 | 530            | 87            | 17                 | 610            |
| Onitsha                 | 1956                 | 0.76                           | 27             | 5             | 1.2                | 44             | 8             | 14                 | 500            | 87            | 16                 | 570            |
|                         | 1957                 | 1.3                            | 47             | 6             | 2.2                | 79             | 10            | 19                 | 670            | 84            | 22                 | 800            |
|                         | average<br>1925—1957 | 1.0                            | 36             | 5½            | 1.7                | 59             | 9             | 16                 | 570            | 85½           | 19                 | 660            |

TABEL 1-14 Silt concentration in various rivers of the world \*

| RIVER                                                   | COUNTRY        | Place of sampling<br>or calculation | SILT CONCENTRATION *)<br>kg/m <sup>3</sup> |                   |       |
|---------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------|-------|
|                                                         |                |                                     | max.                                       | yearly<br>average | min.  |
| King Ho (trib. of Wei Ho) . . . . .                     | China          | Changchiaschau                      | 300                                        | 150               |       |
| Rio Puerco (trib. of Rio Grande<br>del Norte) . . . . . | U.S.A.         |                                     |                                            | 144               |       |
| Yungting (trib. of Hai) . . . . .                       | China          | San Che Tien                        | 557                                        |                   |       |
| Wei Ho (trib. of Hwang Ho) . . . . .                    | China          |                                     | 540                                        |                   |       |
| Hwang Ho . . . . .                                      | China          | Shenhsien                           | 460                                        | 44                | 1.1   |
| Great Fish River . . . . .                              | South-Africa   | Lake Arthur                         |                                            | 33.5              |       |
| Isser . . . . .                                         | Algerie        | Tablat                              |                                            | 20.0              |       |
| Sundays River . . . . .                                 | South-Africa   | Lake Mentz                          |                                            | 18.5              |       |
| Rio Grande del Norte . . . . .                          | U.S.A.         | Butte                               |                                            | 17.0              |       |
| Colorado . . . . .                                      | U.S.A.         | Grand Cañon                         |                                            | 11.7              |       |
| Missouri (trib. of Mississippi) . . . . .               | U.S.A.         | Kansas City                         |                                            | 2.97              |       |
| Kosi (trib. of Ganges) . . . . .                        | Nepal          | Chatra                              |                                            | 2.86              |       |
| Nile . . . . .                                          | Egypt          |                                     |                                            | 1.97              |       |
| Yang Tze . . . . .                                      | China          | Chihkiang                           | 5.61                                       | 1.86              | 0.015 |
| Tigris . . . . .                                        | Iraq           | Bagdad                              |                                            | 1.57              |       |
| Durante . . . . .                                       | France         |                                     |                                            | 1.50              |       |
| Ganges . . . . .                                        | India          | Faracca                             | 1.0                                        |                   | 0.05  |
| Amazon . . . . .                                        | Brazil         |                                     |                                            | 0.8               |       |
| Irrawaddy . . . . .                                     | Burma          | Prome                               |                                            | 0.57              |       |
| Mississippi . . . . .                                   | U.S.A.         | Robertsville                        |                                            | 0.41              |       |
| Po . . . . .                                            | Italy          | Ponte Lagoscuro                     |                                            | 0.28              |       |
| Ohio (trib. of Mississippi) . . . . .                   | U.S.A.         |                                     |                                            | 0.20              |       |
| Mekong . . . . .                                        | Cambodja       | Kratie                              | 0.3                                        | 0.16              |       |
| Parana . . . . .                                        | Argentina      | Corrientes                          |                                            | 0.15              |       |
| Rhône . . . . .                                         | France         | Lyon                                |                                            | 0.15              |       |
| Danube . . . . .                                        | Hungary        | Budapest                            |                                            | 0.14              |       |
| Danube . . . . .                                        | Austria        | Vienna                              |                                            | 0.10              |       |
| Congo . . . . .                                         | Central-Africa |                                     |                                            | 0.04              |       |
| Rhine . . . . .                                         | Netherlands    | Nijmegen                            |                                            | 0.04              |       |
| Benue . . . . .                                         | Nigeria        | various places                      | 0.4                                        |                   | 0.06  |
| Niger . . . . .                                         | Nigeria        | various places                      | 0.5                                        |                   | 0.06  |

\*) Results obtained mainly from calculation; only occasionally from actual observation of silt concentration. Calculation is possible f.i. by considering the total amount of silt deposited yearly in reservoirs in connection with the total annual water discharge.

Figures for this table are extracted from ECAFE: flood control series no 1, 1950.

PARDE: Sur les valeurs de la turbidité des rivières, 1952.

§ 1-7 De invloed van de verandering van het afvoerregime op de morfologie van de rivier.

Wanneer op een riviertraject de hydraulische parameters en/of de sedimenttoevoer veranderen, zal dit gevolgen hebben voor de ligging van de rivierbodem.

Verandering van de hydraulische parameters wordt veroorzaakt door het wijzigen van de geometrie van het riviertraject, bijvoorbeeld door baggeren en ingrepen in het rivierregiem, bijvoorbeeld door het bouwen van een dam bovenstrooms van het riviertraject. Een dergelijke dam heeft tevens tot gevolg dat de sedimenttoevoer naar het riviertraject vermindert.

Bovengenoemde voorbeelden spelen met betrekking tot ons afstudeerwerk. Het winnen van zand op een bepaalde plaats op de Beneden-Niger zal een lokale verandering van de waterdiepte met zich meebrengen en daardoor een verandering van de bodemligging boven- en benedenstrooms van de winlocatie (zie hoofdstuk 4). Het bouwen van een dam en daardoor gehele of gedeeltelijke afsluiting van de toevoer van sediment naar het benedenstrooms van de dam gelegen riviertraject, heeft direkt benedenstrooms van de dam erosie tengevolge, die zich in stroomafwaartse richting voortplant (zie § 1-8). De gevolgen van de verandering van het afvoerregime door het bouwen van dammen in de Niger en een zijrivier ervan, worden in het kort hieronder besproken.

Door de afvlakking van de hoge afvoeren zullen ook de hoge snelheden worden afgevlakt. Omgekeerd zullen door de vergroting van de lage afvoeren, die zich tijdens het vroegere afvoerregime voordeden, de lage snelheden toenemen. Omdat de zandtransportcapaciteit een functie is van de snelheid, waarbij de snelheid verheven wordt tot een macht groter dan 1, ( $\xi = \alpha v^b$ ,  $b > 1$ ), betekent dit, dat de gemiddelde transportcapaciteit beschouwd over een periode van een jaar, afneemt.

Wanneer over diezelfde periode het gemiddelde debiet niet of nauwelijks



verandert, zal de verhouding ( $S$  gem /  $Q$  gem) afnemen ten aanzien van de situatie zonder regiemregulering.

De regime-formules van Ning Chien luiden (zie )

$$\frac{\bar{u}^2}{R} \sim \left(\frac{S}{Q}\right)^{0,715} \text{ en } R^{1/3} i^{2/3} \sim D^{0,45} \left(\frac{S}{Q}\right)^{0,052}$$

|           |                          |                     |
|-----------|--------------------------|---------------------|
| $\bar{u}$ | = de gemiddelde snelheid | [m/s]               |
| $R$       | = de hydraulische straal | [m]                 |
| $S$       | = het zandtransport      | [m <sup>3</sup> /s] |
| $Q$       | = het debiet             | [m <sup>3</sup> /s] |
| $i$       | = het bodemverhang       | [-]                 |
| $D$       | = de korreldiameter      | [m]                 |

met  $\bar{u} = C \sqrt{ai}$  en  $R = a$  volgt:

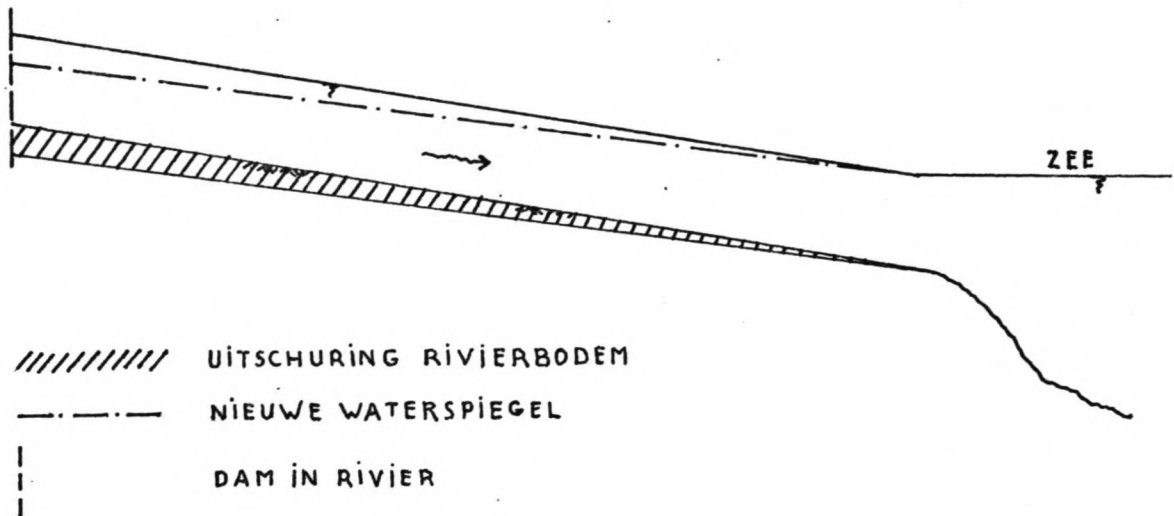
$$\frac{C^2 ai}{a} \sim \left(\frac{S}{Q}\right)^{0,715} \text{ of } i \sim \left(\frac{S}{Q}\right)^{0,7}$$

Doordat ( $S / Q$ ) kleiner zal worden zal dus ook het bodemverhang ( $i$ ) afnemen en er uiteindelijk een kleiner evenwichtsverhang ontstaan.

Een rivier kan op 2 manieren zijn bodemverhang ( $i = \Delta a / L$ ) verkleinen:

- Door bij gelijkblijvend verval de weg die het water moet afleggen te vergroten; dus  $L$  neemt toe. Dit zal gebeuren wanneer de rivier verder uitmeandert.
- Door bij gelijkblijvende  $L$  zijn verval te verkleinen. Dit zal gebeuren zoals in fig. 1-34 is getekend.





figuur 1-34

c) Een combinatie van a) en b); dit zal in de praktijk meestal voorkomen.

Of geval a) of geval b) zal overheersen, hangt af van het verschil in erodeerbaarheid tussen de oevers en de rivierbodem. Als de oevers uit rots bestaan en de rivier in zijn alluviale bed stroomt, zal zich alleen geval b) voordoen.

Geval b) is voor berekening toegankelijk door middel van morfologische berekeningen. Bij geval a) of een combinatie van a) en b) is dit gezien de huidige kennis op het gebied van morfologische berekeningen onmogelijk. Tot op heden gaat men bij morfologische berekeningen altijd uit van vaste, dus niet erodeerbare oevers.

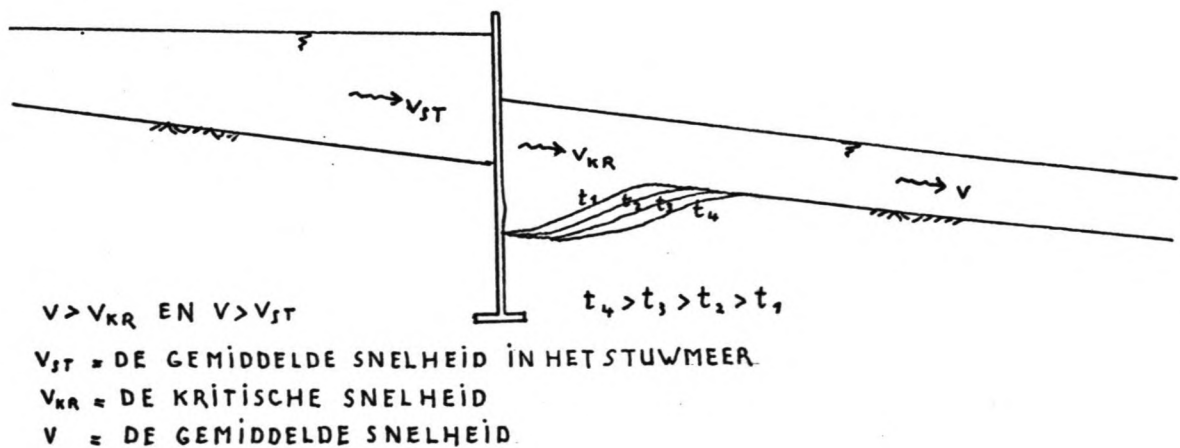
Men kan dan ook alleen met empirische formules, zoals die b.v. door Inglis zijn afgeleid, een schatting maken van het uitmeanderen van de rivier (zie Nedeco-rapport blz. 563).

In de natuur wordt het verder uitmeanderen dikwijls verstoord door aanzienlijke verschillen in erodeerbaarheid van de oevers. De formules gaan echter uit van gelijke erodeerbaarheid. Bovendien zijn de formules getoetst op een rivier of rivieren waarvan de karakteristieken anders zijn als de rivier waarvoor men de formule wil gebruiken. Aan de empirische formules moet dan ook niet al te veel praktische waarde gehecht worden.

§1-8 De invloed van een dam op de bodemligging benedenstrooms van de dam.

Behalve de in §1-7 genoemde verandering van de bodemligging van de rivier en/of verandering van het meanderpatroon die zich beide over het gehele riviertraject benedenstrooms van een dam zullen voordoen, zal er ook direct achter een dam wat met de rivierbodem gebeuren. Hierbij zijn een drietal verschijnselen te onderscheiden:

- 1) Door de sterk turbulente stroming direct benedenstrooms van de dam zal daar uitschuring optreden.
- 2) Door het afnemen van de snelheid in het stuwmeer, zal de transportcapaciteit eveneens afnemen en zal een volledige of gedeeltelijke afzetting van het getransporteerde bodemmateriaal in het reservoir plaatsvinden. Het gevolg is dat benedenstrooms van de dam het water minder zand in de vorm van zwevend transport en bodemtransport bevat dan de transportcapaciteit daar toestaat. Het water zal zich dan verzadigen met het bodemmateriaal benedenstrooms van de dam, met als gevolg uitschuring. De uitschuring komt op een bepaalde plaats tot stilstand, wanneer op die plaats de kritische snelheid is bereikt.

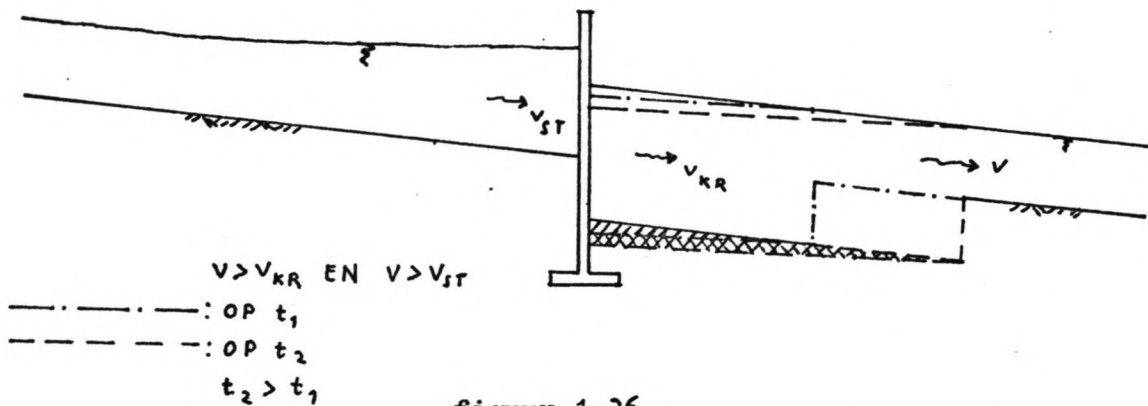


figuur 1-35

3) Het verhang zal kleiner worden over het traject, waar ten gevolge van de onder 2) beschreven uitschuring de waterdiepte is toegenomen.

Immers er geldt:  $i = Q^2 / C^2 B^2 a^3$ .

Als de  $Q$ ,  $C$  en  $B$  niet veranderen, zal bij toenemende waterdiepte het verhang afnemen. Het gevolg is dat er een verdere bodemdaling zal optreden. Zie figuur hieronder.



|          |                                           |       |
|----------|-------------------------------------------|-------|
| $V_{kr}$ | = de kritische snelheid                   | [m/s] |
| $V$      | = de gemiddelde snelheid                  | [m/s] |
| $V_{st}$ | = de gemiddelde snelheid in het reservoir | [m/s] |

De onder 2) en 3) genoemde verschijnselen kunnen met een morfologische berekening worden bepaald door als randvoorwaarde van een morfologisch model  $S = S(0, t) = 0 \text{ m}^3/\text{s}$  en als beginwaarde op die rand de bodemligging behorende bij de kritische snelheid te nemen.

Of de aanname dat er geen toevoer van bodemmateriaal door de dam zal plaatsvinden gedurende de periode waarover gerekend wordt correct is, zal van geval tot geval moeten worden bekeken.

De uitschuring die ontstaat ten gevolge van turbulentie, zal alleen dicht achter de dam voorkomen, dus zeer plaatsgebonden zijn.

Deze uitschuring zal bij een morfologisch model waarbij wordt uitgegaan van de vergelijkingen zoals in hoofdstuk 5 beschreven niet worden berekend.

## HOOFDSTUK 2: Sedimenttransportformules

### Inleiding

Om met behulp van de computer de voortplanting van het gebaggerde gat te kunnen berekenen, moet men over een sedimenttransport formule beschikken. In het Nedeco rapport (1959) geeft men als sedimenttransport formule voor de Niger een aangepaste vorm van de formule van Meyer-Peter en Müller die enkel het bodemtransport beschrijft.

Aangezien dit Nedeco rapport in 1959 is gepubliceerd en sedertdien vele nieuwe sedimenttransport formules door diverse onderzoekers zijn ontwikkeld, leek het ons verstandig om deze nieuwe sedimenttransport formules voor de rivier de Niger te testen.

De sedimenttransport formules die we voor de rivier de Niger getest hebben zijn: de door Nedeco aangepaste vorm van de Meyer-Peter en Müller formule, de originele formule van Meyer-Peter en Müller, de formule van Rottner, de formule van Ackers en White, de formule van Englund en Hansen, de formule van Einstein en Brown, de formule van Inglis-Lacey.

### § 2-1 De geteste sedimenttransport formules

#### § 2-1.1 De aangepaste formule van Meyer-Peter en Müller

$$S_b = B * 6,5 * \sqrt{\Delta g d_{50}^3} * \left[ \frac{\kappa \alpha_i}{\Delta d_{50}} - 0,04 \right]^{3/2} \quad (2-1.1.1)$$

|          |                                          |                |
|----------|------------------------------------------|----------------|
| $S_b$    | : het bodemtransport in situ             | in $[m^3/sec]$ |
| $B$      | : de rivier breedte                      | in $[m]$       |
| $P_s$    | : de dichtheid van het sediment          | in $[kg/m^3]$  |
| $P_w$    | : de dichtheid van het water             | in $[kg/m^3]$  |
| $\Delta$ | $= P_s - P_w / P_w = 1,68$ voor de Niger | dimensieloos   |

|           |                            |                |
|-----------|----------------------------|----------------|
| $\vec{g}$ | = zwaartekrachtversnelling | in $[m/sec^2]$ |
| $k$       | = ribbelfactor             | dimensieloos   |
| $a$       | = waterdiepte              | in $[m]$       |
| $i$       | = het verhang              | dimensieloos   |
| $d_{50}$  | = mediane korreldiameter   | in $[m]$       |

De eerste aanpassing van de formule van Meyer-Peter en Müller is de factor 6,5 in formule 2-1.1.1, deze factor werd door Meyer-Peter en Müller 13,3<sup>x</sup> gesteld in hun publicatie. De reden hiervoor is volgens het Nedeco rapport (blz. 466), waarschijnlijk te wijten aan het verschil in temperatuur tussen de Europese rivieren, waarvoor de formule is gecontroleerd en de temperatuur van de Niger. De gemiddelde temperatuur van de Europese rivieren in de zomer is 55°F. De gemiddelde jaartemperatuur van de Niger is 82°F. Dit temperatuurverschil resulteert ook in een verschil van de kinematische viscositeit. Voor de Europese rivieren is de kinematische viscositeit groter dan voor de rivier de Niger, respectievelijk  $\nu = 1,21 \times 10^{-6} [m^2/sec]$  en  $\nu = 0,81 \times 10^{-6} [m^2/sec.]$

De valsnelheid van zandkorrels in water met een kleinere kinematische viscositeit is groter. Daarom zullen de zandkorrels in de rivier de Niger sneller zinken dan in de Europese rivieren, dit is volgens het Nedeco rapport de reden waarom uit sedimenttransportmetingen de factor 6,5 werd gevonden in plaats van 8.

\* In het Nedeco rapport blz. 468 staat abusievelijk vermeld, dat deze factor oorspronkelijk 8 werd gesteld in de publicatie van Meyer-Peter en Muller.

De tweede aanpassing van de formule van Meyer-Peter en Müller is dat de stroomparameter  $\kappa_{ai}/\Delta d_{50}$  wordt vervangen door  $v^{3/2} (K_{si})^{1/4} / 96 \Delta d_{50}$ . De reden hiervoor is:

- 1<sup>e</sup> De ribbelfactor  $\kappa$  is niet te meten.
- 2<sup>e</sup> Het is erg moeilijk om het verhang  $i$  nauwkeurig te meten.  
Aangezien het verhang  $i$  in de stroomparameter  $v^{3/2} (K_{si})^{1/4} / 96 \Delta d_{50}$  tot de macht 1/4 wordt verheven,

zal een meetfout in het verhang  $i$  tot een kleinere fout in het berekende sedimenttransport leiden, dan wanneer de stroomparameter  $\kappa_{ai} / \Delta d_{50}$  wordt gebruikt.

Om werking van de stroomparameter  $\kappa_{ai} / \Delta d_{50}$  naar stroomparameter  $v^{3/2} \cdot (k_{si})^{1/4} / 96 \Delta d_{50}$ .

Formule van Chezy

$$v = C R^{1/2} i^{1/2} \quad 2-1.1.2$$

$R$  hydraulische straal in [m]  
 $C$  constante van Chezy in [m<sup>1/2</sup>/sec]

Formule van Manning

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} \quad 2-1.1.3$$

$R$  hydraulische straal in [m]  
 $n$  constante van Manning in [sec/m<sup>1/3</sup>]

Strickler stelt dat geldt:

$$\frac{1}{n} = \frac{E}{K_R}^{1/6} \quad 2-1.1.4$$

$E$  is een constante in [m<sup>1/2</sup>/sec]  
 $K_R$  nikuradse ruwheid in [m]

In het Nedeco rapport (blz. 392) staat dat voor de Niger  $E$  varieert tussen 20 en 22. Gesteld wordt dat  $E=21$ . Opgemerkt dient te worden, dat  $E$  bepaald is uit gegevens, waar ook verhangmetingen voor zijn gedaan.

Uit 2-1.1.3 en 2-1.1.4 volgt:

$$v = 21 \cdot K_R^{-1/6} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} = 21 \cdot K_R^{-1/6} \cdot R^{1/6} \cdot R^{1/2} \cdot i^{1/2}$$

$$v = 21 \left( \frac{R}{K_R} \right)^{1/6} \cdot R^{1/2} \cdot i^{1/2} \quad 2-1.1.5$$

Uit de vergelijkingen 2-1.1.2 en 2-1.1.5 volgt nu:

$$C = 21 \left( \frac{R}{K_R} \right)^{1/6} \quad 2-1.1.6$$



Meyer-Peter en Müller definiëren de ribbelfactor  $\lambda$  als:

$$\lambda = \left( \frac{C}{C'} \right)^{3/2}$$

2-1.1.7

C is coefficient van Chezy t.g.v. totale ruwheid in  $[m^{1/2}/sec]$

C' is coefficient van Chezy t.g.v. korrelruwheid in  $[m^{1/2}/sec]$

(2-1.1.8)  $C = 21 (R/K_R)^{1/6}$  waarin  $K_R$  de totale bedruwheid in  $[m]$

(2-1.1.9)  $C' = 21 (R/K_S)^{1/6}$  waarin  $K_S = D_{90}$  in  $[m]$

Uit 2-1.1.7, 2-1.1.8 en 2-1.1.9 volgt nu:

$$\lambda = \left( \frac{K_S}{K_R} \right)^{1/4}$$

2-1.1.10

De hydraulische straal R wordt nu gelijk gesteld aan de waterdiepte a, uit formule 2-1.1.5 volgt:

$$a = v^{3/2} \cdot 21^{-3/2} \cdot K_R^{1/4} \cdot i^{-3/4}$$

2-1.1.11

Voor de parameter  $\lambda_{ai}$  kan nu met behulp van 2-1.1.11 en 2-1.1.10 worden geschreven:

$$\frac{\lambda_{ai}}{\Delta d_{50}} = \left( \frac{K_S}{K_R} \right)^{1/4} \cdot v^{3/2} \cdot 21^{-3/2} \cdot K_R^{1/4} \cdot i^{-3/4} \cdot i \cdot \Delta^{-1} \cdot d_{50}^{-1}$$

$$= \frac{v^{3/2} \cdot (K_S i)^{1/4}}{96 \Delta d_{50}}$$

2-1.1.12

Door de stroomparameter  $\lambda_{ai}/\Delta d_{50}$  in formule 2-1.1.1 te vervangen door de stroomparameter  $v^{3/2} (K_S i)^{1/4}/96 \Delta d_{50}$  verkrijgt men formule 2-1.1.13

$$S_b = B \cdot b_{,5} \cdot \sqrt{\Delta g d_{50}^3} \cdot \left[ \frac{v^{3/2} (K_S i)^{1/4}}{96 \Delta d_{50}} - 0,047 \right]^{3/2}$$

2-1.1.13

$S_b$  : het bodemtransport in situ

in  $[m^3/sec]$

B : de rivierbreedte

in  $[m]$

$\Delta = 1,68 = (P_S - P_W)/P_W$  voor de Niger

dimensieloos

$\vec{g}$  = zwaartekrachtversnelling

in  $[m/sec^2]$

|          |                                                                                            |              |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| $d_{50}$ | = mediane korreldiameter                                                                   | in [m]       |
| $V$      | = gemiddelde stroomsnelheid                                                                | in [m/sec]   |
| $K_s$    | = $d_{90}$ : korreldiameter waarbij 90% van het mengsel kleiner is dan de betreffende maat | in [m]       |
| $i$      | = het verhang                                                                              | dimensieloos |

We hebben geprobeerd in hoeverre met formule 2-1.1.13 het bodemtransport van de Niger wordt weergegeven.

### § 2-1.2 De formule van Meyer-Peter en Müller

Met de door Nedeco aangepaste vorm van de formule van Meyer-Peter en Müller, berekent men enkel het bodemtransport. Het leek ons ook verstandig om na te gaan in hoeverre de "originele" formule van Meyer-Peter en Müller het totaaltransport in de rivier de Niger benadert.

Er is één wijziging in de "originele" formule van Meyer-Peter en Müller aangebracht, de stroomparameter  $\tau_{ai}/\Delta d_{50}$  is vervangen door de stroomparameter  $v^{3/2} (K_{si})^{1/4} / 96 \Delta d_{50}$ .

Doordat bij de omwerking van de stroomparameter  $\tau_{ai}/\Delta d_{50}$  naar de stroomparameter  $v^{3/2} (K_{si})^{1/4} / 96 \Delta d_{50}$  (zie hiervoor s.v.p. § 2-1.1) wordt aangenomen dat de waarde van  $E$  in de formule 2-1.1.4 voor de Niger gelijk aan 21 is, geldt de hieronder vermelde formule 2-1.2.1 alléén voor de rivier de Niger.

$$S_t = 13,3 * B * \sqrt{\Delta \bar{g} d_{50}^3} * \left[ \frac{v^{3/2} * (K_{si})^{1/4}}{96 \Delta d_{50}} - 0,047 \right]^{3/2} \quad 2-1.2.1$$

|       |                                     |                          |
|-------|-------------------------------------|--------------------------|
| $S_t$ | : het totale sedimenttransport      |                          |
|       | : bodem + zwevend transport in situ | in [m <sup>3</sup> /sec] |
| $B$   | : de rivierbreedte                  | in [m]                   |
| $P_s$ | : dichtheid van het sediment        | in [kg/m <sup>3</sup> ]  |
| $P_w$ | : dichtheid van het water           | in [kg/m <sup>3</sup> ]  |

|                                                                                                |                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| $\Delta = (P_s - P_w) / P_s = 1,68$ voor de Niger                                              | dimensieloos             |
| $\vec{g}$ : zwaartekracht versnelling                                                          | in [m/sec <sup>2</sup> ] |
| $d_{50}$ : mediane korreldiameter                                                              | in [m]                   |
| $v$ : gemiddelde stroomsnelheid                                                                | in [m/sec]               |
| $K_s = d_{90}$ : korreldiameter waarbij 90% van het mengsel kleiner is dan de betreffende maat | in [m]                   |
| $i$ : het verhang                                                                              | dimensieloos             |

### § 2-1.3 De formule van Rottner (1959)

De sedimenttransportformule van Rottner is gepubliceerd in La Houille Blanche, 1975 op pagina 285.

$$Q = P_s \sqrt{\Delta \vec{g} a^3} \left\{ \left[ 0,667 \left( \frac{d_{50}}{a} \right)^{2/3} + 0,14 \right] * \sqrt{\frac{v}{\Delta \vec{g} a}} - 0,1778 \left( \frac{d_{50}}{a} \right)^{2/3} \right\}^3$$

2-1.3.1

|                                                     |                            |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|
| $Q$ : het droge sedimenttransport                   | in [gram/sec/cm]           |
| $P_s$ : dichtheid van het sediment                  | in [gram/cm <sup>3</sup> ] |
| $P_w$ : dichtheid van het water                     | in [gram/cm <sup>3</sup> ] |
| $\Delta$ : $(P_s - P_w) / P_w = 1,68$ voor de Niger | dimensieloos               |
| $\vec{g}$ : zwaartekracht versnelling               | in [cm/sec <sup>2</sup> ]  |
| $a$ : de waterdiepte                                | in [cm]                    |
| $d_{50}$ : mediane korreldiameter                   | in [cm]                    |
| $v$ : gemiddelde stroomsnelheid                     | in [cm/sec]                |

De met formule 2-1.3.1 berekende sedimenttransporten zijn vergeleken met de gemeten totaaltransporten.

Om eventueel met behulp van de formule van Rottner de morfologische veranderingen in de rivierbodem te kunnen berekenen, is de formule 2-1.3.1 omgewerkt naar de formule 2-1.3.2

$$S_t = \frac{1}{1-\varepsilon} * B * \sqrt{\Delta \vec{g} a^3} * \left\{ \left[ 0,667 \left( \frac{d_{50}}{a} \right)^{2/3} + 0,14 \right] * \sqrt{\frac{v}{\Delta \vec{g} a}} - 0,1778 \left( \frac{d_{50}}{a} \right)^{2/3} \right\}^3$$

2-1.3.2

|                |                                                |                |
|----------------|------------------------------------------------|----------------|
| $S_t$          | : het totale sedimenttransport                 |                |
|                | : bodem + zwevend transport in situ            | in $[m^3/sec]$ |
| $B$            | : de rivierbreedte                             | in $[m]$       |
| $P_s$          | : dichtheid van het sediment                   | in $[kg/m^3]$  |
| $P_w$          | : dichtheid van het water                      | in $[kg/m^3]$  |
| $\xi$          | : poriëngetal van sediment onder water afgezet | dimensieloos   |
| $\Delta$       | $= (P_s - P_w) / P_w = 1,68$ (voor de Niger)   | dimensieloos   |
| $\overline{g}$ | : zwaartekrachtversnelling                     | in $[m/sec^2]$ |
| $a$            | : waterdiepte                                  | in $[m]$       |
| $d_{50}$       | : mediane korreldiameter                       | in $[m]$       |
| $v$            | : gemiddelde stroomsnelheid                    | in $[m/sec]$   |

#### §2-1.4 De formule van Ackers en White

$$X = S_{gr} \cdot \frac{d}{a} \left( \frac{v}{v_*} \right)^n \cdot s \quad (2-1.4.1)$$

$$S_{gr} = C * (F_{gr}/A - 1)^m \quad (2-1.4.2)$$

$$F_{gr} = \frac{v_*^n}{\sqrt{\overline{g} d (s-1)}} \left[ \frac{v}{\sqrt{32} \log \left( \frac{\alpha a}{d} \right)} \right]^{1-n} \quad (2-1.4.3)$$

$$v_* = \sqrt{\overline{g} a i} \quad (2-1.4.4)$$

$$\alpha = 10 \quad (2-1.4.5)$$

$$D_{gr} = d \left( \frac{g_s (s-1)}{v^2} \right)^{1/3}$$

( 2-1.4.6 )

De coëfficiënten n, m, A en C in de formules 2-1.4.1, 2-1.4.2 en 2-1.4.3 worden als volgt berekent:

indien  $1 < D_{gr} \leq 60$

$$n = 1,00 - 0,56 \log (D_{gr}) \quad 2-1.4.7$$

$$m = (0,66 / D_{gr}) + 1,34 \quad 2-1.4.8$$

$$A = (0,23 / \sqrt{D_{gr}}) + 0,14 \quad 2-1.4.9$$

$$\log (C) = 2,86 \log (D_{gr}) - (\log (D_{gr}))^2 - 3,53 \quad 2-1.4.10$$

indien  $D_{gr} > 60$

$$n = 0,00 \quad 2-1.4.11$$

$$m = 1,50 \quad 2-1.4.12$$

$$A = 0,17 \quad 2-1.4.13$$

$$C = 0,025 \quad 2-1.4.14$$

Stotaal, het totale sedimenttransport zoals dat in de rivier zal opreden, is gelijk aan:

$$S_{\text{totaal}} = \frac{X * P_w * Q}{P_s * (1 - \epsilon)} \quad 2-1.4.15$$

Verklaring der gebezigde symbolen

|                     |                                                                                                                                                     |                |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| $S_{\text{totaal}}$ | : het totale sedimenttransport                                                                                                                      | in $[m^3/sec]$ |
|                     | : bodem + zwevend sedimenttransport in situ                                                                                                         |                |
| $X$                 | : het totale sedimenttransport in $[kg/sec]$ dimensioneloos gedeeld door het debiet in $[kg/sec] = \frac{S_{\text{totaal}} (1 - \epsilon)}{Q_{fw}}$ |                |
| $S_{gr}$            | : sedimenttransport verhouding                                                                                                                      | dimensioneloos |
| $d$                 | : korrel diameter van het sediment                                                                                                                  | in $[m]$       |
| $a$                 | : de waterdiepte                                                                                                                                    | in $[m]$       |
| $v$                 | : gemiddelde stroomsnelheid                                                                                                                         | in $[m/sec]$   |
| $v_{*}$             | : schuifspanningssnelheid                                                                                                                           | in $[m/sec]$   |

|            |                                            |                |
|------------|--------------------------------------------|----------------|
| $P_s$      | : dichtheid van het sediment               | in $[kg/m^3]$  |
| $P_w$      | : dichtheid van het water                  | in $[kg/m^3]$  |
| $s$        | $= P_s/P_w = \Delta + 1$                   | dimensieloos   |
| $\Delta$   | $= (P_s - P_w) / P_w = 1,68$ voor de Niger | dimensieloos   |
| $F_{qr}$   | : het sediment mobiliteitsgetal            | dimensieloos   |
| $\vec{g}$  | : zwaartekracht versnelling                | in $[m/sec^2]$ |
| $i$        | : het verhang                              | dimensieloos   |
| $D_{qr}$   | : een kengetal                             | dimensieloos   |
| $\nu$      | : kinematische viscositeit                 | in $[m^2/sec]$ |
| $\alpha$   | : coefficient                              | dimensieloos   |
| $n$        | : coefficient                              | dimensieloos   |
| $m$        | : coefficient                              | dimensieloos   |
| $C$        | : coefficient                              | dimensieloos   |
| $A$        | : coefficient                              | dimensieloos   |
| $\epsilon$ | : poriëngetal van het sediment onder water |                |
|            | : afgezet                                  | dimensieloos   |
| $Q$        | : de rivieraafvoer, het debiet             | in $[m^3/sec]$ |

## § 2-1.5 Formule van Englund en Hansen (1967)

$$S_{\text{totaal}} = \frac{0,05}{1-\epsilon} * B * \sqrt{\Delta \vec{g} d_{50}^3} * \left( \frac{v_*}{\sqrt{\vec{g} \Delta d_{50}}} \right)^3 * \left( \frac{v}{\sqrt{\vec{g} \Delta d_{50}}} \right)^2 \quad 2-1.5.1$$

$$v_* = \sqrt{\vec{g} a i} \quad 2-1.5.2$$

|           |                                             |                |
|-----------|---------------------------------------------|----------------|
| Stotaal:  | het totale sedimenttransport                | in $[m^3/sec]$ |
|           | : bodem + zwevend sedimenttransport in situ |                |
| $B$       | : de rivierbreedte                          | in $[m]$       |
| $P_s$     | : dichtheid van het sediment                | in $[kg/m^3]$  |
| $P_w$     | : dichtheid van het water                   | in $[kg/m^3]$  |
| $\Delta$  | : $(P_s - P_w) / P_w = 1,68$ voor de Niger  | dimensieloos   |
| $\vec{g}$ | : zwaartekracht versnelling                 | in $[m/sec^2]$ |
| $d_{50}$  | : mediane korreldiameter                    | in $[m]$       |

|            |                                                             |              |
|------------|-------------------------------------------------------------|--------------|
| a          | : de waterdiepte                                            | in [m]       |
| i          | : het verhang                                               | dimensieloos |
| $V_{\#}$   | : schuifspannings snelheid                                  | in [m/sec]   |
| V          | : gemiddelde stroomsnelheid                                 | in [m/sec]   |
| $\epsilon$ | : het poriëngetal van het sediment onder water<br>: afgezet | dimensieloos |

## § 2-1.6 Formule van Einstein-Brown

$$S_{\text{totaal}} = B * \frac{40}{1-\epsilon} * f * \sqrt{\frac{1}{g}} \Delta d_{50}^3 * \left( \frac{a i}{\Delta d_{50}} \right)^3 \quad 2-1.6.1$$

$$f = \sqrt{\left( \frac{2}{3} \right) + \frac{3b v^2}{\Delta \frac{1}{g} d_{50}^3}} - \sqrt{\frac{3b v^2}{\Delta \frac{1}{g} d_{50}^3}} \quad 2-1.6.2$$

|                     |                                                                               |                          |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| $S_{\text{totaal}}$ | : het totale sedimenttransport<br>: bodem + zwevend sedimenttransport in situ | in [m <sup>3</sup> /sec] |
| B                   | : de rivierbreedte                                                            | in [m]                   |
| $\epsilon$          | : het poriëngetal van het sediment onder water<br>: afgezet                   | dimensieloos             |
| $f$                 | : de Rubey-factor                                                             | dimensieloos             |
| $\nu$               | : de kinematische viscositeit                                                 | in [m <sup>2</sup> /sec] |
| $P_s$               | : dichtheid van het sediment                                                  | in [kg/m <sup>3</sup> ]  |
| $P_w$               | : dichtheid van het water                                                     | in [kg/m <sup>3</sup> ]  |
| $\Delta$            | : $(P_s - P_w) / P_w = 1,68$ voor de Niger                                    | dimensieloos             |
| $\frac{1}{g}$       | : zwaartekracht versnelling                                                   | in [m/sec <sup>2</sup> ] |
| $d_{50}$            | : mediane korreldiameter van het mengsel                                      | in [m]                   |
| a                   | : de waterdiepte                                                              | in [m]                   |
| i                   | : het verhang                                                                 | dimensieloos             |



## §2-1.7 Formule van Inglis-Lacey (1968)

Inglis en Lacey schreven hun formule als volgt:

$$Q_s = 0,562 * \frac{(Vg^a)^{1/3}}{w} * \frac{V^2}{g^a} * \frac{\gamma_w \cdot V^3}{g^a} \quad 2-1.7.1$$

|            |                                             |                        |
|------------|---------------------------------------------|------------------------|
| $Q_s$      | : het totale droge sedimenttransport        | in $[N/m \text{ sec}]$ |
|            | : bodem + zwevend transport                 |                        |
| $V$        | : de kinematische viscositeit               | in $[m^2/sec]$         |
| $g$        | : de zwaartekracht versnelling              | in $[m/sec^2]$         |
| $w$        | : de valsnelheid                            | in $[m/sec]$           |
| $v$        | : de gemiddelde stroomsnelheid              | in $[m/sec]$           |
| $a$        | : de waterdiepte                            | in $[m]$               |
| $P_w$      | : de dichtheid van het water                | in $[kg/m^3]$          |
| $\gamma_w$ | $= P_w \cdot g$ volumegewicht van het water | in $[N/m^3]$           |

De formule van Inglis-Lacey in de vorm van vergelijking 2-1.7.1 is omge-  
werkt naar de vorm van vergelijking 2-1.7.2. Tevens is aangenomen dat de  
valsnelheid  $w$  kan worden benaderd door vergelijking 2-1.7.3. Dit is  
correct, indien het Reynoldsgetal ( $Re = wd/\nu$ ) groter is dan 150.

$$S_{\text{totaal}} = 0,562 * \frac{B}{P_s \cdot g^a (1-\epsilon)} * \frac{(Vg^a)^{1/3}}{w} * \frac{V^2}{g^a} * \frac{\gamma_w^3}{g^a} \quad 2-1.7.2$$

$$w = \sqrt{\Delta g^a d_{50}} \quad 2-1.7.3$$

|                     |                                                |                |
|---------------------|------------------------------------------------|----------------|
| $S_{\text{totaal}}$ | : het totale sedimenttransport                 | in $[m^3/sec]$ |
|                     | : bodem + zwevend transport in situ            |                |
| $B$                 | : de rivierbreedte                             | in $[m]$       |
| $P_s$               | : de dichtheid van het sediment                | in $[kg/m^3]$  |
| $\frac{P_s}{g}$     | : zwaartekracht versnelling                    | in $[m/sec^2]$ |
| $\epsilon$          | : het poriëngetal van het sediment onder water |                |
|                     | : afgezet                                      | dimensieloos   |
| $\nu$               | : de kinematische viscositeit                  | in $[m^2/sec]$ |

|                 |                                                                         |                         |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| w               | : de valsnelheid van de mediane korrel                                  | in [m/sec]              |
| P <sub>w</sub>  | : de dichtheid van het water                                            | in [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Δ               | = (P <sub>s</sub> -P <sub>w</sub> )/P <sub>w</sub> = 1,68 voor de Niger | dimensieloos            |
| d <sub>50</sub> | : mediane korreldiameter van het mengsel                                | in [m]                  |
| v               | : de gemiddelde stroomsnelheid                                          | in [m/sec]              |
| a               | : de waterdiepte                                                        | in [m]                  |
| γ <sub>w</sub>  | = P <sub>w</sub> $\vec{g}$ : volumegewicht van het water                | in [N/m <sup>3</sup> ]  |

§ 2-2 De beschikbare sedimenttransportmetingen

Door Nedeco zijn op diverse plaatsen langs de rivieren de Niger en de Benue tijdens de jaren 1955 tot en met 1959 sedimenttransportmetingen verricht. Het totale sedimenttransport van de rivier werd in vier categorieën onderverdeeld.

1<sup>e</sup> het "bed-load": dit gedeelte van het totale sedimenttransport vindt alleen plaats op de bodem van de rivier.

Het bed-load is gemeten met de Bed-load Transport Meter "Arnhem" (B.T.M.A.).

2<sup>e</sup> het "saltation-load": dit gedeelte van het totale sedimenttransport vindt plaats op een hoogte tussen 0,15 [m] en 0,41 [m] boven de rivierbodem. Het "saltation-load" is gemeten m.b.v. de "Delft Bottle on sleigh" (DF<sub>2</sub>).

3<sup>e</sup> het "suspended load": dit gedeelte van het totale sedimenttransport vindt plaats op een hoogte tussen 0,41 [m] boven de rivierbodem en de waterspiegel. Het "suspended-load" is gemeten m.b.v. de "Delft Bottle on wire" (DF<sub>1</sub>).

4<sup>e</sup> het "wash-load": dit gedeelte van het totale sedimenttransport is alleen via een indirecte methode te meten, het "wash-load" bezinkt zeer langzaam, omdat het uit zeer fijn materiaal bestaat. Met een gewone fles werd een monster uit de rivier genomen, in het laboratorium werd m.b.v. een "turbidimeter" het gehalte wash-load bepaald.

Onder het bodemtransport wordt in het Nedeco rapport (1959) verstaan het "bed-load" gesommeerd met het "saltation-load".

Onder het zwevendtransport wordt alleen het "suspended-load" verstaan; het "wash-load" wordt dus hierbij niet opgeteld.

Onder het totaaltransport wordt verstaan het bodemtransport gesommeerd met het zwevend transport.

In grafieken, blz. 469 en blz. 480 van het Nedeco rapport (1959), zijn voor bepaalde plaatsen langs de rivier het gemeten bodemtransport en

het gemeten zwevend transport uitgezet tegen de bijbehorende rivierafvoer. In grafieken blz. 472 van het Nedeco rapport (1959), is voor bepaalde plaatsen langs de rivier, de rivierafvoer uitgezet tegen de volgende hydraulische parameters: de voor het sedimenttransport representatieve rivierbreedte  $B$ , de over het dwarsprofiel gemiddelde stroomsnelheid  $v$ , het locale energieverhang  $i$ , de waterdiepte  $a$ , en de totale ruwheid  $K_r$ . De totale bedruwheid  $K_r$  is de ruwheid van het bed ten gevolge van de korrelruwheid  $d_{90}$  en ten gevolge van de vertragsingsverliezen die achter de beddingsvorm optreedt.

Uit tabellen en grafieken, blz. 469, blz. 480 en blz. 472 van het Nedeco rapport (1959), zijn de gegevens vermeld in tabel 2-1 verzameld. Zoals men in tabel 2-1 kan zien, zijn er slechts 19 prototype metingen waarmee de in § 2-1 vermelde sediment transport formule kunnen worden geijkt.

Tabel 2-1  $\Delta = 1,68$  voor IDAH, SHINTAKU ALS BARO

| Plaats   | nr.             | Qhet de-<br>biet<br>R=rijzend<br>d=dalend<br>in 10 <sup>3</sup><br>[m <sup>3</sup> /sec] | S <sub>b</sub> het<br>gemeten<br>bodem-<br>trans-<br>port in<br>10 <sup>2</sup><br>[m <sup>3</sup> /dag] | S <sub>z</sub> het<br>gemeten<br>zwevend-<br>trans-<br>port in<br>10 <sup>3</sup><br>[m <sup>3</sup> /dag] | S <sub>t</sub> het<br>gemeten<br>totaal-<br>trans-<br>port<br>in 10 <sup>2</sup><br>[m <sup>3</sup> /dag] | U <sub>ki</sub> -<br>nema-<br>ti-<br>sche<br>viscosi-<br>teit<br>in 10 <sup>-6</sup><br>[m <sup>2</sup> /sec] | d50<br>v.h.<br>bo-<br>dem<br>mate-<br>riaal<br>in 10 <sup>-3</sup><br>[m] | d90<br>v.h.<br>bo-<br>dem<br>mate-<br>riaal<br>in 10 <sup>-3</sup><br>[m] | VORM<br>van het<br>dwarspro-<br>fiel | B repe-<br>senla-<br>tie<br>ruw-<br>breedte<br>in [m] | V= ge-<br>middel-<br>de<br>stroom-<br>snel-<br>heid<br>in [m/sec] | K <sub>r</sub><br>blade<br>ruw-<br>heid<br>in 10 <sup>-1</sup><br>[m] | i= hel-<br>locale<br>energie<br>verhang<br>in 10 <sup>-5</sup> | a= water-<br>diepte<br>in<br>[m] |       |
|----------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------|
| IDAH     | 3 <sup>e</sup>  | 15,82                                                                                    | R                                                                                                        | 118,74                                                                                                     | 135,5                                                                                                     | 254,24                                                                                                        | 0,81                                                                      | 0,5                                                                       | 2,8                                  | driehoekig                                            | 2460                                                              | 1,204                                                                 | 0,97                                                           | 21,80                            | 6,76  |
| IDAH     | 4 <sup>e</sup>  | 11,28                                                                                    | R                                                                                                        | 103,13                                                                                                     | 134,5                                                                                                     | 237,63                                                                                                        | 0,81                                                                      | 0,5                                                                       | 2,8                                  | driehoekig                                            | 2450                                                              | 1,141                                                                 | 0,82                                                           | 16,98                            | 5,33  |
| IDAH     | 5 <sup>e</sup>  | 8,79                                                                                     | d                                                                                                        | 52,18                                                                                                      | 18,75                                                                                                     | 70,93                                                                                                         | 0,81                                                                      | 0,5                                                                       | 2,8                                  | driehoekig                                            | 2425                                                              | 1,073                                                                 | 0,81                                                           | 19,57                            | 4,29  |
| IDAH     | 6 <sup>e</sup>  | 5,93                                                                                     | R                                                                                                        | 41,25                                                                                                      | 42,5                                                                                                      | 83,75                                                                                                         | 0,81                                                                      | 0,5                                                                       | 2,8                                  | driehoekig                                            | 1571                                                              | 0,951                                                                 | 0,80                                                           | 20,00                            | 5,00  |
| IDAH     | 7 <sup>e</sup>  | 5,25                                                                                     | d                                                                                                        | 21,20                                                                                                      | 6,0                                                                                                       | 27,20                                                                                                         | 0,81                                                                      | 0,5                                                                       | 2,8                                  | driehoekig                                            | 1450                                                              | 0,910                                                                 | 0,80                                                           | 19,22                            | 5,10  |
| IDAH     | 8 <sup>e</sup>  | 3,81                                                                                     | R                                                                                                        | 16,50                                                                                                      | 15,0                                                                                                      | 31,50                                                                                                         | 0,81                                                                      | 0,5                                                                       | 2,8                                  | driehoekig                                            | 1265                                                              | 0,820                                                                 | 0,80                                                           | 17,31                            | 4,90  |
| IDAH     | 9 <sup>e</sup>  | 3,30                                                                                     | R                                                                                                        | 11,97                                                                                                      | 11,50                                                                                                     | 23,47                                                                                                         | 0,81                                                                      | 0,5                                                                       | 2,8                                  | driehoekig                                            | 1204                                                              | 0,776                                                                 | 0,80                                                           | 16,49                            | 4,92  |
| IDAH     | 11 <sup>e</sup> | 2,63                                                                                     | R                                                                                                        | 1,12                                                                                                       | 1,50                                                                                                      | 2,62                                                                                                          | 0,81                                                                      | 0,5                                                                       | 2,8                                  | driehoekig                                            | 1135                                                              | 0,702                                                                 | 0,80                                                           | 15,51                            | 4,47  |
| SHINTAKU | 1 <sup>e</sup>  | 5,78                                                                                     | R                                                                                                        | 19,00                                                                                                      | 45                                                                                                        | 64,00                                                                                                         | 0,81                                                                      | 0,5                                                                       | 3,0                                  | rechthoekig                                           | 1065                                                              | 0,918                                                                 | 2,04                                                           | 6,73                             | 5,96  |
| SHINTAKU | 2 <sup>e</sup>  | 5,59                                                                                     | R                                                                                                        | 21,04                                                                                                      | 23                                                                                                        | 44,04                                                                                                         | 0,81                                                                      | 0,5                                                                       | 3,0                                  | rechthoekig                                           | 1065                                                              | 0,898                                                                 | 2,04                                                           | 6,69                             | 5,86  |
| SHINTAKU | 3 <sup>e</sup>  | 2,52                                                                                     | R                                                                                                        | 2,83                                                                                                       | 17                                                                                                        | 19,83                                                                                                         | 0,81                                                                      | 0,5                                                                       | 3,0                                  | rechthoekig                                           | 1065                                                              | 0,633                                                                 | 1,67                                                           | 5,80                             | 3,57  |
| SHINTAKU | 4 <sup>e</sup>  | 25,14                                                                                    | R                                                                                                        | 101,53                                                                                                     | 204                                                                                                       | 305,53                                                                                                        | 0,81                                                                      | 0,5                                                                       | 3,0                                  | rechthoekig                                           | 1143                                                              | 1,714                                                                 | 2,98                                                           | 10,45                            | 12,22 |
| SHINTAKU | 5 <sup>e</sup>  | 21,07                                                                                    | R                                                                                                        | 39,99                                                                                                      | 175                                                                                                       | 214,99                                                                                                        | 0,81                                                                      | 0,5                                                                       | 3,0                                  | rechthoekig                                           | 1104                                                              | 1,600                                                                 | 2,48                                                           | 9,71                             | 11,49 |
| SHINTAKU | 6 <sup>e</sup>  | 16,55                                                                                    | R                                                                                                        | 81,54                                                                                                      | 134                                                                                                       | 215,54                                                                                                        | 0,81                                                                      | 0,5                                                                       | 3,0                                  | rechthoekig                                           | 1082                                                              | 1,471                                                                 | 2,45                                                           | 9,06                             | 10,61 |
| BARO     | 1 <sup>e</sup>  | 4,73                                                                                     | d                                                                                                        | 12,35                                                                                                      | 12,5                                                                                                      | 24,85                                                                                                         | 0,81                                                                      | 0,36                                                                      | 1,2                                  | rechthoekig                                           | 694                                                               | 1,00                                                                  | 3,35                                                           | 11,27                            | 5,10  |
| BARO     | 2 <sup>e</sup>  | 2,87                                                                                     | d                                                                                                        | 8,16                                                                                                       | 4,5                                                                                                       | 12,66                                                                                                         | 0,81                                                                      | 0,36                                                                      | 1,2                                  | rechthoekig                                           | 690                                                               | 0,743                                                                 | 2,61                                                           | 9,88                             | 3,57  |
| BARO     | 3 <sup>e</sup>  | 2,40                                                                                     | d                                                                                                        | 6,45                                                                                                       | 3,5                                                                                                       | 9,95                                                                                                          | 0,81                                                                      | 0,36                                                                      | 1,2                                  | rechthoekig                                           | 673                                                               | 0,633                                                                 | 2,45                                                           | 8,57                             | 2,96  |
| BARO     | 6 <sup>e</sup>  | 7,29                                                                                     | R                                                                                                        | 25,79                                                                                                      | 87                                                                                                        | 112,79                                                                                                        | 0,81                                                                      | 0,36                                                                      | 1,2                                  | rechthoekig                                           | 706                                                               | 1,237                                                                 | 3,84                                                           | 11,59                            | 6,98  |
| BARO     | 7 <sup>e</sup>  | 6,62                                                                                     | R                                                                                                        | 37,55                                                                                                      | 47,5                                                                                                      | 85,05                                                                                                         | 0,81                                                                      | 0,36                                                                      | 1,2                                  | rechthoekig                                           | 702                                                               | 1,17                                                                  | 3,43                                                           | 11,43                            | 6,63  |

§ 2-3 De berekeningen uitgevoerd met de formules vermeld in  
§ 2-1

§ 2-3.1 Berekening van het bodemtransport met de aangepaste formule  
van Meyer-Peter-Müller.

Het bodemtransport is berekend met behulp van formule 2-1.1.13

Voor de berekening zie tabel 2-2

$$S_b = B * b_{50} * \sqrt{\Delta \bar{g} d_{50}^3} * \left[ \frac{v^{3/2} (\kappa_{si})^{1/4}}{g_b \Delta d_{50}} - 0,047 \right]^{3/2} \quad 2-1.1.13$$

Voor de berekening zijn de gegevens uit tabel 2-1 gebruikt.

De  $d_{50}$ 's en de  $d_{90}$ 's hebben betrekking op de samenstelling van het bodemtransportmateriaal.

De berekende bodemtransporten zijn op dubbel logaritmisch papier uitgezet, tegen de gemeten bodemtransporten in figuur 2-1

§ 2-3.2 Berekening van het totaaltransport met behulp van de formule  
van Meyer-Peter-Müller.

Het totaaltransport is berekend met formule 2-1.2.1

Voor de berekening (zie tabel 2-3) zijn de gegevens uit

$$S_t = 13,3 * B * \sqrt{\Delta \bar{g} d_{50}^3} * \left[ \frac{v^{3/2} \kappa_{si}^{1/4}}{g_b \Delta d_{50}} - 0,047 \right]^{3/2} \quad 2-1.2.1$$

tabel 2-1 gebruikt. De  $d_{50}$ 's en de  $d_{90}$ 's hebben betrekking op de samenstelling van het bodemtransportmateriaal.

De berekende totaaltransporten zijn op dubbel logaritmisch papier uitgezet tegen de gemeten totaaltransporten in figuur 2-2.



### § 2-3.3 Berekening van het totaaltransport met behulp van de formule van Rottner (2-1.3.2)

Het totaaltransport is berekend met formule 2-1.3.2

Voor de berekening (zie tabel 2-4) zijn de gegevens uit

$$S_t = \frac{1}{1-\varepsilon} * B * \sqrt{\Delta g a^3} * \left\{ \left[ 0,667 \left( \frac{d_{50}}{a} \right)^{2/3} + 0,14 \right] \frac{V}{\sqrt{\Delta g a}} - 0,118 \left( \frac{d_{50}}{a} \right)^{2/3} \right\}^3$$

2-1.3.2

tabel 2-1 gebruikt. De  $d_{50}$ 's hebben betrekking op de samenstelling van het bodemtransportmateriaal.

De berekende totaaltransporten zijn op dubbel logaritmisch papier uitgezet tegen de gemeten totaaltransporten in figuur 2-3.

### § 2-3.4 Berekening van het totaaltransport met behulp van de formule van Acker en White (2-1.4.1)

Het totaaltransport is berekend met de formules 2-1.4.1 tot en met 2-1.4.15. Voor de berekening (zie tabel 2-5)

$$S_t = X * \rho_w * Q / \rho_s * (1 - \varepsilon)$$

2-1.4.15

zijn de gegevens uit tabel 2-1 gebruikt. Voor  $d$  is de  $d_{50}$  van het bodemtransportmateriaal.

De berekende totaaltransporten zijn op dubbel logaritmisch papier uitgezet tegen de gemeten totaaltransporten in figuur 2-4.

### § 2-3.5 Berekening van het totaaltransport met behulp van de formule van Englund en Hansen.

Het totaaltransport is berekend met de formule 2-1.5.1

Voor de berekening (zie tabel 2-6) zijn de gegevens



$$S_t = \frac{0.05}{1-\varepsilon} * B * \sqrt{\Delta \cdot g \cdot d_{50}^3} * \left( \frac{V_*}{\sqrt{g \Delta d_{50}}} \right)^3 * \left( \frac{V}{\sqrt{g \Delta d_{50}}} \right)^2$$

2-1.5.1

uit tabel 2-1 gebruikt.

De  $d_{50}$ 's hebben betrekking op de samenstelling van het bodemtransport-materiaal.

De berekende totaaltransporten zijn op dubbel logaritmisch papier uitgezet tegen de gemeten totaaltransporten in figuur 2-5.

### §2-3.6 Berekening van het totaaltransport met behulp van de formule van Einstein-Brown.

Het totaaltransport is berekend met de formule 2-1.6.1

Voor de berekening (zie tabel 2-7) zijn de gegevens

$$S_t = \frac{40}{1-\varepsilon} * B * f * \sqrt{g \Delta d_{50}^3} * \left( \frac{a_i}{\Delta d_{50}} \right)^3$$

2-1.6.1

uit tabel 2-1 gebruikt.

De  $d_{50}$ 's hebben betrekking op de samenstelling van het bodemtransport-materiaal.

De berekende totaaltransporten zijn op dubbel logaritmisch papier uitgezet tegen de gemeten totaaltransporten in figuur 2-6.

### §2-3.7 Berekening van het totaaltransport met behulp van de formule Inglis-Lacey.

Het totaaltransport is berekend met de formule 2-1.7.2

Voor de berekening (zie tabel 2-8) zijn de gegevens

$$S_t = \frac{0.562}{1-\varepsilon} * \frac{B}{\rho_s \cdot g} * \frac{(V \cdot g)^{1/3}}{w} * \frac{V^2}{g^2 a} * \frac{f V^3}{g^2}$$

2-1.7.2

uit tabel 2-1 gebruikt.

Er is gesteld dat  $P_s = 2680 \text{ [kg/m}^3\text{]}$  en dat  $w = \sqrt{\Delta \rho d_{50}}$ .

De  $d_{50}$ 's hebben betrekking op de samenstelling van het bodemtransport-materiaal.

De berekende totaaltransporten zijn op dubbel logaritmisch papier uitgezet tegen de gemeten totaaltransporten in figuur 2-7.

$$S = b,5 * B * \sqrt{\Delta g d_{50}^3} * \left[ \frac{v^{3/2} (\kappa_i)^{1/4}}{96 \Delta d_{50}} - 0,047 \right]^{3/2} \quad \Delta = 1,68$$

Tabel 2-2

| Plaats   | nr. | V in<br>[m/sec] | K <sub>s</sub> in<br>10 <sup>-2</sup><br>[m] | i in<br>10 <sup>-5</sup> | d <sub>50</sub><br>in<br>10 <sup>-3</sup><br>[m] | B in<br>[m] | S berekend<br>in 10 <sup>2</sup><br>[m <sup>3</sup> /dag] | S gemeten<br>bodem in<br>10 <sup>2</sup><br>[m <sup>3</sup> /dag] |
|----------|-----|-----------------|----------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| IDAH     | 3e  | 1,204           | 2,8                                          | 21,80                    | 0,5                                              | 2460        | 165,02                                                    | 118,74                                                            |
| IDAH     | 4e  | 1,141           | 2,8                                          | 16,98                    | 0,5                                              | 2450        | 129,60                                                    | 103,13                                                            |
| IDAH     | 5e  | 1,073           | 2,8                                          | 19,57                    | 0,5                                              | 2425        | 115,78                                                    | 52,18                                                             |
| IDAH     | 6e  | 0,951           | 2,8                                          | 20,0                     | 0,5                                              | 1571        | 63,24                                                     | 41,25                                                             |
| IDAH     | 7e  | 0,91            | 2,8                                          | 19,22                    | 0,5                                              | 1450        | 44,67                                                     | 21,20                                                             |
| IDAH     | 8e  | 0,82            | 2,8                                          | 17,31                    | 0,5                                              | 1265        | 28,0                                                      | 16,50                                                             |
| IDAH     | 9e  | 0,776           | 2,8                                          | 16,49                    | 0,5                                              | 1204        | 22,29                                                     | 11,97                                                             |
| IDAH     | 11e | 0,702           | 2,8                                          | 15,51                    | 0,5                                              | 1135        | 15,21                                                     | 1,12                                                              |
| SHINTAKU | 1e  | 0,918           | 3,0                                          | 6,73                     | 0,5                                              | 1065        | 21,43                                                     | 19,00                                                             |
| SHINTAKU | 2e  | 0,898           | 3,0                                          | 6,69                     | 0,5                                              | 1065        | 20,13                                                     | 21,04                                                             |
| SHINTAKU | 3e  | 0,633           | 3,0                                          | 5,80                     | 0,5                                              | 1065        | 6,22                                                      | 2,83                                                              |
| SHINTAKU | 4e  | 1,714           | 3,0                                          | 10,45                    | 0,5                                              | 1143        | 139,28                                                    | 101,53                                                            |
| SHINTAKU | 5e  | 1,60            | 3,0                                          | 9,71                     | 0,5                                              | 1104        | 110,42                                                    | 39,99                                                             |
| SHINTAKU | 6e  | 1,471           | 3,0                                          | 9,06                     | 0,5                                              | 1082        | 85,53                                                     | 81,54                                                             |
| BARO     | 1e  | 1,0             | 1,2                                          | 11,27                    | 0,36                                             | 694         | 16,30                                                     | 12,35                                                             |
| BARO     | 2e  | 0,743           | 1,2                                          | 9,88                     | 0,36                                             | 690         | 6,73                                                      | 8,16                                                              |
| BARO     | 3e  | 0,633           | 1,2                                          | 8,57                     | 0,36                                             | 673         | 3,74                                                      | 6,45                                                              |
| BARO     | 6e  | 1,237           | 1,2                                          | 11,59                    | 0,36                                             | 706         | 28,93                                                     | 25,79                                                             |
| BARO     | 7e  | 1,17            | 1,2                                          | 11,43                    | 0,36                                             | 702         | 24,86                                                     | 37,55                                                             |

$$S = 13,3 * B * \sqrt{\Delta g d_{50}^3} * \left[ \frac{v^{\frac{3}{2}} (K_{Si})^{\frac{1}{4}}}{96 \Delta d_{50}} - 0,047 \right]^{\frac{3}{2}}$$

$$\Delta = 1,68$$

Tabel 2-3

| Plaats   | nr. | V in<br>[m/sec] | K <sub>s</sub> in<br>10 <sup>-3</sup><br>[m] | i in<br>10 <sup>-5</sup> | d <sub>50</sub> in<br>10 <sup>-3</sup><br>[m] | B in<br>[m] | Sberekend in<br>10 <sup>2</sup><br>[m <sup>3</sup> /dag] | Sgemeten<br>totaal<br>in 102<br>[m <sup>3</sup> /dag] |
|----------|-----|-----------------|----------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| IDAH     | 3e  | 1,204           | 2,8                                          | 21,80                    | 0,5                                           | 2460        | 337,66                                                   | 254,24                                                |
| IDAH     | 4e  | 1,141           | 2,8                                          | 16,98                    | 0,5                                           | 2450        | 265,18                                                   | 237,63                                                |
| IDAH     | 5e  | 1,073           | 2,8                                          | 19,57                    | 0,5                                           | 2425        | 236,9                                                    | 70,93                                                 |
| IDAH     | 6e  | 0,951           | 2,8                                          | 20,0                     | 0,5                                           | 1571        | 129,4                                                    | 83,75                                                 |
| IDAH     | 7e  | 0,910           | 2,8                                          | 19,22                    | 0,5                                           | 1450        | 91,4                                                     | 27,20                                                 |
| IDAH     | 8e  | 0,82            | 2,8                                          | 17,31                    | 0,5                                           | 1265        | 57,29                                                    | 31,50                                                 |
| IDAH     | 9e  | 0,776           | 2,8                                          | 16,49                    | 0,5                                           | 1204        | 45,61                                                    | 23,47                                                 |
| IDAH     | 11e | 0,702           | 2,8                                          | 15,51                    | 0,5                                           | 1135        | 31,12                                                    | 2,62                                                  |
| SHINTAKU | 1e  | 0,918           | 3,0                                          | 6,73                     | 0,5                                           | 1065        | 43,85                                                    | 64,00                                                 |
| SHINTAKU | 2e  | 0,898           | 3,0                                          | 6,69                     | 0,5                                           | 1065        | 41,19                                                    | 44,04                                                 |
| SHINTAKU | 3e  | 0,633           | 3,0                                          | 5,80                     | 0,5                                           | 1065        | 12,73                                                    | 19,83                                                 |
| SHINTAKU | 4e  | 1,714           | 3,0                                          | 10,45                    | 0,5                                           | 1143        | 284,99                                                   | 305,53                                                |
| SHINTAKU | 5e  | 1,600           | 3,0                                          | 9,71                     | 0,5                                           | 1104        | 225,94                                                   | 214,99                                                |
| SHINTAKU | 6e  | 1,471           | 3,0                                          | 9,06                     | 0,5                                           | 1082        | 175,01                                                   | 215,54                                                |
| BARO     | 1e  | 1,000           | 1,2                                          | 11,27                    | 0,36                                          | 694         | 33,35                                                    | 24,85                                                 |
| BARO     | 2e  | 0,743           | 1,2                                          | 9,88                     | 0,36                                          | 690         | 13,77                                                    | 12,66                                                 |
| BARO     | 3e  | 0,633           | 1,2                                          | 8,57                     | 0,36                                          | 673         | 7,65                                                     | 9,95                                                  |
| BARO     | 6e  | 1,237           | 1,2                                          | 11,59                    | 0,36                                          | 706         | 59,20                                                    | 112,79                                                |
| BARO     | 7e  | 1,17            | 1,2                                          | 11,43                    | 0,36                                          | 702         | 50,87                                                    | 85,05                                                 |

$\xi = 0,6$   
 $\Delta = 1,68$   
 $\vec{g} = \text{zwaartekracht - versnelling}$   
$$S = \frac{1}{1-\xi} * B * \sqrt{\Delta g a^3} * \left\{ [0,6b\gamma \left(\frac{d_{50}}{a}\right)^{2/3} + 0,14] * \sqrt{\Delta g a} - 0,178 \left(\frac{d_{50}}{a}\right)^{2/3} \right\}^3$$

Tabel 2-4

| Plaats | nr. | $d_{50}$ in $10^{-3}$ [m] | $a$ in [m] | $V$ in [m/sec] | Breedte in [m] | S berekend in $10^2$ [m <sup>3</sup> /dag] | S gemeten totaal in $10^2$ [m <sup>3</sup> /dag] |
|--------|-----|---------------------------|------------|----------------|----------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| IDAH   | 3e  | 0,50                      | 6,76       | 1,204          | 2460           | 808,28                                     | 254,24                                           |
| IDAH   | 4e  | 0,50                      | 5,33       | 1,141          | 2450           | 669,74                                     | 237,63                                           |
| IDAH   | 5e  | 0,50                      | 4,29       | 1,073          | 2425           | 536,75                                     | 70,93                                            |
| IDAH   | 6e  | 0,50                      | 5,00       | 0,951          | 1571           | 233,48                                     | 83,75                                            |
| IDAH   | 7e  | 0,50                      | 5,10       | 0,91           | 1450           | 185,37                                     | 27,20                                            |
| IDAH   | 8e  | 0,50                      | 4,90       | 0,82           | 1265           | 112,96                                     | 31,50                                            |
| IDAH   | 9e  | 0,50                      | 4,92       | 0,776          | 1204           | 88,81                                      | 23,47                                            |
| IDAH   | 11e | 0,50                      | 4,47       | 0,702          | 1135           | 58,49                                      | 2,62                                             |
| SHINT  | 1e  | 0,50                      | 5,96       | 0,918          | 1065           | 141,22                                     | 64,00                                            |
| SHINT  | 2e  | 0,50                      | 5,86       | 0,898          | 1065           | 130,96                                     | 44,04                                            |
| SHINT  | 3e  | 0,50                      | 3,57       | 0,633          | 1065           | 37,19                                      | 19,83                                            |
| SHINT  | 4e  | 0,50                      | 12,22      | 1,714          | 1143           | 1186,94                                    | 305,53                                           |
| SHINT  | 5e  | 0,50                      | 11,49      | 1,60           | 1104           | 920,09                                     | 214,99                                           |
| SHINT  | 6e  | 0,50                      | 10,61      | 1,471          | 1082           | 688,12                                     | 215,54                                           |
| BARO   | 1e  | 0,36                      | 5,10       | 1,00           | 694            | 130,04                                     | 24,85                                            |
| BARO   | 2e  | 0,36                      | 3,57       | 0,743          | 690            | 47,20                                      | 12,66                                            |
| BARO   | 3e  | 0,36                      | 2,97       | 0,633          | 673            | 26,14                                      | 9,95                                             |
| BARO   | 6e  | 0,36                      | 6,98       | 1,237          | 706            | 265,98                                     | 112,79                                           |
| BARO   | 7e  | 0,36                      | 6,63       | 1,17           | 702            | 220,80                                     | 85,05                                            |



Tabel 2-5  $D_{gr}$ ,  $n$ ,  $m$ ,  $A.C.$ ,  $F_{qr}$ ,  $G_{qr}$  en  $X$  zijn dimensioneloos

$$\Delta = 1,68$$

$$\nu = 0,81 \times 10^{-6} \quad [m^2/sec]$$

| Plaats | nr.             | Q in<br>10 <sup>3</sup><br>[m <sup>3</sup> /sec] | Dgr [l] | N    | M    | A    | C     | $V_* = \sqrt{gac}$<br>[m/sec] | V in<br>[m/sec] | Fgr    | Ggr    | X <sub>*</sub> 10 <sup>-3</sup> | S berekend<br>in 10 <sup>2</sup><br>[m <sup>3</sup> /dag] | S gemeten<br>totaal in<br>10 <sup>2</sup><br>[m <sup>2</sup> /dag] |        |
|--------|-----------------|--------------------------------------------------|---------|------|------|------|-------|-------------------------------|-----------------|--------|--------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------|
| IDAH   | 3 <sup>e</sup>  | 15,82                                            | 14,64   | 0,35 | 2,0  | 0,20 | 0,028 | 0,120                         | 1,204           | 0,6632 | 0,1502 | 0,0667                          | 566,79                                                    | 2,2                                                                | 254,24 |
| IDAH   | 4 <sup>e</sup>  | 11,28                                            | 14,64   | 0,35 | 2,0  | 0,20 | 0,028 | 0,094                         | 1,141           | 0,5959 | 0,1097 | 0,0661                          | 370,32                                                    | 1,6                                                                | 237,63 |
| IDAH   | 5 <sup>e</sup>  | 8,79                                             | 14,64   | 0,35 | 2,0  | 0,20 | 0,028 | 0,091                         | 1,073           | 0,5721 | 0,0969 | 0,0718                          | 339,03                                                    | 4,8                                                                | 70,93  |
| IDAH   | 6 <sup>e</sup>  | 5,93                                             | 14,64   | 0,35 | 2,0  | 0,20 | 0,028 | 0,099                         | 0,951           | 0,5406 | 0,0812 | 0,0480                          | 135,52                                                    | 1,6                                                                | 83,75  |
| IDAH   | 7 <sup>e</sup>  | 5,25                                             | 14,64   | 0,35 | 2,0  | 0,20 | 0,028 | 0,098                         | 0,910           | 0,5229 | 0,073  | 0,0418                          | 118,02                                                    | 4,3                                                                | 27,20  |
| IDAH   | 8 <sup>e</sup>  | 3,81                                             | 14,64   | 0,35 | 2,0  | 0,20 | 0,028 | 0,091                         | 0,820           | 0,4776 | 0,0539 | 0,0318                          | 651,7                                                     | 2,1                                                                | 31,50  |
| IDAH   | 9 <sup>e</sup>  | 3,30                                             | 14,64   | 0,35 | 2,0  | 0,20 | 0,028 | 0,089                         | 0,776           | 0,4571 | 0,0463 | 0,026                           | 460,9                                                     | 2,0                                                                | 23,47  |
| IDAH   | 11 <sup>e</sup> | 2,63                                             | 14,64   | 0,35 | 2,0  | 0,20 | 0,028 | 0,082                         | 0,702           | 0,4189 | 0,0335 | 0,0213                          | 301,3                                                     | 1,1                                                                | 2,62   |
| SHINT  | 1 <sup>e</sup>  | 5,78                                             | 14,64   | 0,35 | 2,0  | 0,20 | 0,028 | 0,063                         | 0,918           | 0,4395 | 0,0402 | 0,0231                          | 71,62                                                     | 1,1                                                                | 64,00  |
| SHINT  | 2 <sup>e</sup>  | 5,59                                             | 14,64   | 0,35 | 2,0  | 0,20 | 0,028 | 0,062                         | 0,898           | 0,4382 | 0,0397 | 0,0231                          | 69,54                                                     | 1,6                                                                | 44,04  |
| SHINT  | 3 <sup>e</sup>  | 2,52                                             | 14,64   | 0,35 | 2,0  | 0,20 | 0,028 | 0,045                         | 0,633           | 0,3211 | 0,0103 | 0,0097                          | 13,17                                                     | 0,6                                                                | 19,83  |
| SHINT  | 4 <sup>e</sup>  | 25,14                                            | 14,64   | 0,35 | 2,0  | 0,20 | 0,028 | 0,112                         | 1,714           | 0,7882 | 0,2422 | 0,0690                          | 932,15                                                    | 3,1                                                                | 305,53 |
| SHINT  | 5 <sup>e</sup>  | 21,07                                            | 14,64   | 0,35 | 2,0  | 0,20 | 0,028 | 0,105                         | 1,600           | 0,7385 | 0,2030 | 0,0614                          | 695,35                                                    | 3,2                                                                | 214,99 |
| SHINT  | 6 <sup>e</sup>  | 16,55                                            | 14,64   | 0,35 | 2,0  | 0,20 | 0,028 | 0,097                         | 1,471           | 0,6841 | 0,1641 | 0,0537                          | 447,24                                                    | 2,2                                                                | 215,54 |
| BARO   | 1 <sup>e</sup>  | 4,73                                             | 10,54   | 0,43 | 2,26 | 0,21 | 0,022 | 0,075                         | 1,000           | 0,6239 | 0,1020 | 0,0588                          | 149,38                                                    | 6,0                                                                | 24,85  |
| BARO   | 2 <sup>e</sup>  | 2,87                                             | 10,54   | 0,43 | 2,26 | 0,21 | 0,022 | 0,059                         | 0,743           | 0,4910 | 0,0425 | 0,0341                          | 52,59                                                     | 4,2                                                                | 12,66  |
| BARO   | 3 <sup>e</sup>  | 2,40                                             | 10,54   | 0,43 | 2,26 | 0,21 | 0,022 | 0,050                         | 0,633           | 0,4141 | 0,0206 | 0,020                           | 25,79                                                     | 2,6                                                                | 9,95   |
| BARO   | 6 <sup>e</sup>  | 7,29                                             | 10,54   | 0,43 | 2,26 | 0,21 | 0,022 | 0,089                         | 1,237           | 0,7468 | 0,1835 | 0,0786                          | 308,03                                                    | 2,7                                                                | 112,79 |
| BARO   | 7 <sup>e</sup>  | 6,62                                             | 10,54   | 0,43 | 2,26 | 0,21 | 0,022 | 0,086                         | 1,170           | 0,7151 | 0,1599 | 0,0715                          | 254,29                                                    | 3,0                                                                | 85,05  |

$$S = 0,084 * B * \sqrt{g \Delta d_{50}^3} * \left( \frac{V_*}{\sqrt{g \Delta d_{50}}} \right)^3 * \left( \frac{V}{\sqrt{g \Delta d_{50}}} \right)^2$$

$$\Delta = 1,68$$

Tabel 2-6

$$V_* = \sqrt{g a i}$$

| Plaats   | nr.             | $d_{50}$ in $10^{-3}$ [m] | $a$ in [m] | $i$ in $10^{-5}$ | $V_*$ in [m/sec] | $V$ in [m/sec] | $B$ in [m] | $S$ berekend in $10^2$ [m <sup>3</sup> /dag] | $S$ gemeten totaal in $10^2$ [m <sup>3</sup> /dag] |
|----------|-----------------|---------------------------|------------|------------------|------------------|----------------|------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| IDAH     | 3 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 6,76       | 21,80            | 0,120            | 1,204          | 2460       | 3309,5                                       | 254,24                                             |
| IDAH     | 4 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 5,33       | 16,98            | 0,094            | 1,141          | 2450       | 1426,1                                       | 237,63                                             |
| IDAH     | 5 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 4,29       | 19,57            | 0,091            | 1,073          | 2425       | 1115,0                                       | 70,93                                              |
| IDAH     | 6 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 5,00       | 20,00            | 0,099            | 0,951          | 1571       | 737,8                                        | 83,75                                              |
| IDAH     | 7 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 5,10       | 19,22            | 0,098            | 0,910          | 1450       | 605,1                                        | 27,20                                              |
| IDAH     | 8 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 4,90       | 17,31            | 0,091            | 0,82           | 1265       | 345,0                                        | 31,50                                              |
| IDAH     | 9 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 4,92       | 16,49            | 0,089            | 0,776          | 1204       | 275,1                                        | 23,47                                              |
| IDAH     | 11 <sup>e</sup> | 0,5                       | 4,47       | 15,51            | 0,083            | 0,702          | 1135       | 167,6                                        | 2,62                                               |
| SHINTAKU | 1 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 5,96       | 6,73             | 0,063            | 0,918          | 1065       | 118,4                                        | 64,00                                              |
| SHINTAKU | 2 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 5,86       | 6,69             | 0,062            | 0,898          | 1065       | 109,5                                        | 44,04                                              |
| SHINTAKU | 3 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 3,57       | 5,80             | 0,045            | 0,633          | 1065       | 20,87                                        | 19,83                                              |
| SHINTAKU | 4 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 12,22      | 10,45            | 0,112            | 1,714          | 1143       | 2516,4                                       | 305,53                                             |
| SHINTAKU | 5 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 11,49      | 9,71             | 0,105            | 1,600          | 1104       | 1729,5                                       | 214,99                                             |
| SHINTAKU | 6 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 10,61      | 9,06             | 0,097            | 1,471          | 1082       | 1145,8                                       | 215,54                                             |
| BARO     | 1 <sup>e</sup>  | 0,36                      | 5,10       | 11,27            | 0,075            | 1,00           | 694        | 218,1                                        | 24,85                                              |
| BARO     | 2 <sup>e</sup>  | 0,36                      | 3,57       | 9,88             | 0,059            | 0,743          | 690        | 57,54                                        | 12,66                                              |
| BARO     | 3 <sup>e</sup>  | 0,36                      | 2,96       | 8,57             | 0,050            | 0,633          | 673        | 24,8                                         | 9,95                                               |
| BARO     | 6 <sup>e</sup>  | 0,36                      | 6,98       | 11,59            | 0,089            | 1,237          | 706        | 566,8                                        | 112,79                                             |
| BARO     | 7 <sup>e</sup>  | 0,36                      | 6,63       | 11,43            | 0,086            | 1,17           | 702        | 457,1                                        | 85,05                                              |



$$\Delta = 1,68$$

$$v = 0,81 \times 10^{-6} \text{ [m}^2/\text{sec]}$$

$$\varepsilon = 0,4$$

$$S = \frac{40}{1-\varepsilon} * B * f * \sqrt{\frac{g \Delta d_{50}^3}{36 v^{3-1}}} * \left( \frac{a_i}{\Delta d_{50}} \right)^3$$

$$f = \left( \sqrt{\frac{2}{3}} \right) + \frac{36 v^2}{\Delta g d_{50}^3} - \sqrt{\frac{36 v^2}{\Delta g d_{50}^3}}$$

Tabel 2-7

| Plaats   | nr.             | $d_{50}$ in $10^{-3}$ [m] | $f$<br>dimensie-<br>loos | $Q$<br>in [m] | $i$<br>in $10^{-5}$ | B<br>in [m] | S berekend<br>in $10^2$<br>[m <sup>3</sup> /dag] | S gemeten<br>totaal in<br>$10^2$<br>[m <sup>3</sup> /dag] |
|----------|-----------------|---------------------------|--------------------------|---------------|---------------------|-------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| IDAH     | 3 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 0,7162                   | 6,76          | 21,80               | 2460        | 24872,75                                         | 254,24                                                    |
| IDAH     | 4 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 0,7162                   | 5,33          | 16,98               | 2450        | 5737,73                                          | 237,63                                                    |
| IDAH     | 5 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 0,7162                   | 4,29          | 19,57               | 2425        | 123,27                                           | 70,93                                                     |
| IDAH     | 6 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 0,7162                   | 5,00          | 20,00               | 1571        | 4963,13                                          | 83,75                                                     |
| IDAH     | 7 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 0,7162                   | 5,10          | 19,22               | 1450        | 4314,37                                          | 27,20                                                     |
| IDAH     | 8 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 0,7162                   | 4,90          | 17,31               | 1265        | 2438,65                                          | 31,50                                                     |
| IDAH     | 9 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 0,7162                   | 4,92          | 16,49               | 1204        | 2031,25                                          | 23,47                                                     |
| IDAH     | 11 <sup>e</sup> | 0,5                       | 0,7162                   | 4,47          | 15,51               | 1135        | 1194,90                                          | 2,62                                                      |
| SHINTAKU | 1 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 0,7162                   | 5,96          | 6,73                | 1065        | 217,13                                           | 64,00                                                     |
| SHINTAKU | 2 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 0,7162                   | 5,86          | 6,69                | 1065        | 202,72                                           | 44,04                                                     |
| SHINTAKU | 3 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 0,7162                   | 3,57          | 5,80                | 1065        | 29,87                                            | 19,83                                                     |
| SHINTAKU | 4 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 0,7162                   | 12,22         | 10,45               | 1143        | 7519,48                                          | 305,53                                                    |
| SHINTAKU | 5 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 0,7162                   | 11,49         | 9,71                | 1104        | 4843,57                                          | 214,99                                                    |
| SHINTAKU | 6 <sup>e</sup>  | 0,5                       | 0,7162                   | 10,61         | 9,06                | 1082        | 3036,25                                          | 215,54                                                    |
| BARO     | 1 <sup>e</sup>  | 0,36                      | 0,6599                   | 5,10          | 11,27               | 694         | 627,85                                           | 24,85                                                     |
| BARO     | 2 <sup>e</sup>  | 0,36                      | 0,6599                   | 3,57          | 9,88                | 690         | 144,25                                           | 12,66                                                     |
| BARO     | 3 <sup>e</sup>  | 0,36                      | 0,6599                   | 2,96          | 8,57                | 673         | 52,35                                            | 9,95                                                      |
| BARO     | 6 <sup>e</sup>  | 0,36                      | 0,6599                   | 6,98          | 11,59               | 706         | 1780,88                                          | 112,79                                                    |
| BARO     | 7 <sup>e</sup>  | 0,36                      | 0,6599                   | 6,63          | 11,43               | 702         | 1455,57                                          | 85,05                                                     |

$$S_n \text{ silu} = \frac{\rho}{\rho_s g (1-\varepsilon)} * 0,5 b_2 * \left(\frac{v g}{w}\right)^{1/3} * \frac{v^2}{g d} * \frac{f v^3}{g} \quad [\text{m}^3/\text{sec}]$$

$$f = g \rho w = g 810 \quad [\text{N/m}^3]$$

$$v = 0,81 * 10^{-6} \quad [\text{m}^2/\text{sec}]$$

$$w \sim \sqrt{g \Delta d_{50}}$$

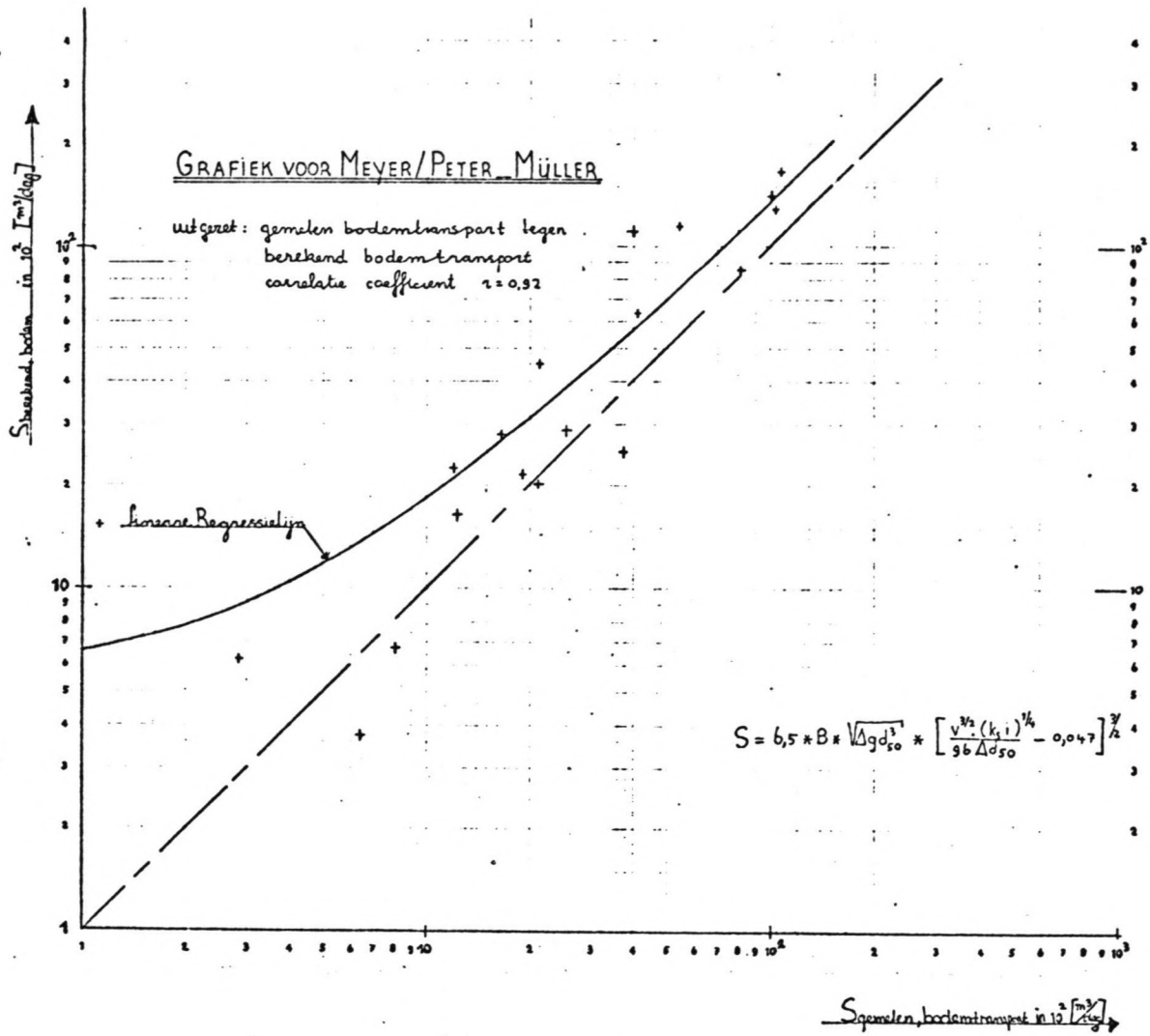
$$\frac{g}{\Delta} = g,81 \quad [\text{m/sec}^2]$$

$$\Delta = 1,68$$

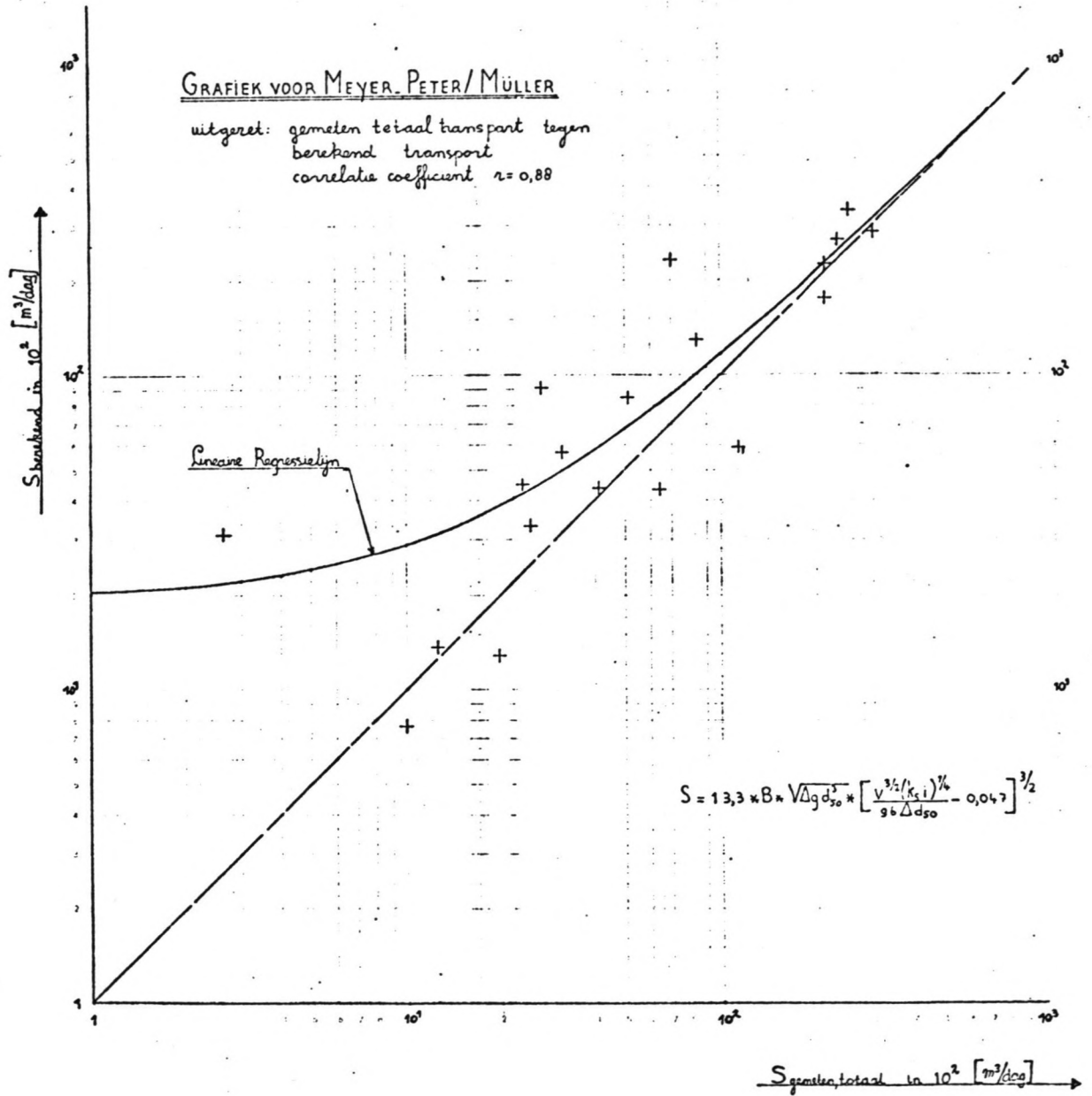
$$1 - \varepsilon = 0,6 \quad \rho_s = 2680 \quad [\text{kg/m}^3]$$

Tabel 2-8

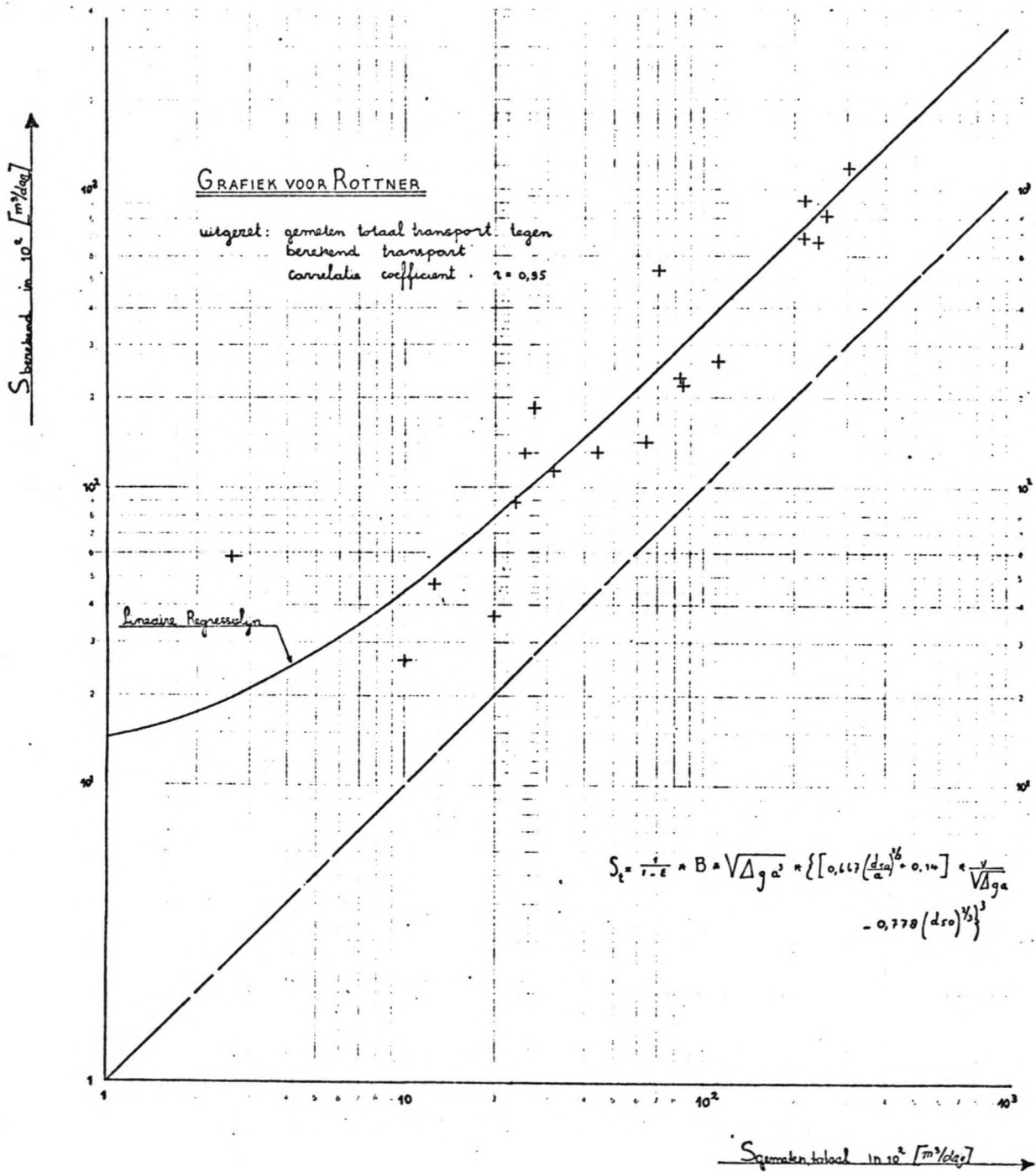
| Plaats              | d <sub>50</sub> in [mm] | W in [m/sec] | $\left(\frac{v g}{w}\right)^{1/3}$ | V in [m/sec] | d in [m] | B in [m] | Sberekend to-<br>taal in 10 <sup>2</sup><br>[m <sup>2</sup> /dag] | Sgemeten to-<br>taal in 10 <sup>2</sup><br>[m <sup>2</sup> /dag] |
|---------------------|-------------------------|--------------|------------------------------------|--------------|----------|----------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| IDA <sup>3e</sup>   | 0,5                     | 0,09078      | 0,2198                             | 1,204        | 6,76     | 2460     | 635                                                               | 254,24                                                           |
| IDA <sup>4e</sup>   | 0,5                     | 0,09078      | 0,2198                             | 1,141        | 5,33     | 2450     | 888,93                                                            | 237,63                                                           |
| IDA <sup>5e</sup>   | 0,5                     | 0,09078      | 0,2198                             | 1,073        | 4,29     | 2425     | 554,51                                                            | 70,93                                                            |
| IDA <sup>6e</sup>   | 0,5                     | 0,09078      | 0,2198                             | 0,951        | 5,00     | 1571     | 168,56                                                            | 83,75                                                            |
| IDA <sup>7e</sup>   | 0,5                     | 0,09078      | 0,2198                             | 0,91         | 5,10     | 1450     | 122,37                                                            | 27,20                                                            |
| IDA <sup>8e</sup>   | 0,5                     | 0,09078      | 0,2198                             | 0,82         | 4,90     | 1265     | 66,01                                                             | 31,50                                                            |
| IDA <sup>9e</sup>   | 0,5                     | 0,09078      | 0,2198                             | 0,776        | 4,92     | 1204     | 47,49                                                             | 23,47                                                            |
| IDA <sup>11e</sup>  | 0,5                     | 0,09078      | 0,2198                             | 0,702        | 4,47     | 1135     | 29,86                                                             | 2,62                                                             |
| SHINT <sup>1e</sup> | 0,5                     | 0,09078      | 0,2198                             | 0,918        | 5,96     | 1065     | 80,35                                                             | 64,00                                                            |
| SHINT <sup>2e</sup> | 0,5                     | 0,09078      | 0,2198                             | 0,898        | 5,86     | 1065     | 73,20                                                             | 44,04                                                            |
| SHINT <sup>3e</sup> | 0,5                     | 0,09078      | 0,2198                             | 0,633        | 3,57     | 1065     | 20,91                                                             | 19,83                                                            |
| SHINT <sup>4e</sup> | 0,5                     | 0,09078      | 0,2198                             | 1,714        | 12,22    | 1143     | 954,30                                                            | 305,53                                                           |
| SHINT <sup>5e</sup> | 0,5                     | 0,09078      | 0,2198                             | 1,600        | 11,49    | 1104     | 694,87                                                            | 214,99                                                           |
| SHINT <sup>6e</sup> | 0,5                     | 0,09078      | 0,2198                             | 1,471        | 10,61    | 1082     | 484,43                                                            | 215,54                                                           |
| BARO <sup>1e</sup>  | 0,36                    | 0,07703      | 0,2591                             | 1,000        | 5,10     | 694      | 110,63                                                            | 24,85                                                            |
| BARO <sup>2e</sup>  | 0,36                    | 0,07703      | 0,2591                             | 0,743        | 3,57     | 690      | 35,58                                                             | 12,66                                                            |
| BARO <sup>3e</sup>  | 0,36                    | 0,07703      | 0,2591                             | 0,633        | 2,96     | 673      | 18,79                                                             | 9,95                                                             |
| BARO <sup>6e</sup>  | 0,36                    | 0,07703      | 0,2591                             | 1,237        | 6,98     | 706      | 238,17                                                            | 112,79                                                           |
| BARO <sup>7e</sup>  | 0,36                    | 0,07703      | 0,2591                             | 1,170        | 6,63     | 702      | 188,73                                                            | 85,05                                                            |



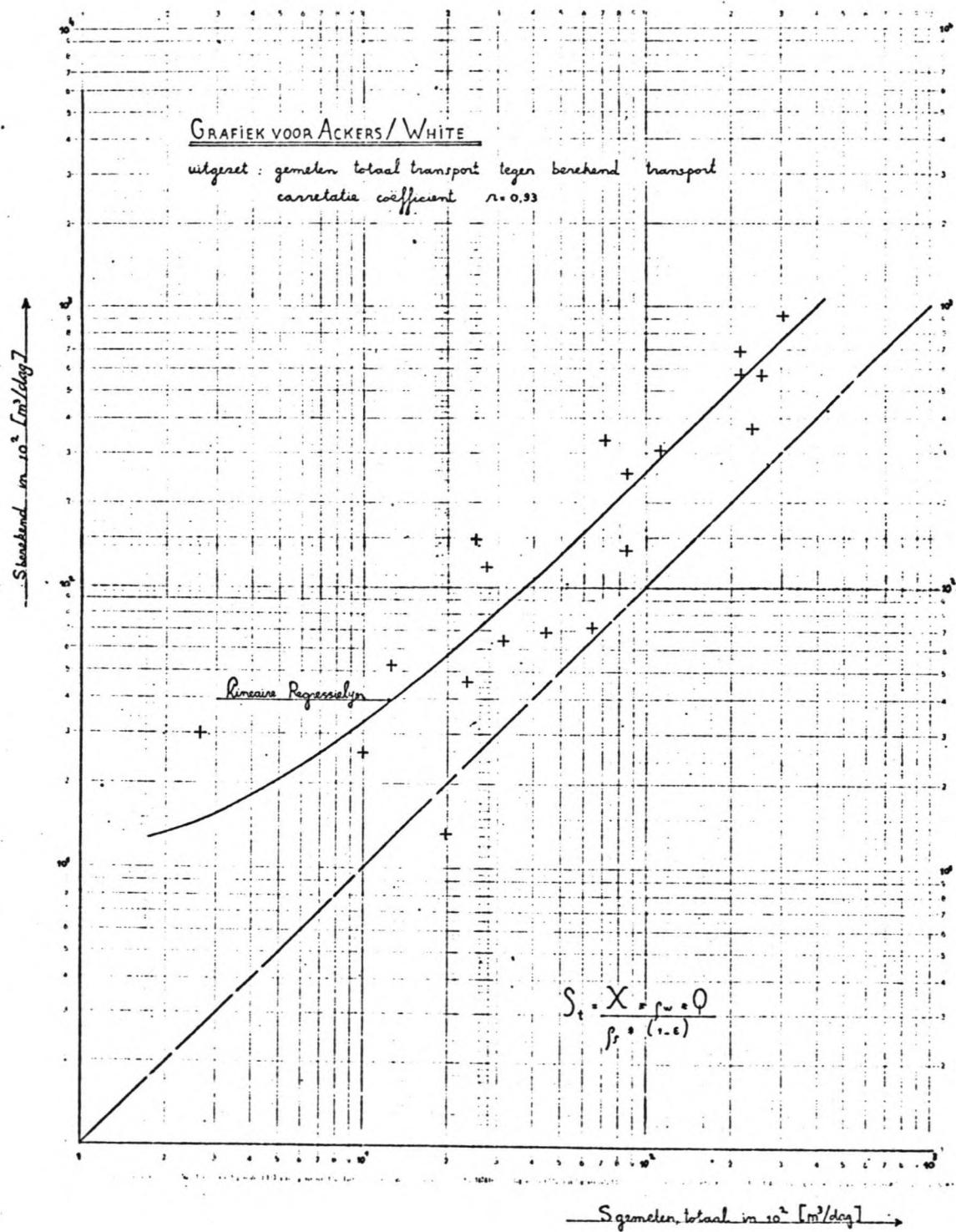
FIGUUR 2\_1



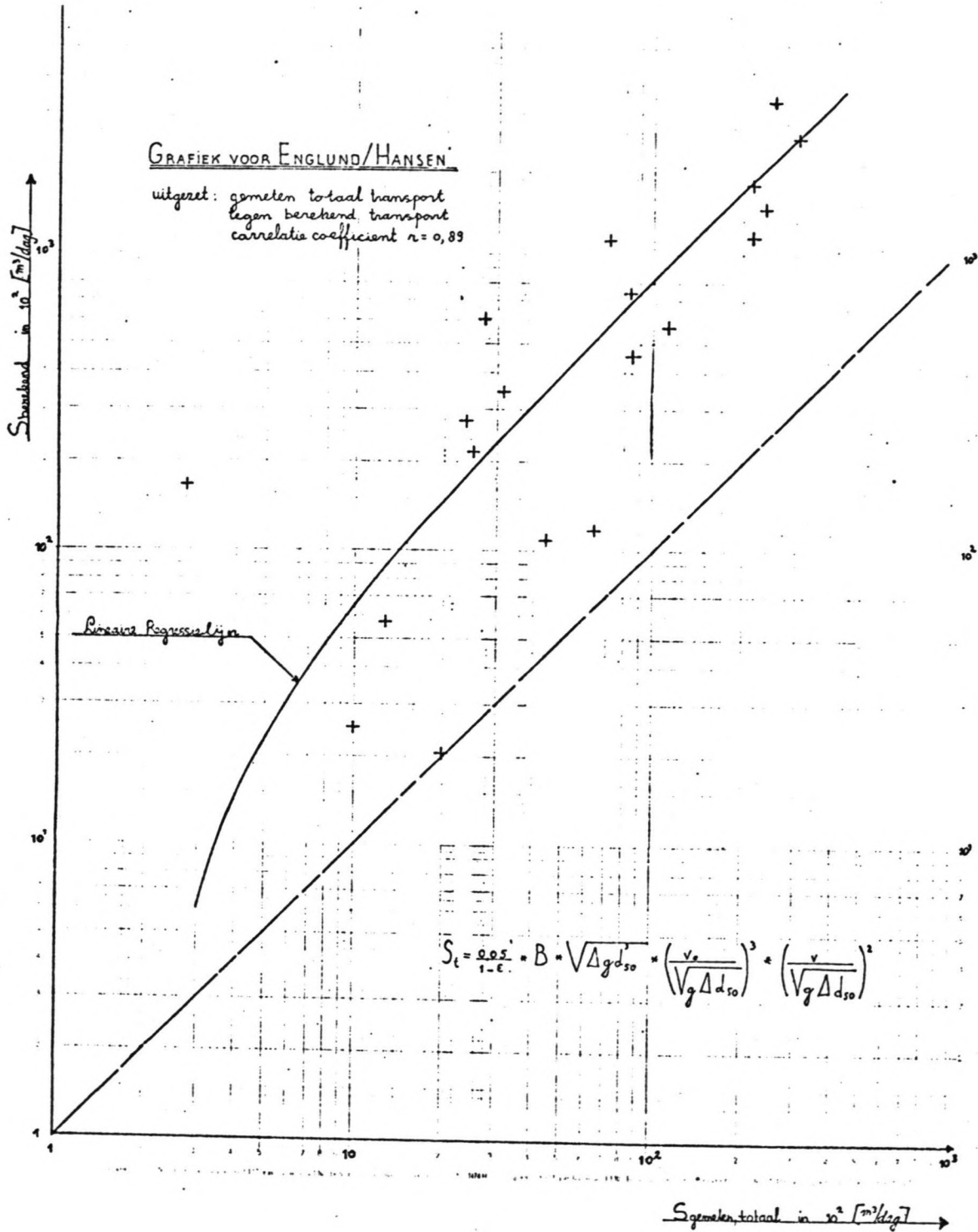
FIGUUR 2-2



FIGUUR 2\_3

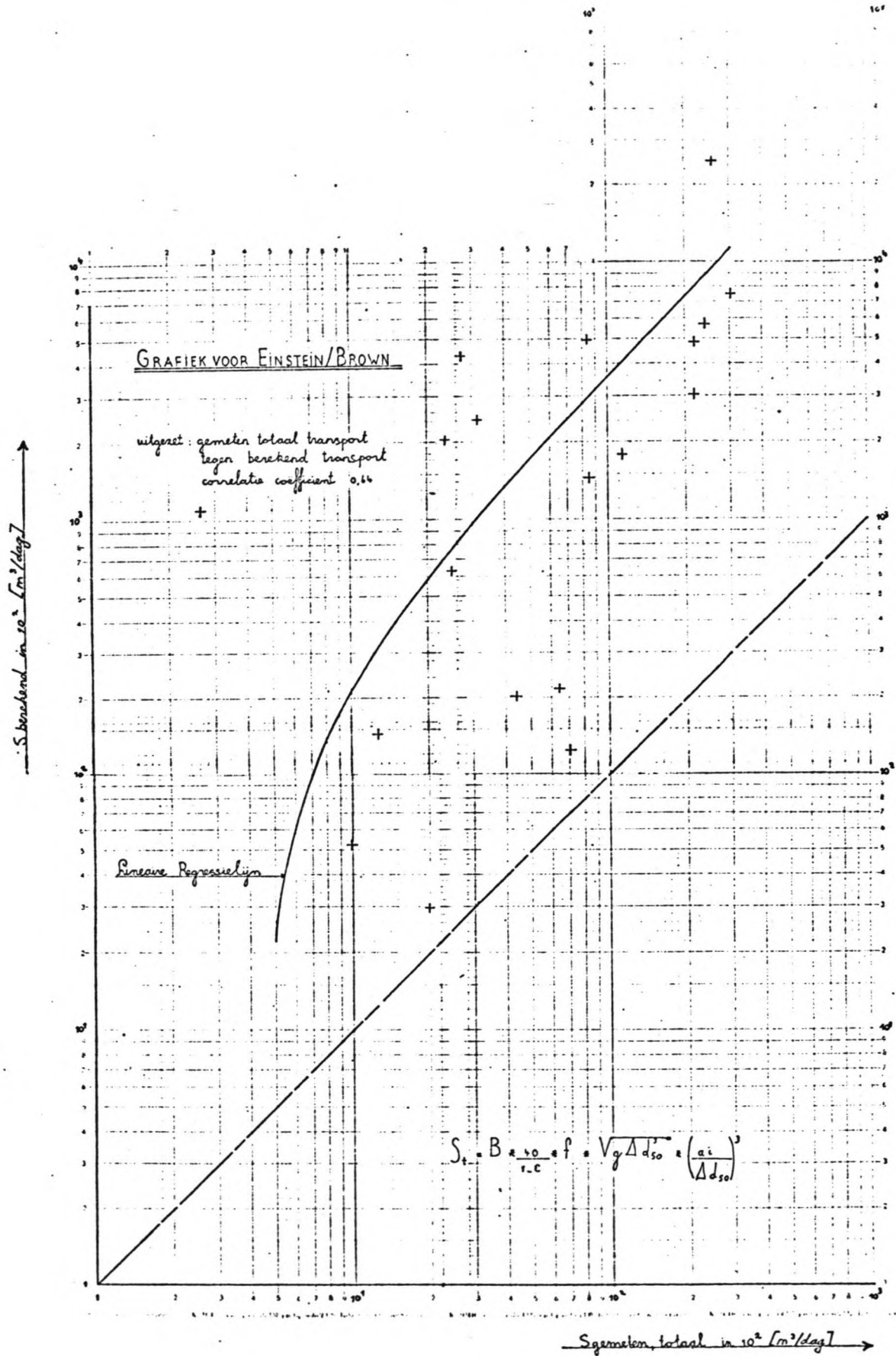


FIGUUR 2-4

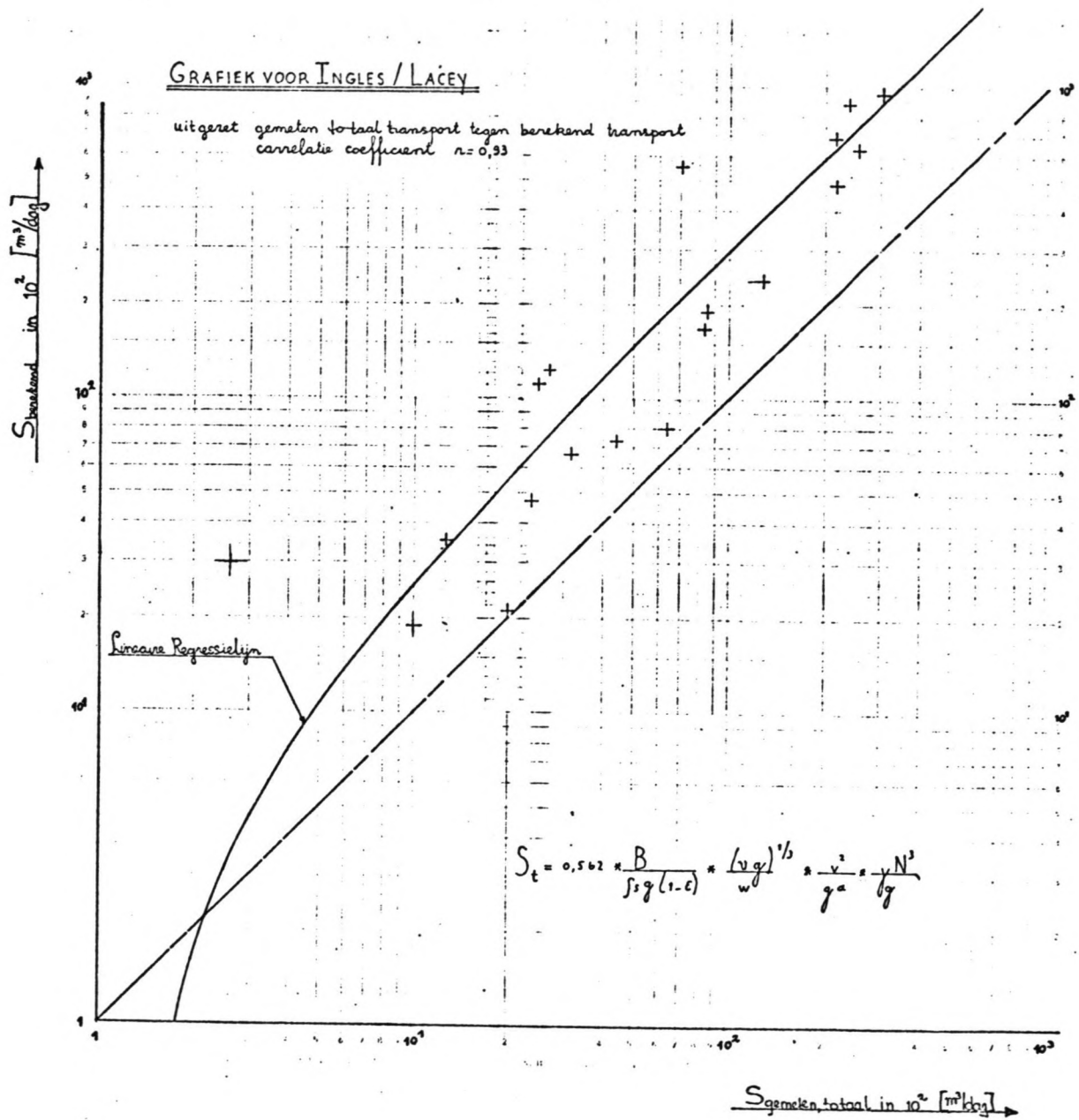


FIGUUR 2\_5





FIGUUR 2\_6



FIGUUR 2-7

## § 2-4 Berekening van de lineaire regressielijnen

In de figuren 2-1 tot en met 2-7 zijn op de horizontale assen Sgemeten uitgezet en op de verticale assen Sberekend.

Door de punten wolken in de figuren 2-1 tot en met 2-7 kan men met behulp van de kleinste kwadraten methode, een lineaire regressie lijn berekenen. Men neemt feitelijk aan dat er een lineair verband bestaat tussen Sberekend en Sgemeten. De lineaire regressie lijn geeft dit lineaire verband  $Y = mx + b$ , waarbij  $Y = \text{Sberekend}$  en  $X = \text{Sgemeten}$ .

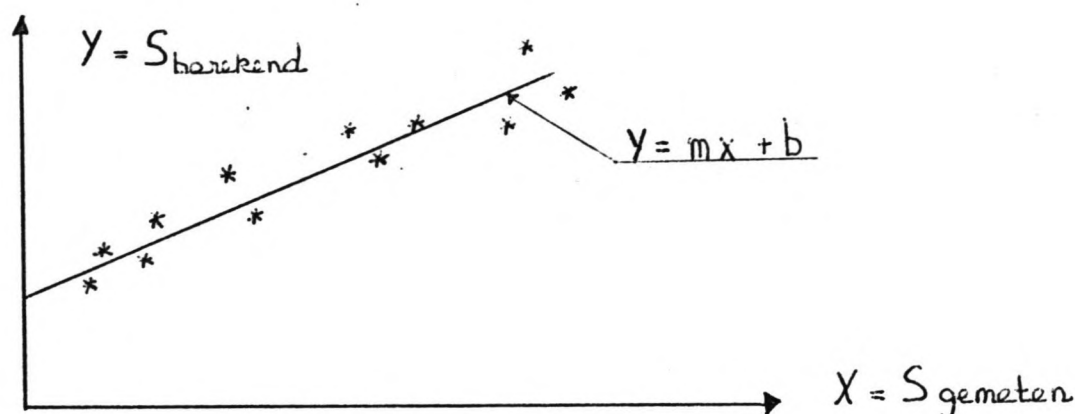


Fig 2-8

Tevens kan men ook de correlatie coefficient ( $r$ ) berekenen.

Deze correlatie coefficient ( $r$ ) geeft aan in hoeverre het geoorloofd is om een lineair verband tussen Sgemeten (X) en Sberekend (Y) te veronderstellen. De correlatie coefficient ( $r$ ) kan variëren tussen 0 en 1,  $r=0$  betekent dat er helemaal géén lineair verband bestaat tussen Sgemeten (X) en Sberekend (Y) terwijl  $r=1$  betekent dat alle punten Sgemeten, Sberekend (XY) exact op een rechte lijn liggen.

In de figuren 2-1 tot en

met 2-7 zijn de lineaire regressie lijnen getekend. Opgemerkt dient te worden, dat deze lijnen in de figuren 2-1 tot en met 2-7 geen rechte lijnen zijn. Dit komt omdat de figuren 2-1 tot en met 2-7 op dubbel logaritmisch papier zijn uitgezet, daardoor wordt de rechte lijn  $Y = mx + b$  uitgezet als  $\log(Y) = \log(mx+b)$

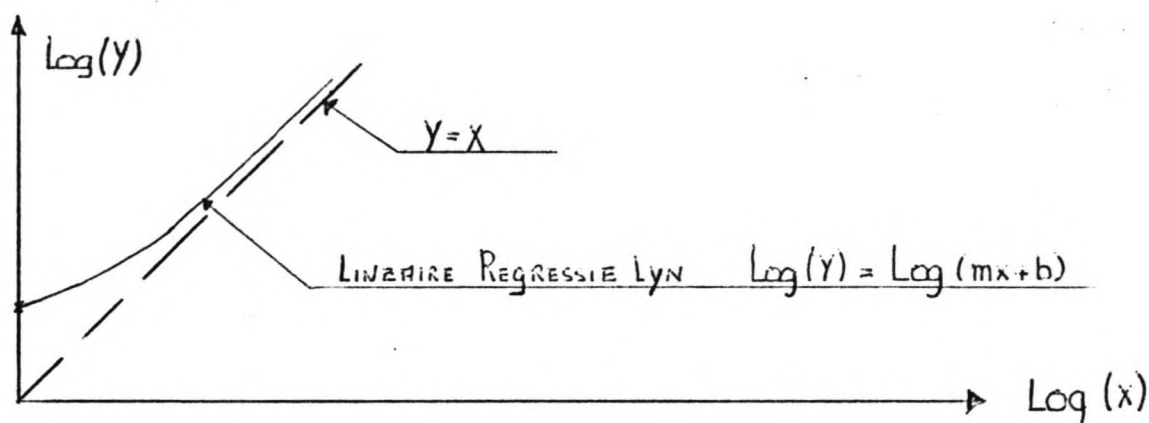


Fig 2-9

Het is duidelijk te zien, dat in alle figuren 2-1 tot en met 2-7 de lineaire regressie lijn voor grote waarden van Sgemeten (X) evenwijdig gaat lopen aan de lijn  $\log(Y) = \log(X)$  of te wel  $Y=X$ . De reden voor dit verschijnsel is niet zo moeilijk in te zien.

Er geldt:  $\log(Y) = \log(mx+b)$

voor grote waarden van X zal b te verwaarlozen zijn ten opzichte van  $mx$  dus  $\frac{b}{mx} \ll 1$

Er volgt:  $\log(Y) = \log(mx) = \log(m) + \log(X)$

m is de richtingscoëfficiënt is een constante

Er volgt:  $\log(Y) = \log(X) + \text{constante}$

Indien je deze betrekking op dubbel logaritmisch papier uit zet krijg je een rechte lijn die evenwijdig loopt aan de lijn  $Y=X$

De berekeningen van de lineaire regressie lijnen door de punten wolken van de figuren 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6 en 2-7 staan in de tabellen 2-9, 2-10, 2-11, 2-12, 2-13. 2-14 en 2-15.

Bepaling van de regressielijn

de aangepaste formule van Meyer - Peter - Müller

$$S = b_{,5} * B * \sqrt{\Delta g d^3} * \left[ \frac{v^{3/2} \cdot (K_{Si})^{1/4}}{g b \Delta d_{50}} - 0,047 \right]^{3/2}$$

Tabel 2-g

X = Sgemeten, totaal in  $10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$

Y = Sberekend in  $10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$

|   |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |      |
|---|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| X | 118,74 | 103,13 | 52,18  | 41,25 | 21,20 | 16,50 | 11,97 | 1,12  | 19,00 | 21,04 | 2,83 |
| Y | 165,02 | 129,60 | 115,78 | 63,24 | 44,67 | 28,00 | 22,29 | 15,21 | 21,43 | 20,13 | 6,22 |

|        |        |       |       |      |      |       |       |
|--------|--------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| 101,53 | 39,99  | 81,54 | 12,35 | 8,16 | 6,45 | 25,79 | 37,55 |
| 139,28 | 110,42 | 85,53 | 16,30 | 6,73 | 3,74 | 28,93 | 24,86 |

$$\underline{\underline{y = mx + b}}$$

$$\underline{\underline{m = 1,31}}$$

$$\underline{\underline{b = 5,27 * 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag}]}}$$

$$\sigma_x = 35,74 * 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$$

$$\sigma_y = 50,68 * 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$$

$$r = 0,92$$

Bepaling van de regressielijn

formule van Meyer - Peter - Müller (1948)

$$S = 13,3 * B * \sqrt{\Delta g} d_{50}^3 * \left[ \frac{v^{3/2} (K_s i)^{1/4}}{g b \Delta d_{50}} - 0,047 \right]^{3/2}$$

Tabel 2-10

X = Sgemeten, totaal in  $10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$

Y = Sberekend in  $10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$

|   |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| X | 254,24 | 237,63 | 70,93 | 83,75 | 27,20 | 31,50 | 23,47 | 2,62  | 64,00 | 44,04 | 19,83 |
| Y | 337,66 | 265,18 | 236,9 | 129,4 | 91,4  | 57,29 | 45,61 | 31,12 | 43,85 | 41,19 | 12,73 |

|        |        |        |       |       |      |        |       |
|--------|--------|--------|-------|-------|------|--------|-------|
| 305,53 | 214,99 | 215,54 | 24,85 | 12,66 | 9,95 | 112,79 | 85,05 |
| 284,99 | 225,94 | 175,01 | 33,35 | 13,77 | 7,65 | 59,20  | 50,87 |

$$\underline{y = mx + b}$$

$$\parallel m = 0,97$$

$$\parallel b = 19,2 * 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$$

$$\sigma_x = 9,47 * 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$$

$$\sigma_y = 103,7 * 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$$

$$r = 0,88$$

Lineaire Regressie

formule van Rottner

formule 2 - 1.3.2

$$S = \frac{1}{1-E} * B * \sqrt{\Delta g a^{-3}} * \left\{ \left[ 0,667 \left( \frac{d_{50}}{a} \right)^{2/3} + 0,14 \right] * \sqrt{\Delta g a} - 0,778 \left( \frac{d_{50}}{a} \right)^{2/3} \right\}^3$$

Tabel 2-11

X = Sgemeten, totaal \* 10<sup>2</sup> [m<sup>3</sup>/dag]

Y = Sberekend \* 10<sup>2</sup> [m<sup>3</sup>/dag]

|   |        |        |        |        |        |        |       |       |        |        |       |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|
| X | 254,24 | 237,63 | 70,93  | 83,75  | 27,20  | 31,50  | 23,47 | 2,62  | 64,00  | 44,04  | 19,83 |
| Y | 808,28 | 669,74 | 536,75 | 233,48 | 185,37 | 112,96 | 88,81 | 58,49 | 141,22 | 130,96 | 37,19 |

|         |        |        |        |       |       |        |        |
|---------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| 305,53  | 214,99 | 215,54 | 24,85  | 12,66 | 9,95  | 112,79 | 85,05  |
| 1186,94 | 920,09 | 688,12 | 130,04 | 47,20 | 26,14 | 265,98 | 220,80 |

$$y = mx + b$$

$$m = 3,41$$

$$b = 10,84 * 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$$

$$\sigma_x = 94,71 * 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$$

$$\sigma_y = 3,40 * 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$$

$$r = 0,95$$



Bepaling van de regressielijn

Formule van Ackers en White

Tabel 2-12

X = Sgemeten, totaal in  $10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$   
Y = Sberekend in  $10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$

|   |        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |       |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| X | 254,24 | 237,63 | 70,93  | 83,75  | 27,20  | 31,50 | 23,47 | 2,62  | 64,00 | 44,04 | 19,83 |
| Y | 566,79 | 370,32 | 339,03 | 135,52 | 118,02 | 65,17 | 46,09 | 30,13 | 71,62 | 69,54 | 13,17 |

|        |        |        |        |       |       |        |        |
|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| 305,53 | 214,99 | 215,54 | 24,85  | 12,66 | 9,95  | 112,79 | 85,05  |
| 932,15 | 695,35 | 477,24 | 149,38 | 52,59 | 25,79 | 308,03 | 254,29 |

$$\begin{aligned} \underline{y} &= mx + b \\ m &= 2,48 \\ b &= 0,21 \cdot 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]} \\ \sigma_x &= 94,70 \cdot 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]} \\ \sigma_y &= 252,97 \cdot 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]} \\ r &= 0,93 \end{aligned}$$

Bepaling van de regressielijn  
formule van Englund en Hansen

$$S = \frac{0,05}{1-\varepsilon} * B * \sqrt{\Delta g d_{50}^3} * \left(\frac{V^*}{\sqrt{\Delta g d_{50}}}\right)^3 * \left(\sqrt{\frac{V}{g \Delta d_{50}}}\right)^2$$

Tabel 2-13

X = Sgemeten, totaal in 10<sup>2</sup> [m<sup>3</sup>/dag]

Y = Sberekend in 10<sup>2</sup> [m<sup>3</sup>/dag]

|   |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| X | 254,24 | 237,63 | 70,93  | 83,75 | 27,20 | 31,50 | 23,47 | 2,62  | 64,00 | 44,04 | 19,83 |
| Y | 3309,5 | 1426,1 | 1115,0 | 737,8 | 605,1 | 345,0 | 275,1 | 167,6 | 118,4 | 109,5 | 20,87 |

|        |        |        |        |       |       |        |        |
|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| 305,53 | 214,99 | 215,54 | 24,85  | 12,66 | 9,95  | 112,79 | 85,05  |
| 2516,4 | 1729,5 | 1145,8 | 218,10 | 57,54 | 24,80 | 566,8  | 457,10 |

$$\underline{\underline{y = mx + b}}$$

$$\underline{\underline{m = 0,32}}$$

$$\underline{\underline{b = -18,90 * 10^2 \text{ [m}^3\text{/dag]}}}$$

$$\underline{\underline{\sigma_x = 94,70 * 10^2 \text{ [m}^3\text{/dag]}}}$$

$$\underline{\underline{\sigma_y = 884,08 * 10^2 \text{ [m}^3\text{/dag]}}}$$

$$\underline{\underline{r = 0,89}}$$

Bepaling van de regressielijn - formule van Einstein-Brown

$$S = \frac{40}{1-\varepsilon} * B * f * \sqrt{\frac{g \cdot \Delta \cdot d_{50}^3}{\Delta \cdot g \cdot d_{50}^3}} * \left(\frac{a_i}{\Delta d_{50}}\right)^3$$

$$f = \left( \sqrt{\left(\frac{2}{3}\right) + \frac{36 \cdot v^2}{\Delta \cdot g \cdot d_{50}^3}} - \sqrt{\frac{36 \cdot v^2}{\Delta \cdot g \cdot d_{50}^3}} \right)$$

Tabel 2-14

X = Sgemeten, totaal in 10<sup>2</sup> [m<sup>3</sup>/dag]  
 Y = Sberekend in 10<sup>2</sup> [m<sup>3</sup>/dag]

|   |          |         |        |         |         |         |         |         |        |        |       |
|---|----------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|-------|
| X | 254,24   | 237,63  | 70,93  | 83,75   | 27,20   | 31,50   | 23,47   | 2,62    | 64,00  | 44,04  | 19,83 |
| Y | 24872,75 | 5737,73 | 123,27 | 4963,13 | 4314,37 | 2438,65 | 2031,25 | 1194,90 | 217,13 | 202,72 | 29,87 |

|  |         |         |         |        |        |       |         |         |
|--|---------|---------|---------|--------|--------|-------|---------|---------|
|  | 305,53  | 214,99  | 215,54  | 24,85  | 12,66  | 9,95  | 112,79  | 85,05   |
|  | 7519,48 | 4843,57 | 3036,25 | 627,85 | 144,25 | 52,35 | 1780,88 | 1455,57 |

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{mx + b}{m} \\ m &= 37,33 \\ b &= -164,42 * 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]} \\ \bar{y}_x &= 94,70 * 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]} \\ \bar{y}_y &= 5501 * 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]} \\ r &= 0,64 \end{aligned}$$

Bepaling van de regressielijn

formule van Ingles- Lacey (1968)

$$S = 0,562 * \frac{B}{ps * g * (1-\epsilon)} * \frac{v_g}{w}^{1/3} * \frac{v^2}{ga} * \frac{d^3}{g}$$

Tabel 2-15

X = Sgemeten, totaal in 10<sup>2</sup> [m<sup>3</sup>/dag]

Y = Sberekend in 10<sup>2</sup> [m<sup>3</sup>/dag]

|   |        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |       |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| X | 254,24 | 237,63 | 70,93  | 83,75  | 27,20  | 31,50 | 23,47 | 2,62  | 64,00 | 44,04 | 19,83 |
| Y | 635,0  | 888,93 | 554,51 | 168,56 | 122,37 | 66,01 | 47,49 | 29,86 | 80,35 | 73,20 | 20,91 |

|        |        |        |        |       |       |        |        |
|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| 305,53 | 214,99 | 215,54 | 24,85  | 12,66 | 9,95  | 112,79 | 85,05  |
| 954,30 | 694,87 | 484,43 | 110,63 | 35,58 | 18,79 | 238,17 | 188,73 |

$$\underline{\underline{y = mx + b}}$$

$$m = 2,99$$

$$b = -4,35 * 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$$

$$\sigma_x = 34,70 * 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$$

$$\sigma_y = 304,05 * 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$$

$$r = 0,93$$

De theorie volgens welke de lineaire regressie lijnen worden berekend, staat hier onder beschreven (zie Fig. 2-10).

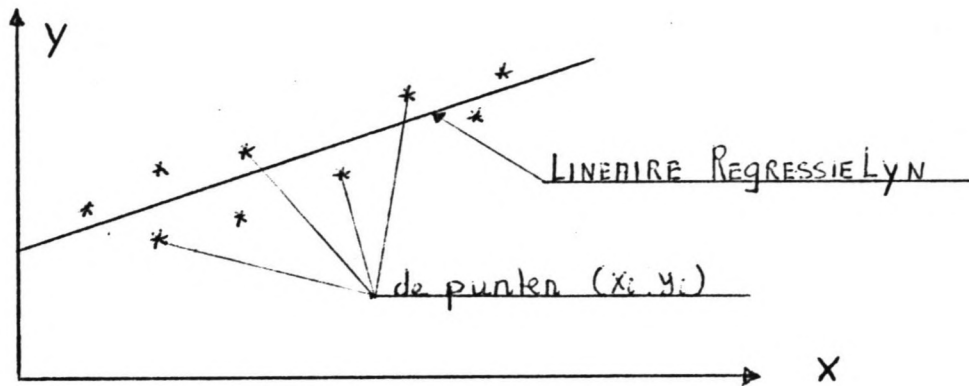


Fig 2-10

$$m = \left\{ \left( \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i}{N} - \left( \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \right) \left( \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \right) \right) / \sigma_x^2 \right\}$$

$$b = \left\{ \left( \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} - m * \left( \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \right) \right) \right\}$$

$$r = m \sigma_x / \sigma_y$$

$$\sigma_x = \left\{ \left( \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N} \right) - \left( \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

$$\sigma_y = \left\{ \left( \frac{\sum_{i=1}^N y_i^2}{N} \right) - \left( \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

$N$  is het aantal punten  $(X_i, Y_i)$  waardoor heen de lineaire regressie lijn wordt bepaald.

De regressielijnen door de punten wolken van de figuren 2-1 tot en met 2-7 zijn in figuur 2-11 en 2-12 nogmaals uitgezet. Echter nu niet op dubbel logaritmisch papier, de X-as en Y-as hebben in figuur 2-11 en 2-12 een lineaire schaal.

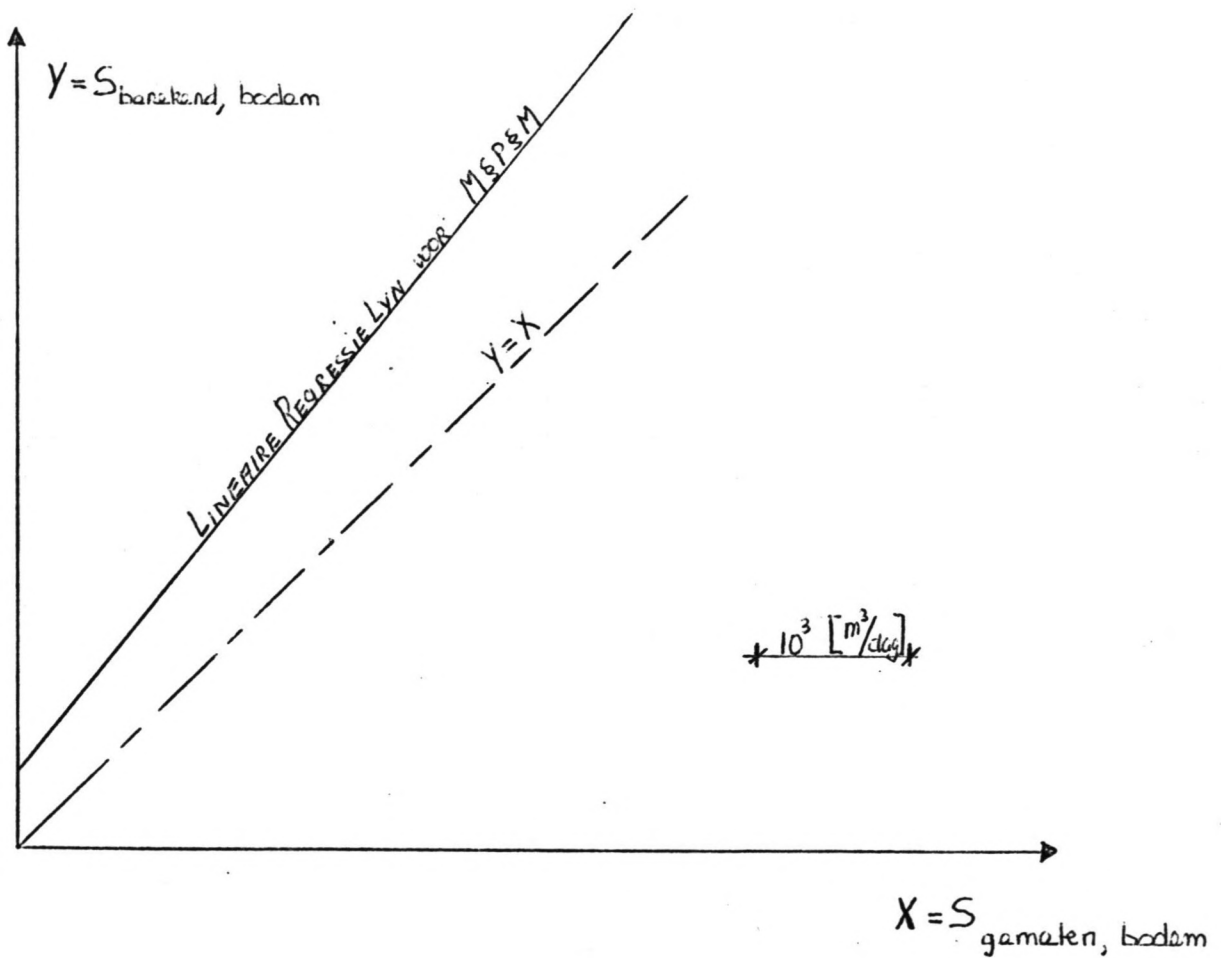


Fig 2-11

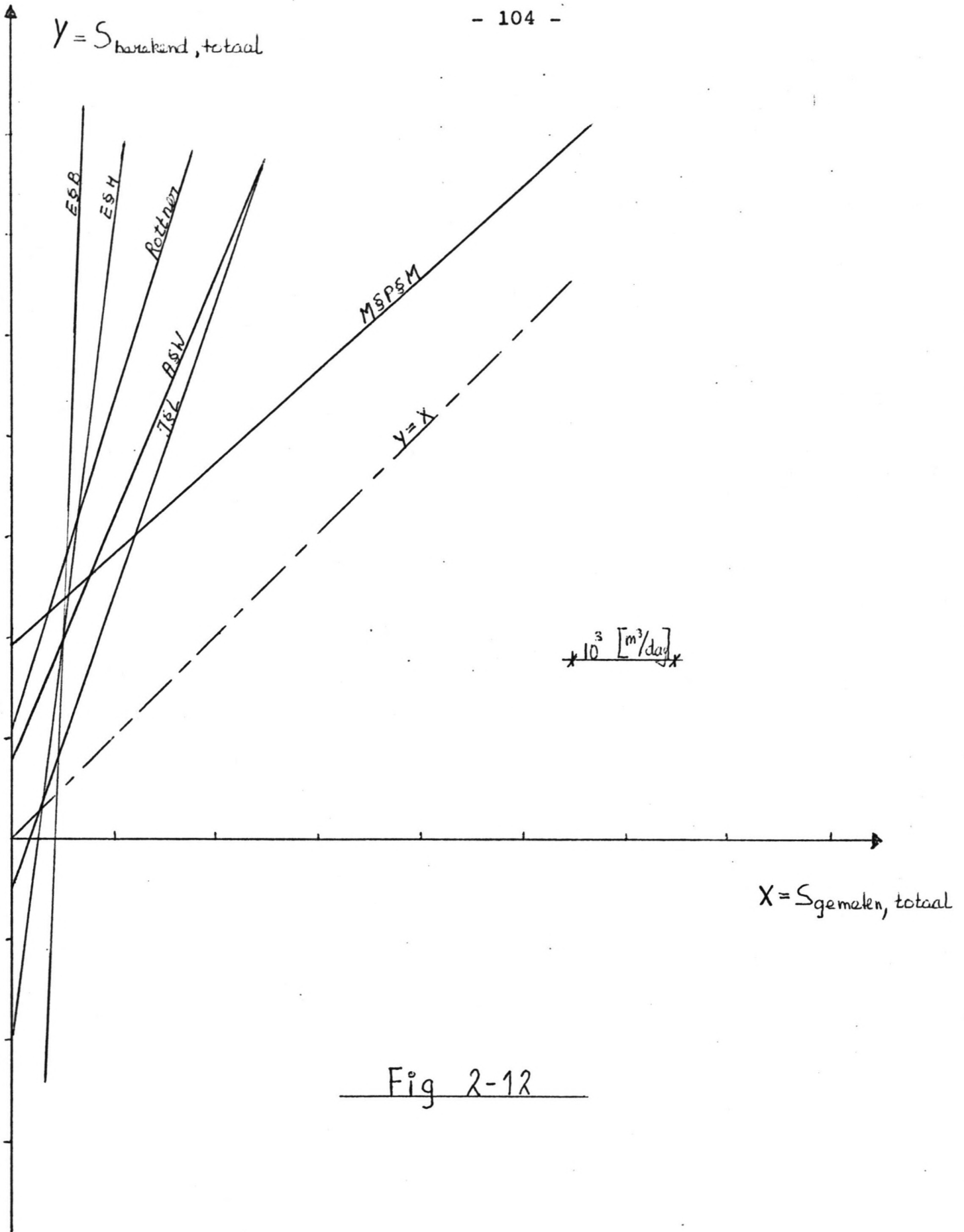


Fig 2-12



De regressielijnen door de punten wolken van de figuren 2-1 tot en met 2-7 zijn in tabel 2-16 nogmaals overzichtelijk bij elkaar geplaatst.

$$Y = mx + b$$

| Formule                                | rich-<br>tings-<br>coeffi-<br>cient m | b in<br>$10^2$<br>$m^3$ /<br>dag | corre-<br>latie-<br>coeffi-<br>cient $r$ |
|----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|
| aangepaste vorm van Meyer-Peter-Müller | 1,31                                  | 5,27                             | 0,92                                     |
| Meyer-Peter en Müller ( $M\&P\&M$ )    | 0,97                                  | 19,20                            | 0,88                                     |
| Rottner (2-1.3.2)                      | 3,41                                  | 10,84                            | 0,95                                     |
| Ackers en White ( $A\&W$ )             | 2,48                                  | 8,21                             | 0,93                                     |
| Englund en Hansen ( $E\&H$ )           | 8,32                                  | -18,90                           | 0,89                                     |
| Einstein en Brown ( $E\&B$ )           | 37,33                                 | -164,42                          | 0,64                                     |
| Ingles en Lacey ( $I\&L$ )             | 2,99                                  | -4,35                            | 0,93                                     |

tabel 2-16

## § 2-5 Keuze van de sedimenttransportformule

Om de veranderingen in de bodemligging van de rivier bovenstrooms en benedenstrooms van het gebaggerde gat te kunnen berekenen, moet men over een sedimenttransport formule beschikken.

Zoals reeds vermeld is er voor acht sedimenttransport formules nagegaan in hoeverre zij het sedimenttransport op de rivier de Niger weergeven, zoals dat door Nedeco in de jaren 1955 t/m 1959 is gemeten.

In § 2-4 zijn voor deze zeven sedimenttransportformules de lineaire regressie lijnen bepaald.

Op basis van deze lineaire regressielijnen wordt een keuze gemaakt uit deze zeven sedimenttransport formules.

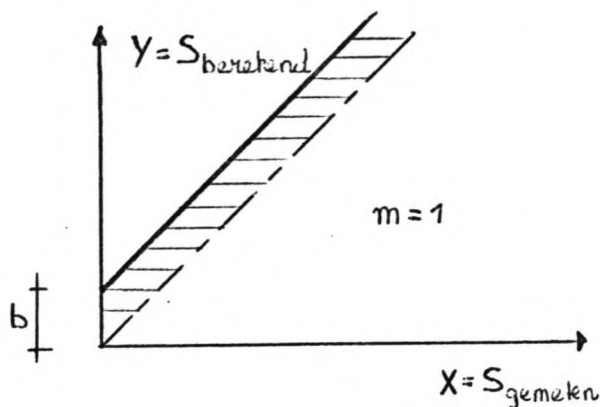


fig. 2-13

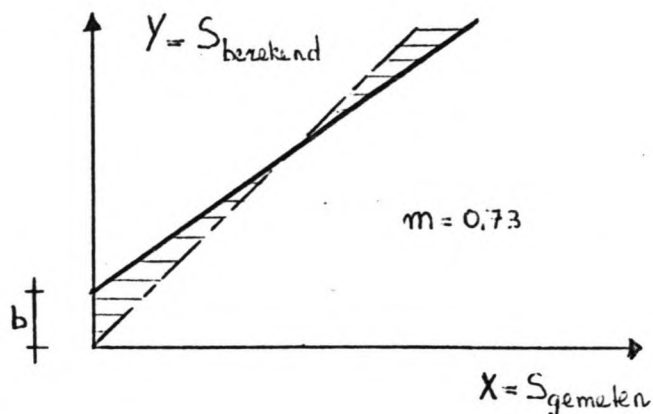


fig. 2-14

In figuur 2-13 en figuur 2-14 zijn twee regressielijnen getekend.

De regressielijn in figuur 2-13 heeft een richtingscoëfficiënt  $m=1$  en loopt evenwijdig aan de lijn  $Y=X$ .

De regressielijn in figuur 2-14 heeft een richtingscoëfficiënt  $m=0,73$ . Zo op het oog is niet aan te geven welke regressielijn de lijn  $Y=X$  het beste benadert. De regressielijn in figuur 2-13 geeft altijd te hoge waarden voor  $S_{\text{berekend}}$ . De regressielijn in figuur 2-14 geeft voor kleine waarde van het sedimenttransport te lage waarden voor  $S_{\text{berekend}}$ , terwijl voor grote waarden van het sedimenttransport te hoge waarden voor  $S_{\text{berekend}}$  worden gevonden.

Om nu een keuze te kunnen maken uit de zeven geteste sedimenttransport formules zijn de twee volgende criteria belangrijk:

1<sup>e</sup> criterium: het oppervlak dat door de regressielijn en de lijn  $Y=X$  wordt ingesloten, moet zo klein mogelijk zijn, tussen een ondergrens en bovengrens. De keuze van de ondergrens ligt nogal voor de hand, namelijk  $X=0$  [ $\text{m}^3/\text{dag}$ ]. Voor de bovengrens is gekozen  $X=350 \times 10^2$  [ $\text{m}^3/\text{dag}$ ]; het grootste totaaltransport wat in ons riviertraject is gemeten.

2<sup>e</sup> criterium: de correlatiecoëfficiënt ( $r$ ) van de regressielijn.

In tabel 2-17 staan van alle sedimenttransportformules de oppervlakten (A) die omsloten worden door de lijn  $Y=X$  en de bij de bijbehorende regressielijnen. Tevens staat ook de correlatie coefficient aangegeven.

| Formule                                | Oppervlakte A<br>in $10^8$<br>$m^2/dag$ | Correlatie<br>coefficient $r$ |
|----------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
| aangepaste vorm van Meyer-Peter-Müller | 2,08                                    | 0,92                          |
| Meyer-Peter-Müller ( $M\&P\&M$ )       | 0,49                                    | 0,88                          |
| Rottner (2-1.3.2)                      | 15,14                                   | 0,95                          |
| Ackers en White ( $A\&W$ )             | 9,35                                    | 0,93                          |
| Englund en Hansen ( $E\&H$ )           | 44,18                                   | 0,89                          |
| Einstein en Brown ( $E\&B$ )           | 216,84                                  | 0,64                          |
| Inglis en Lacey ( $I\&L$ )             | 12,19                                   | 0,93                          |

tabel 2-17

#### Definitieve keuze

De sedimenttransportformule die het beste voldoet is de formule van Meyer-Peter-Müller (1948) met een omsloten oppervlakte van  $A = 0,49 \times 10^8$  en een correlatiecoefficient van  $r=0,88$ . De formule van Meyer-Peter-Müller beschrijft het totale sedimenttransport dus bodemtransport gesommeerd met het zwevend transport. Opgemerkt dient te worden dat de keuze van de Meyer-Peter-Müller formule is gebaseerd op slechts 19 prototype metingen, hetgeen zeer weinig is. Het verdient aanbeveling de formule van Meyer-Peter-Müller te toetsen voor nog meer prototype metingen, helaas waren er niet meer prototype metingen beschikbaar.

### HOOFDSTUK 3

### Afschatting van de ruwheid

#### § 3-1 Inleiding

Een afschatting van de ruwheid (C-waarde) in het gebaggerde gat is noodzakelijk om bij bepaalde afvoeren de stuwkrommen over het gebaggerde gat te kunnen berekenen. Met behulp van deze stuwkromme wordt in hoofdstuk 4 een schatting gemaakt van de verandering van de bodemligging bovenstrooms van het gebaggerde gat. In hoofdstuk 5 wordt met behulp van een stuwkromme een grootheid berekend die bepalend is voor de keuze van het morfologisch rekenmodel.

Voor een vaste bodem met een constante C-waarde volgt uit

$v = C (a_i)^{\frac{1}{2}}$  en  $\tau = \int g a_i$  een kwadratisch verband tussen  $v$  en  $\tau$  :  $\tau = \int g v^2 / C^2 = \alpha v^2$ .

Voor een beweeglijk en hydraulisch ruw bed is de totale schuifspanning ( $\tau$ ) op te splitsen in een deel beschikbaar voor transport ( $\tau'$ ) en een deel beschikbaar voor vertragsingsverlies ten gevolge van de beddingsvorm ( $\tau''$ ). Dus  $\tau = \tau' + \tau''$ .

Bij een snelheid  $v$  is dit om te schrijven naar:

$$\tau = \int g h i = \int g (a_i)' + \int g (a_i)'' \quad \text{of}$$

$$\tau = \frac{\int g v^2}{C^2} = \frac{\int g v^2}{(C')^2} + \frac{\int g v^2}{(C'')^2} = \left\{ \frac{\int g}{(C')^2} + \frac{\int g}{(C'')^2} \right\} v^2 \neq \alpha v^2$$

Hierin is:

C = de coëfficiënt van Chezy m.b.t. de totale ruwheid

$$\left[ \frac{m^{\frac{1}{2}}}{s} \right]$$

C' = de coëfficiënt van Chezy m.b.t. de korrels

$$\left[ \frac{m^{\frac{1}{2}}}{s} \right]$$

|          |                                                   |                       |
|----------|---------------------------------------------------|-----------------------|
| $C''$    | = de coëfficiënt van Chezy m.b.t. de beddingsvorm | $[m^{\frac{1}{2}}/s]$ |
| $v$      | = de gemiddelde snelheid                          | $[m/s]$               |
| $\alpha$ | = een constante                                   | $[kg/m^3]$            |
| $\rho$   | = de dichtheid van het water                      | $[kg/m^3]$            |
| $g$      | = de versnelling van de zwaartekracht             | $[m/s^2]$             |

Het verband tussen  $\xi$  en  $v$  is hier veel gecompliceerder. De  $C$ -waarde is afhankelijk van de beddingvorm en kan variëren van 15 tot  $100 m^{\frac{1}{2}}/s$ . De totale ruwheid kan nu met verschillende methoden berekend worden.

- 1<sup>e</sup> Scheiding van korrelruwheid en bodemruwheid.
- 2<sup>e</sup> Directe bepaling uit de korreldiameter.
- 3<sup>e</sup> Regiemformules.
- 4<sup>e</sup> Uit de  $Q$ - $h$  relaties, als die bekend zijn.

Hier zal gebruik worden gemaakt van de eerste en tweede methode.

### §3-2 Scheiding van korrelruwheid en bedruwheid.

Door een aantal onderzoekers is getracht de  $C$ -waarde te voorspellen op grond van de hydraulische omstandigheden. Meestal komt dit in principe neer op het voorspellen van de bodemruwheid ( $C''$ ) en de aanname dat de korrelruwheid ( $C'$ ) berekend kan worden met Chezy-Nikuradse

$$(C' = 18 \log / 12 R / d_m).$$

De door  $d_m$  in te vullen waarde varieert per onderzoeker. Voor de hydraulische straal ( $R$ ) kan bij niet te smalle rivieren de waterdiepte (a) genomen worden.

§ 3-2.1 De "gemeten" C-waarden.

De "gemeten" C-waarden zijn te bepalen met behulp van de in het Nedeco-rapport 1959 vermelde equivalente zandruwheden van Nikuradse. Zie blz. 472 Nedeco-rapport 1959.

Voor de bepaling van de C-waarden is gebruik gemaakt van de formule van White-Colebrook (zie tabel 3-1). Deze formule voldoet volgens het bovengenoemde rapport beter dan de benaderingsformule van Strickler.

$$\text{White - Colebrook: } C = 18 \log \frac{12 R}{k_n}$$

$$\text{Strickler} \quad : C = K_0 \left( \frac{R}{k_n} \right)^{1/6}$$

- R = de hydraulische straal, hiervoor mag voor brede rivieren de  
waterdiepte genomen worden [m]
- $k_n$  = de equivalente zandruwheid van Nikuradse [m]
- $k_0$  = constante waarvoor in het Nedeco-rapport  
21  $\text{m}^{1/2}/\text{s}$  genomen wordt (zie blz. 466) [ $\text{m}^{1/2}/\text{s}$ ]

De bepaalde C-waarden liggen tussen de op blz. 592 van het Nedeco-rapport vermelde maxima en minima. Zie tabel 6.3.4-2 van het Nedeco-rapport.

Alvorens een 3-tal methoden te bespreken wordt erop gewezen dat eventuele afwijkingen of andere interpretaties van de oorspronkelijke bedoelingen van de onderzoekers niet zo belangrijk zijn. Het gaat uiteindelijk om de praktische bruikbaarheid van een bepaalde methode, die door vergelijking met metingen op deze bruikbaarheid getoetst moet worden.

| Plaats   | $Q_{\#} 10^3$<br>[ $\text{m}^3/\text{s}$ ] | $R = a$<br>[m] | $k_n$<br>[m] | $C$<br>[ $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ ] | Grenzen<br>C-waarden | $C_{\text{gem.}}$<br>[ $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ ] | Max - Min. volgens<br>Nedeco-rapport '59 |
|----------|--------------------------------------------|----------------|--------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Baro     | 7,29                                       | 6,98           | 0,384        | 42,1                                 | 43 - 39              | 40,8                                               | 45 - 39                                  |
|          | 6,62                                       | 6,63           | 0,343        | 42,6                                 |                      |                                                    |                                          |
|          | 4,73                                       | 5,10           | 0,335        | 40,7                                 |                      |                                                    |                                          |
|          | 2,87                                       | 3,57           | 0,261        | 39,9                                 |                      |                                                    |                                          |
|          | 2,40                                       | 2,96           | 0,245        | 38,9                                 |                      |                                                    |                                          |
| Shintaku | 25,14                                      | 12,22          | 0,298        | 48,5                                 | 49 - 43              | 47,0                                               | 50 - 42                                  |
|          | 21,07                                      | 11,49          | 0,248        | 49,4                                 |                      |                                                    |                                          |
|          | 16,55                                      | 10,62          | 0,245        | 48,9                                 |                      |                                                    |                                          |
|          | 5,78                                       | 5,96           | 0,204        | 45,8                                 |                      |                                                    |                                          |
|          | 5,59                                       | 5,86           | 0,204        | 45,7                                 |                      |                                                    |                                          |
| Idah     | 2,52                                       | 3,57           | 0,167        | 43,4                                 | 53 - 51              | 51,6                                               | 60 - 46                                  |
|          | 15,82                                      | 6,76           | 0,097        | 52,6                                 |                      |                                                    |                                          |
|          | 11,28                                      | 5,33           | 0,082        | 52,1                                 |                      |                                                    |                                          |
|          | 8,79                                       | 4,29           | 0,081        | 50,5                                 |                      |                                                    |                                          |
|          | 5,93                                       | 5,00           | 0,080        | 51,8                                 |                      |                                                    |                                          |
|          | 5,25                                       | 5,10           | 0,080        | 51,9                                 |                      |                                                    |                                          |
|          | 3,81                                       | 4,90           | 0,080        | 51,6                                 |                      |                                                    |                                          |
|          | 3,30                                       | 4,92           | 0,080        | 51,6                                 |                      |                                                    |                                          |
|          | 2,63                                       | 4,47           | 0,080        | 50,9                                 |                      |                                                    |                                          |

\*  $C = 18 \log \frac{R}{k_n}$

TABEL 3 - 1



§ 3-2.2 Einstein-Barbarossa.

Uitgangspunt:

$\xi = \xi' + \xi''$  wordt geschreven als  $i a = (ia)' + (ia)''$   
of  $a = a' + a''$ .

Als parameter voor de bedruwheid geldt bij hen:

$$\frac{v}{v_*'} = \frac{C \sqrt{ai}}{\sqrt{g a'' i}} = \frac{C \sqrt{ai}}{v/C'' \sqrt{g}} = \frac{C''}{\sqrt{g}}$$

|       |                                                     |               |
|-------|-----------------------------------------------------|---------------|
| $v$   | = de gemiddelde snelheid                            | $[m/s]$       |
| $v''$ | = de schuifspanningssnelheid m.b.t. de beddingvorm  | $[m/s]$       |
| $C$   | = de coëfficiënt van Chezy m.b.t. de totale ruwheid | $[m^{1/2}/s]$ |
| $C''$ | = de coëfficiënt van Chezy m.b.t. de beddingvorm    | $[m^{1/2}/s]$ |
| $a$   | = de waterdiepte                                    | $[m]$         |
| $a''$ | = de waterdiepte m.b.t. de beddingvorm              | $[m]$         |
| $i$   | = het verhang                                       | $[-]$         |
| $g$   | = de versnelling van de zwaartekracht               | $[m/s^2]$     |

Deze parameter is afhankelijk van het sedimenttransport. Daarom wordt als tweede parameter gekozen:

$$\psi' = \frac{\Delta d_{35}}{a' i}$$

|          |                                                                                          |            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| $\Delta$ | = de relatieve dichtheid $\frac{\rho_s - \rho}{\rho}$                                    | $[-]$      |
| $\rho_s$ | = de dichtheid van het sediment                                                          | $[kg/m^3]$ |
| $\rho$   | = de dichtheid van het water                                                             | $[kg/m^3]$ |
| $d_{35}$ | = de korreldiameter waarbij 35% (gewichtsperscentage) kleiner is dan de betreffende maat | $[m]$      |
| $a'$     | = de waterdiepte m.b.t. de korrels                                                       | $[m]$      |
| $i$      | = het verhang                                                                            | $[-]$      |

Het verband tussen de beide parameters is bepaald met behulp van metingen op Amerikaanse rivieren. Zie hiervoor figuur 3-1.

Behalve de in [ 2 ] beschreven manier, waarbij langs iteratieve weg de C-waarde berekend wordt, is er een variant, die in [ 8 ] werd gebruikt. Voor  $v/v''$  werd  $C''$  genomen in plaats van  $C''/\sqrt{g}$ . Voor  $y' = \Delta d_{35}/a'i$  werd  $(C')^2 \Delta d_{35}/v^2$  genomen.

C' werd bepaald met:  $C' = 18 \log 12a / 2,5d_{65}$ .

Op deze manier wordt in feite op een snelle manier de C-waarde bepaald

$$\text{met: } \frac{1}{C^2} = \frac{1}{(C')^2} + \frac{1}{(C'')^2}$$

Zoals al eerder is opgemerkt gaat het om de uitkomsten.

Wanneer deze goed zijn, is een andere interpretatie van de oorspronkelijke bedoelingen van de onderzoekers gerechtvaardigd.

Tenslotte moet opgemerkt worden dat Einstein-Barbarossa niet mag worden toegepast voor grofzandige rivieren.

( $d_{50} \geq 1,5$  à 2 mm.)

Een probleem bij het bepalen van de C-waarde is in ons geval het ontbreken van gegevens over de  $d_{35}$  en de  $d_{65}$ .

Desondanks is een berekening gemaakt waarin  $d_{35}$  door  $d_{50}$  en  $d_{65}$  door  $d_{60}$  werden vervangen op de manier zoals in [ 8 ] beschreven is (zie tabel 3-2).

Bekijken we de uitkomsten van de berekening dan valt op dat de methode voor alle plaatsen te lage C-waarden geeft. (zie tabel 3-1 en tabel 3-2). Bij de lage afvoeren wijken de berekende C-waarden meer van de gemeten C-waarden af dan bij de hoge afvoeren.

In het algemeen kan gesteld worden, dat de resultaten van de methode Einstein-Barbarossa slecht zijn.

| Plaats   | $Q_{\#} 10^3$<br>[m <sup>3</sup> /s]                           | a<br>[m]                                                     | d <sub>60</sub> 10 <sup>-3</sup><br>[m]                      | C'<br>[m <sup>1/2</sup> /s]                                  | v<br>[m/s]                                                   | $\psi'$                                                          | C / $\sqrt{g}$                                                 | C''<br>[m <sup>1/2</sup> /s]                                 | C<br>[m <sup>1/2</sup> /s]                                   | C <sub>gem.</sub><br>[m <sup>1/2</sup> /s] | Grenzen<br>C-waarden |
|----------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------|
| Baro     | 7,29<br>6,62<br>4,73<br>2,87<br>2,40                           | 6,98<br>6,63<br>5,10<br>3,57<br>2,96                         | 0,56<br>0,56<br>0,56<br>0,56<br>0,56                         | 93,1<br>92,7<br>90,7<br>87,9<br>86,4                         | 1,24<br>1,17<br>1,00<br>0,74<br>0,63                         | 4,45<br>4,96<br>6,50<br>11,14<br>14,85                           | 12,91<br>12,19<br>10,81<br>8,15<br>7,18                        | 40,4<br>38,2<br>33,9<br>25,5<br>22,5                         | 37,1<br>35,3<br>31,8<br>24,5<br>21,8                         | 30,1                                       | 37 - 22              |
| Shintaku | 25,14<br>21,07<br>16,55<br>5,78<br>5,59<br>2,52                | 12,22<br>11,49<br>10,61<br>5,96<br>5,86<br>3,57              | 1,06<br>1,06<br>1,06<br>1,06<br>1,06<br>1,06                 | 92,5<br>92,1<br>91,4<br>86,9<br>86,8<br>82,9                 | 1,71<br>1,60<br>1,47<br>0,92<br>0,90<br>0,63                 | 4,08<br>4,62<br>5,39<br>12,44<br>12,97<br>24,14                  | 13,59<br>12,60<br>11,83<br>7,63<br>7,52<br>5,80                | 42,6<br>39,5<br>37,1<br>23,9<br>23,6<br>18,2                 | 38,7<br>36,3<br>34,4<br>23,0<br>22,8<br>17,8                 | 28,8                                       | 39 - 18              |
| Idah     | 15,82<br>11,28<br>8,79<br>5,93<br>5,25<br>3,81<br>3,30<br>2,63 | 6,76<br>5,33<br>4,29<br>5,00<br>5,10<br>4,90<br>4,92<br>4,47 | 0,94<br>0,94<br>0,94<br>0,94<br>0,94<br>0,94<br>0,94<br>0,94 | 88,8<br>87,0<br>85,3<br>86,5<br>86,6<br>86,3<br>86,4<br>85,6 | 1,20<br>1,14<br>1,07<br>0,95<br>0,90<br>0,82<br>0,78<br>0,70 | 6,44<br>6,85<br>7,47<br>9,75<br>10,89<br>13,03<br>14,43<br>17,59 | 10,81<br>10,49<br>9,62<br>8,60<br>8,10<br>7,63<br>7,18<br>6,66 | 33,9<br>32,9<br>30,1<br>26,9<br>25,4<br>23,9<br>22,5<br>20,9 | 31,7<br>30,8<br>28,4<br>25,7<br>24,4<br>23,0<br>21,8<br>20,3 | 25,8                                       | 32 - 20              |

$d_{50} = 0,47 \times 10^{-3} \text{ m}$

$d_{50} = 0,83 \times 10^{-3} \text{ m}$

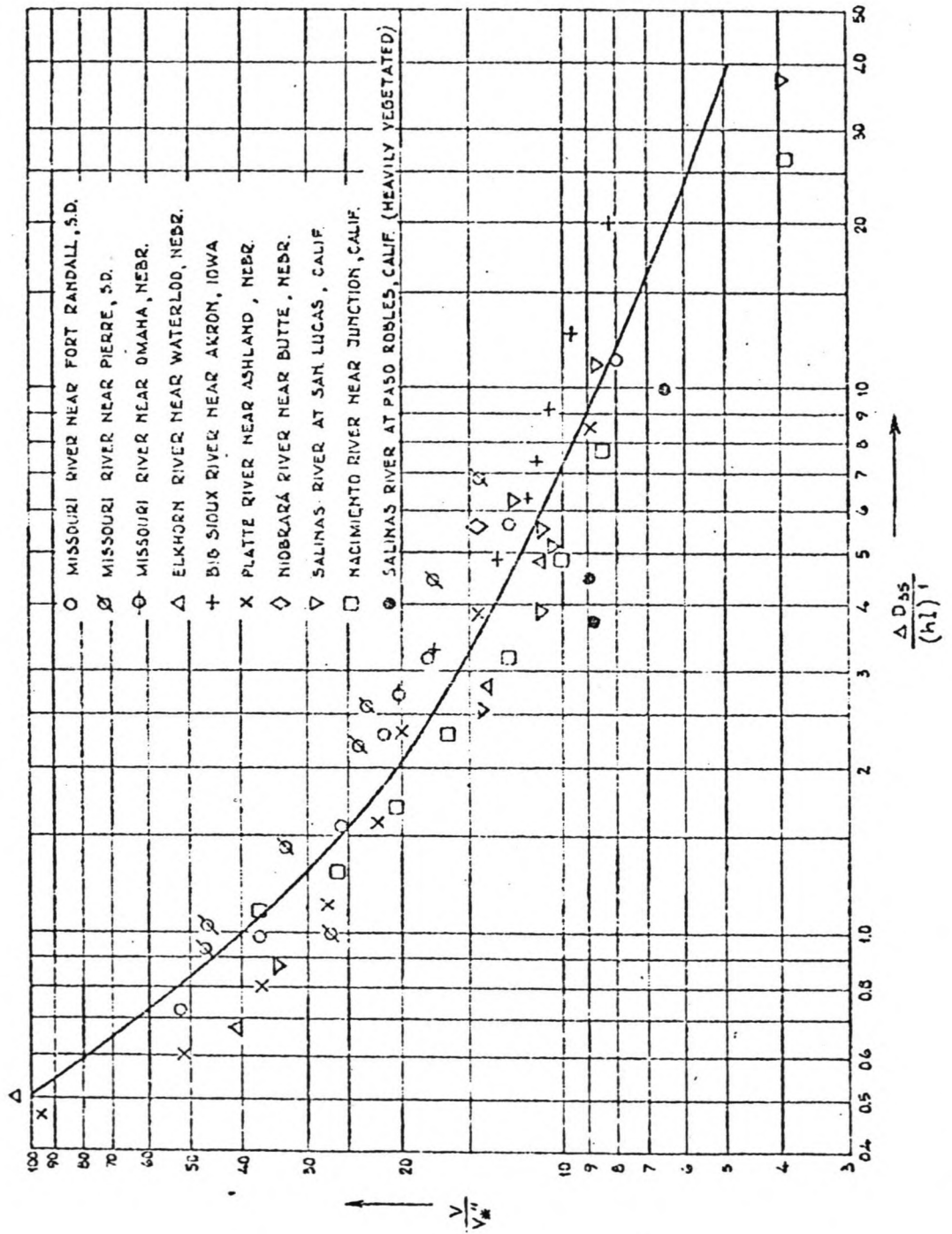
$d_{50} = 0,70 \times 10^{-3} \text{ m}$

TABEL 3 - 2

\*  $\Delta = 1,68$   
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$   
 $C' = 18 \log \frac{12a}{d_{60}}$  en  $\psi' = \frac{(C')^2 \Delta d_{50}}{v_1^2}$  m.b.v. grafiek (zie fig. 3-1) is  $\frac{C''}{\sqrt{g}}$  op te zoeken;  
 $C$  is dan te berekenen uit:  $\frac{1}{C^2} = \frac{1}{(C')^2} + \frac{1}{(C'')^2}$

FIGUUR 3-1

VERBAND TUSSEN  $V/V_*'' = f \{ \Delta D_{35} / (hT)^{1/3} \}$  VOLGENS EINSTEIN - BARBAROSSA (1952)



§ 3-2.3 Engelund - Hansen

Uitgangspunt:  $\tau = \tau' + \tau''$  of  $\phi = \phi' + \phi''$

|          |                                                                |                     |
|----------|----------------------------------------------------------------|---------------------|
| $\tau$   | = de totale schuifspanning                                     | $[\text{kg/m.s}^2]$ |
| $\tau'$  | = de schuifspanning m.b.t. de korrels                          | $[\text{kg/m.s}^2]$ |
| $\tau''$ | = de schuifspanning m.b.t. de beddingvorm                      | $[\text{kg/m.s}^2]$ |
| $\phi$   | = de totale Darcy-Weisbach ruwheidsfactor                      | $[-]$               |
| $\phi'$  | = de Darcy-Weisbach ruwheidsfactor m.b.t. de korrels           | $[-]$               |
| $\phi''$ | = de Darcy-Weisbach ruwheidsfactor m.b.t. de bodem-<br>ruwheid | $[-]$               |

Englund en Hansen stellen dat:  $\phi'' = \alpha \left( \frac{H^2}{aL} \right)$

|          |                                                      |
|----------|------------------------------------------------------|
| $\alpha$ | = een geometrische factor afhankelijk van L, H en a, |
| H        | = de duinhoogte $[\text{m}]$                         |
| L        | = de duinlengte $[\text{m}]$                         |
| a        | = de waterdiepte $[\text{m}]$                        |

Op grond van een hypothese, zie [ 4 ], stelt men:

$$\frac{\tau}{\rho g \Delta d_s} = F \left\{ \frac{\tau'}{\rho g \Delta d_s} \right\}, \quad \text{waardoor de afhankelijkheid met de beddingsvorm eruit gewerkt is.}$$

|          |                                                                  |                   |
|----------|------------------------------------------------------------------|-------------------|
| $\rho$   | = de dichtheid van het water                                     | $[\text{kg/m}^3]$ |
| $g$      | = de versnelling van de zwaartekracht                            | $[\text{m/s}^2]$  |
| $\Delta$ | = $\rho_s - \rho$ , waarin $\rho_s$ is de dichtheid van het zand | $[-]$             |
| $d_s$    | = de maatgevende korreldiameter                                  | $[\text{m}]$      |

Het bovenstaande verband is met behulp van gootmetingen bepaald.  
Zie voor het resultaat figuur 3-2.

Voor het gebied van de duinen werd gevonden:

$$\left( \frac{\tau'}{\rho g \Delta d_s} \right) = 0,06 + 0,4 \left( \frac{\tau}{\rho g \Delta d_s} \right)^2$$

of met  $\tau = \rho g a i$  en  $\theta = \frac{a i}{\Delta d_s}$  :  $\theta' = 0,06 + 0,4 \theta^2$

of  $\theta = \sqrt{2,5 (\theta' - 0,06)}$

Op de volgende manier is de berekening uitgevoerd:

- stel  $d_s = d_{50}$
- neem voor  $d_{65}$  in de oorspronkelijke formule van Engelund en Hansen om  $C'$  te berekenen ( $C' = 18 \log 12 a / 2,5 d_{65}$ )  $d_{60}$ ; dit wordt gedaan omdat gegevens over de  $d_{65}$  in het Nedeco-rapport van 1959 ontbraken.
- bepaal  $\theta' = \frac{a' i}{\Delta d_{50}} = \frac{v^2}{(C')^2 \Delta d_{50}}$  met  $C' = 18 \log \frac{12 a}{2,5 d_{60}}$
- bereken  $\theta = \sqrt{2,5 (\theta' - 0,06)}$
- bereken  $C$ ; uit  $\theta = \frac{a i}{\Delta d_{50}} = \frac{v^2}{C^2 \Delta d_{50}}$  volgt dat

$$C = \sqrt{\frac{v^2}{\theta \Delta d_{50}}}$$

$a$  = de waterdiepte

$v$  = de gemiddelde snelheid

$C$  = de coëfficiënt van Chezy m.b.t. de totale ruwheid

$C'$  = de coëfficiënt van Chezy m.b.t. de korrels

$\Delta = (\rho_s - \rho) / \rho =$  de relatieve dichtheid

[m]

[m/s]

[m<sup>1/2</sup>/s]

[m<sup>1/2</sup>/s]

[-]

|          |                                                                                           |                   |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| $\rho_s$ | = de dichtheid van het sediment                                                           | $[\text{kg/m}^3]$ |
| $\rho$   | = de dichtheid van het water                                                              | $[\text{kg/m}^3]$ |
| $d_{50}$ | = de korreldiameter, waarbij 50% (gewichtsperscentage) kleiner is dan de betreffende maat | $[\text{m}]$      |
| $d_{60}$ | = de korreldiameter waarbij 60% (gewichtsperscentage) kleiner is dan de betreffende maat. | $[\text{m}]$      |

De totale ruwheid ( $C$ ) wordt bij de methode Engelund-Hansen dus direct uit de korrelruwheid ( $C'$ ) bepaald.

Bij lage snelheden en dus lage waarden van  $\theta'$  ( $\theta' < 0,064$ ) mag  $\theta$  niet worden berekend met de formule  $\theta = \sqrt{2,5(\theta' - 0,06)}$ . Voor  $\theta' < 0,064$  komt men buiten het gebied waarin Engelund-Hansen gemeten hebben.

Om dit bezwaar te ondervangen is ervan uitgegaan, dat er tussen het punt  $(\theta', \theta) = (0,064, 0,1)$  in de grafiek van Engelund-Hansen en het punt van begin van ontstaan van ribbels een lineair verband bestaat tussen  $\theta$  en  $\theta'$ . Deze aanname zal geen grote fouten in de  $C$ -waarde berekening veroorzaken, omdat het aangenomen verband tussen  $\theta$  en  $\theta'$  zich over een klein gebied uitstrekt. (zie figuur 3-2).

Voor het punt van begin van ribbelvorming is de waarde  $\theta = 0,03$  aangehouden. Dit komt overeen met het punt voor begin van beweging volgens Shields ( $\theta = 0,02$  à  $0,03$ ). Wanneer de ribbels juist beginnen te ontstaan is het rivierbed bij benadering nog vlak; zodat geldt  $\theta = \theta' = 0,03$ .

De vergelijking van de rechte lijn die door de 2 bekende punten  $(\theta, \theta') = (0,1, 0,064)$  en  $(\theta, \theta') = (0,03, 0,03)$  gaat, wordt als volgt bepaald:

$$\begin{aligned}\theta &= a \theta' + b ; \text{ hier volgt: } 0,1 = 0,064 a + b \\ 0,03 &= 0,03 a + b\end{aligned}$$

Uit de vergelijkingen met 2 onbekenden zijn  $a$  en  $b$  op te lossen.

Sustitie in  $\theta = a \theta' + b$  geeft de vergelijking:

$$\theta = 2,06 \theta' - 0,032$$



Samenvattend kan men  $\theta$  als volgt berekenen:

- 1)  $\theta' > 0,064 \rightarrow \theta = \sqrt{2,5 (\theta' - 0,06)}$
- 2)  $0,03 < \theta' \leq 0,064 \rightarrow \theta = 2,06 \theta' - 0,032$
- 3)  $\theta' \leq 0,03 \rightarrow$  vlak bed.

In geval 1) en 2) wordt C uit  $C = \sqrt{\frac{v^2}{\theta \Delta d_{50}}}$  berekend.

In geval 3) wordt C uit  $C = 18 \log \frac{12 a}{2,5 d_{60}}$  berekend.

Wanneer we de uitkomsten van de berekeningen bekijken (zie tabel 3-3) en deze vergelijken met de gemeten C-waarden (zie tabel 3-1), dan blijkt dat de berekende C-waarden voor Baru en Shintaku wat te hoog zijn. Voor Idah zijn de berekende C-waarden wat te laag. De resultaten van de berekeningen met de methode Englund-Hansen zijn echter veel beter dan die van de berekeningen met de methode Einstein-Barbarossa.

C - waarde berekening volgens Englund - Hansen:

| Plaats          | $Q_{\#} 10^3$<br>[ $\frac{m^3}{s}$ ] | a<br>[m] | $d_{60} \cdot 10^{-3}$<br>[m] | $C'$<br>[ $\frac{m^{\frac{1}{3}}}{s}$ ] | v<br>[m/s] | $\theta'$ | $\theta$ | C<br>[ $\frac{m^{\frac{1}{3}}}{s}$ ] | C gem.<br>[ $\frac{m^{\frac{1}{3}}}{s}$ ] | Grenzen<br>C-waarden |
|-----------------|--------------------------------------|----------|-------------------------------|-----------------------------------------|------------|-----------|----------|--------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|
| Baro            | 7,29                                 | 6,98     | 0,56                          | 86,0                                    | 1,24       | 0,26      | 0,71     | 52,4                                 | 48,7                                      | 52 - 45              |
|                 | 6,62                                 | 6,63     | 0,56                          | 85,6                                    | 1,17       | 0,24      | 0,67     | 50,9                                 |                                           |                      |
|                 | 4,73                                 | 5,10     | 0,56                          | 83,5                                    | 1,00       | 0,18      | 0,55     | 48,0                                 |                                           |                      |
|                 | 2,87                                 | 3,57     | 0,56                          | 80,7                                    | 0,74       | 0,11      | 0,35     | 44,5                                 |                                           |                      |
|                 | 2,40                                 | 2,96     | 0,56                          | 79,3                                    | 0,63       | 0,08      | 0,22     | 47,8                                 |                                           |                      |
| Shintaku        | 25,14                                | 12,22    | 1,06                          | 85,4                                    | 1,71       | 0,29      | 0,76     | 52,5                                 | 48,7                                      | 53 - 44              |
|                 | 21,07                                | 11,49    | 1,06                          | 84,9                                    | 1,60       | 0,25      | 0,69     | 51,6                                 |                                           |                      |
|                 | 16,55                                | 10,61    | 1,06                          | 84,3                                    | 1,47       | 0,22      | 0,63     | 49,6                                 |                                           |                      |
|                 | 5,78                                 | 5,96     | 1,06                          | 79,8                                    | 0,92       | 0,10      | 0,32     | 43,6                                 |                                           |                      |
|                 | 5,59                                 | 5,86     | 1,06                          | 79,6                                    | 0,90       | 0,09      | 0,27     | 46,4                                 |                                           |                      |
| Idah            | 2,52                                 | 3,57     | 1,06                          | 75,8                                    | 0,63       | 0,05      | 0,07     | 63,7                                 | 46,2                                      | 51 - 44              |
|                 | 15,82                                | 6,76     | 0,94                          | 81,7                                    | 1,20       | 0,18      | 0,55     | 47,2                                 |                                           |                      |
|                 | 11,28                                | 5,33     | 0,94                          | 79,8                                    | 1,14       | 0,17      | 0,52     | 46,1                                 |                                           |                      |
|                 | 8,79                                 | 4,29     | 0,94                          | 78,1                                    | 1,07       | 0,16      | 0,50     | 44,1                                 |                                           |                      |
|                 | 5,93                                 | 5,00     | 0,94                          | 79,3                                    | 0,95       | 0,12      | 0,35     | 46,8                                 |                                           |                      |
| $\Delta = 1,68$ | 5,25                                 | 5,10     | 0,94                          | 79,5                                    | 0,90       | 0,11      | 0,35     | 44,4                                 | 46,2                                      | 51 - 44              |
|                 | 3,81                                 | 4,90     | 0,94                          | 79,2                                    | 0,82       | 0,09      | 0,27     | 46,0                                 |                                           |                      |
|                 | 3,30                                 | 4,92     | 0,94                          | 79,2                                    | 0,78       | 0,09      | 0,27     | 43,8                                 |                                           |                      |
|                 | 2,62                                 | 4,47     | 0,94                          | 78,5                                    | 0,70       | 0,07      | 0,16     | 51,0                                 |                                           |                      |
|                 |                                      |          |                               |                                         |            |           |          |                                      |                                           |                      |

$\Delta = 1,68$

Baro:  $d_{50} = 0,47 \cdot 10^{-3} \text{ m}$   
Shintaku:  $d_{50} = 0,83 \cdot 10^{-3} \text{ m}$   
Idah:  $d_{50} = 0,70 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

\*  $\theta$  berekent uit:  $\theta = 2,06 \theta' - 0,032$

$$C' = 18 \log \frac{12 a}{2,5 d_{60}}$$

$$\theta' = \frac{v^2}{(C')^2 \Delta d_{50}}$$

$$\text{via } \theta = \sqrt{2,5 (\theta' - 0,06)}$$

wordt  $\theta$  berekend, uit

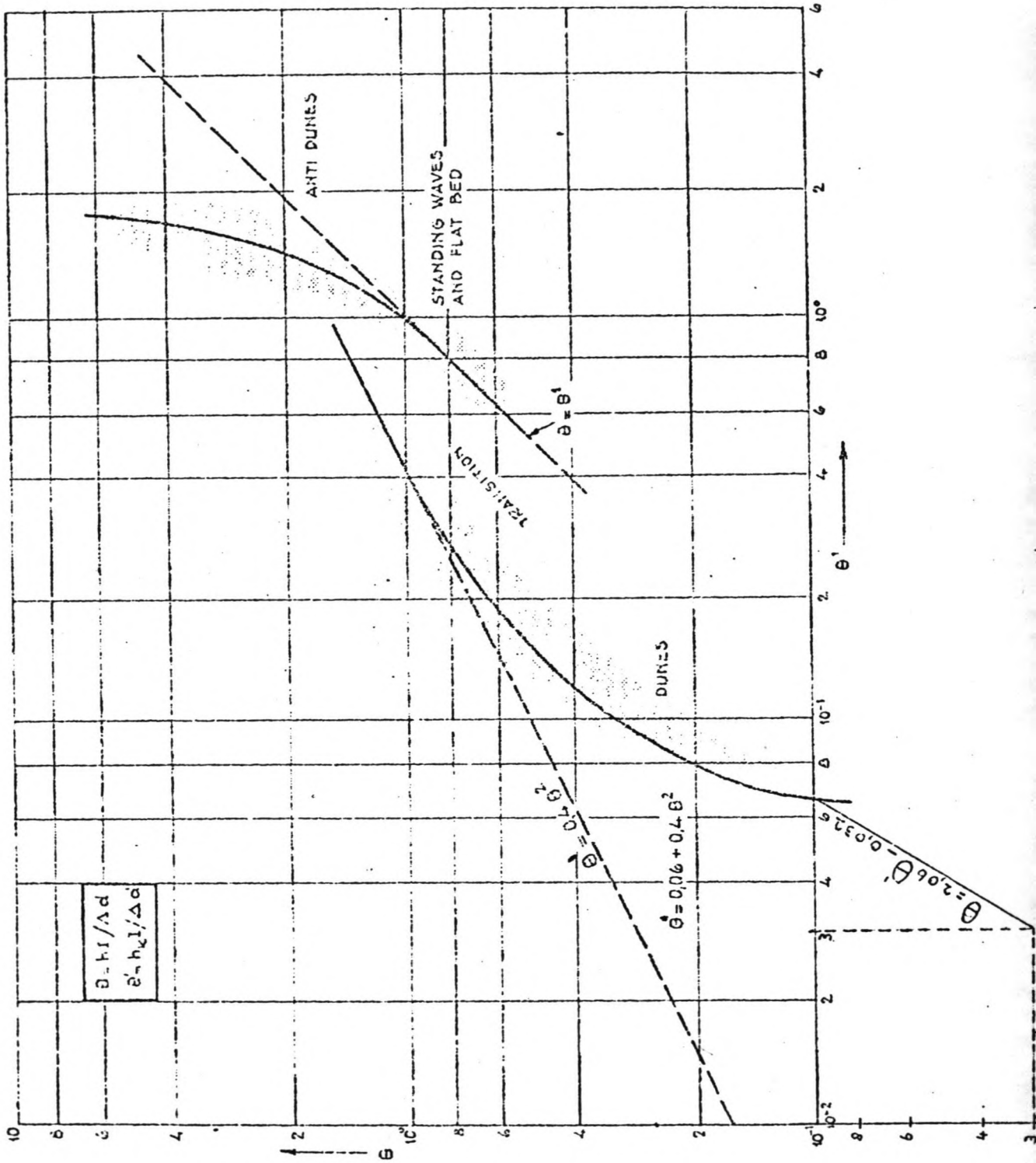
$C = \sqrt{\frac{v^2}{\theta \Delta d_{50}}}$

volgt C.

- 120 -

FIGUUR 3-2

ALLUVIALE RUWHEID VOLGENS ENGELUND-HANSEN



§ 3-2.4 Lovera - Kenedy / Alam - Kenedy

Uitgangspunt:

|       |                                                     |               |
|-------|-----------------------------------------------------|---------------|
| $f$   | = de Darcy-Weisbach ruwheidsfactor                  | $[-]$         |
| $C$   | = de coëfficiënt van Chezy m.b.t. de totale ruwheid | $[m^{1/2}/s]$ |
| $g$   | = de zwaartekrachtversnelling                       | $[m/s^2]$     |
| $f'$  | = de ruwheidsfactor m.b.t. de korrels               | $[-]$         |
| $f''$ | = de ruwheidsfactor m.b.t. de beddingvorm           | $[-]$         |

De  $f'$  wordt bepaald met de figuur van Lovera-Kenedy, zie figuur 3-3. Zij stellen  $f'$  afhankelijk van  $R/d_{50}$  en  $v R/\nu$ , dus  $f' = f\{R/d_{50}, Re\}$ . De figuur van Lovera-Kenedy ontstond uit zowel goot- als riviermetingen.

|          |                                                                                           |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| $v$      | = de gemiddelde snelheid                                                                  | $[m/s]$   |
| $R$      | = de hydraulische straal                                                                  | $[m]$     |
| $\nu$    | = de kinematische viscositeit                                                             | $[m^2/s]$ |
| $d_{50}$ | = de korreldiameter, waarbij 50% (gewichtsperscentage) kleiner is dan de betreffende maat | $[m]$     |

De  $f''$  is volgens Alam-Kenedy afhankelijk van  $R/d_{50}$  en  $v/\sqrt{g d_{50}}$ , dus  $f'' = f\{R/d_{50}, v/\sqrt{g d_{50}}\}$ .

Met behulp van goot- en riviermetingen heeft men bovenstaande afhankelijkheid getoetst, wat figuur 3-4 als resultaat opleverde.

Voor grote waarden van  $R/d_{50}$  is  $f'' = f\{v/\sqrt{g d_{50}}\}$  de lijnen voor  $v/\sqrt{g d_{50}}$  lopen dan immers horizontaal.

Op de volgende manier wordt met de figuren van Alam-Kenedy en Lovera-Kenedy gewerkt:

- bepaal  $R / d_{50} = a / d_{50}$  en  $Re = v R / \nu = v a / \nu$  uit de gemeten waarden voor  $a$ ,  $v$  en  $d_{50}$ ;
- met behulp van de figuur van Lovera-Kenedy wordt  $f'$  opgezocht;
- bepaal  $v / \sqrt{g d_{50}}$
- met behulp van de figuur van Alam-Kenedy, wordt  $f''$  opgezocht;
- $f$  wordt berekend uit:  $f = f' + f''$
- uit  $C = \sqrt{8g/f}$  wordt de C-waarde berekend

In de meeste gevallen bleek, dat  $Re = v a / \nu$  te groot is, om met behulp van de figuur van Lovera-Kenedy een  $f'$ -waarde te bepalen (zie tabel 3-4). Daarom is  $f'$  op een tweetal andere manieren bepaald, namelijk met:

$$1 \quad f' = \frac{2g}{(C')^2} \quad \text{met} \quad C' = 18 \log \frac{12a}{2,5 d_{65}}$$

volgens Englund- Hansen; voor  $d_{65}$  is de waarde van  $d_{60}$  genomen.

$$2 \quad f' = \frac{8g}{(C')^2} \quad \text{volgens Darcy-Weisbach met} \quad 18 \log \frac{12a}{d_{90}}$$

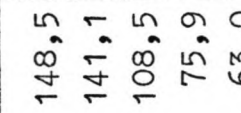
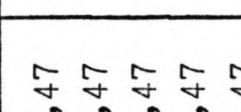
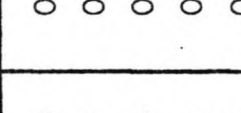
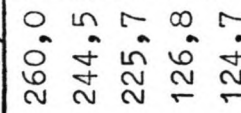
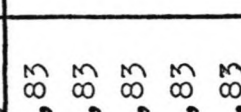
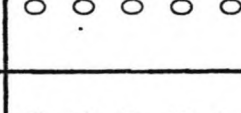
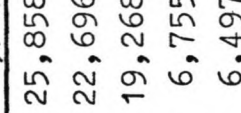
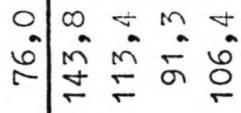
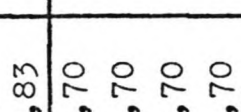
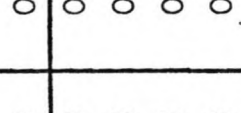
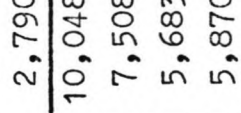
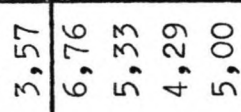
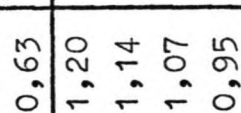
Voor de resultaten van de  $f''$ -waarde zie tabel 3-4; voor de resultaten van de  $f'$ - en de C-waarden zie de tabellen 3-5 en 3-6.

Wanneer we de resultaten in de tabellen 3-5 en 3-6 met de gemeten C-waarden (tabel 3-1) vergelijken, blijkt dat beide methoden voor alle drie de plaatsen te lage C-waarden geven, met uitzondering van de methode Alam-Kenedy 1 voor de plaats Baro bij hoge afvoeren waar de berekende C-waarden wat te hoog zijn.

In het algemeen kan men stellen dat de 2 methoden voor de plaatsen Baro en Shintaku bij de hogere afvoeren nog enigszins redelijke resultaten geven. Naarmate de afvoeren lager zijn, worden de resultaten ook slechter. Voor Idah zijn de berekende C-waarden voor alle afvoeren wat te laag.

Voor een totaal overzicht van de 4 toegepaste methoden om de C-waarde te berekenen, wordt verwezen naar tabel 3-7 (blz.129).

C - waarde bepaling volgens Lovera - Kenedy / Alam - Kenedy:

| Plaats   | $Q \cdot 10^3$<br>[m <sup>3</sup> /s] | v<br>[m/s] | R=a<br>[m] | $Re = \frac{vR}{\nu}$<br>$10^6 \cdot \nu$ | $d_{50} \cdot 10^{-3}$<br>[m] | R/d <sub>50</sub><br>* 10 <sup>2</sup> | $\phi'$                                                                              | R/d <sub>50</sub><br>* 10 <sup>2</sup> | $\frac{v}{\sqrt{g d_{50}}}$ | $\phi''$ | $\phi = \phi' + \phi''$ | $C = \sqrt{\frac{8g}{\phi}}$ |
|----------|---------------------------------------|------------|------------|-------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|----------|-------------------------|------------------------------|
| Baro     | 7,29                                  | 1,24       | 6,98       | 10,660                                    | 0,47                          | 148,5                                  |     | 148,5                                  | 18,2                        | 0,034    |                         |                              |
|          | 6,62                                  | 1,71       | 6,63       | 9,577                                     | 0,47                          | 141,1                                  |    | 141,1                                  | 17,2                        | 0,037    |                         |                              |
|          | 4,73                                  | 1,00       | 5,10       | 6,296                                     | 0,47                          | 108,5                                  |   | 108,5                                  | 14,7                        | 0,047    |                         |                              |
|          | 2,87                                  | 0,74       | 3,57       | 3,275                                     | 0,47                          | 75,9                                   | 0,014                                                                                | 75,9                                   | 10,9                        | 0,073    | 0,087                   | 30,0                         |
|          | 2,40                                  | 0,63       | 2,96       | 2,313                                     | 0,47                          | 63,0                                   |   | 63,0                                   | 9,3                         | 0,087    |                         |                              |
| Shintaku | 25,14                                 | 1,71       | 12,22      | 25,858                                    | 0,83                          | 260,0                                  |     | 260,0                                  | 19,0                        | 0,034    |                         |                              |
|          | 21,07                                 | 1,60       | 11,49      | 22,696                                    | 0,83                          | 244,5                                  |    | 244,5                                  | 17,7                        | 0,039    |                         |                              |
|          | 16,55                                 | 1,47       | 10,61      | 19,268                                    | 0,83                          | 225,7                                  |   | 225,7                                  | 16,3                        | 0,045    |                         |                              |
|          | 5,78                                  | 0,92       | 5,96       | 6,755                                     | 0,83                          | 126,8                                  |   | 126,8                                  | 10,2                        | 0,080    |                         |                              |
|          | 5,59                                  | 0,90       | 5,86       | 6,497                                     | 0,83                          | 124,7                                  |   | 124,7                                  | 10,0                        | 0,080    |                         |                              |
| Idah     | 2,52                                  | 0,63       | 3,57       | 2,790                                     | 0,83                          | 76,0                                   | 0,011                                                                                | 76,0                                   | 7,0                         | 0,124    | 0,135                   | 24,1                         |
|          | 15,82                                 | 1,20       | 6,76       | 10,048                                    | 0,70                          | 143,8                                  |    | 143,8                                  | 14,5                        | 0,05     |                         |                              |
|          | 11,28                                 | 1,14       | 5,33       | 7,508                                     | 0,70                          | 113,4                                  |   | 113,4                                  | 13,8                        | 0,052    |                         |                              |
|          | 8,79                                  | 1,07       | 4,29       | 5,683                                     | 0,70                          | 91,3                                   |  | 91,3                                   | 12,9                        | 0,057    |                         |                              |
|          | 5,93                                  | 0,95       | 5,00       | 5,870                                     | 0,70                          | 106,4                                  |  | 106,4                                  | 11,5                        | 0,069    |                         |                              |
|          | 5,25                                  | 0,90       | 5,10       | 5,730                                     | 0,70                          | 108,5                                  |  | 108,5                                  | 10,9                        | 0,073    |                         |                              |
|          | 3,81                                  | 0,82       | 4,90       | 4,960                                     | 0,70                          | 104,3                                  |  | 104,3                                  | 9,9                         | 0,083    |                         |                              |
|          | 3,30                                  | 0,78       | 4,92       | 4,713                                     | 0,70                          | 104,7                                  |  | 104,7                                  | 9,4                         | 0,086    |                         |                              |
|          | 2,63                                  | 0,70       | 4,47       | 3,874                                     | 0,70                          | 95,1                                   | 0,014                                                                                | 95,1                                   | 8,4                         | 0,096    | 0,110                   | 26,7                         |
|          |                                       |            |            |                                           |                               |                                        |                                                                                      |                                        |                             |          |                         |                              |

\*  $V = 0,81 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$   :  $Re > 6 \cdot 10^6$   
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$   :  $Re \leq 6 \cdot 10^6$  maar valt buiten de lijnen van  $R/d_{50} \cdot 10^{-2}$

TABEL 3 - 4



C - waarde berekening volgens Alam - Kenedy 1:

| Plaats   | $Q_{\#} 10^3$<br>[m <sup>3</sup> /s] | a<br>[m] | d60 $10^{-3}$<br>[m] | C'<br>[m <sup>1/2</sup> /s] | $f'$   | $f''$ | $f$    | C<br>[m <sup>1/2</sup> /s] | C gem.<br>[m <sup>1/2</sup> /s] | Grenzen<br>C-waarden |
|----------|--------------------------------------|----------|----------------------|-----------------------------|--------|-------|--------|----------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Baro     | 7,29                                 | 6,98     | 0,56                 | 86,0                        | 0,0027 | 0,034 | 0,0367 | 46,3                       | 38,4                            | 46 - 30              |
|          | 6,62                                 | 6,63     | 0,56                 | 85,6                        | 0,0027 | 0,037 | 0,0367 | 44,5                       |                                 |                      |
|          | 4,73                                 | 5,10     | 0,56                 | 83,5                        | 0,0028 | 0,047 | 0,0498 | 39,7                       |                                 |                      |
|          | 2,87                                 | 3,57     | 0,56                 | 80,7                        | 0,0030 | 0,073 | 0,076  | 32,1                       |                                 |                      |
|          | 2,40                                 | 2,96     | 0,56                 | 79,3                        | 0,0031 | 0,087 | 0,0901 | 29,5                       |                                 |                      |
| Shintaku | 25,14                                | 12,22    | 1,06                 | 85,4                        | 0,0027 | 0,034 | 0,0367 | 46,3                       | 36,1                            | 46 - 25              |
|          | 21,07                                | 11,49    | 1,06                 | 84,9                        | 0,0027 | 0,039 | 0,0417 | 43,4                       |                                 |                      |
|          | 16,55                                | 10,61    | 1,06                 | 84,3                        | 0,0028 | 0,045 | 0,0478 | 40,5                       |                                 |                      |
|          | 5,78                                 | 5,96     | 1,06                 | 79,8                        | 0,0031 | 0,080 | 0,0831 | 30,7                       |                                 |                      |
|          | 5,59                                 | 5,86     | 1,06                 | 79,6                        | 0,0031 | 0,080 | 0,0831 | 30,7                       |                                 |                      |
| Idah     | 2,52                                 | 3,57     | 1,06                 | 75,8                        | 0,0034 | 0,124 | 0,1274 | 24,8                       | 33,2                            | 39 - 28              |
|          | 15,82                                | 6,76     | 0,94                 | 81,7                        | 0,0029 | 0,05  | 0,0529 | 38,5                       |                                 |                      |
|          | 11,28                                | 5,33     | 0,94                 | 79,8                        | 0,0031 | 0,052 | 0,0551 | 37,7                       |                                 |                      |
|          | 8,79                                 | 4,29     | 0,94                 | 78,1                        | 0,0032 | 0,057 | 0,0602 | 36,1                       |                                 |                      |
|          | 5,93                                 | 5,00     | 0,94                 | 79,3                        | 0,0031 | 0,069 | 0,0721 | 33,0                       |                                 |                      |
|          | 5,25                                 | 5,10     | 0,94                 | 79,5                        | 0,0031 | 0,073 | 0,0761 | 32,1                       |                                 |                      |
|          | 3,81                                 | 4,90     | 0,94                 | 79,2                        | 0,0031 | 0,083 | 0,0861 | 30,2                       |                                 |                      |
|          | 3,30                                 | 4,92     | 0,94                 | 79,2                        | 0,0031 | 0,086 | 0,0891 | 29,7                       |                                 |                      |
|          | 2,63                                 | 4,47     | 0,94                 | 78,5                        | 0,0032 | 0,096 | 0,0992 | 28,1                       |                                 |                      |

$$f' = \frac{2g}{(C')^2} \text{ met}$$

$$C' = 18 \log \frac{12a}{2,5d_{60}}$$

$$f'' \text{ met de grafiek van Alam-Kenedy (zie fig. 3-4)}$$

$$f = f' + f''$$

$$C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$$

\*  $g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$



| Plaats   | $Q \cdot 10^3$<br>[m <sup>3</sup> /s] | a<br>[m] | $d_{90} \cdot 10^{-3}$<br>[m] | $C'$<br>[m <sup>1/2</sup> /s] | $f'$   | $f''$ | $f$    | $C$<br>[m <sup>1/2</sup> /s] | C gem.<br>[m <sup>1/2</sup> /s] | Grenzen<br>C-waarden |
|----------|---------------------------------------|----------|-------------------------------|-------------------------------|--------|-------|--------|------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Baro     | 7,29                                  | 6,98     | 1,35                          | 86,3                          | 0,0105 | 0,034 | 0,0445 | 42,0                         | 35,6                            | 42 - 28              |
|          | 6,62                                  | 6,63     | 1,35                          | 85,9                          | 0,0106 | 0,037 | 0,0476 | 40,6                         |                                 |                      |
|          | 4,73                                  | 5,10     | 1,35                          | 83,8                          | 0,0111 | 0,047 | 0,0581 | 36,8                         |                                 |                      |
|          | 2,87                                  | 3,57     | 1,35                          | 81,0                          | 0,0120 | 0,073 | 0,0850 | 30,4                         |                                 |                      |
|          | 2,40                                  | 2,96     | 1,35                          | 79,6                          | 0,0124 | 0,087 | 0,0994 | 28,1                         |                                 |                      |
| Shintaku | 25,14                                 | 12,22    | 3,19                          | 83,9                          | 0,0111 | 0,034 | 0,0451 | 41,7                         | 33,4                            | 42 - 24              |
|          | 21,07                                 | 11,49    | 3,19                          | 83,4                          | 0,0113 | 0,039 | 0,0503 | 39,5                         |                                 |                      |
|          | 16,55                                 | 10,61    | 3,19                          | 82,8                          | 0,0114 | 0,045 | 0,0564 | 37,3                         |                                 |                      |
|          | 5,78                                  | 5,96     | 3,19                          | 78,3                          | 0,0128 | 0,080 | 0,0928 | 29,1                         |                                 |                      |
|          | 5,59                                  | 5,86     | 3,19                          | 78,2                          | 0,0128 | 0,080 | 0,0928 | 29,1                         |                                 |                      |
| Idah     | 2,52                                  | 3,57     | 3,19                          | 74,3                          | 0,0142 | 0,124 | 0,1382 | 23,8                         | 31,2                            | 36 - 27              |
|          | 15,82                                 | 6,76     | 2,18                          | 82,3                          | 0,0116 | 0,05  | 0,0616 | 35,7                         |                                 |                      |
|          | 11,28                                 | 5,33     | 2,18                          | 80,4                          | 0,0121 | 0,052 | 0,0641 | 35,0                         |                                 |                      |
|          | 8,79                                  | 4,29     | 2,18                          | 78,7                          | 0,0127 | 0,057 | 0,0697 | 33,6                         |                                 |                      |
|          | 5,93                                  | 5,00     | 2,18                          | 79,9                          | 0,0123 | 0,069 | 0,0813 | 31,1                         |                                 |                      |
|          | 5,25                                  | 5,10     | 2,18                          | 80,1                          | 0,0122 | 0,073 | 0,0852 | 30,3                         |                                 |                      |
|          | 3,81                                  | 4,90     | 2,18                          | 79,8                          | 0,0123 | 0,083 | 0,0953 | 28,7                         |                                 |                      |
|          | 3,30                                  | 4,92     | 2,18                          | 79,8                          | 0,0123 | 0,086 | 0,0983 | 28,3                         |                                 |                      |
|          | 2,63                                  | 4,47     | 2,18                          | 79,0                          | 0,0126 | 0,096 | 0,1086 | 26,9                         |                                 |                      |
|          |                                       |          |                               |                               |        |       |        |                              |                                 |                      |

$$f' = \frac{8g}{(C')^2} \text{ met}$$

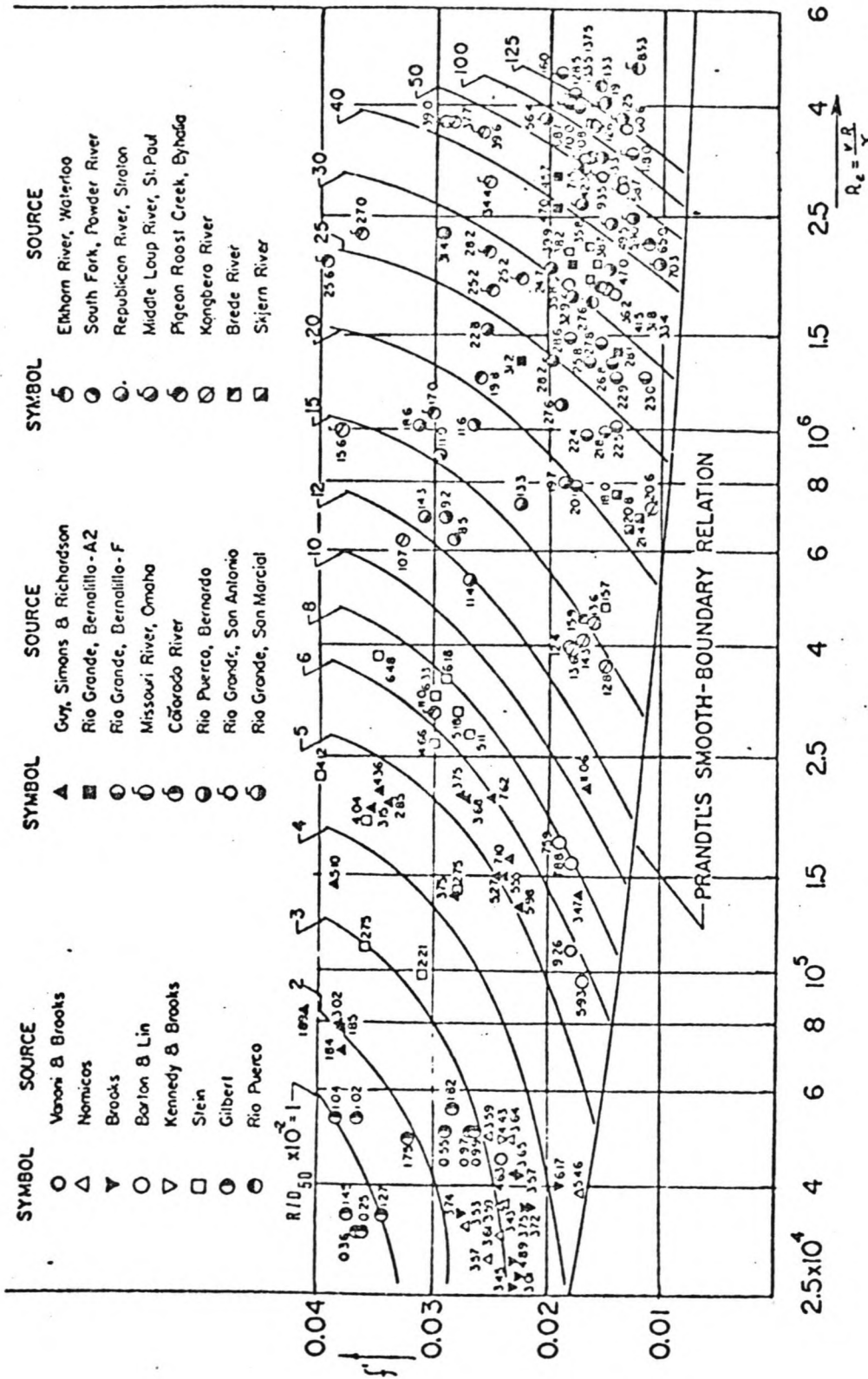
$$C' = 18 \log \frac{12g}{d_{90}}$$

$f''$  met de grafiek van Alam - Kenedy (3-4)

$$f = f' + f''$$

$$C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$$

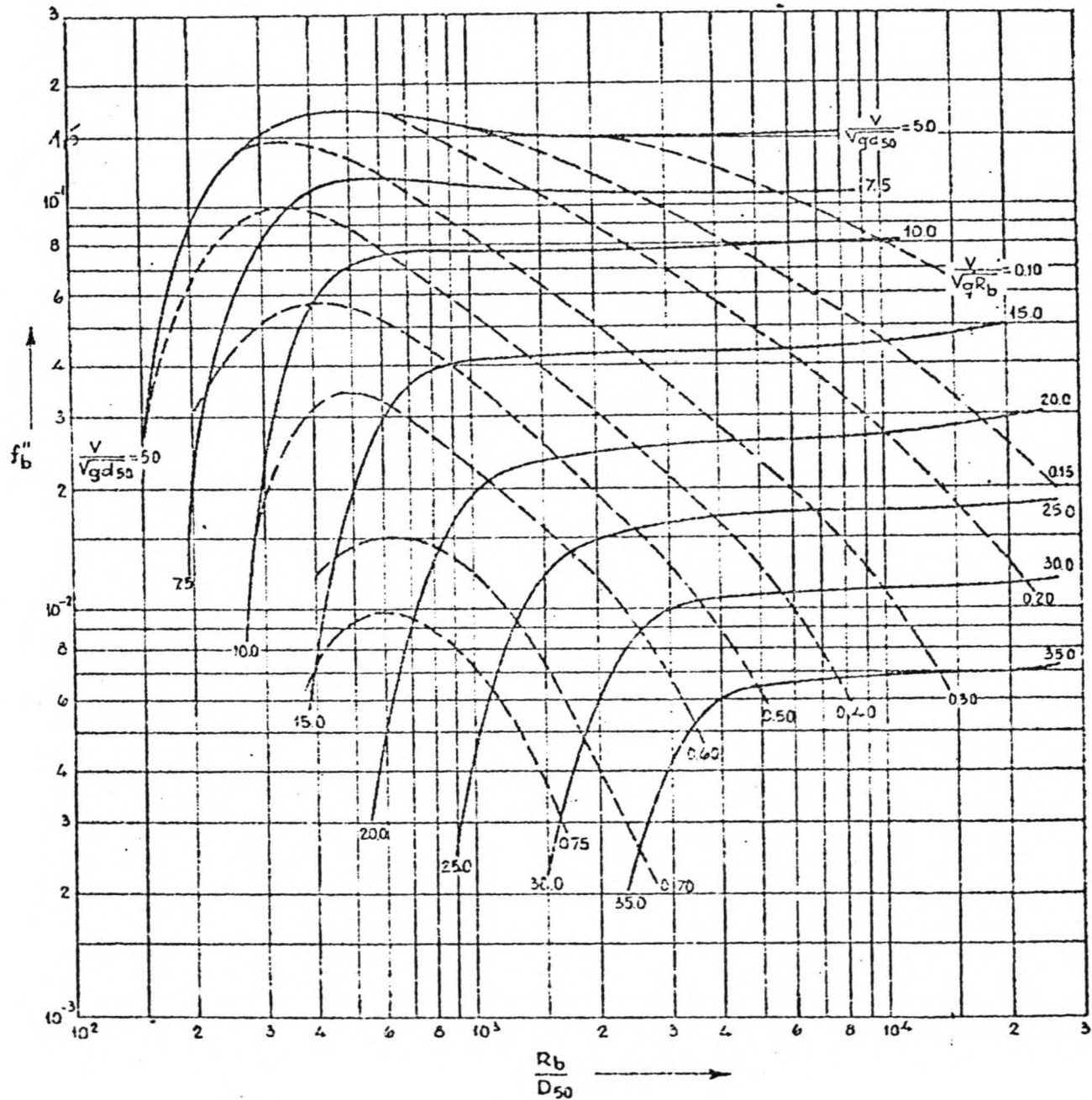
FIGUUR 3.3



Verloop van Darcy - Weisbach ruwheidsfactor  $f'$  voor vlak bed met zandtransport. (Lovera en Kennedy, zie A.S.C.E. 1971<sup>a</sup>) Lijnen van gelijke  $R/D_{50}$

FIGUUR 3-4

VERBAND  $f'' = F \left\{ R/d_{50} ; v/\sqrt{gd_{50}} \right\}$  VOLGENS ALAM-KENNEDY (1969)



Vergelijkingstabel C-waarden berekeningen:

| Plaats   | Nedeco-rapport<br>max-min. | C<br>gemeten | Einstein-<br>Barbarossa | Engelund-<br>Hansen | Alam-<br>Kenedy 1 | Alam-<br>Kenedy 2 |
|----------|----------------------------|--------------|-------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| Baro     | 45 - 39                    | 43 - 39      | 37 - 22                 | 52 - 45             | 46 - 30           | 42 - 28           |
| Shintaku | 50 - 42                    | 49 - 43      | 39 - 18                 | 53 - 44             | 46 - 25           | 42 - 24           |
| Idah     | 60 - 46                    | 53 - 51      | 32 - 20                 | 51 - 44             | 39 - 28           | 36 - 27           |

Einstein - Barbarosse:  $C' = 18 \log (12a/d60)$ ,  $\psi' = (C')^2 \Delta d50 / v^2$ ; m.b.v. grafiek, zie Pg. 3-1 is  $C'/\sqrt{g}$  op te zoeken,  $C''$  kan berekend worden en m.b.v.  $1/C^2 = 1/(C')^2 + 1/(C'')^2$  is  $C$  te berekenen.

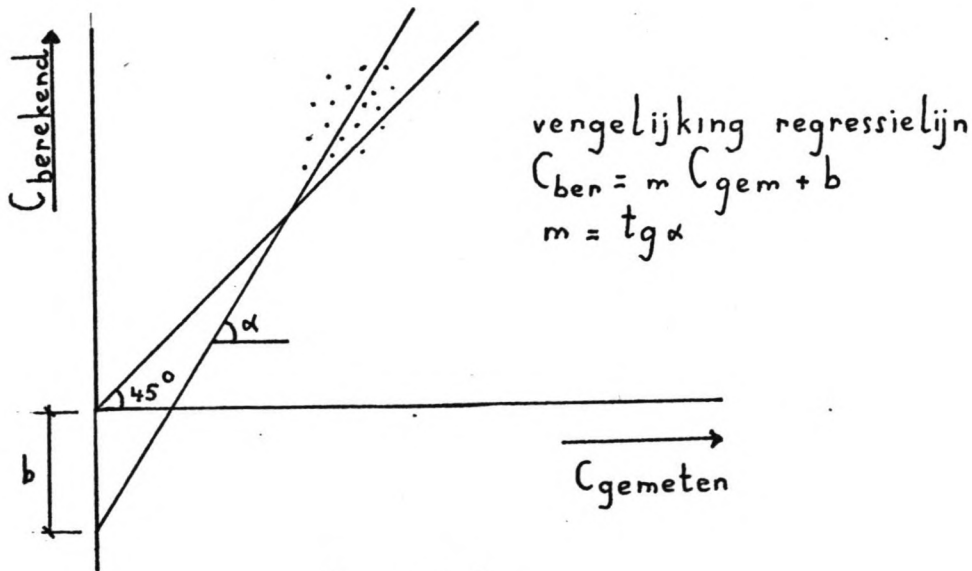
Engelund - Hansen:  $C' = 18 \log (12a/2,5 d60)$ ,  $\theta' = v^2 / (C')^2 \Delta d50$  via de formule  $\theta = \sqrt{2,5} (\theta' - 0,06)$  is  $\theta$  te berekenen, uit de formule  $C = \sqrt{v^2 / \theta \Delta d50}$  is  $C$  te berekenen

Alam - Kenedy 1:  $C' = 18 \log (12a/2,5 d60)$ ,  $f' = 2g/(C')^2$ , m.b.v. grafiek, zie Pg. 3-4, is  $f''$  op te zoeken,  $f = f' + f''$ , met de formule  $C = \sqrt{8g/f}$  is de  $C$  te berekenen.

Alam - Kenedy 2:  $C' = 18 \log (12a/d60)$ ,  $f' = 8g/(C')^2$ , m.b.v. grafiek, zie Pg. 3-4, is  $f''$  op te zoeken,  $f = f' + f''$ , met de formule  $C = \sqrt{8g/f}$  is de  $C$  te berekenen.

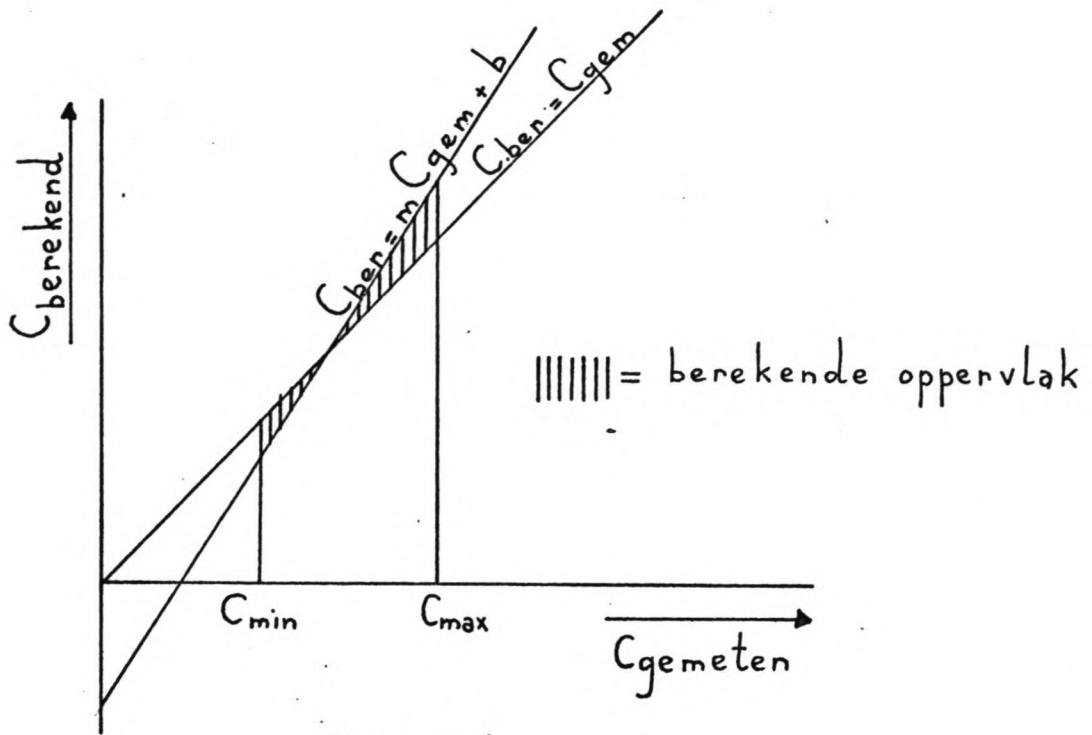
§ 3-3 Keuze methode C-waarden bepaling.

Het is moeilijk om op grond van de vergelijkingstabel (tabel 3-7) uit de vier methoden, de methode te kiezen die het beste de gemeten C-waarden benadert. Daarom wordt met behulp van de lineaire regressie de richtingscoëfficiënt  $m$  van de regressielijn en het stuk  $b$  door de regressielijn van de vertikale as afgesneden, bepaald. Zie figuur 3-5.



figuur 3-5

Niet alleen de richtingscoëfficiënt  $m$  is bepalend voor de keuze van de beste methode. Ook de grote van  $b$  is van invloed. Dus de combinatie van  $m$  en  $b$  is bepalend voor de keuze van de beste methode. Er kan dan ook voor iedere methode het oppervlak worden bepaald tussen de lijn met  $m=1$  en  $b=0$  en de berekende regressielijn. Als grenzen bij de oppervlakte berekening kunnen de maximale en minimale gemeten C-waarden worden genomen (zie fig. 3-6).



figuur 3-6

De methode die het kleinste oppervlak geeft, is de beste methode. Hierbij moet wel worden opgemerkt, dat deze manier eigenlijk alleen juist is, wanneer de absolute waarde van de correlatie-coëfficiënten, die bij de berekende regressie-lijnen behoren in de buurt van de waarde 1 liggen. Naarmate deze verder van de waarde 1 afwijken is de benadering met rechte regressie-lijnen minder juist.

Voor de berekende correlatiecoëfficiënten ( $r$ ), de richtingscoëfficiënten ( $m$ ) en het stuk afgesneden van de  $C_{\text{berekend}}$ -as, zie tabellen 3-8 en 3-9. Uit deze tabellen blijkt dat de correlatiecoëfficiënten zeer klein zijn. De bovenomschreven manier om uit de vier methoden die methode te kiezen, die het beste de gemeten C-waarde benadert is hier niet mogelijk, omdat het trekken van een rechte lijn door de tegenelkaar uitgezette gemeten en berekende C-waarden, onzinnig is. Daarom zal een keuze worden gedaan door de gemeten C-waarden tegen de berekende C-waarden uit te zetten en op visuele grond de beste (de minst slechte) methode te kiezen. Zie voor de uitgezette C-waarden, de figuren 3-7, 3-8, 3-9 en 3-10.

In de figuren is duidelijk te zien, dat alleen bij de methode Englund-Hansen het zwaartepunt van de puntenwolk in de buurt van de lijn C-berekend = C-gemeten ligt.

Bij de andere 3 methoden ligt het zwaartepunt van de puntenwolk duidelijk beneden de lijn C-berekend = C-gemeten.

Op grond hiervan wordt de methode Englund-Hansen dan ook als beste van de vier methoden gekozen om er de ruwheid van de rivierbodem mee te schatten.



Bepaling regressielijn en correlatie-coëfficiënt:

a) EINSTEIN-BARBAROSSA:

|                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| C <sub>gemeten</sub>  | 42,1 | 42,6 | 40,7 | 39,9 | 38,9 | 48,5 | 49,4 | 48,9 | 45,8 | 45,7 | 43,4 |
| C <sub>berekend</sub> | 37,1 | 35,3 | 31,8 | 24,5 | 21,8 | 38,7 | 36,3 | 34,4 | 23,0 | 22,8 | 17,8 |

|      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 52,6 | 52,1 | 50,5 | 51,8 | 51,9 | 51,6 | 51,6 | 50,9 |
| 31,7 | 30,8 | 28,4 | 25,7 | 24,4 | 23,0 | 21,8 | 20,3 |

$m = -0,03 ; b = 28,00 ; r = -0,0026$

b) ENGELUND-HANSEN:

|                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| C <sub>gemeten</sub>  | 42,1 | 42,6 | 40,7 | 39,9 | 38,9 | 48,5 | 49,4 | 48,9 | 45,8 | 45,7 | 43,4 |
| C <sub>berekend</sub> | 52,4 | 50,9 | 48,0 | 44,5 | 47,8 | 52,5 | 51,6 | 49,6 | 43,6 | 46,4 | 63,7 |

|      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 52,6 | 52,1 | 50,5 | 51,8 | 51,9 | 51,6 | 51,6 | 50,9 |
| 47,2 | 46,1 | 44,1 | 46,8 | 44,4 | 46,0 | 43,8 | 51,0 |

$m = -0,27 ; b = 61,39 ; r = -0,27$

c) ALAM-KENEDY 1

|                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| C <sub>gemeten</sub>  | 42,1 | 42,6 | 40,7 | 39,9 | 38,9 | 48,5 | 49,4 | 48,9 | 45,8 | 45,7 | 43,4 |
| C <sub>berekend</sub> | 46,3 | 44,5 | 39,7 | 32,1 | 29,5 | 46,3 | 43,4 | 40,5 | 30,7 | 30,7 | 24,8 |

|      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 52,6 | 52,1 | 50,5 | 51,8 | 51,9 | 51,6 | 51,6 | 50,9 |
| 38,5 | 37,7 | 36,1 | 33,0 | 32,1 | 30,2 | 29,7 | 28,1 |

$m = -0,07$  ;  $b = 38,95$  ;  $r = -0,073$

d) ALAM-KENEDY 2

|                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| C <sub>gemeten</sub>  | 42,1 | 42,6 | 40,7 | 39,9 | 38,9 | 48,5 | 49,4 | 48,9 | 45,8 | 45,7 | 43,4 |
| C <sub>berekend</sub> | 42,0 | 40,6 | 36,8 | 30,4 | 28,1 | 41,7 | 39,5 | 37,3 | 29,1 | 29,1 | 23,8 |

|      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 52,6 | 52,1 | 50,5 | 51,8 | 51,9 | 51,6 | 51,6 | 50,9 |
| 35,7 | 35,0 | 33,6 | 31,1 | 30,3 | 28,7 | 28,3 | 26,9 |

$m = -0,06$  ;  $b = 35,91$  ;  $r = -0,06$

Toelichting op de berekende waarden (m, b, r) in de tabellen 3-8 en 3-9.

m = de richtingscoëfficiënt van de regressielijn.

b = het afgesneden stuk van de C-berekend-as.

Cberekend = m Cgemeten + b = de vergelijking van de regressielijn.

$\sigma_{\text{gemeten}} = \sigma_x$  = de standaardafwijking van de gemeten  
C-waarden

$$\left[ m^{\frac{1}{2}}/s \right]$$

$\sigma_{\text{berekend}} = \sigma_y$  = de standaardafwijking van de berekende  
C-waarden

$$\left[ m^{\frac{1}{2}}/s \right]$$

r = de correlatiecoëfficiënt

Als  $x_i = C_i$  gemeten en  $y_i = C_i$  berekend, dan geldt:

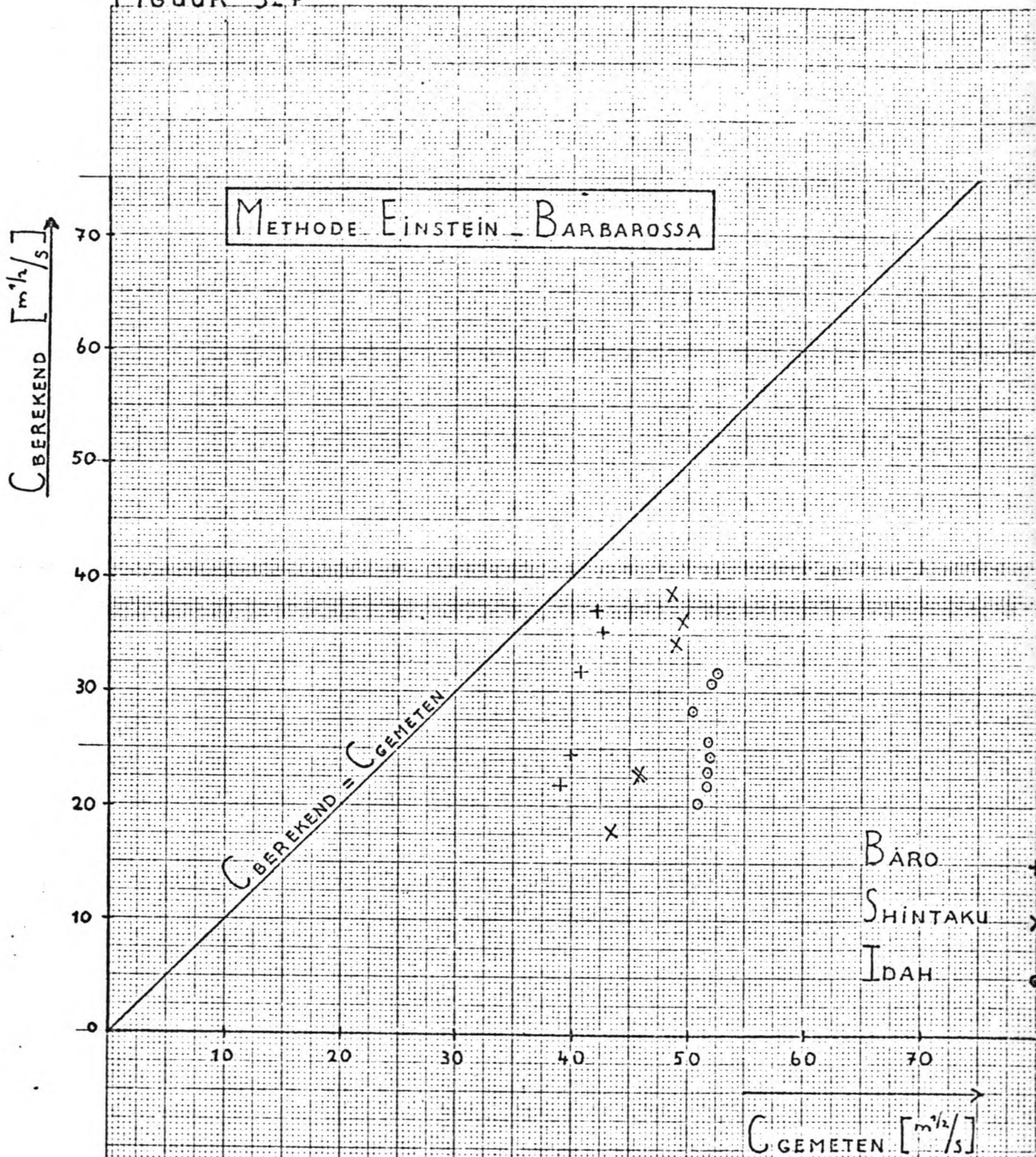
$$m = \frac{\frac{\sum_{i=1}^{19} x_i y_i}{19} - \bar{x} \bar{y}}{\sigma_x^2} \quad ; \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{19} x_i}{19} \quad ; \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{19} y_i}{19}$$

$$b = \bar{y} - m \bar{x}$$

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^{19} x_i^2}{19} - \bar{x}^2 \quad ; \quad \sigma_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^{19} y_i^2}{19} - \bar{y}^2$$

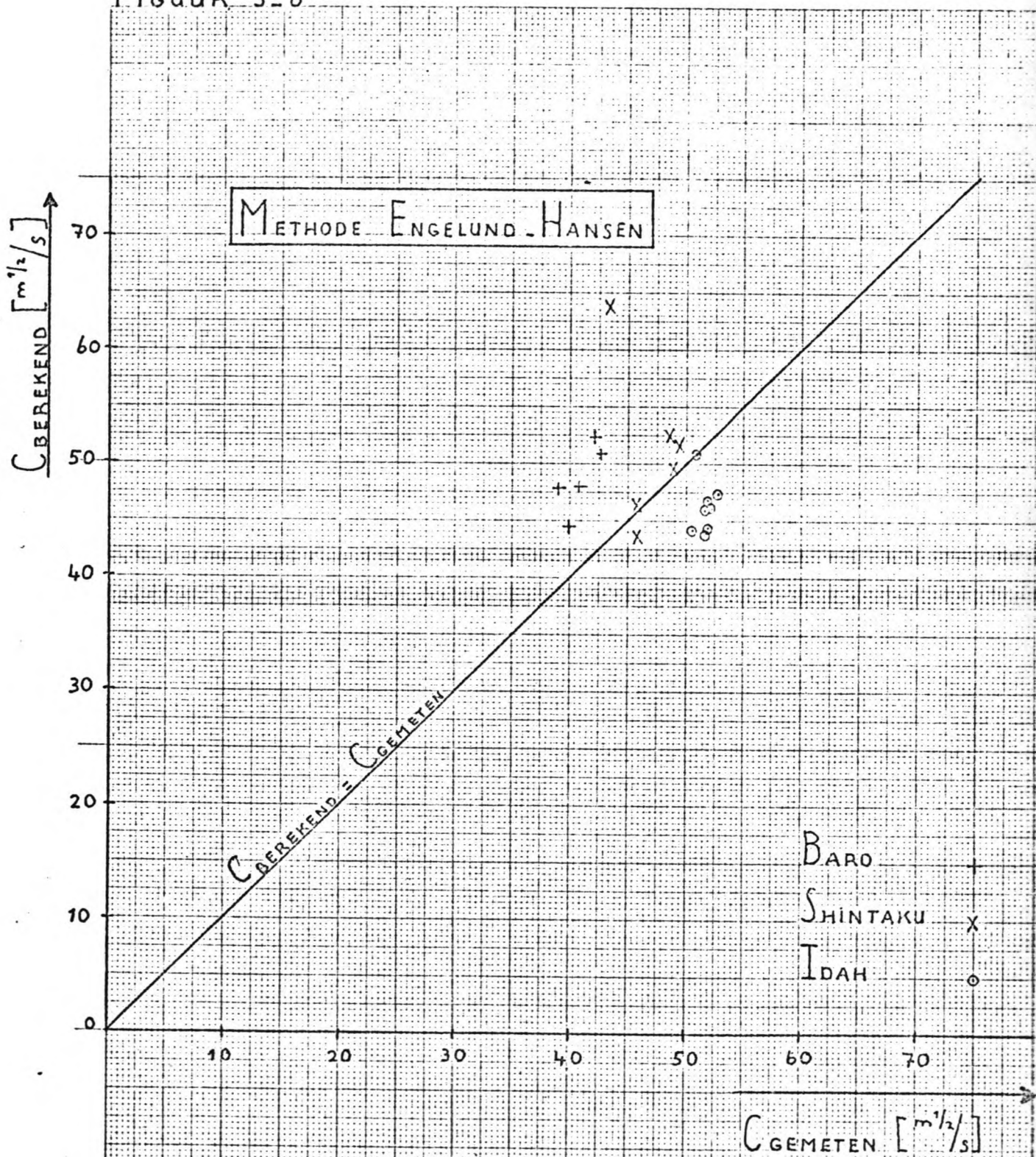
$$r = m \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \quad ; \quad \sigma_x > 0 \text{ en } \sigma_y > 0, \text{ als } m < 0 \rightarrow r < 0$$

FIGUUR 3.7

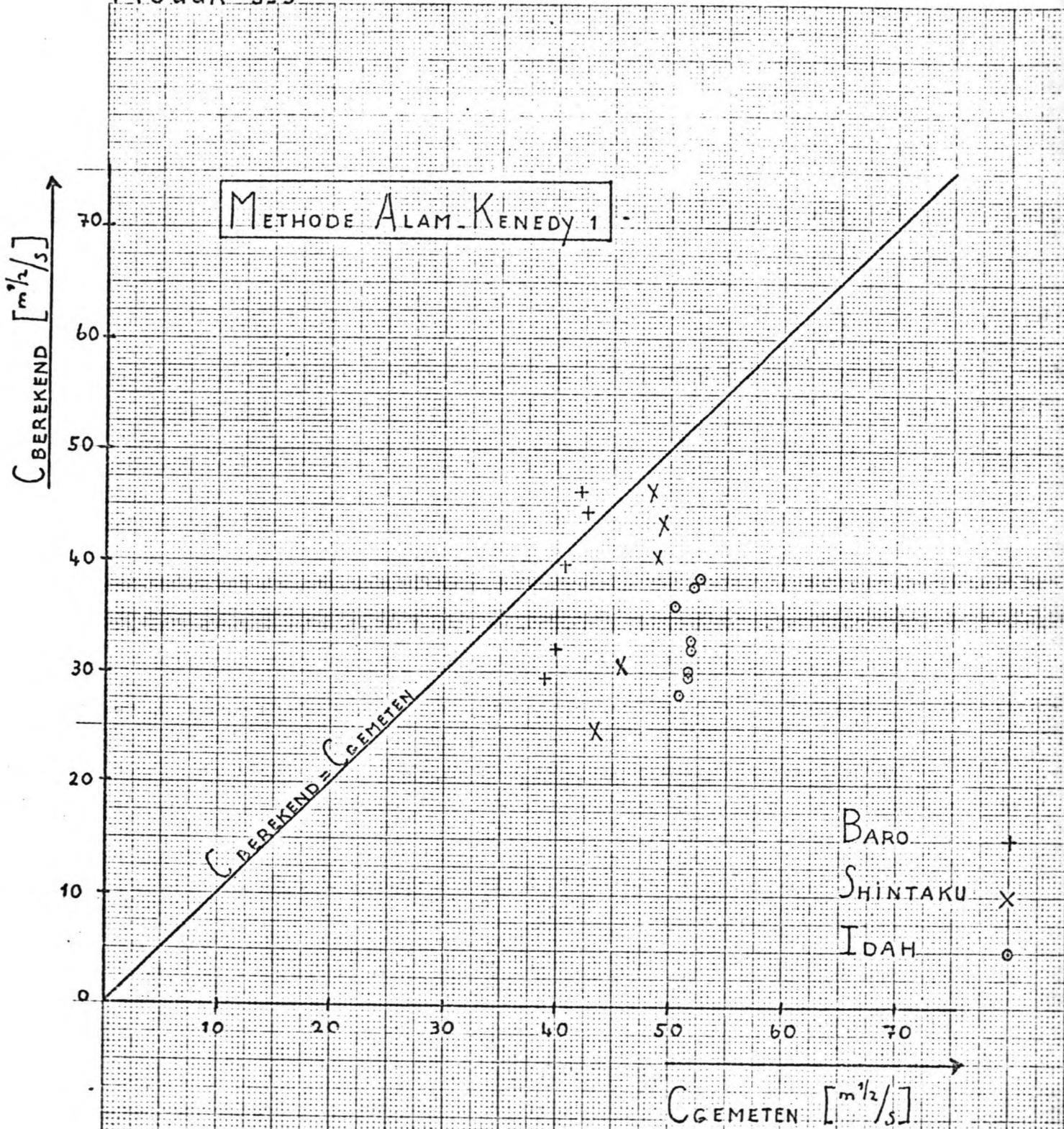




FIGUUR 3-8

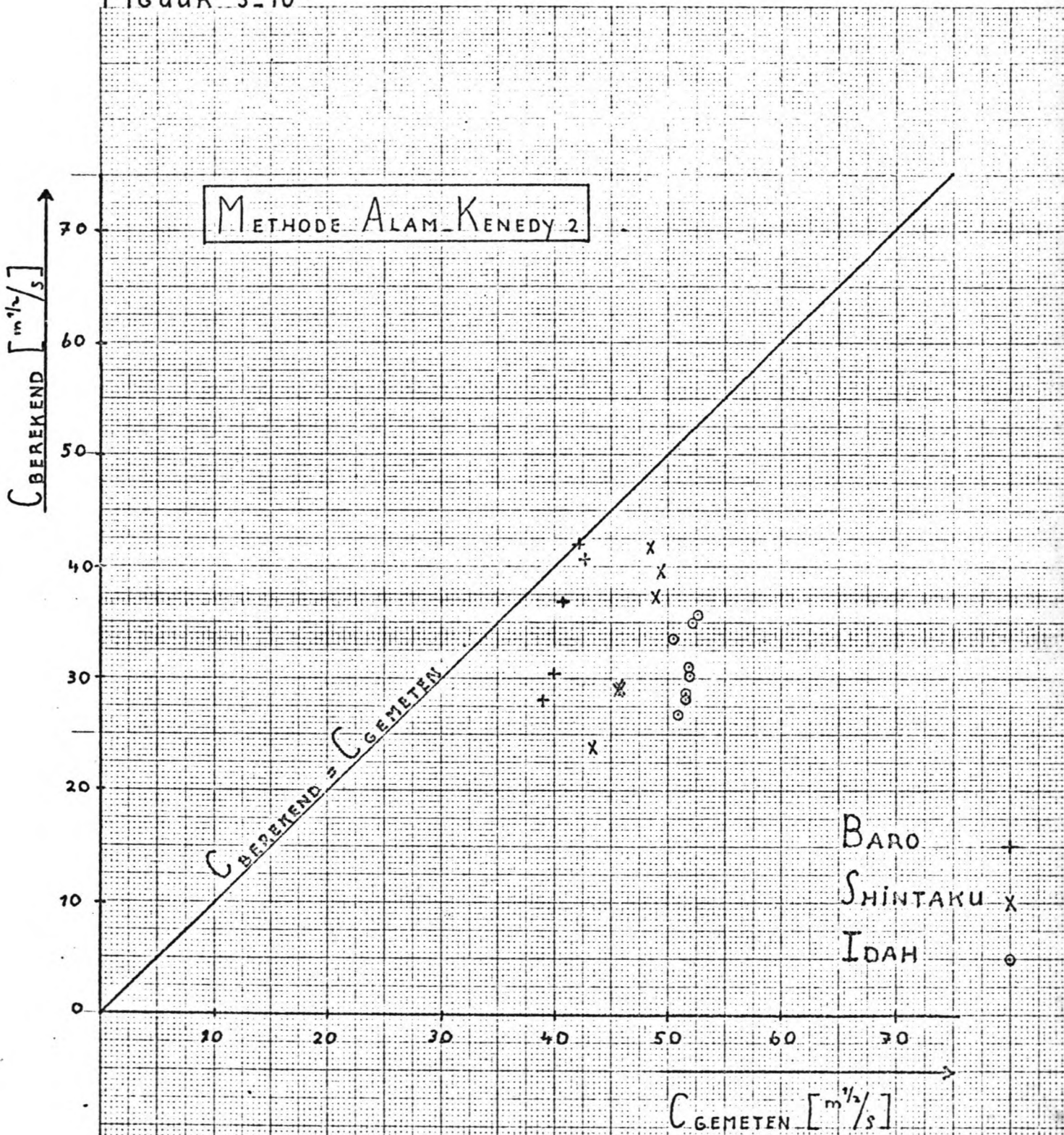


FIGUUR 3.9





FIGUUR 3-10





§3-4 Afschätting van de C-waarden in het gebaggerde gat.

Bij het morfologisch onderzoek naar de gevolgen van het baggeren op de rivier de Niger, zullen diverse manieren van baggeren en daarmee samenhangend gebaggerde gaten van verschillende afmetingen worden beschouwd (zie hoofdstuk 4).

De gaten hebben de onderstaande afmetingen:

Tabel 3-10

| LENGTE [m] | BREEDTE [m] | DIEPTE [m] | INHOUD [m <sup>3</sup> ] |
|------------|-------------|------------|--------------------------|
| 1000       | 1150        | 20         | $23 \times 10^6$         |
| 2000       | 1150        | 10         | $23 \times 10^6$         |
| 4000       | 1150        | 5          | $23 \times 10^6$         |
| 8000       | 1150        | 2,5        | $23 \times 10^6$         |
| 16000      | 1150        | 1,25       | $23 \times 10^6$         |

Met de methode van Engelund-Hansen zijn de C-waarden in de verschillende gaten afgeschat bij een tweetal afvoeren, nml.  $Q_{\text{dominant}} = 9.670 \text{ m}^3/\text{s}$  en  $Q_{\text{max}} = 14.700 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$Q_{\text{max}}$  is de maximale gemiddelde maandelijkse afvoer te Shintaku na de bouw van de dam te Kainji.

Met de bij  $Q_{\text{dominant}}$  behorende C-waarden zullen in hoofdstuk 4 stuwkrommeberekeningen worden gemaakt die noodzakelijk zijn om de verandering van de

bodemligging bovenstrooms van de gebaggerde gaten te kunnen afschatten. Met de bij  $Q_{max}$  behorende C-waarden zullen in hoofdstuk 5 eveneens stuwkromme berekeningen worden gemaakt, die noodzakelijk zijn om een grootheid te kunnen berekenen, die bepalend is voor de keuze van het morfologisch rekenmodel.

Voor de berekening van de C-waarden in de gebaggerde gaten zie tabel 3-11 en tabel 3-12.

Toelichting op de in de berekening gebruikte waarden:

$Q_{dominant} = 9.670 \text{ m}^3/\text{s}$  (zie tabel 5.2.4-2 Nedeco-rapport '59)

$Q_{max} = 14.700 \text{ m}^3/\text{s}$  (zie figuur 1-14, § 1-4.1)

$B = 1150 \text{ m}$  (zie hoofdstuk 4)

$d_{60} = 1,06 \times 10^{-3} \text{ m}$  (zie tabel 5.1.2-3 Nedeco rapport '59)

\*  $d_{50} = 0,83 \times 10^{-3} \text{ m}$  (zie tabel 5.1.2-3 Nedeco rapport '59)

\*  $q_L = 7,1 \text{ m}$  bij  $Q_{dominant} = 9.670 \text{ m}^3/\text{s}$

\*  $q_L = 8,8 \text{ m}$  bij  $Q_{max} = 14.700 \text{ m}^3/\text{s}$

\* De berekening van de waterdiepte op de rivier ( $q_L$ ) bij  $Q_{dominant}$  en  $Q_{max}$  is als volgt verlopen.

Met behulp van een gemeten afvoerkromme te Shintaku over de periode januari 1979 tot en met december 1979 en de peilschaalaflezingen te Shintaku gedurende diezelfde periode, zijn bij de afvoeren  $Q_{dominant} = 9.670 \text{ m}^3/\text{s}$  en  $Q_{max} = 14.700 \text{ m}^3/\text{s}$  de peilschaalaflezingen te Shintaku opgezocht. (zie figuur 3-11 en 3-12). De relatie tussen de peilschaalaflezingen te Shintaku (b) en te Ajacuta (c), enkele kilometers benedenstrooms van Apla-Apla, is ook bekend. (zie tabel 3-13). De waterstand bij Ajacuta ten opzichte van de nul van de peilschaal te Ajacuta (c) is bepaald voor  $Q_{dominant}$  en  $Q_{max}$ . Verder is met behulp van peilingen van de rivierbodem te Ajacuta de ligging van de bodem ten opzichte van de nul van de peilschaal te Ajacuta bepaald (d). De waterdiepten bij

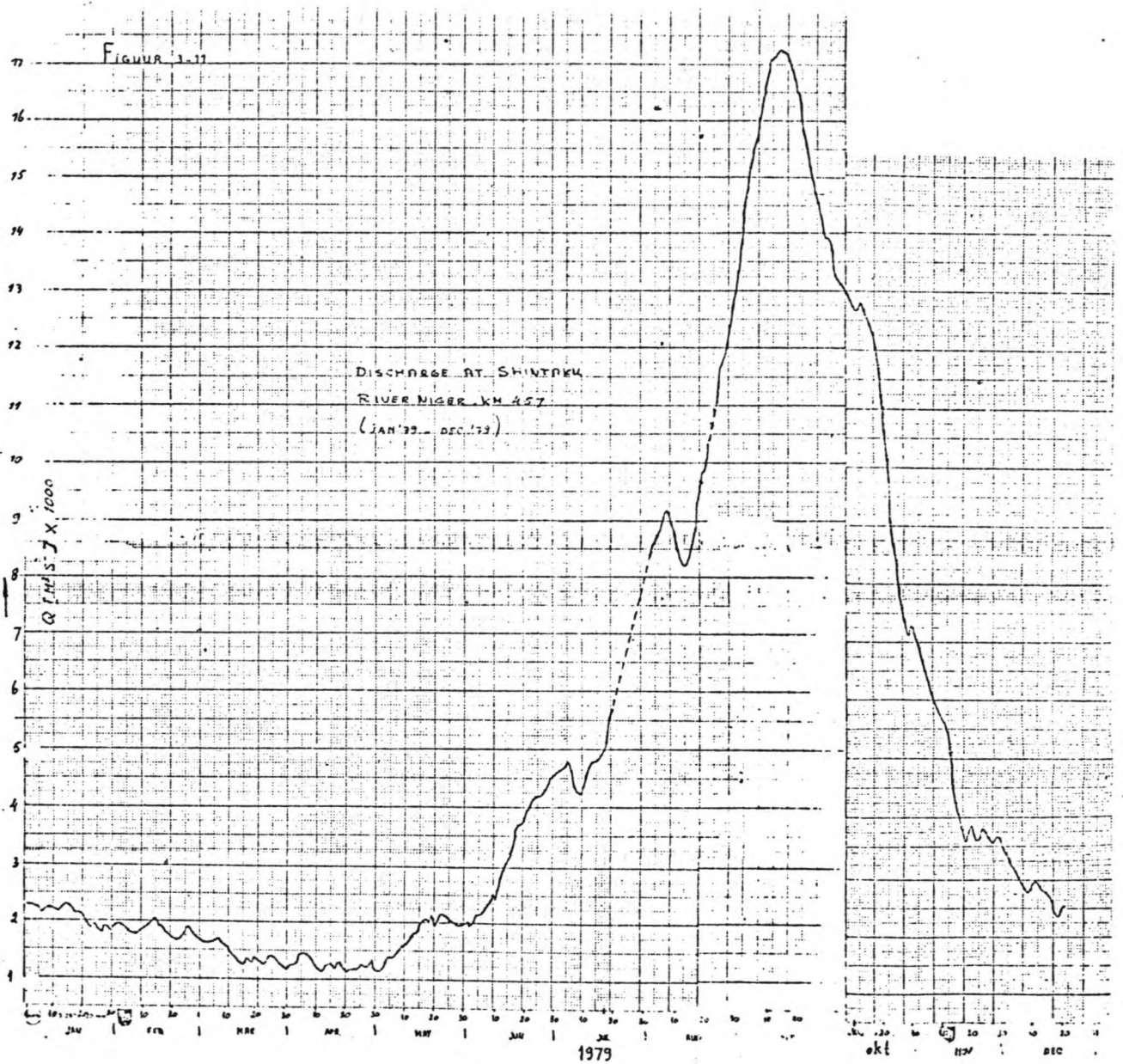


FIGURE 3-11

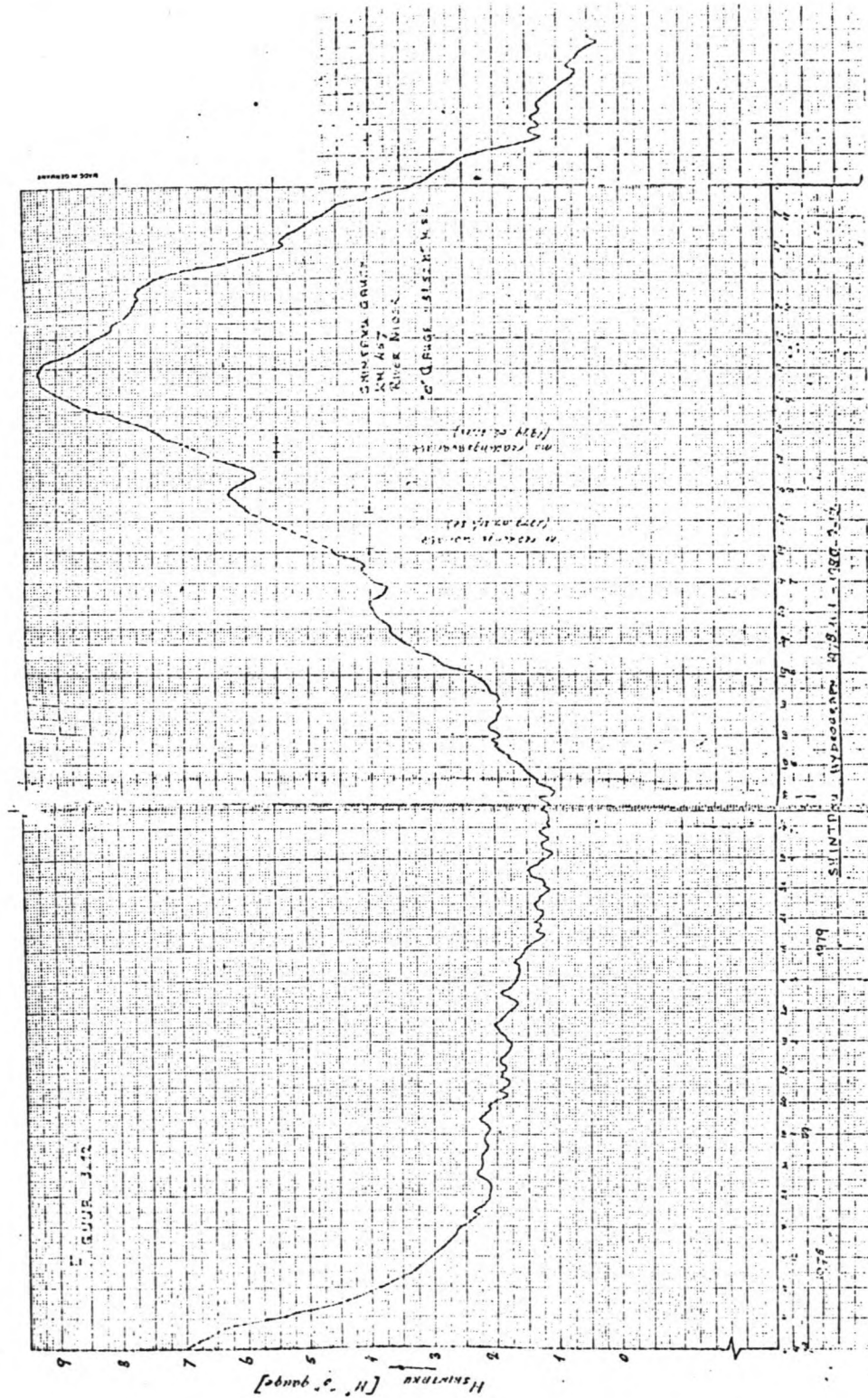


FIGURE 3-12



peilschaalaflezing } op 3 september '79 : 8,40 m + 0-peilschaal  
te Shintaku } op 26/27 september '79 : 8,40 m + 0-peilschaal  
gemiddelde peilschaalaflezing : 8,40 m + 0-peilschaal

$$\begin{aligned} \text{waterdiepte te Ajacuta} &= c + d \\ &= \underbrace{\{0,4 (8,71 - 7,89) + 7,89\}}_c + \underbrace{0,58}_d = 8,80 \text{ m} \end{aligned}$$

Aangehouden bij  $Q_{\max} = 14.700 \text{ m}^3/\text{s} \longrightarrow \sigma_{\eta} = 8,80 \text{ m}$

C-waarden berekening in gebaggerde gaten bij Qdominant:

| GATLENGTE<br>[m] | GATDIEPTE<br>(ag) [m] | a<br>[m] | $d_{60} \cdot 10^{-3}$<br>[m] | $C' = 18 \log \frac{12 a}{2,5 d_{60}} \left[ \frac{m^{1/2}}{s} \right]$ | $v = Q/Ba$<br>[m/s] | $d_{50} \cdot 10^{-3}$<br>[m] | $\theta'$ [-] | $\theta$ [-] | $C$<br>[ $\frac{m^{1/2}}{s}$ ] | opmer-<br>king |
|------------------|-----------------------|----------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------|--------------|--------------------------------|----------------|
| 1000             | 20                    | 27,1     | 1,06                          | 91,6                                                                    | 0,31                | 0,83                          | 0,008         |              | 91,6                           | zie 3)         |
| 2000             | 10                    | 17,1     | 1,06                          | 88,0                                                                    | 0,49                | 0,83                          | 0,022         |              | 88,0                           | zie 3)         |
| 4000             | 5                     | 12,1     | 1,06                          | 85,3                                                                    | 0,69                | 0,83                          | 0,048         | 0,066        | 72,4                           | zie 2)         |
| 8000             | 2,5                   | 9,6      | 1,06                          | 83,5                                                                    | 0,88                | 0,83                          | 0,079         | 0,218        | 50,3                           | zie 1)         |
| 16000            | 1,25                  | 8,35     | 1,06                          | 82,4                                                                    | 1,11                | 0,83                          | 0,107         | 0,343        | 46,0                           | zie 1)         |

TABEL 3 - 11

$$\begin{aligned}
 1) \quad & \theta' > 0,064 \longrightarrow \theta = \sqrt{2,5 (\theta' - 0,06)} \quad \left. \vphantom{\theta = \sqrt{2,5 (\theta' - 0,06)}} \right\} C = \sqrt{\frac{v^2}{\theta \Delta d_{50}}} \\
 2) \quad & 0,03 < \theta' \leq 0,064 \longrightarrow \theta = 2,06 \theta' - 0,032 \\
 3) \quad & \theta' \leq 0,03 \longrightarrow \theta = \theta' \quad (\text{vlak bed}) \quad C = C' = 18 \log \frac{12 a}{2,5 d_{60}}
 \end{aligned}$$

Gebruikte waarden in de berekening:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{dominant}} &= 9,670 \text{ m}^3/\text{s} & a &= a_R + a_g & a_g &= \text{de gebaggerde diepte [m]} \\
 B &= 1150 \text{ m} & a &= \text{de totale waterdiepte in het gat [m]} & a_R &= 7,1 \text{ m} \\
 d_{60} &= 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ m} & a_R &= \text{de waterdiepte benedenstrooms} \\
 d_{50} &= 0,83 \cdot 10^{-3} \text{ m} & & \text{van het gat [m]}
 \end{aligned}$$



C-waarden berekening in gebaggerde gaten bij Q max:

| GATLENGTE<br>[m] | GATDIEPTE<br>(ag) [m] | a<br>[m] | $d_{60} \cdot 10^{-3}$<br>[m] | $C' 18 \log \frac{12a}{2,5 d_{60}} [m^{\frac{1}{3}}/s]$ | $v = Q/Ba$<br>[m/s] | $d_{50} \cdot 10^{-3}$<br>[m] | $\theta'$ [-] | $\theta$ [-] | $C$<br>[m <sup>1/3</sup> /s] | opmer-<br>king |
|------------------|-----------------------|----------|-------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------|--------------|------------------------------|----------------|
| 1000             | 20                    | 28,8     | 1,06                          | 92,1                                                    | 0,44                | 0,83                          | 0,016         |              | 92,1                         | zie 3)         |
| 2000             | 10                    | 18,8     | 1,06                          | 88,7                                                    | 0,68                | 0,83                          | 0,042         | 0,055        | 77,9                         | zie 2)         |
| 4000             | 5                     | 13,8     | 1,06                          | 86,3                                                    | 0,93                | 0,83                          | 0,083         | 0,241        | 50,7                         | zie 1)         |
| 8000             | 2,5                   | 11,3     | 1,06                          | 84,8                                                    | 1,13                | 0,83                          | 0,127         | 0,410        | 42,2                         | zie 1)         |
| 16000            | 1,25                  | 10,05    | 1,06                          | 83,8                                                    | 1,27                | 0,83                          | 0,165         | 0,512        | 47,5                         | zie 1)         |

$$1) \quad \theta' > 0,064 \longrightarrow \theta = \sqrt{2,5 (\theta' - 0,06)} \quad \left. \vphantom{\theta = \sqrt{2,5 (\theta' - 0,06)}} \right\} C = \sqrt{\frac{v^2}{\theta \Delta d_{50}}}$$

$$2) \quad 0,03 < \theta' \leq 0,064 \longrightarrow \theta = 2,06 \theta' - 0,032$$

$$3) \quad \theta' \leq 0,03 \longrightarrow \theta = \theta' \text{ (vlak bed) } \quad C = C' = 18 \log \frac{12 a}{2,5 d_{60}}$$

Gebruikte waarden in de berekening:

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= 14.700 \text{ m}^3/\text{s} & a &= a_z + a_g \\ B &= 1150 \text{ m} & a &= \text{de totale waterdiepte in het gat} \quad [\text{m}] \\ d_{60} &= 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ m} & a_z &= \text{de waterdiepte benedenstrooms van het gat} \quad [\text{m}] \\ d_{50} &= 0,83 \cdot 10^{-3} \text{ m} & a_g &= \text{de gebaggerde diepte} \quad [\text{m}] \\ & & a_z &= 8,8 \text{ m} \end{aligned}$$

TABEL 3.13

Related gauge readings:

| Lekofa<br>km 456 | Shintaru<br>km 457 | Kojf<br>km 448 | Ajaokuta<br>km 427 | Idah<br>km 386 | Agenebodo<br>km 383 | Onitsha<br>km 273 | Abba<br>km 194 | Remarks              |
|------------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------|----------------------|
| 1.50             | 1.00               | 1.52           | 1.37               | 1.98           | 1.73                | 2.20              | 2.42           | H 1750               |
| 2.17             | 1.76               | 2.44           | 2.12               | 2.71           | 2.55                | 3.14              | 3.33           |                      |
| 2.37             | 2.00               | 2.74           | 2.36               | 2.93           | 2.80                | 3.42              | 3.61           |                      |
| 3.24             | 3.00               | 3.96           | 3.35               | 3.86           | 3.86                | 4.62              | 4.78           |                      |
| 4.12             | 4.00               | 5.18           | 4.34               | 4.82           | 4.92                | 5.80              | 5.96           |                      |
| 5.00             | 5.00               | 6.40           | 5.30               | 5.74           | 5.98                | 7.06              | 7.15           |                      |
| 6.00             | 6.00               | 7.45           | 6.16               | 6.69           | 7.04                | 8.05              | 8.35           |                      |
| 6.99             | 7.00               | 8.49           | 7.01               | 7.60           | 7.96                | 9.04              | 9.40           |                      |
| 7.98             | 8.00               | 9.54           | 7.89               | 8.46           | 8.90                | 10.03             | 10.27          |                      |
| 8.97             | 9.00               | 10.58          | 8.71               | 9.35           | 9.83                | 11.02             | 10.95          |                      |
| 9.96             | 10.00              | 11.63          | 9.56               | 10.25          | 10.76               | -                 | 11.45          |                      |
| 0                | -                  | 0              | 0                  | 1              | 1                   | 2                 | 3              | time lag<br>in days. |

HOOFDSTUK 4 : Gevoeligheid C-waarde op het sedimenttransport in het gat

§ 4-1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt gepoogd na te gaan in hoeverre het mogelijk is een beeld te vormen van wat er met het "te baggeren gat" kan gebeuren alvorens er met een morfologische computer model aan wordt gerekend. Tevens wordt nagegaan wat de relatieve fouten in het totale sedimenttransport zijn t.g.v. een "foutieve" C-waarde in het "te baggeren gat".

Zoals bekend moet er  $23 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{]}$  zand uit de rivier worden gebaggerd, met deze hoeveelheid zand wordt een "steelplan" te Apla Apla opgespoten. Deze hoeveelheid zand ( $23 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) kan op diverse wijzen uit de rivier worden gebaggerd. Om zich een beeld te kunnen vormen over de wijze waarop het te baggeren gat zich in de rivierbodem zal gedragen zijn de volgende aannames gedaan.

- 1<sup>e</sup> Het riviervak ter plaatse van het te baggeren gat (nabij Apla Apla) is geschematiseerd tot een bakvormig profiel met een constante breedte van  $B = 1150 \text{ [m]}$  (zie figuur 4-20).
- 2<sup>e</sup> Het bodemverhang van de rivier de Niger ter hoogte van het te baggeren gat is  $9,5 \times 10^{-5}$ .
- 3<sup>e</sup> Er wordt gewerkt met de dominante rivierafvoer.  
De dominante rivierafvoer is een constante afvoer, welke gedurende een bepaalde periode - liefst vele jaren - dezelfde hoeveelheid sediment transporteert, als wordt getransporteerd onder invloed van het gehele afvoerregiem van die bepaalde periode. Op blz. 477 Nedeco rapport, is voor Shintaku de  $Q_{\text{dom}}$  gegeven. Aangenomen is dat deze  $Q_{\text{dom}}$  ook de dominante rivierafvoer te Apla Apla is. Met andere woorden:  
 $Q_{\text{dom}} = 9670 \text{ [m}^3\text{/sec]}$  voor Apla Apla.
- 4<sup>e</sup> De waterdiepte te Apla Apla, 37 km. benedenstrooms van Lokoja, behorende bij de dominante rivierafvoer ( $Q_{\text{dom}} = 9670 \text{ [m}^3\text{/sec]}$ ) is  $7,10 \text{ [m]}$ . Deze waterdiepte van  $7,10 \text{ [m]}$  is als volgt bepaald. Door middel van een recente  $Q-h$  relatie, waarmee men de aflezing op de peilschaal van

Shintaku behorende bij de dominante rivierafvoer kan bepalen.

Met behulp van een recente tabel waarmee men de waterstand op de peil-schaal van Ajaokuta kan bepalen indien de waterstand op de peil-schaal van Shintaku gegeven is en een "sounding map" ter plaatse van Ajaokuta. Ajaokuta ligt op zeer korte afstand (2 km) van Apla Apla (zie § 3-4).

5<sup>e</sup> Het gat wordt over de volle breedte ( $B=1150[m]$ ) van de rivier gebaggerd.

6<sup>e</sup> Het gat wordt "doosvormig" in de rivierbodem gebaggerd, daarom geldt de volgende relatie:

$$23 \times 10^6 = L \times B \times \Delta z \quad 4-1.1$$

$L$  = lengte van het te baggeren gat in  $[m]$

$B$  = breedte van het te baggeren gat in  $[m]$

$\Delta z$  = de diepte van het te baggeren gat in de rivierbodem in  $[m]$

Omdat het gat over de volle rivierbreedte wordt gebaggerd is de  $B$  in formule 4-1.1 gelijk aan  $1150 [m]$ , hierdoor wordt formule 4-1.1 gereduceerd tot formule 4-1.2

$$20 \times 10^3 = L \times \Delta z \quad 4-1.2$$

Voor vijf "gatvormen", zie hiervoor tabel 4-1, zijn de verhanglijnen (zie § 4-2) bij dominante rivierafvoer ( $Q_{dom} = 9670 [m^3/sec]$ ) berekend. Met behulp van deze verhanglijnen wordt in § 4-4.1 en § 4-4.2 een analyse gemaakt omtrent de gedragingen van het te baggeren gat in de rivierbodem.

| $L$ in $[m]$ | $\Delta z$ in $[m]$ | $B$ in $[m]$ |
|--------------|---------------------|--------------|
| 1000         | 20                  | 1150         |
| 2000         | 10                  | 1150         |
| 4000         | 5                   | 1150         |
| 8000         | 2,5                 | 1150         |
| 16000        | 1,25                | 1150         |

tabel 4-1

§ 4-2 Berekening van de verhanglijnen over de vijf "gatvormen".

Bij de berekening van de verhanglijnen over de "gatvormen" wordt het energieverhang gelijk gesteld aan het waterspiegelverhang. Dit betekent dat de term  $\frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha_1 \frac{v^2}{2g} \right)$  wordt verwaarloosd, hetgeen geoorloofd is, mits het froude getal klein is ( $F^2 \ll 1$ ).

Er geldt:  $i_{w_n} = \frac{Q^2}{C^2 \cdot B^2 \cdot a_n^3}$  4-2.1

|                                 |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| $i_{w_n}$ : waterspiegelverhang | dimensieloos       |
| $Q$ : rivierafvoer              | in $[m^3/sec]$     |
| $C$ : constante van chezy       | in $[m^{1/2}/sec]$ |
| $B$ : breedte van de rivier     | in $[m]$           |
| $a_n$ : waterdiepte             | in $[m]$           |

Ook geldt er:

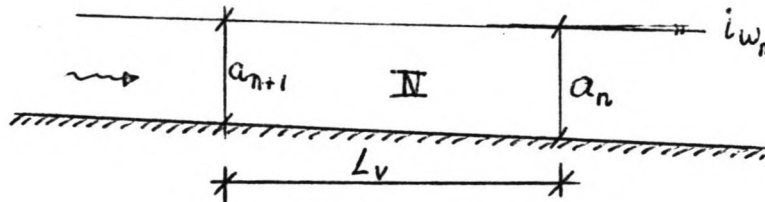


fig. 4-1

$a_{n+1} = a_n + L_v * (i_{w_n} - i_b)$  4-2.2

$L_v$  : de vaklengte in  $[m]$

$i_{w_n}$  : waterspiegelverhang dimensieloos

$i_b$  : bodemverhang dimensieloos

Om het waterspiegelverhang ( $i_{w_n}$ ) te kunnen berekenen, moet men ook de Constante van Chezy ( $C$ ) in het vak  $N$  weten. Op plaatsen waar het gat niet in de bodem aanwezig is, kan de Constante van Chezy berekend worden met formule 4-2.3

$$C = Q / B \cdot a \cdot \sqrt{a i_b}$$

4-2.3

Er geldt:  $Q = 9670 \text{ [m}^3/\text{sec]}$   
 $B = 1150 \text{ [m]}$   
 $a = 7,10 \text{ [m]}$   
 $i = 9,5 \cdot 10^{-5} \text{ [-]}$

Dus kan met formule 4-2.3 berekend worden dat

$$C = 45,6 \text{ [m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec]}$$

Op plaatsen waar het gat in de rivierbodem aanwezig is, worden de C-waarden bepaald met de afschattingsmethode van Englund en Hansen.

De C waarden-bepaald met de afschattingsmethode van Englund en Hansen-voor de diverse gatvormen bij dominante rivierafvoer ( $Q_{dom}=9670 \text{ [m}^3/\text{sec}]$ ) staan in tabel 4-2 vermeld. Voor de berekening van deze C waarden zie § 3-4.2

| L in [m] | $\Delta z$ in [m] | B in [m] | C in $[\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ | Q in $[\text{m}^3/\text{sec}]$ |
|----------|-------------------|----------|--------------------------------------------|--------------------------------|
| 1000     | 20                | 1150     | 91,6                                       | 9670                           |
| 2000     | 10                | 1150     | 88                                         | 9670                           |
| 4000     | 5                 | 1150     | 72,4                                       | 9670                           |
| 8000     | 2,5               | 1150     | 50,3                                       | 9670                           |
| 16000    | 1,25              | 1150     | 46                                         | 9670                           |

tabel 4-2

Om elke van de vijf "gatvormen" worden twee verhanglijnen berekend. Een verhanglijn met de C waarde, zoals die bepaald is met de afschattingsmethode van Englund en Hansen (zie hiervoor § 4-2.1.1 t/m § 4-2.1.5).

Een verhanglijn met de C waarde, zoals die berekend is met formule 4-2.3, voor dit geval dus met  $C = 45,6 \text{ [m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$  (zie hiervoor § 4-2.2.1 t/m § 4-2.2.5).

In §4-3 worden met behulp van de verhanglijnen van §4-2.1.1. tot en met §4-2.1.5 en §4-2.2.1 tot en met §4-2.2.5 de sedimenttransporten berekend.

In §4-4 volgt dan een discussie omtrent de verschillen tussen de berekende sedimenttransporten.



§4-2.1.1 Berekening van de verhanglijn over de "gatvorm"

$L = 1000 \text{ [m]}, \Delta z = 20 \text{ [m]}, B = 1150 \text{ [m]}$

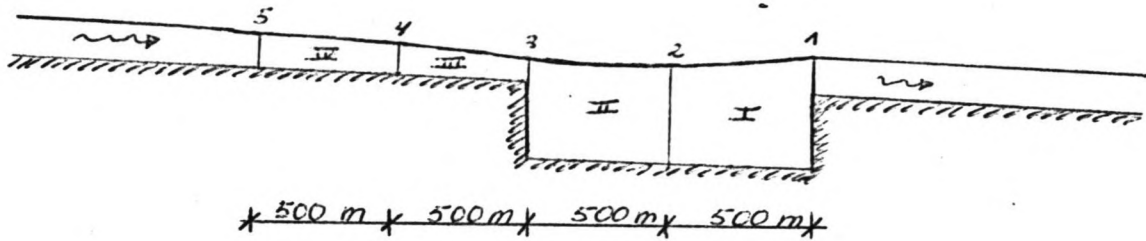


fig. 4-2

$Q = 9670 \text{ [m}^3/\text{sec]}$

| Vak | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|-----|---|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------------------------------|
| I   | 1 | 27,100    | 500       | 0,04                  | 9,5                | 91,6                                       |
| II  | 2 | 27,053    | 500       | 0,04                  | 9,5                | 91,6                                       |
|     | 3 | 27,006    |           | 0,04                  |                    |                                            |

| Vak | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|-----|---|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------------------------------|
| III | 3 | 7,006     | 500       | 9,9                   | 9,5                | 45,6                                       |
| IV  | 4 | 7,008     | 500       | 9,9                   | 9,5                | 45,6                                       |
|     | 5 | 7,010     |           | 9,9                   |                    |                                            |

§4-2.1.2 Berekening van de verhanglijn over de "gatvorm"

$L = 2000 \text{ [m]}, \Delta z = 10 \text{ [m]}, B = 1150 \text{ [m]}$

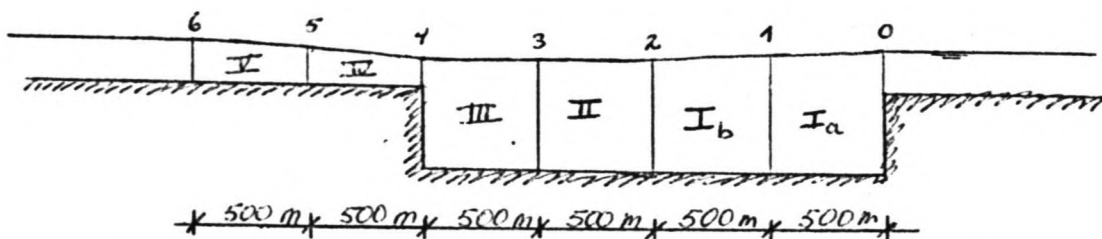


fig 4-3

$Q=9670 \text{ [m}^3/\text{sec]}$

| Vak | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|-----|---|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------------------------------|
| Ia  | 0 | 17,100    | 500       | 0,2                   | 9,5                | 88                                         |
| Ib  | 1 | 17,053    | 500       | 0,2                   | 9,5                | 88                                         |
| II  | 2 | 17,007    | 500       | 0,2                   | 9,5                | 88                                         |
| III | 3 | 16,961    | 500       | 0,2                   | 9,5                | 88                                         |
|     | 4 | 16,915    |           |                       |                    |                                            |

| Vak | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|-----|---|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------------------------------|
| IV  | 4 | 6,915     | 500       | 10,3                  | 9,5                | 45,6                                       |
| V   | 5 | 6,919     | 500       | 10,3                  | 9,5                | 45,6                                       |
|     | 6 | 6,923     |           | 10,3                  |                    |                                            |

§ 4-2.1.3 Berekening van de verhanglijn over de "gatvorm"

$L = 4000 \text{ [m]}, \Delta z = 5 \text{ [m]}, B = 1150 \text{ [m]}$

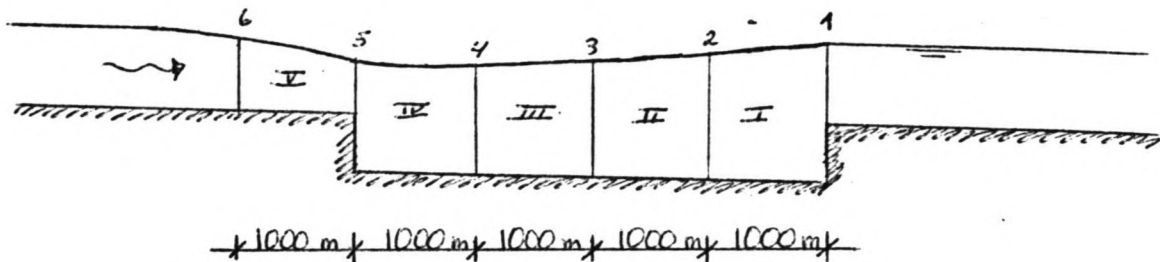


fig. 4-4

$Q = 9670 \text{ [m}^3\text{/sec]}$

| Vak | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|-----|---|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------------------------------|
| I   | 1 | 12,100    | 1000      | 0,8                   | 9,5                | 72,4                                       |
| II  | 2 | 12,013    | 1000      | 0,8                   | 9,5                | 72,4                                       |
| III | 3 | 11,926    | 1000      | 0,8                   | 9,5                | 72,4                                       |
| IV  | 4 | 11,839    | 1000      | 0,8                   | 9,5                | 72,4                                       |
|     | 5 | 11,752    |           | 0,8                   |                    |                                            |

| Vak | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|-----|---|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------------------------------|
| V   | 5 | 6,752     | 1000      | 11,0                  | 9,5                | 45,6                                       |
|     | 6 | 6,767     |           | 11,0                  |                    |                                            |

§ 4-2.1.4 Berekening van de verhanglijn over de "gatvorm"

$L = 8000 \text{ [m]}, \Delta z = 2,5 \text{ [m]}, B = 1150 \text{ [m]}$

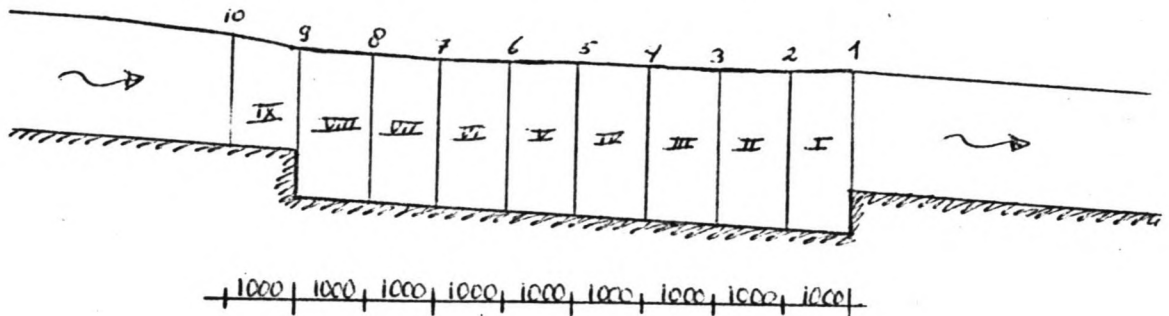


fig. 4-5

$$Q = 9670 \text{ [m}^3\text{/sec]}$$

| Vak  | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[m^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|------|---|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|
| I    | 1 | 9,600     | 1000      | 3,2                   | 9,5                | 50,3                                |
| II   | 2 | 9,537     | 1000      | 3,2                   | 9,5                | 50,3                                |
| III  | 3 | 9,474     | 1000      | 3,3                   | 9,5                | 50,3                                |
| IV   | 4 | 9,412     | 1000      | 3,4                   | 9,5                | 50,3                                |
| V    | 5 | 9,351     | 1000      | 3,4                   | 9,5                | 50,3                                |
| VI   | 6 | 9,290     | 1000      | 3,5                   | 9,5                | 50,3                                |
| VII  | 7 | 9,230     | 1000      | 3,6                   | 9,5                | 50,3                                |
| VIII | 8 | 9,171     | 1000      | 3,6                   | 9,5                | 50,3                                |
|      | 9 | 9,112     |           | 3,7                   |                    |                                     |

| Vak | n  | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[m^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|-----|----|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|
| IX  | 9  | 6,612     | 1000      | 11,8                  |                    |                                     |
|     | 10 | 6,635     |           | 11,6                  | 9,5                | 45,6                                |

§4-2.1.5 Berekening van de verhanglijn over de "gatvorm"

$L = 16.000 \text{ [m]}$  ,  $\Delta z = 1,25 \text{ [m]}$  ,  $B = 1150 \text{ [m]}$

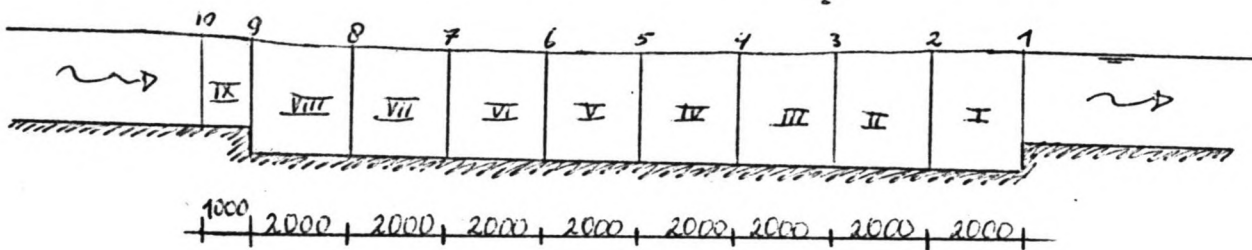


fig. 4-6

$$Q = 9670 \text{ m}^3/\text{sec}$$

| Vak  | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|------|---|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------------------------------|
| I    | 1 | 8,35      | 2000      | 5,7                   | 9,5                | 46                                         |
| II   | 2 | 8,274     | 2000      | 5,9                   | 9,5                | 46                                         |
| III  | 3 | 8,202     | 2000      | 6,1                   | 9,5                | 46                                         |
| IV   | 4 | 8,134     | 2000      | 6,2                   | 9,5                | 46                                         |
| V    | 5 | 8,068     | 2000      | 6,4                   | 9,5                | 46                                         |
| VI   | 6 | 8,006     | 2000      | 6,5                   | 9,5                | 46                                         |
| VII  | 7 | 7,946     | 2000      | 6,7                   | 9,5                | 46                                         |
| VIII | 8 | 7,890     | 2000      | 6,8                   | 9,5                | 46                                         |
|      | 9 | 7,836     |           | 6,8                   |                    |                                            |

| Vak | n  | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|-----|----|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------------------------------|
| IX  | 9  | 6,586     | 1000      | 11,9                  | 9,5                | 45,6                                       |
|     | 10 | 6,634     |           | 11,6                  |                    |                                            |

§4-2.2.1 Berekening van de verhanglijn over de "gatvorm"

$L = 1000 \text{ [m]}, \Delta z = 20 \text{ [m]}, B = 1150 \text{ [m]}$

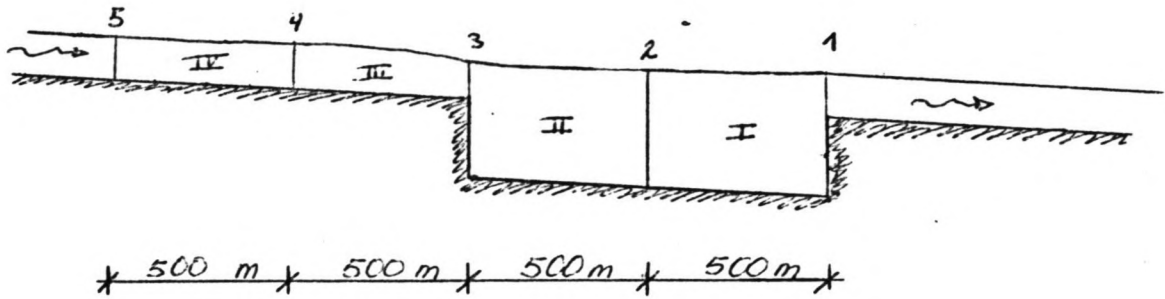


fig. 4-7

$Q = 9670 \text{ [m}^3/\text{sec]}$

| Vak | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | ib in $10^{-5}$ | C in $[m^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|-----|---|-----------|-----------|-----------------------|-----------------|-------------------------------------|
| I   | 1 | 27,100    | 500       | 0,20                  | 9,5             | 45,6                                |
| II  | 2 | 27,054    | 500       | 0,20                  | 9,5             | 45,6                                |
|     | 3 | 27,008    |           |                       |                 |                                     |

| Vak | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | ib in $10^{-5}$ | C in $[m^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|-----|---|-----------|-----------|-----------------------|-----------------|-------------------------------------|
| III | 3 | 7,008     | 500       | 9,9                   | 9,5             | 45,6                                |
| IV  | 4 | 7,010     | 500       | 9,9                   | 9,5             | 45,6                                |
|     | 5 | 7,012     |           | 9,9                   |                 |                                     |

§4-2.2.2 Berekening van de verhanglijn over de "gatvorm"

$L = 2000 \text{ [m]}, \Delta z = 10 \text{ [m]}, B = 1150 \text{ [m]}$

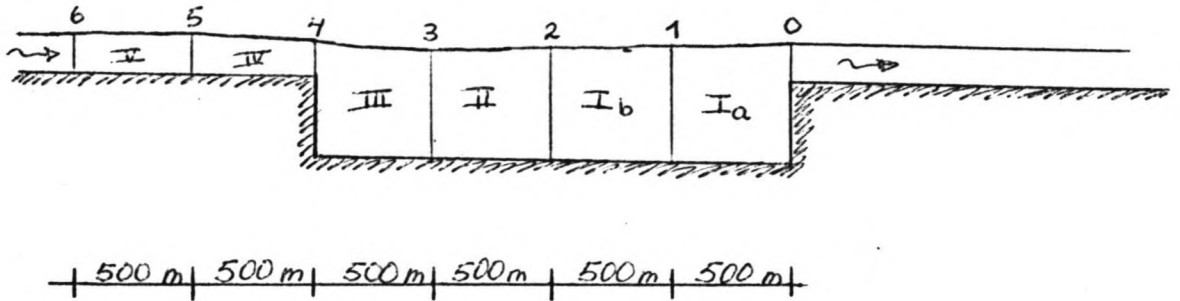


fig. 4-8

| Vak | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[m^{\frac{1}{2}}/sec]$ |
|-----|---|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|------------------------------|
| Ia  | 0 | 17,100    | 500       | 0,7                   | 9,5                | 45,6                         |
| Ib  | 1 | 17,056    | 500       | 0,7                   | 9,5                | 45,6                         |
| II  | 2 | 17,012    | 500       | 0,7                   | 9,5                | 45,6                         |
| III | 3 | 16,968    | 500       | 0,7                   | 9,5                | 45,6                         |
|     | 4 | 16,924    |           | 0,7                   |                    |                              |

| Vak | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[m^{\frac{1}{2}}/sec]$ |
|-----|---|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|------------------------------|
| IV  | 4 | 6,924     | 500       | 10,2                  | 9,5                | 45,6                         |
| V   | 5 | 6,928     | 500       | 10,2                  | 9,5                | 45,6                         |
|     | 6 | 6,932     |           | 10,2                  |                    |                              |



§4-2.2.3 Berekening van de verhanglijn over de "gatvorm"

$L = 4000 \text{ [m]}, \Delta z = 5 \text{ [m]}, B = 1150 \text{ [m]}$

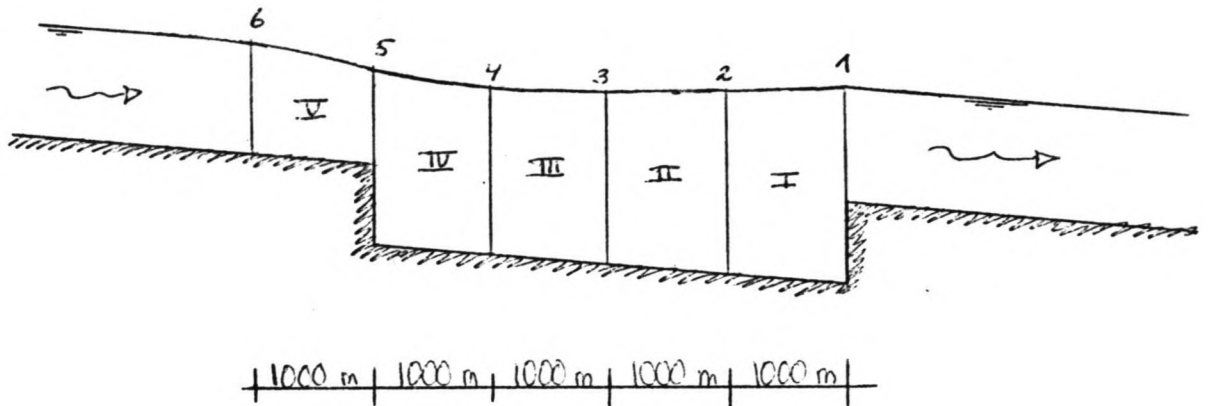


fig. 4-9

$Q = 9670 \text{ [m}^3/\text{sec]}$

| Vak | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|-----|---|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------------------------------|
| I   | 1 | 12,100    | 1000      | 1,9                   | 9,5                | 45,6                                       |
| II  | 2 | 12,024    | 1000      | 2,0                   | 9,5                | 45,6                                       |
| III | 3 | 11,949    | 1000      | 2,0                   | 9,5                | 45,6                                       |
| IV  | 4 | 11,874    | 1000      | 2,0                   | 9,5                | 45,6                                       |
|     | 5 | 11,799    |           | 2,0                   |                    |                                            |

| Vak | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|-----|---|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------------------------------|
| V   | 5 | 6,799     | 1000      | 10,8                  | 9,5                | 45,6                                       |
|     | 6 | 6,812     |           | 10,8                  |                    |                                            |

§4-2.2.4 Berekening van de verhanglijn over de "gatvorm"

$L = 8000 \text{ [m]}, \Delta z = 2,5 \text{ [m]}, B = 1150 \text{ [m]}$

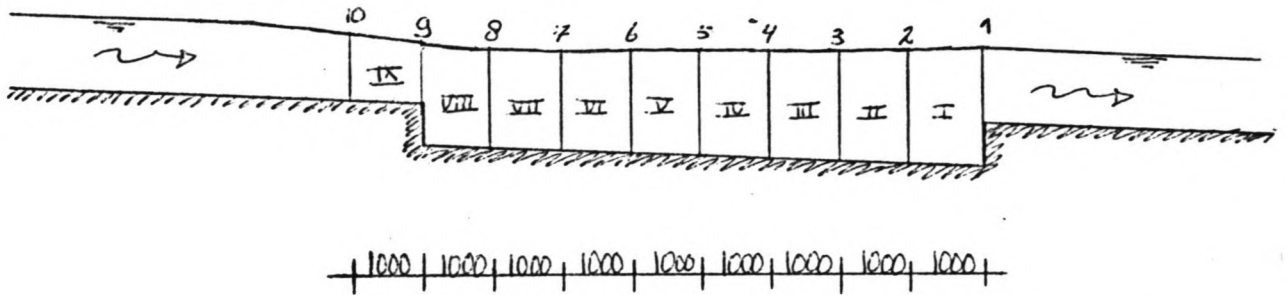


fig. 4-10

$Q = 9670 \text{ [m}^3/\text{sec]}$

| Vak  | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[m^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|------|---|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|
| I    | 1 | 9,600     | 1000      | 3,8                   | 9,5                | 45,6                                |
| II   | 2 | 9,543     | 1000      | 3,9                   | 9,5                | 45,6                                |
| III  | 3 | 9,487     | 1000      | 4,0                   | 9,5                | 45,6                                |
| IV   | 4 | 9,432     | 1000      | 4,1                   | 9,5                | 45,6                                |
| V    | 5 | 9,378     | 1000      | 4,1                   | 9,5                | 45,6                                |
| VI   | 6 | 9,324     | 1000      | 4,2                   | 9,5                | 45,6                                |
| VII  | 7 | 9,271     | 1000      | 4,3                   | 9,5                | 45,6                                |
| VIII | 8 | 9,219     | 1000      | 4,3                   | 9,5                | 45,6                                |
|      | 9 | 9,167     |           | 4,4                   |                    |                                     |

| Vak | n  | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[m^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|-----|----|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|
| IX  | 9  | 6,667     | 1000      | 11,5                  | 9,5                | 45,6                                |
|     | 10 | 6,687     |           | 11,4                  |                    |                                     |

§4-2.2.5 Berekening van de verhanglijn over de "gatvorm"

$L = 16.000 \text{ [m]}, \Delta z = 1,25 \text{ [m]}, B = 1150 \text{ [m]}$

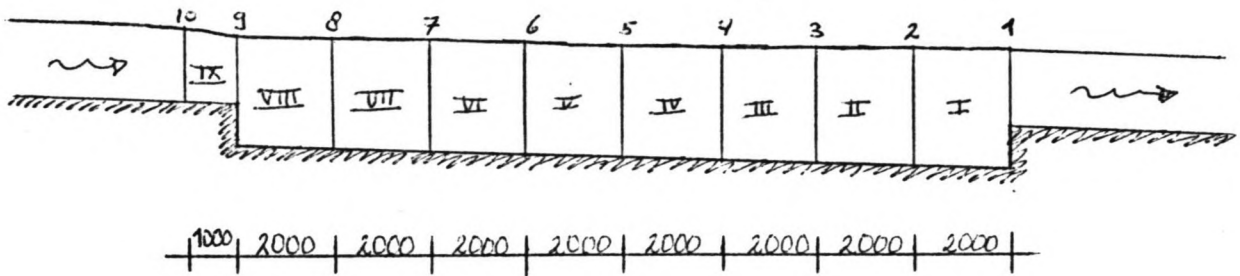


fig. 4-11

$Q = 9670 \text{ [m}^3\text{/sec]}$

| Vak  | n | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[m^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|------|---|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|
| I    | 1 | 8,350     | 2000      | 5,8                   | 9,5                | 45,6                                |
| II   | 2 | 8,276     | 2000      | 6,0                   | 9,5                | 45,6                                |
| III  | 3 | 8,206     | 2000      | 6,2                   | 9,5                | 45,6                                |
| IV   | 4 | 8,140     | 2000      | 6,3                   | 9,5                | 45,6                                |
| V    | 5 | 8,076     | 2000      | 6,5                   | 9,5                | 45,6                                |
| VI   | 6 | 8,016     | 2000      | 6,6                   | 9,5                | 45,6                                |
| VII  | 7 | 7,958     | 2000      | 6,7                   | 9,5                | 45,6                                |
| VIII | 8 | 7,902     | 2000      | 6,9                   | 9,5                | 45,6                                |
|      | 9 | 7,850     |           | 7,0                   |                    |                                     |

| Vak | n  | An in [m] | Lv in [m] | $i_{wn}$ in $10^{-5}$ | $i_b$ in $10^{-5}$ | C in $[m^{\frac{1}{2}}/\text{sec}]$ |
|-----|----|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|
| IX  | 9  | 6,600     | 2000      | 11,8                  | 9,5                | 45,6                                |
|     | 10 | 6,646     |           | 11,6                  |                    |                                     |

### §4.3 Berekening van de sedimenttransporten in de diverse "gatvormen".

De sedimenttransportcapaciteiten worden berekend met de formule van Meyer-Peter-Müller (formule 2-1.2.1).

Deze formule berekent het totale sedimenttransport, dus het zwevend transport gesommeerd met het bodemtransport.

$$S_t = 13,3 * B * \sqrt{\Delta \rho} d_{50}^3 * \left[ \frac{v^{3/2} (k_{sl})^{1/4}}{96 \Delta d_{50}} - 0,047 \right]^{3/2} \quad 2-1.2.1$$

In deze paragraaf wordt er van uit gegaan, dat de aanpassingslengten van de zwevende zandverticalen erg klein zijn. Daardoor is het geoorloofd aan te nemen dat zowel het zwevend transport als het bodemtransport zich ogenblikkelijk aan de heersende hydraulische parameters aanpassen.

In hoofdstuk 5 is nagegaan of deze aanpassingslengten van de zwevende zandverticalen ook inderdaad erg klein zijn.

Voor een toelichting op formule 2-1.2.1 zie §2-1.2.

Voor de vijf "gatvormen" worden nu op vier verschillende plaatsen in het gat bij dominante rivierafvoer de totale sedimenttransporten berekend (zie fig. 4-12).

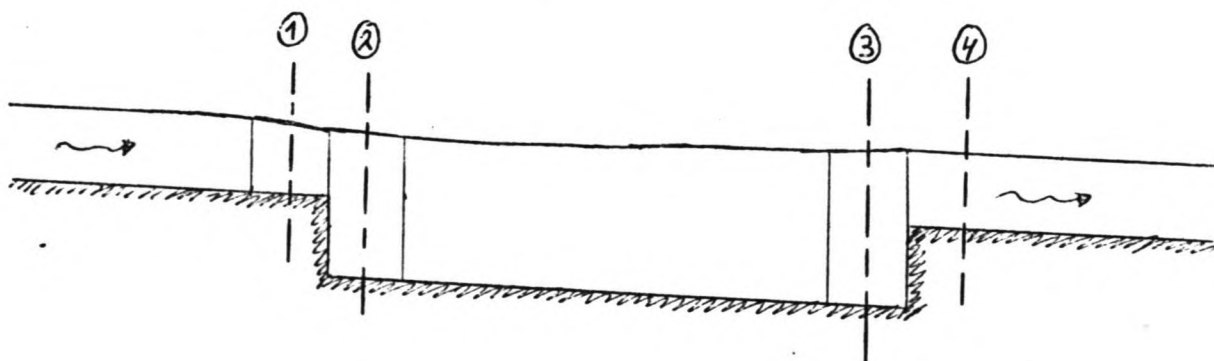


fig. 4-12

De vier plaatsen waar het totale sedimenttransport met formule 2-1.2 wordt berekend zijn:

- 1<sup>e</sup> het sedimenttransport wordt berekend in de laatste kilometer van de stuwkromme bovenstrooms van het te baggeren gat;
- 2<sup>e</sup> het sedimenttransport wordt berekend in de laatste kilometer van het te baggeren gat (stroomopwaarts);
- 3<sup>e</sup> het sedimenttransport wordt berekend in de eerste kilometer van het te baggeren gat (stroomafwaarts);
- 4<sup>e</sup> het sedimenttransport wordt berekend benedenstrooms van het te baggeren gat waar uniforme stroming is.

De totale sedimenttransporten die optreden - op de genoemde vier plaatsen - bij de verhanglijnen van §4-2.1.1 tot en met §4-2.1.5 staan in tabel 4-3. De verhanglijnen van §4-2.1.1 tot en met §4-2.1.5 zijn berekend met C-waarden welke zijn bepaald met de afschattingmethode van Englund en Hansen (zie hiervoor ook §3-4).

De totale sedimenttransporten die optreden - op de genoemde vier plaatsen - bij de verhanglijnen van §4-2.2.1 tot en met §4-2.2.5 staan in tabel 4-4. De verhanglijnen van §4-2.2.1 tot en met §4-2.2.5 zijn berekend met C-waarden welke zijn bepaald met de formule

$$C = Q / B.a \sqrt{a i_b} .$$

$$K_s = d_{90}$$

$$\Delta = 1,68$$

C waarde afgeschat met  
Englund en Hansen

| Gat-<br>vorm | L in<br>[m] | $\Delta z$<br>in [m] | B in<br>[m] | $d_{50}$<br>in<br>[mm] | $d_{90}$<br>in<br>[mm] | V in<br>[m/sec] | i in<br>$10^{-5}$ | S in $10^2$<br>[m <sup>3</sup> /dag] |        |
|--------------|-------------|----------------------|-------------|------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|--------|
| §4-2.1.1     | 1000        | 20                   | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 1,20            | 9,9               | S <sub>1</sub>                       | 113,88 |
| §4-2.1.1     | 1000        | 20                   | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 0,31            | 0,04              | S <sub>2</sub>                       | nihil  |
| §4-2.1.1     | 1000        | 20                   | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 0,31            | 0,04              | S <sub>3</sub>                       | nihil  |
| §4-2.1.1     | 1000        | 20                   | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 1,18            | 9,5               | S <sub>4</sub>                       | 107,14 |
| §4-2.1.2     | 2000        | 10                   | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 1,21            | 10,3              | S <sub>1</sub>                       | 118,3  |
| §4-2.1.2     | 2000        | 10                   | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 0,50            | 0,2               | S <sub>2</sub>                       | nihil  |
| §4-2.1.2     | 2000        | 10                   | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 0,49            | 0,2               | S <sub>3</sub>                       | nihil  |
| §4-2.1.2     | 2000        | 10                   | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 1,18            | 9,5               | S <sub>4</sub>                       | 107,14 |
| §4-2.1.3     | 4000        | 5                    | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 1,25            | 11,0              | S <sub>1</sub>                       | 132,20 |
| §4-2.1.3     | 4000        | 5                    | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 0,72            | 0,8               | S <sub>2</sub>                       | 6,01   |
| §4-2.1.3     | 4000        | 5                    | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 0,69            | 0,8               | S <sub>3</sub>                       | 4,93   |
| §4-2.1.3     | 4000        | 5                    | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 1,18            | 9,5               | S <sub>4</sub>                       | 107,14 |
| §4-2.1.4     | 8000        | 2,5                  | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 1,27            | 11,7              | S <sub>1</sub>                       | 141,25 |
| §4-2.1.4     | 8000        | 2,5                  | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 0,92            | 3,6               | S <sub>2</sub>                       | 34,74  |
| §4-2.1.4     | 8000        | 2,5                  | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 0,88            | 3,2               | S <sub>3</sub>                       | 28,66  |
| §4-2.1.4     | 8000        | 2,5                  | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 1,18            | 9,5               | S <sub>4</sub>                       | 107,14 |
| §4-2.1.5     | 16000       | 1,25                 | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 1,28            | 11,8              | S <sub>1</sub>                       | 144,60 |
| §4-2.1.5     | 16000       | 1,25                 | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 1,07            | 6,8               | S <sub>2</sub>                       | 71,51  |
| §4-2.1.5     | 16000       | 1,25                 | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 1,01            | 5,8               | S <sub>3</sub>                       | 56,86  |
| §4-2.1.5     | 16000       | 1,25                 | 1150        | 0,5                    | 2,9                    | 1,18            | 9,5               | S <sub>4</sub>                       | 107,14 |

TABEL 4-3

$$K_s = d_{90}$$

C waarde berekend uit

$$\Delta = 1,68$$

$$C = Q / B.a \sqrt{a i_b}$$

| Gat-<br>vorm | L in<br>[m] | $\Delta z$<br>in [m] | B in<br>[m] | $d_{50}$<br>in $10^{-3}$<br>[m] | $d_{90}$<br>in $10^{-3}$<br>[m] | V in<br>[m/sec] | i in<br>$10^{-5}$ | S in $10^2$<br>[m <sup>3</sup> /dag] |        |
|--------------|-------------|----------------------|-------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|--------|
| §4-2.2.1     | 1000        | 20                   | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 1,20            | 9,9               | S <sub>1</sub>                       | 113,88 |
| §4-2.2.1     | 1000        | 20                   | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 0,31            | 0,2               | S <sub>2</sub>                       | nihil  |
| §4-2.2.1     | 1000        | 20                   | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 0,31            | 0,2               | S <sub>3</sub>                       | nihil  |
| §4-2.2.1     | 1000        | 20                   | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 1,18            | 9,5               | S <sub>4</sub>                       | 107,14 |
| §4-2.2.2     | 2000        | 10                   | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 1,21            | 10,2              | S <sub>1</sub>                       | 117,83 |
| §4-2.2.2     | 2000        | 10                   | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 0,50            | 0,7               | S <sub>2</sub>                       | 0,23   |
| §4-2.2.2     | 2000        | 10                   | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 0,49            | 0,7               | S <sub>3</sub>                       | 0,14   |
| §4-2.2.2     | 2000        | 10                   | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 1,18            | 9,5               | S <sub>4</sub>                       | 107,14 |
| §4-2.2.3     | 4000        | 5                    | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 1,24            | 10,8              | S <sub>1</sub>                       | 128,52 |
| §4-2.2.3     | 4000        | 5                    | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 0,71            | 2,0               | S <sub>2</sub>                       | 10,67  |
| §4-2.2.3     | 4000        | 5                    | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 0,69            | 1,9               | S <sub>3</sub>                       | 9,24   |
| §4-2.2.3     | 4000        | 5                    | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 1,18            | 9,5               | S <sub>4</sub>                       | 107,14 |
| §4-2.2.4     | 8000        | 2,5                  | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 1,26            | 11,5              | S <sub>1</sub>                       | 137,45 |
| §4-2.2.4     | 8000        | 2,5                  | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 0,92            | 4,4               | S <sub>2</sub>                       | 38,32  |
| §4-2.2.4     | 8000        | 2,5                  | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 0,88            | 3,8               | S <sub>3</sub>                       | 31,26  |
| §4-2.2.4     | 8000        | 2,5                  | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 1,18            | 9,5               | S <sub>4</sub>                       | 107,14 |
| §4-2.2.5     | 16000       | 1,25                 | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 1,28            | 11,7              | S <sub>1</sub>                       | 144,08 |
| §4-2.2.5     | 16000       | 1,25                 | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 1,07            | 7,0               | S <sub>2</sub>                       | 72,44  |
| §4-2.2.5     | 16000       | 1,25                 | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 1,01            | 5,9               | S <sub>3</sub>                       | 57,31  |
| §4-2.2.5     | 16000       | 1,25                 | 1150        | 0,5                             | 2,9                             | 1,18            | 9,5               | S <sub>4</sub>                       | 107,14 |

T A B E L 4-4



§4-4 Analyse van de invloed die een foutieve constante van chezy (C) heeft op de in het "gebaggerde gat" optredende totale sedimenttransporten

§4-4.1 De formules waarmee de relatieve fouten in de totale sedimenttransporten kunnen worden berekend.

De totale sedimenttransporten in het "te baggeren gat" worden berekend met de formule van Meyer-Peter-Müller (formule 2-1.2.1).

Voor nadere omschrijving zie §2-1.2

$$S_t = 13,3 * B * \sqrt{\Delta g} d_{50}^3 * \left[ \frac{v^{3/2} (K_{SL})^{1/4}}{g b \Delta d_{50}} - 0,047 \right]^{3/2} \quad 2-1.2.1$$

Met behulp van de "kwadratische voortplantingswet van fouten", kan de relatieve fout in het totale sedimenttransport worden bepaald die ontstaat ten gevolge van de relatieve fouten in de parameters waarmee het totale sedimenttransport wordt berekend.

Algemeen geldt volgens de "kwadratische voortplantingswet van fouten"

indien  $z = a x^b y^c$   
dan geldt  $\tau_z^2 = (b)^2 \tau_x^2 + (c)^2 \tau_y^2 \quad (4-4.1)$   
waarin

$$\tau_z = \Delta z / \bar{z} \quad : \text{de relatieve fout in } Z$$

$$\tau_x = \Delta x / \bar{x} \quad : \text{de relatieve fout in } X$$

$$\tau_y = \Delta y / \bar{y} \quad : \text{de relatieve fout in } Y$$

Om de kwadratische voortplantingswet van fouten op formule 2-1.2.1 te kunnen toepassen, wordt de factor 0,047 in het rechter lid verwaarloosd.

Formule 2-1.2.1 wordt geschreven in de vorm van formule 4-4.2

$$S_t = 1,4 * 10^{-2} * B^1 * \Delta^{-1} * \vec{g}^{1/2} * v^{3/4} * K_s^{3/8} * i^{3/8} \quad 4-4.2$$

Het totale sedimenttransport wordt berekend in een verhanglijn zodat ook geldt:

$$V = Q / B.a \quad 4-4.3$$

$$i_w = Q^2 / B^2 . C^2 . a^3 \quad 4-4.4$$

Met behulp van de formules 4-4.3 en 4-4.4 is de formule 4-4.2 te herschrijven tot formule 4-4.5

$$S_t = 1,4 * 10^{-2} * B^{-2} * \Delta^{-1} * \vec{g}^{1/2} * Q^3 * K_s^{3/8} * C^{-6/8} * a^{-27/8} \quad 4-4.5$$

Indien met de "kwadratische voortplantingswet van fouten" op formule 4-4.5 toepast, verkrijgt men formule 4-4.6

$$\tau_{S_t}^2 = 4\tau_B^2 + \tau_\Delta^2 + \frac{1}{4}\tau_{\vec{g}}^2 + 9\tau_Q^2 + \left(\frac{3}{8}\right)^2 \tau_{K_s}^2 + \left(\frac{6}{8}\right)^2 \tau_C^2 + \left(\frac{27}{8}\right)^2 \tau_a^2 \quad 4-4.6$$

Er wordt nu gesteld dat de relatieve fouten in  $B, \Delta, \vec{g}, Q$  en  $K_s$  nul zijn. Daardoor reduceert formule 4-4.6 tot formule 4-4.7

$$\tau_{S_t}^2 = \left(\frac{6}{8}\right)^2 \tau_C^2 + \left(\frac{27}{8}\right)^2 \tau_a^2 \quad 4-4.7$$

Zoals uit hoofdstuk 3 blijkt, is het erg moeilijk om exact de C-waarde in het "te baggeren gat" te bepalen. Met behulp van formule 4-4.7 kan men de relatieve fout in het totale sedimenttransport berekenen indien men de relatieve fouten in de C-waarde en in de waterdiepte weet. Dit biedt dus de mogelijkheid om na te gaan hoe gevoelig de berekende totaal sedimenttransporten zijn voor een gekozen C-waarde, mits men een verband kan vinden

tussen de relatieve fout in de C-waarde en de relatieve fout in de waterdiepte.

Het verband tussen de relatieve fout in de C-waarde en de relatieve fout in de waterdiepte wordt hieronder beschreven. Het verband geldt alleen voor de doorsnede ② in de verhanglijn over het te baggeren gat, waarbij tevens de rivierbreedte niet varieert.

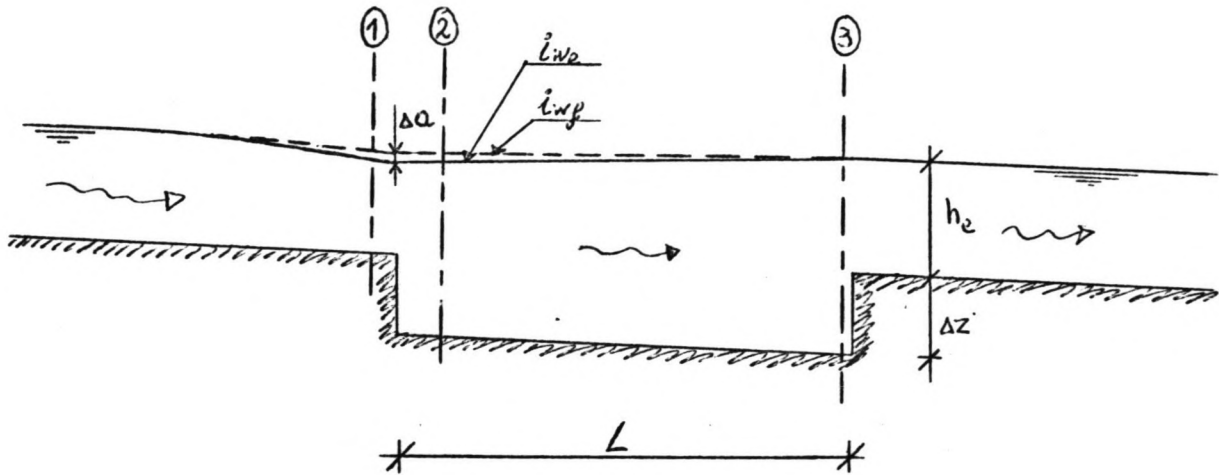


fig. 4-13

Er geldt:  $i_{we} = Q^2 / B^2 \approx C_e^2 \approx (h_e + \Delta Z)^3$  4-4.8

$i_{wf} = Q^2 / B^2 \approx C_f^2 \approx (h_e + \Delta Z)^3$  4-4.9

waarin  $i_{we}$  = het waterspiegelverhang behorende bij de exacte coefficient van Chezy

$i_{wf}$  = het waterspiegelverhang behorende bij de foutieve coefficient van Chezy

- $C_e$  = de exacte coefficient van Chezy in  $[m^{\frac{1}{2}}/sec]$   
 $C_f$  = de foutieve coefficient van Chezy in  $[m^{\frac{1}{2}}/sec]$   
 $h_e$  = de waterdiepte direct benedenstrooms van het te baggeren gat in  $[m]$   
 $\Delta Z$  = de diepte van het te baggeren gat in  $[m]$   
 $Q$  = de rivierafvoer in  $[m^3/sec]$   
 $B$  = de rivierbreedte in  $[m]$

Er wordt verondersteld dat het waterspiegelverhang in het gebaggerde gat constant is, in werkelijkheid zal het waterspiegelverhang in een lang gat toenemen, in stroomopwaartse richting.

Er geldt ook:  $Q_e = (\Delta Z + h_e) + (i_{w_e} - i_b) * L$  4-4.10

$Q_f = (\Delta Z + h_e) + (i_{w_f} - i_b) * L$  4-4.11

|               |         |                                                               |              |
|---------------|---------|---------------------------------------------------------------|--------------|
| <u>waarin</u> | $i_b$ : | het bodemverhang in het gebaggerde gat                        | dimensieloos |
|               | $L$ :   | de lengte van het te baggeren gat                             | in $[m]$     |
|               | $Q_e$ : | de waterdiepte berekend met de exacte coefficient van Chezy   | in $[m]$     |
|               | $Q_f$ : | de waterdiepte berekend met de foutieve coefficient van Chezy | in $[m]$     |

De relatieve fout in de waterdiepte is nu per definitie gelijk aan formule 4-4.12 (zie ook fig. 4-13).

$\gamma_a = \frac{|\Delta a|}{a_e} = \frac{|Q_e - Q_f|}{Q_e}$  4-4.12

Na enig rekenwerk kan formule 4-4.12 met behulp van de formules 4-4.8, 4-4.9, 4-4.10 en 4-4.11 worden omgewerkt naar de vorm van formule 4-4.13

$$\gamma_a = \frac{i_{w_e} * \left| 1 - \left( \frac{C_e}{C_f} \right)^2 \right|}{(i_{w_e} - i_b) + \{(\Delta Z + h_e)/L\}} \quad 4-4.13$$

Er wordt nogmaals op gewezen dat formule 4-4.13 alleen maar gebruikt mag worden om de relatieve fout in de waterdiepte in de doorsnede ② (zie fig. 4-13) te berekenen.

Het zal duidelijk zijn dat de relatieve fout in de waterdiepte in de doorsnede ③ (zie fig. 4-13) gelijk aan nul mag worden gesteld.

De relatieve fout in de waterdiepte in de doorsnede ① kan worden berekend met formule 4-4.14. Formule 4-4.14 kan op dezelfde wijze als formule 4-4.13 worden afgeleid.

$$\gamma_a = \frac{i_{w_e} * \left| 1 - \left( \frac{C_e}{C_f} \right)^2 \right|}{(i_{w_e} - i_b) + (h_e/L)} \quad 4-4.14$$

|                |                                                                                                                                     |                    |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <u>waarin:</u> | $i_{w_e}$ : het waterspiegelverhang over het te baggeren gat behorende bij de exacte coefficient van Chezy voor het te baggeren gat | dimensieloos       |
|                | $i_b$ : het bodemverhang in het te baggeren gat                                                                                     | dimensieloos       |
|                | $C_e$ : de exacte coefficient van Chezy voor het te baggeren gat                                                                    | in $[m^{1/2}/sec]$ |
|                | $C_f$ : de foutieve coefficient van Chezy voor het te baggeren gat                                                                  | in $[m^{1/2}/sec]$ |
|                | $h_e$ : de waterdiepte direct benedenstrooms van het te baggeren gat                                                                | in $[m]$           |
|                | $L$ : de lengte van het te baggeren gat                                                                                             | in $[m]$           |

Opmerking: Zoals reeds opgemerkt is, zal het waterspiegelverhang in de lange gaten niet constant blijven; doch groter worden in stroomopwaartse richting, doordat bij de berekening van de relatieve fouten in de waterdiepte met behulp van de formules 4-4.13 en 4-4.14 geen rekening wordt gehouden met het groter worden van het waterspiegelverhang in stroomopwaartse richting, zal men met de formules 4-4.13 en 4-4.14 de grootst mogelijke relatieve fout in de waterdiepte berekenen. (zie ook tabel 4-6).

§4-4.2 Toetsing van de formules waarmee de relatieve fouten in de totale sedimenttransporten kunnen worden berekend.

In §4-2.1.1. tot en met §4-2.1.5 zijn de verhanglijnen bij dominante rivierafvoer  $Q_{dom} = 9670 \text{ [m}^3/\text{sec]}$  over de vijf "gatvormen" berekend met behulp van een C-waarde, welke is afgeschat met de afschattingmethode van Engelund en Hansen. In §4-2.2.1 tot en met §4-2.2.5 zijn de verhanglijnen over de vijf "gatvormen" berekend met behulp van een C-waarde, welke is berekend met de formule  $C = Q/B \cdot a \sqrt{a u_b} = 45,6 \text{ [m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec]}$  voor alle vijf "gatvormen".

Er wordt nu gesteld dat de C-waarden afgeschat met de afschattingmethode van Engelund en Hansen de exacte C-waarden in het gat zijn; en dat de C-waarde berekend met de formule  $C = Q/B \cdot a \sqrt{a u_b}$  de foutieve C-waarden in het gat zijn.

Het is nu mogelijk om met behulp van de formule 4-4.13 en 4-4.14 de relatieve fouten in de waterdieptes in respectievelijk doorsnede ② en ① te berekenen t.g.v. de foutieve  $C = 45,6 \text{ [m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec]}$

Voor de berekening van de relatieve fouten in de waterdieptes in doorsnede ② en ① zie tabel 4-5.

| L in<br>[m] | $\Delta Z$ in<br>[m] | B in<br>[m] | $i_{we}$<br>in<br>$10^{-5}$ | $i_b$<br>in<br>$10^{-5}$ | $C_e$ in<br>[m <sup>1/2</sup> /<br>sec] | $C_j$ in<br>[m <sup>1/2</sup> /<br>sec] | $h_e$ in<br>[m] | $\zeta_a$ in<br>$10^{-3}$ |      |
|-------------|----------------------|-------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------|---------------------------|------|
| 1000        | 20                   | 1150        | 0,04                        | 9,5                      | 91,6                                    | 45,6                                    | 7,10            | ①                         | 0,17 |
| 1000        | 20                   | 1150        | 0,04                        | 9,5                      | 91,6                                    | 45,6                                    | 7,10            | ②                         | 0,05 |
| 2000        | 10                   | 1150        | 0,2                         | 9,5                      | 88,0                                    | 45,6                                    | 7,10            | ①                         | 1,58 |
| 2000        | 10                   | 1150        | 0,2                         | 9,5                      | 88,0                                    | 45,6                                    | 7,10            | ②                         | 0,64 |
| 4000        | 5                    | 1150        | 0,8                         | 9,5                      | 72,4                                    | 45,6                                    | 7,10            | ①                         | 7,21 |
| 4000        | 5                    | 1150        | 0,8                         | 9,5                      | 72,4                                    | 45,6                                    | 7,10            | ②                         | 4,14 |
| 8000        | 2,5                  | 1150        | 3,2                         | 9,5                      | 50,3                                    | 45,6                                    | 7,10            | ①                         | 8,41 |
| 8000        | 2,5                  | 1150        | 3,2                         | 9,5                      | 50,3                                    | 45,6                                    | 7,10            | ②                         | 6,10 |
| 16000       | 1,25                 | 1150        | 5,7                         | 9,5                      | 46,0                                    | 45,6                                    | 7,10            | ①                         | 2,48 |
| 16000       | 1,25                 | 1150        | 5,7                         | 9,5                      | 46,0                                    | 45,6                                    | 7,10            | ②                         | 2,08 |

T A B E L 4-5

Het is ook mogelijk om de relatieve fouten in de waterdieptes direct, met behulp van de in de verhanglijnen (§4-2.1.1. t/m §4-2.1.5. en §4-2.2.1 t/m §4-2.2.5 ) berekende waterdieptes in de doorsnede ① en ② te berekenen met de formule 4-4.12

$$\zeta_a = \frac{|\Delta a|}{a_e} = \frac{|a_e - a_f|}{a_e}$$

4-4.12



Voor de berekening van de relatieve fouten in de waterdieptes met behulp van formule 4-4.12 zie tabel 4-6. In tabel 4-6 zijn ook ter vergelijking de relatieve fouten in de waterdieptes met behulp van de formules 4-4.13 en 4-4.14 aangegeven.

| L in<br>[m] | $\Delta Z$ in<br>[m] | B in<br>[m] | $Q_e$ in<br>[m] | $Q_f$ in<br>[m] | $\zeta_a$ berekend<br>met formule<br>4-4.12 in<br>$10^{-3}$ [-] |      | $\zeta_a$ berekend<br>met de for-<br>mules 4-4.13<br>en 4-4.14 in<br>$10^{-3}$ [-] |      |
|-------------|----------------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1000        | 20                   | 1150        | 7,006           | 7,008           | ①                                                               | 0,28 | ①                                                                                  | 0,17 |
| 1000        | 20                   | 1150        | 27,006          | 27,008          | ②                                                               | 0,07 | ②                                                                                  | 0,05 |
| 2000        | 10                   | 1150        | 6,915           | 6,924           | ①                                                               | 1,30 | ①                                                                                  | 1,58 |
| 2000        | 10                   | 1150        | 16,915          | 16,924          | ②                                                               | 0,53 | ②                                                                                  | 0,64 |
| 4000        | 5                    | 1150        | 6,752           | 6,799           | ①                                                               | 6,96 | ①                                                                                  | 7,21 |
| 4000        | 5                    | 1150        | 11,752          | 11,799          | ②                                                               | 4,00 | ②                                                                                  | 4,14 |
| 8000        | 2,5                  | 1150        | 6,612           | 6,667           | ①                                                               | 8,32 | ①                                                                                  | 8,41 |
| 8000        | 2,5                  | 1150        | 9,112           | 9,167           | ②                                                               | 6,04 | ②                                                                                  | 6,10 |
| 16000       | 1,25                 | 1150        | 6,586           | 6,600           | ①                                                               | 2,13 | ①                                                                                  | 2,48 |
| 16000       | 1,25                 | 1150        | 7,836           | 7,850           | ②                                                               | 1,79 | ②                                                                                  | 2,08 |

T A B E L 4-6

Zoals men in tabel 4-6 kan zien, zijn alle relatieve fouten in de waterdieptes - bij gebaggerde gaten met een lengte groter of gelijk aan 2000 [m] - berekend met de formules 4-4.13 en 4.4-14 groter dan de relatieve fouten in de waterdieptes berekent met formule 4-4.12.

Echter bij het gat met een lengte van 1000 [m] is dit niet het geval,

de reden hiervoor is ons inziens de afrondingsfouten in de verhanglijn-berekening.

Daarom blijft de conclusie gerechtvaardigt dat men met de bepaling van de relatieve fouten in de waterdieptes met behulp van de formule 4-4.13 en 4-4.14 aan de veilige kant zit.

Om de relatieve fout in het totale sedimenttransport ( $\gamma_{st}$ ) te kunnen berekenen met behulp van formule 4-4.7 moet men de relatieve fout in de waterdiepte  $\gamma_q$  en de relatieve fout in de C-waarde  $\gamma_c$  weten. De relatieve fout in de waterdiepte ( $\gamma_q$ ) is in het voorgaande bepaald met behulp van de formules 4-4.13 en 4-4.14. De relatieve fout in de C-waarde ( $\gamma_c$ ) kan worden berekend met de formule  $\gamma_c = |\Delta C|/C_e = |C_e - C_f|/C_e$ .

$$\gamma_{st}^2 = \left(-\frac{6}{8}\right)^2 \gamma_c^2 + \left(-\frac{27}{8}\right)^2 \gamma_q^2$$

4-4.7

Voor de berekening van de relatieve fouten in de totale sedimenttransporten ( $\gamma_{st}$ ) in de doorsnede ①, ② en ③ voor de vijf "gatvormen" zie tabel 4-7.

Het zal zonder meer duidelijk zijn, dat het weining zin heeft de relatieve fouten in de totale sedimenttransporten ( $\gamma_{st}$ ) in de doorsnedes ④ voor de vijf "gatvormen" te gaan berekenen.

Deze zijn namelijk allemaal gelijk aan nul, doordat zowel  $\gamma_c = 0$  als  $\gamma_q = 0$

| L in<br>[m] | $\Delta Z$ in<br>[m] | B in<br>[m] | $C_e$ in<br>[m <sup>3</sup> /sec] | $C_1$ in<br>[m <sup>3</sup> /sec] | $\gamma_c$ in<br>[-] | $\gamma_a$ bere-<br>kend met<br>formule<br>4-4.13<br>4-4.14<br>in 10 <sup>-3</sup> [-] | $\gamma_{st}$ bere-<br>kend met<br>in 10 <sup>-2</sup> [-] |      |
|-------------|----------------------|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------|
| 1000        | 20                   | 1150        | 45,6                              | 45,6                              | 0,000                | 0,17                                                                                   | ①                                                          | 0,1  |
| 1000        | 20                   | 1150        | 91,6                              | 45,6                              | 0,502                | 0,05                                                                                   | ②                                                          | 37,7 |
| 1000        | 20                   | 1150        | 91,6                              | 45,6                              | 0,502                | 0,00                                                                                   | ③                                                          | 37,7 |
| 2000        | 10                   | 1150        | 45,6                              | 45,6                              | 0,000                | 1,58                                                                                   | ①                                                          | 0,5  |
| 2000        | 10                   | 1150        | 88,0                              | 45,6                              | 0,482                | 0,64                                                                                   | ②                                                          | 36,2 |
| 2000        | 10                   | 1150        | 88,0                              | 45,6                              | 0,482                | 0,00                                                                                   | ③                                                          | 36,2 |
| 4000        | 5                    | 1150        | 45,6                              | 45,6                              | 0,000                | 7,21                                                                                   | ①                                                          | 2,4  |
| 4000        | 5                    | 1150        | 72,4                              | 45,6                              | 0,370                | 4,14                                                                                   | ②                                                          | 27,8 |
| 4000        | 5                    | 1150        | 72,4                              | 45,6                              | 0,370                | 0,00                                                                                   | ③                                                          | 27,8 |
| 8000        | 2,5                  | 1150        | 45,6                              | 45,6                              | 0,000                | 8,41                                                                                   | ①                                                          | 2,8  |
| 8000        | 2,5                  | 1150        | 50,3                              | 45,6                              | 0,093                | 6,10                                                                                   | ②                                                          | 7,3  |
| 8000        | 2,5                  | 1150        | 50,3                              | 45,6                              | 0,093                | 0,00                                                                                   | ③                                                          | 7,0  |
| 16000       | 1,25                 | 1150        | 45,6                              | 45,6                              | 0,000                | 2,48                                                                                   | ①                                                          | 0,8  |
| 16000       | 1,25                 | 1150        | 46                                | 45,6                              | 0,009                | 2,08                                                                                   | ②                                                          | 1,0  |
| 16000       | 1,25                 | 1150        | 46                                | 45,6                              | 0,009                | 0,00                                                                                   | ③                                                          | 0,7  |

T A B E L 4-7

Het is ook mogelijk om de relatieve fouten in het totale sedimenttransport direct met behulp van de in §4-3 berekende totaal sedimenttransporten te berekenen. In tabel 4-3 staan de totale sedimenttransporten die berekend zijn in de verhanglijnen behorende bij de C-waardes afgeschat met de afschattingsmethode van Engelund en Hansen, dit zijn dus de correcte totale sedimenttransporten  $St_e$ .

In tabel 4-4 staat de totale sedimenttransporten, die berekend zijn in de verhanglijnen bij de C-waardes die bepaald zijn met de formule  $C = Q/B.a\sqrt{a i_b}$ , dit zijn dus de foutieve totale sedimenttransporten  $St_f$ . De relatieve fouten in de totale sedimenttransporten ( $\gamma_{st}$ ) zijn nu te berekenen met de formule  $\gamma_{st} = |\Delta St| / St_e = |(St_e - St_f)| / St_e$ . Voor de berekening van  $\gamma_{st}$  op de hier boven beschreven wijze zie tabel 4-8. Om te kunnen vergelijken zijn in tabel 4-8 ook de relatieve fouten in de totale sedimenttransporten berekend in tabel 4-7 aangegeven.

| L in<br>[m] | $\Delta z$ in<br>[m] | B in<br>[m] | $St_e$ in<br>$10^2$<br>[m <sup>3</sup> /dag] | $St_f$ in<br>$10^2$<br>[m <sup>3</sup> /dag] | $\gamma_{st}$ bere-<br>kend uit<br>$ (St_e - St_f) $<br>$/ St_e$ in<br>$10^{-2}$ [-] |      | $\gamma_{st}$ bere-<br>kend met<br>kwadrati-<br>sche voort-<br>plantingswet<br>van fouten<br>in $10^{-2}$ [-] |      |
|-------------|----------------------|-------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1000        | 20                   | 1150        | 113,88                                       | 113,88                                       | ①                                                                                    | 0,00 | ①                                                                                                             | 0,1  |
| 1000        | 20                   | 1150        | nihil                                        | nihil                                        | ②                                                                                    | -    | ②                                                                                                             | 37,7 |
| 1000        | 20                   | 1150        | nihil                                        | nihil                                        | ③                                                                                    | -    | ③                                                                                                             | 37,7 |
| 2000        | 10                   | 1150        | 118,3                                        | 117,83                                       | ①                                                                                    | 0,4  | ①                                                                                                             | 0,5  |
| 2000        | 10                   | 1150        | nihil                                        | 0,23                                         | ②                                                                                    | -    | ②                                                                                                             | 36,2 |
| 2000        | 10                   | 1150        | nihil                                        | 0,14                                         | ③                                                                                    | -    | ③                                                                                                             | 36,2 |
| 4000        | 5                    | 1150        | 132,20                                       | 128,52                                       | ①                                                                                    | 2,8  | ①                                                                                                             | 2,4  |
| 4000        | 5                    | 1150        | 6,01                                         | 10,67                                        | ②                                                                                    | 77,5 | ②                                                                                                             | 27,8 |
| 4000        | 5                    | 1150        | 4,93                                         | 9,24                                         | ③                                                                                    | 87,4 | ③                                                                                                             | 27,8 |
| 8000        | 2,5                  | 1150        | 141,25                                       | 137,45                                       | ①                                                                                    | 2,7  | ①                                                                                                             | 2,8  |
| 8000        | 2,5                  | 1150        | 34,74                                        | 38,42                                        | ②                                                                                    | 10,6 | ②                                                                                                             | 7,3  |
| 8000        | 2,5                  | 1150        | 28,66                                        | 31,26                                        | ③                                                                                    | 9,1  | ③                                                                                                             | 7,0  |
| 16000       | 1,25                 | 1150        | 144,60                                       | 144,08                                       | ①                                                                                    | 0,4  | ①                                                                                                             | 0,8  |
| 16000       | 1,25                 | 1150        | 71,51                                        | 72,44                                        | ②                                                                                    | 1,3  | ②                                                                                                             | 1,0  |
| 16000       | 1,25                 | 1150        | 56,86                                        | 57,31                                        | ③                                                                                    | 0,8  | ③                                                                                                             | 0,7  |

T A B E L 4-8

In tabel 4-8 kan men zien dat de formules uit §4-4.1 een goede schatting geven van de relatieve fouten in de totale sedimenttransporten.

Bij de afleiding van de formules van §4-4.1 is de factor 0,047 in de totale sedimenttransportformule van Meyer-Peter-Müller verwaarloosd. Dit is de reden waarom bij relatief kleine totale sedimenttransporten er een groter verschil is tussen de waardes van de relatieve fouten in de totale sedimenttransporten ( $\gamma_{s_t}$ ), berekend met de formule uit §4-4.1 en de waardes van de relatieve fouten in de totale sedimenttransporten ( $\gamma_{s_t}$ ) berekend met behulp van de formule  $\gamma_{s_t} = |S_{t_p} - S_{t_e}| / S_{t_e}$  dan bij relatief groter totale sedimenttransporten.

De conclusie blijft echter gerechtvaardigd, dat men met behulp van de formules, afgeleid in §4-4.1, een goede schatting kan maken van de relatieve fouten in de totale sedimenttransporten - berekend met de totale sedimenttransport formule van Meyer-Peter-Müller (formule 2-1.2.1) - die veroorzaakt worden, doordat een foutieve C-waarde voor het "te baggeren gat" wordt genomen.

§4-4.3     Mag de verhanglijn over het "te baggeren gat" met de direct benedenstrooms van het gat aanwezige C-waarde worden berekend?

Alvorens de in de titel van deze paragraaf geformuleerde vraag te beantwoorden dient men zich te realiseren wat het doel van het afstudeerwerk is. Het hoofddoel van het afstuderen is om na te gaan hoe een gebaggerd gat zich op de rivier zal voortplanten in de loop der tijd. Het is daarom erg belangrijk dat de sedimenttransporten die men met behulp van het computerprogramma in het "te baggeren gat" berekent zeer goed overeenkomen met de sedimenttransporten zoals die daadwerkelijk in het "te baggeren gat" zullen optreden. Of het computerprogramma ook de waterbeweging - dus de juiste verhanglijn etcetera - exact weergeeft, komt pas op de tweede plaats.

Bij dominante rivieraafvoer ( $Q_{dom} = 9670 \text{ [m}^3/\text{sec]})$  zijn de totale sedimenttransporten in de "vijf gatvormen" berekend bij twee verschillende C-waardes. In tabel 4-3 staan de totale sedimenttransporten die optreden indien de verhanglijnen worden berekend met C-waardes afgeschat met de afschattingmethode van Englund en Hansen. In tabel 4-4 staan de totale sedimenttransporten die optreden indien de verhanglijnen worden berekend met de C-waarde die direct benedenstrooms van het "te baggeren gat" op de rivier aanwezig is.

Indien men nu aanneemt dat de afschattingsmethode van Englund en Hansen, de werkelijke C-waardes in de "te baggeren gaten" redelijk benadert, dan kan met door de totale sedimenttransporten in tabel 4-3 en tabel 4-4 te vergelijken, een indruk krijgen over de relatieve fouten die in de totale



sedimenttransporten optreden ten gevolge van de foutieve bovenstroomse C-waarde in de te baggeren gaten.

- Voor het diepe gat ( $\Delta z = 20 \text{ [m]}$ ,  $L = 1000 \text{ [m]}$ ) is het relatieve verschil in de berekende totale sedimenttransporten in doorsnede ① zeer klein (0%). In het gebaggerde gat treedt zelfs geheel geen sedimenttransport op; noch bij de C-waarde van Englund en Hansen, noch bij de benedenstroomse C-waarde.
- Voor het gat ( $\Delta z = 10 \text{ [m]}$ ,  $L = 1000 \text{ [m]}$ ) is het relatieve verschil in de berekende totale sedimenttransporten in doorsnede ① ook zeer klein (0,4%). In doorsnede ② en ③ treedt bij Englund en Hansen geen sedimenttransport op.  
Bij de benedenstroomse C-waarde treedt in doorsnede ② en ③ wel sedimenttransport op, maar deze zijn ongeveer gelijk aan nul.
- Voor het gat ( $\Delta z = 5 \text{ [m]}$ ,  $L = 4000 \text{ [m]}$ ) is het relatieve verschil in de berekende totale sedimenttransporten in doorsnede ① niet zo groot (2,8%). De relatieve verschillen in de berekende totale sedimenttransporten zijn in de doorsnedes ② en ③ respectievelijk 77,5% en 87,4%. Dit mag erg groot lijken, maar men moet bedenken, dat de absolute verschillen in de berekende totale sedimenttransporten slechts respectievelijk  $4,66 \times 10^2 \text{ [m}^3/\text{dag]}$  en  $4,31 \times 10^3 \text{ [m}^3/\text{dag]}$  bedragen.
- Voor het gat ( $\Delta z = 2,5 \text{ [m]}$ ,  $L = 8000 \text{ [m]}$ ) is het relatieve verschil in de berekende totale sedimenttransporten in doorsnede ① niet zo groot (2,7%). De relatieve verschillen in de berekende totale sedimenttransporten zijn in doorsnedes ② en ③ niet zo erg groot (respectievelijk 10,6% en 9,1%).
- Voor het gat ( $\Delta z = 1,25 \text{ [m]}$ ,  $L = 16000 \text{ [m]}$ ) is het relatieve verschil in de berekende totale sedimenttransporten in doorsnede ① erg klein (0,4%).



De relatieve verschillen in de berekende totale sedimenttransporten zijn in de doorsnedes ② en ③ erg klein (respectievelijk 1,3% en 0,8%).

Uit het bovenstaande verhaal kan de conclusie worden getrokken dat het geoorloofd is om de verhanglijnen over het te baggeren gat met de direct benedenstrooms aanwezige C-waarde te berekenen. De relatieve fouten die in het totale sedimenttransport optreden t.g.v. de foutieve C-waarde in het te baggeren gat, zijn verwaarloosbaar klein, bij de dominante rivierafvoer.

Opgemerkt dient te worden, dat bovenstaande conclusie is gebaseerd op de resultaten van de totale sedimenttransportberekeningen zoals die optreden bij dominante rivierafvoer ( $Q_{dom} = 9670 \text{ [m}^3/\text{sec]})$ .

Met behulp van de formules, welke in §4-4.1 zijn afgeleid en in §4-4.2 getoetst, kunnen de relatieve fouten in de totale sedimenttransporten worden berekend.

Voor doorsnede ① geldt:

$$\tau_a = i_{we} * \left| \left\{ 1 - \left( \frac{C_e}{C_f} \right)^2 \right\} \right| / \left\{ (i_{we} - i_b) + (h_e/L) \right\} \quad 4-4.14$$

$$\tau_c = 0$$

$$\tau_{st}^2 = \left( \frac{6}{8} \right)^2 \tau_c^2 + \left( \frac{27}{8} \right)^2 \tau_a^2 \quad 4-4.7$$

Voor doorsnede ② geldt:

$$\tau_a = i_{we} * \left| \left\{ 1 - \left( \frac{C_e}{C_f} \right)^2 \right\} \right| / \left\{ (i_{we} - i_b) + (\Delta Z + h_e)/L \right\} \quad 4-4.13$$

$$\tau_c = |(C_e - C_f)| / C_e$$

$$\tau_{st}^2 = \left( \frac{6}{8} \right)^2 \tau_c^2 + \left( \frac{27}{8} \right)^2 \tau_a^2 \quad 4-4.7$$

Voor doorsnede ③ geldt:

$$\gamma_a = 0$$

$$\gamma_c = |(C_e - C_g)| / C_e$$

$$\gamma_{st}^2 = \left(\frac{6}{8}\right)^2 \gamma_c^2 + \left(\frac{27}{8}\right)^2 \gamma_a^2$$

4-4.7

Het is nu mogelijk om bij elke rivierafvoer de relatieve fouten in de totale sedimenttransporten die in de "vijf gatvormen" optreden ten gevolge van een foutieve C-waarde - doordat de benedenstroomse C-waarde wordt genomen - te berekenen indien bekend zijn:

|                                                     |                                                                                                                    |                            |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| $C_e$                                               | : de exacte C-waarde in het te baggeren gat behorende bij de rivierafvoer                                          | in $[m^{\frac{1}{2}}/sec]$ |
| $C_g$                                               | : de benedenstroomse C-waarde behorende bij de rivierafvoer                                                        | in $[m^{\frac{1}{2}}/sec]$ |
| $h_e$                                               | : de waterstand van de rivier juist benedenstrooms van het te baggeren gat behorende bij de heersende rivierafvoer | in $[m]$                   |
| $Q$                                                 | : de rivierafvoer                                                                                                  | in $[m^3/sec]$             |
| $B$                                                 | : de rivierbreedte                                                                                                 | in $[m]$                   |
| $\Delta Z$                                          | : diepte van het gebaggerde gat in de rivierbodem                                                                  | in $[m]$                   |
| $L$                                                 | : lengte van het gebaggerde gat in de rivierbodem                                                                  | in $[m]$                   |
| $i_b$                                               | : het bodemverhang in het gebaggerde gat                                                                           | dimensieloos               |
| $i_{we} = Q^2 / B^2 C_e^2 \cdot (\Delta z + h_e)^3$ | : het waterspiegelverhang over het gebaggerde gat bij de exacte constante van Chezy                                | dimensieloos               |

Men zou voor het gehele rivierregiem, met behulp van bovenstaande formules, de relatieve fouten in de totale sedimenttransporten kunnen berekenen. Het zou lonend zijn hiervoor een computerprogramma te schrijven.

De dominante rivierafvoer is een constante afvoer, welke gedurende een bepaalde periode - liefst vele jaren - dezelfde hoeveelheid sediment transporteert, als wordt getransporteerd onder invloed van het gehele afvoerregiem van die bepaalde periode.

Omdat de relatieve fouten in de totale sedimenttransporten bij de dominante rivierafvoer klein zijn, lijkt het ons inziens verantwoordt om te stellen, dat de verhanglijnen over de gebaggerde gaten mogen worden berekend met de benedenstroomse C-waarde.

§4-5 Interpretatie van de in §4-3 berekende sedimenttransporten met betrekking tot de vervorming van het gebaggerde gat.

Aan de hand van de in §4-3 berekende sedimenttransporten hebben we getracht ons een beeld te vormen over hoe het "te baggeren gat" in de rivierbodem zich zou kunnen gedragen.

§4-5.1 Bovenstrooms van het te "baggeren gat"

Zoals uit de verhanglijnen, berekend in §4-2, blijkt, treedt er afzuiging op bovenstrooms van het te baggeren gat. (zie fig. 4-14)

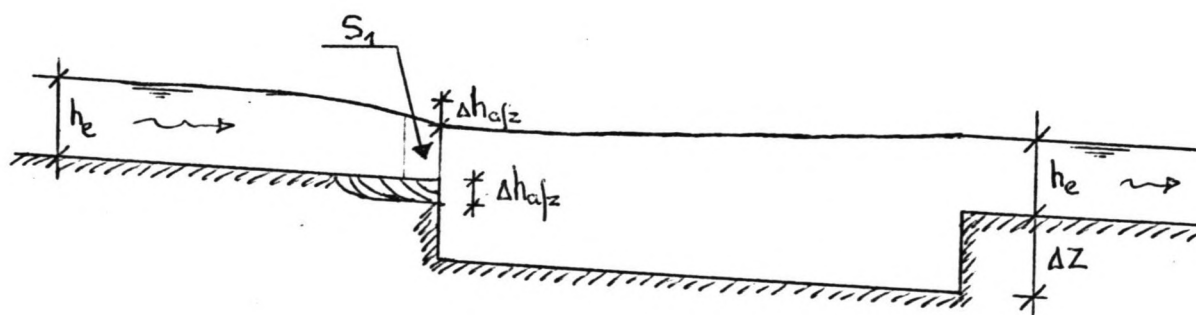


fig. 4-14

Door deze afzuiging ( $\Delta h_{afz.}$ ) zal de sedimenttransport capaciteit direct bovenstrooms van het te baggeren gat groter zijn dan verder op de rivier waar eenparige uniforme stroming zal heersen.

Doordat ter hoogte van de afzuiging ( $\Delta h_{afz.}$ ) de sedimenttransport capaciteit toe neemt, zal de rivier hier de bodem gaan uitschuren.

Dit resulteert in een terugschrijdende erosie die zich in bovenstroomse richting van de rivier zal voortplanten (zie fig. 4-15).

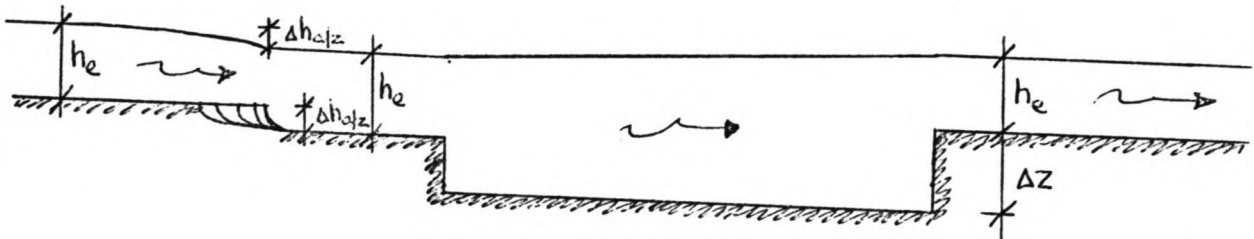


fig. 4-15

Te Egbu, ongeveer 13 km. stroomopwaarts van het "te baggeren gat", zal een dam gebouwd worden, welke in 1990 gereed zal moeten zijn. Er bestaat dus een kans dat de fundering van de dam aangevallen wordt door deze bodem verlaging  $\Delta h_{afz.}$ .

Indien de dam te Egbu in gebruik wordt genomen zal de sediment aanvoer op de rivier, direkt benedenstrooms van de dam, tijdelijk sterk worden gereduceerd. Dit zal resulteren in een uitschuring ( $\Delta h_{ontgr.}$ ) benedenstrooms van de dam die zich in stroomafwaartse richting voortplant.

Tevens is ook nog de zich stroomopwaartse voortplantende bodemverlaging ( $\Delta h_{afz}$ ) aanwezig (zie fig. 4-15/a).

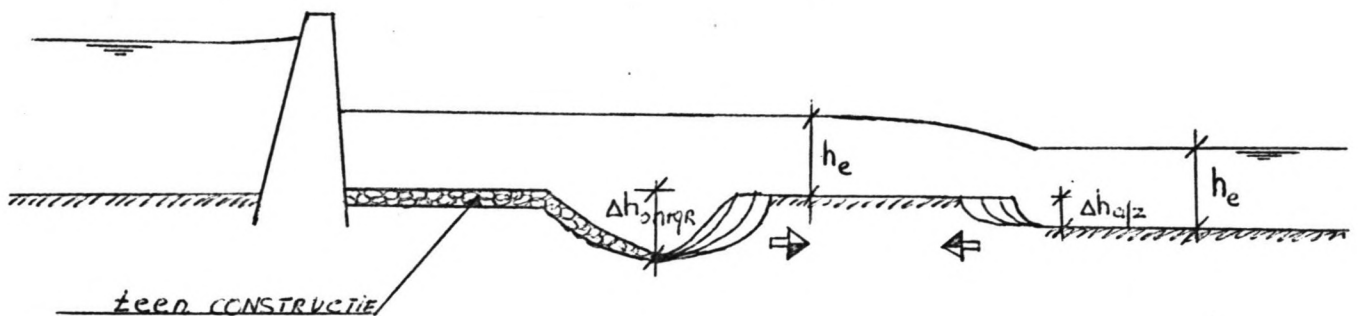


fig. 4-15/a

Indien  $\Delta h_{afz}$  kleiner is dan  $\Delta h_{ontgr}$  zal de fundering van de dam geen gevaar lopen.

Indien  $\Delta h_{afz}$  groter is dan  $\Delta h_{ontgr}$  zal de teen constructie van de dam gevaar lopen, waardoor ook mogelijk de fundering van de dam zal kunnen worden ondermijnd.

Om nu enigszins een indruk te krijgen over de snelheid van de stroomopwaarts van het "te baggeren gat" voortschrijdende bodemverlaging is de volgende berekening gemaakt

$$L_e = \frac{\left(\frac{S_1}{S_4} - 1\right) * S_{tot, jaar}}{\Delta h_{afz} * B}$$

4-5.1.1

waarin:

- $L_e$  : de lengte die de terugschrijdende erosie per jaar aflegt in [m/jaar]
- $\Delta h_{Qf2}$  : de afzuiging t.g.v. het "te baggeren gat" in [m]
- $B$  : de rivierbreedte in [m]
- $S_1$  : het totale sedimenttransport dat in de laatste kilometer van de verhangkromme, bovenstrooms van het "te baggeren gat", optreedt bij een afvoer  $Q_{dom} = 9670$  [m<sup>3</sup>/sec] in [m<sup>3</sup>/dag]
- $S_4$  : het totale sedimenttransport dat in de rivier optreedt bij een uniforme stroming van  $Q_{dom} = 9670$  [m<sup>3</sup>/sec] in [m<sup>3</sup>/dag]
- $S_{tot, jaar}$  : de totale hoeveelheid sedimenttransport (dus bodem + zwevend transport) die in het rivier vak optreedt zonder de aanwezigheid van het "te baggeren gat" t.g.v. het gehele jaarlijkse afvoer-regiem in [m<sup>3</sup>/jaar]

Voor  $S_{tot, jaar}$  is genomen  $(0,88 + 1,3) \times 10^6$  [m<sup>3</sup>/jaar], dit is het door Nedeco gemeten totaaltransport te Shintaku (zie tabel 1-6.2).

De formule 4-5.1.1 verdient nog nadere toelichting

- 1<sup>e</sup> Tengevolge van de afzuiging  $\Delta h_{Qf2}$  neemt de sedimenttransport capaciteit van de rivier toe. Bij de dominante rivierafvoer neemt de sedimenttransport capaciteit in de laatste kilometer van de bovenstroomse verhangkromme toe van  $S_4$  naar  $S_1$ .

Met andere woorden, bij de voor de rivier morfologie maatgevende rivierafvoer wordt de sedimenttransport capaciteit in de verhangkromme een factor  $\frac{S_1 - S_4}{S_4} = \frac{S_1}{S_4} - 1$  groter dan het sedimenttransport bij eenparige uniforme stroming.



- 2<sup>e</sup> Aangenomen wordt dat de totale sedimenttransport capaciteit per jaar in de verhangkromme ook een factor  $(S_1 - S_4) / S_4$  groter is dan het totale sedimenttransport per jaar ( $S_{\text{tot,jaar}}$ ) bij eenparige uniforme stroming in de rivier. Tevens wordt de vergroting van het sedimenttransport per jaar in de verhangkromme  $\frac{S_1 - S_4}{S_4} \times S_{\text{tot,jaar}}$  geacht te resulteren in een ter plaatse op te nemen hoeveelheid bodemmateriaal  $L_e \times B \times \Delta h_{afz}$ .
- 3<sup>e</sup> Indien de rivierbodem over de volle rivierbreedte bovenstrooms van het "te baggeren gat" een bodemdaling ter grootte van  $\Delta h_{afz}$  heeft ondergaan, zal daar ter plaatse de evenwichtsdiepte ( $h_e$ ) aanwezig zijn en dus zal er geen uitschuring meer optreden.
- 4<sup>e</sup> De  $Q_{\text{dom}} = 9670 \text{ [m}^3/\text{sec]}$  is door Nedeco bepaald in 1959. Doordat er sedert 1959 een dam in het stroomgebied van de Niger is gebouwd, die stroomopwaarts van het "te baggeren gat" ligt, is het zeer wel mogelijk, dat de dominante rivierafvoer ook veranderd is. Gezien de essentie van dit hoofdstuk, is een eventueel veranderde  $Q_{\text{dom}}$  niet zo belangrijk.

Zoals reeds is vermeld zijn in §4-3 totale sedimenttransporten berekend in verhanglijnen, bepaald met C-waardes volgens Engelund en Hansen (tabel 4-3), en in verhanglijnen bepaald met de benedenstroomse C-waarde (tabel 4-4).

- Met formule 4-5.1.1 kunnen de waardes voor  $L_e$ , de lengte die de terugschrijdende erosie per jaar aflegt, worden berekend indien bekend zijn
- de totale sedimenttransporten op de doorsneden ① en ④
  - het totale jaarlijkse sedimenttransport
  - de afzuiging  $\Delta h_{afz}$
  - de rivierbreedte B.
- De totale sedimenttransporten op de doorsneden ① en ② staan in tabel 4-3 en 4-4.

- Het totale jaarlijkse sedimenttransport is  $2,18 \times 10^6$  [m<sup>3</sup>/jaar].
- De afzuigingen ( $\Delta h_{afz}$ ) kunnen worden gehaald uit de verhanglijnen van §4-2.1.1 t/m §4-2.1.5 en §4-2.2.1 t/m §4-2.2.5.
- De rivierbreedte is, zoals reeds eerder vermeld, 1150 [m].

Voor de berekening van  $L_e$ , de lengte die de terugschrijdende erosie per jaar aflegt, zie tabel 4-9

| Verhanglijn | L in [m] | $\Delta z$ in [m] | B in [m] | $\Delta h_{afz}$ in [m] | $S_1$ in 10 <sup>2</sup> [m <sup>3</sup> /dag] | $S_4$ in 10 <sup>2</sup> [m <sup>3</sup> /dag] | $L_e$ in [m/jaar] |
|-------------|----------|-------------------|----------|-------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------|
| §4-2.1.1    | 1000     | 20                | 1150     | 0,094                   | 113,88                                         | 107,14                                         | 1270              |
| §4-2.1.2    | 2000     | 10                | 1150     | 0,185                   | 118,30                                         | 107,14                                         | 1070              |
| §4-2.1.3    | 4000     | 5                 | 1150     | 0,348                   | 132,20                                         | 107,14                                         | 1270              |
| §4-2.1.4    | 8000     | 2,5               | 1150     | 0,488                   | 141,25                                         | 107,14                                         | 1240              |
| §4-2.1.5    | 16000    | 1,25              | 1150     | 0,514                   | 144,60                                         | 107,14                                         | 1290              |
| §4-2.2.1    | 1000     | 20                | 1150     | 0,092                   | 113,88                                         | 107,14                                         | 1290              |
| §4-2.2.2    | 2000     | 10                | 1150     | 0,176                   | 117,83                                         | 107,14                                         | 1070              |
| §4-2.2.3    | 4000     | 5                 | 1150     | 0,301                   | 128,52                                         | 107,14                                         | 1260              |
| §4-2.2.4    | 8000     | 2,5               | 1150     | 0,433                   | 137,45                                         | 107,14                                         | 1240              |
| §4-2.2.5    | 16000    | 1,25              | 1150     | 0,500                   | 144,08                                         | 107,14                                         | 1300              |

T A B E L 4-9

Zoals men in tabel 4-9 kan zien, zijn de waarden voor  $L_e$  niet bepaald klein. De grootste waarde voor  $L_e$  bedraagt 1300 meter per jaar, hetgeen betekent, dat de voortschrijdende erosie in een jaar ongeveer 1300 meter zal afleggen.

Daar de afstand van de te Egbu aan te leggen dam naar het "te baggeren gat" ongeveer 13 km. bedraagt, zal de voortschrijdende erosie in 10 jaar tijd de fundering van de dam bereikt hebben. Men moet echter niet vergeten dat het "te baggeren gat" gedurende deze 10 jaren zich zal opvullen en in benedenstroomse richting van de rivier zal verplaatsen - zie ook §4-5.2 - waardoor de afzuiging ( $\Delta h_{af2}$ ) weer zal worden opgeheven. Indien de afzuiging ( $\Delta h_{af2}$ ) wordt opgeheven, zal natuurlijk de voortschrijdende erosie worden gestopt. Mede hierdoor is het op deze manier niet exact te bepalen of de voortschrijdende stroomopwaartse erosie de fundering van de dam zal bereiken.

Natuurlijk zijn er constructieve maatregelen te treffen, zoals het dieper ingraven van de teenconstructie, waardoor de stabiliteit van de dam niet in gevaar komt tengevolge van de bodemverlaging.

In tabel 4-9 kan men zien dat de waardes voor  $L_e$ , de lengte die de voortschrijdende erosie per jaar aflegt, voor de "vijf gatvormen" variëren tussen 1070-1300 [m.]

De waardes voor  $L_e$ , die berekent zijn met gegevens die bepaald zijn met C-waardes afgeschat met behulp van de afschattingsmethode van Engelund en Hansen, variëren weinig met de waardes voor  $L_e$ , die berekent zijn met gegevens die bepaald zijn met de benedenstroomse C-waarde. (zie tabel 4-9).

Om te controleren of de berekende  $L_e$  waarden in tabel 4-9 acceptabel zijn, kan men de karakteristieke voortplantingssnelheid van een bodemverstoring ( $C_b$ ) berekenen. Het zal duidelijk zijn dat deze karakteristieke voortplantingssnelheid sterk varieert met de rivierafvoer, bij grote rivierafvoer zal  $C_b$  groter zijn dan bij lage rivierafvoer. In het hierna volgende is de voortplantingssnelheid van een bodemverstoring ( $C_b$ ) berekend bij de dominante rivierafvoer.

Er geldt:

$$C_b = b * \frac{S}{q} * V$$

4-4.1.2

|       |                                                                     |                          |
|-------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| $C_b$ | : de karakteristieke voortplantingssnelheid van een bodemverstoring | in [m/sec]               |
| $b$   | : exponent uit sedimenttransportformule $S = Q V_*^b$               | dimensieloos             |
| $S$   | : het totale sedimenttransport per eenheid van breedte              | in [m <sup>2</sup> /sec] |
| $q$   | : de rivierafvoer per eenheid van breedte                           | in [m <sup>2</sup> /sec] |
| $v$   | : de gemiddelde stroomsnelheid                                      | in [m/sec]               |

Het totale sedimenttransport in de rivier bij de dominante afvoer wordt berekend met de formule van Meyer-Peter-Müller (formule 2-1.2.1)

$$S_t = 13,3 * B * \sqrt{\Delta g d_{50}^3} * \left[ \frac{v_*^{3/2} (\kappa_s i)^{1/4}}{g b \Delta d_{50}} - 0,047 \right]^{3/2}$$

2-1.2.1

De formule 2-1.2.1 is te herschrijven in de vorm van

$$S = a * v_*^b \quad \text{waarbij } b = (3 / (1 - 0,047 \gamma)) \quad \text{en}$$

$$\gamma = (g b \Delta d_{50} / v_*^{3/2} * (\kappa_s i)^{1/4})$$

Bij de dominante afvoer en uniforme stroming op de plaats waar het gat gebaggerd zal worden geldt:

$$\Delta = 1,68 \quad d_{50} = 0,5 * 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$U = 1,184 \text{ [m/sec]} \quad \kappa_s = 2,9 * 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$i = 9,5 * 10^{-5}$$

$$\text{zodat: } \gamma = 2,73$$

$$\text{zodat: } b = 3,44$$

Het totale sedimenttransport in de rivier bij dominante afvoer, berekend in tabel 4-3, bedraagt 10714 [m<sup>3</sup>/dag].

$S$  is het totale sedimenttransport per eenheid van breedte -  $B = 1150$  [m] - bedraagt dus  $10714 / (1150 \times 24 \approx 3600) = 10,783 \approx 10^{-5}$  [m<sup>2</sup>/sec].

De dominante rivierafvoer  $Q_{dom} = 9670$  [m<sup>3</sup>/sec] zodat  $q$ , de rivierafvoer per eenheid van breedte, gelijk is aan  $9670 / 1150 = 8,41$  [m<sup>2</sup>/sec].

De gemiddelde stroomsnelheid  $v$  is gelijk aan  $8,41 / 7,1 = 1,184$  [m/sec].  
De waterdiepte  $a$  bij dominante rivierafvoer is gelijk aan  $7,1$  [m].

De karakteristieke voortplantingssnelheid van een bodemverstoring kan nu berekend worden met behulp van formule 4-4.1.2

$$C_b = b \times \frac{S}{q} \times v = 3,44 \times \frac{10,783 \times 10^{-5}}{8,41} \times 1,184 = 5,22 \times 10^{-5} \text{ [m/sec]}$$

$$\text{zodat: } C_b = 1650 \text{ [m/jaar]}$$

Het blijkt dat de karakteristieke voortplantingssnelheid van een bodemverstoring bij de dominante rivierafvoer groter is dan alle in tabel 4-4 berekende waarden van  $L_e$ . Zou dit niet het geval zijn, dan waren de berekende waarden voor  $L_e$  zeer aanvechtbaar. Immers de snelheid waarmee de bodemverstoring ( $L_e$ ) zich voortplant kan niet groter zijn dan de karakteristieke voortplantingssnelheid ( $C_b$ ).

§ 4-5.2 Hoe plant het "te baggeren gat" zich voort

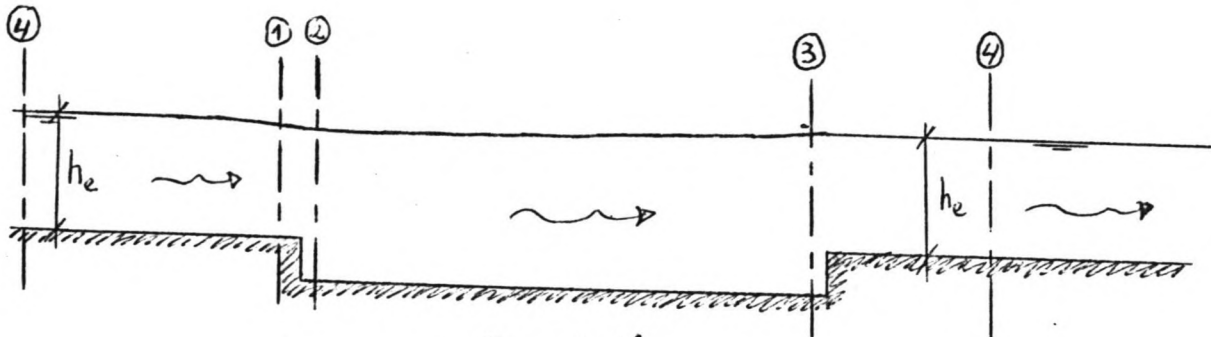


Fig 4-16

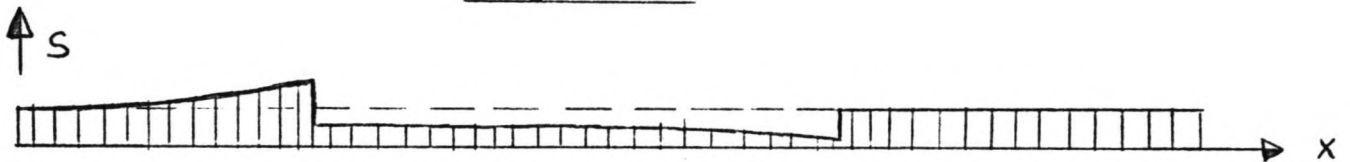


Fig 4-17

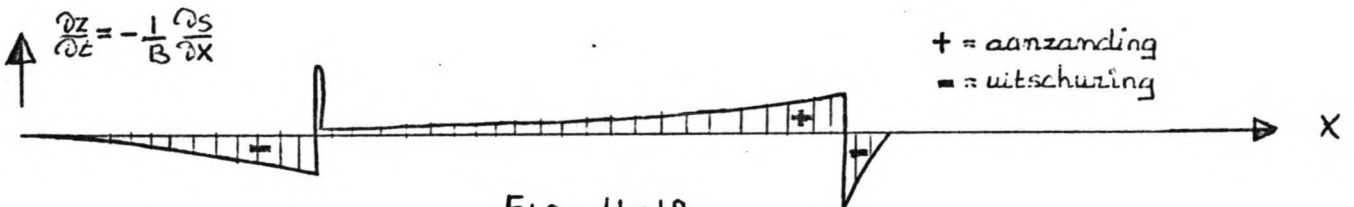


Fig 4-18

Indien men de verhanglijn over het "te baggeren gat" berekent kan men het verloop van het sedimenttransport over het gat bepalen. Indien men gebruik maakt van de continuïteits vergelijking van het sediment  $\partial S / \partial x + B \partial Z / \partial t = 0$  kan men het verloop van  $\partial Z / \partial t$  over het "te baggeren gat" bepalen door het verloop van het sedimenttransport te differentiëren naar  $x$ . In tabel 4-3 en tabel 4-4 kan men zien dat voor alle gatvormen het sedimenttransport juist bovenstrooms van het "te baggeren gat" toeneemt. Ook kan men zien dat de sedimenttransporten in het "te baggeren

gat" aanzienlijk kleiner zijn en kleiner worden naarmate men verder benedenstrooms in het gat komt. ( $S_3$  is bij alle "gatvormen" kleiner dan  $S_2$ ). Bij het korste en dieptste gat treedt zelfs geheel geen sedimenttransport op in het gat. Naarmate dat de "te baggeren gaten" langer en ondieper worden, worden ook de sedimenttransporten ter laatste van de bodemverlaging groter.

Het verschil tussen het sedimenttransport, dat het gat inkomt  $S_1$  en het sedimenttransport aan het einde van het gat  $S_3$  is een maat voor de hoeveelheid sediment dat in het te baggeren gat zal bezinken.

Het verloop  $\partial z / \partial t$  zoals getekent in fig. 4-12 is te berekenen op  $t=0$ . Indien men aanneemt dat op  $t=0$  het "te baggeren gat" in de rivierbodem aanwezig is. Na verloop van tijd zal er sediment in het gat bezonken zijn, tevens zal er ook sediment uit de bodem opgenomen zijn aan het bovenstroomse en het benedenstroomse einde van het "te baggeren gat". Hierdoor zal zich een nieuwe verhanglijn over het gat instellen, zodat ook een ander verloop van  $\partial z / \partial t$  zal worden gevonden. Men kan zich met behulp van fig. 4-18 wel een beeld vormen over wat er met het gat gebeurt.



§ 4-6 Het baggermateriaal waarmee de vijf "gatvormen" kunnen worden gebaggerd.

Zoals bekend moet er een terrein te Apla Apla worden opgespoten, waarop een "steelplan" zal worden gevestigd.

In totaal is er  $23 \times 10^6 \text{ m}^3$  zand benodigd, deze hoeveelheid zand zal uit de rivier de Niger worden gebaggerd.

De te volgen baggercyclus kan worden gesplitst in twee delen:

- 1<sup>e</sup> Het baggeren van zand uit de rivierbodem.  
Dit kan met diverse soorten baggerwerktuigen, welke in § 4-6.1 worden besproken, gebeuren.
- 2<sup>e</sup> Het horizontale transport van het "gebaggerde zand" over de rivier naar het op te spuiten terrein.  
Ook hiervoor bestaan diverse mogelijkheden, welke in § 4-6.2 worden besproken.

In deze paragraaf wordt geen uitspraak gedaan omtrent welke baggercyclus het meest optimaal is.

Het zal duidelijk zijn dat de baggercyclus, die voor de gatvorm ( $L=1000 \text{ [m]}$ ,  $\Delta z=20 \text{ [m]}$ ,  $B=1250 \text{ [m]}$ ) de meest optimale is, niet tevens de meest optimale baggercyclus voor de gatvorm ( $L=16000 \text{ [m]}$ ,  $\Delta z=1,25 \text{ [m]}$ ,  $B=1250 \text{ [m]}$ ) behoeft te zijn. De criteria die een rol spelen bij het kiezen van de meest optimale baggercyclus zijn b.v. de totale kosten, de hinder die de scheepvaart t.g.v. het baggeren ondervindt, de aard van het te baggeren materiaal.

§ 4-6.1 De diverse soorten baggerwerktuigen.

De emmerbaggermolen (bucketdredgen)

De grootste emmerbaggermolens kunnen tot een diepte van ongeveer 40 m. baggeren. Een emmerbaggermolen ligt tijdens het baggeren aan zes ankers verankerd, zodat er nog al wat hinder voor de scheepvaart ontstaat.

De minimale werkbreedte voor een emmerbaggermolen is gelijk aan 1,4 x de lengte van de emmerbaggermolen.

Aangezien de rivierbreedte 1150 m bedraagt zal een emmerbaggermolen met betrekking tot de werkbreedte geen moeilijkheden ondervinden.

Een emmerbaggermolen heeft geen spudpalen.

Het horizontale transport bij een emmerbaggermolen kan geschieden door bakken, die aan weerszijden van de emmerbaggermolen langs zij kunnen worden afgemeerd. Het door de emmerbaggermolen gebaggerde zand kan niet direkt met een persleiding verder worden getransporteerd.

De drijvende baggerlepels / drijvende grijpers.

Bij de baggerlepels zijn de dieptes waarover kan worden gebaggerd gelimiteerd door de giek en steellengte.

De drijvende grijpers kunnen in principe zo diep baggeren als gewenst is.

De drijvende baggerlepels/grijpers kunnen tijdens het baggeren gebruik maken van ankers of van spudpalen. Indien het ponton waarop de baggerlepel/grijper staat uitgerust is met spudpalen, dan zal bij gebruik van deze spudpalen minder hinder voor de scheepvaart optreden.

De minimale werkbreedte van een baggerlepel/grijper bedraagt pontonbreedte + 2 bakbreedten + 10 m', zodat bij een rivierbreedte van 1150 m. geen moeilijkheden ontstaan met betrekking tot de werkbreedte. De baggerlepel/grijper laadt het gebaggerde zand in bakken die aan weerszijde langs zij kunnen worden gehouden.

Het is niet mogelijk om het gebaggerde zand direkt - zonder tussenkomst van b.v. een bakkenzuiger - via een persleiding verder te transporteren.

#### De snijkopzuiger (Cutter suction dredger)

De diepte waarop een snijkopzuiger nog economisch baggert bedraagt ca. 25 meter. Indien men nog dieper wil baggeren wordt de dichtheid van het zand-water mengsel dat men baggert zeer klein, b.v. 1150  $[kg/m^3]$ . De tijdens het baggeren op de snijkopzuiger uitgeoefende reactiekrachten worden opgenomen door twee verankerde voorzijdraden en de op het achterdek staande achterwerkspudpaal. Deze twee voorzijdraden kunnen hinder voor de scheepvaart opleveren.

De minimale werkbreedte van een snijkopzuiger bedraagt de lengte van de zuiger met geheven ladder, zodat bij een rivierbreedte van 1150 meter geen moeilijkheden ontstaan met betrekking tot de werkbreedte. Het zand-water mengsel dat in de snijkop wordt opgezogen, wordt via een drijvende leiding, die achter de snijkopzuiger drijft, weggepompt. De productie van de snijkopzuiger is erg afhankelijk van de lengte van de persleiding, wordt deze lengte groter dan neemt de productie sterk af.

#### De "stationaire" winzuiger"

De diepte waarop een winzuiger zonder onderwaterpomp economisch baggert, is ongeveer 25 meter. Indien een winzuiger een onderwaterpomp heeft - meestal wordt er dan gesproken van een diepzuiger - kan tot dieptes van 50 à 70 meter worden gezogen. Een winzuiger ligt tijdens het baggeren aan zes ankers verankerd.

Echter, doordat hij niet tijdens het baggeren beweegt, zal de hinder voor de scheepvaart niet zo groot zijn als bij een emmerbaggermolen of een snijkopzuiger.

De winzuiger beweegt niet tijdens het baggeren, doordat het te baggeren zand naar de zuigmond van de zuigpijp toe stroomt (zie fig. 4-19)

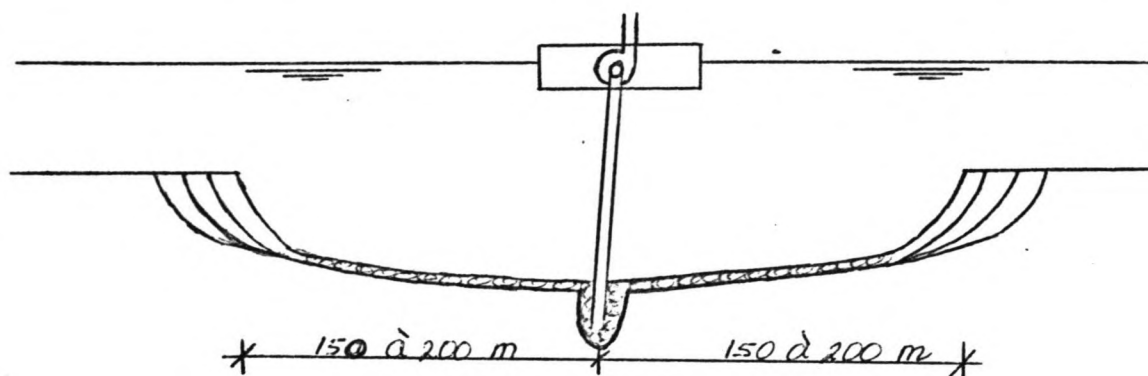


fig. 4-19

Het zand-water mengsel dat wordt opgezogen, kan via een drijvende leiding of in bakken - die langszij kunnen worden afgemeerd - gepompt afhankelijk van het type winzuiger.

#### De spleetkopzuiger (dustpan dredger)

De spleetkopzuiger is ontwikkeld in Amerika om ondieptes op de Mississippi weg te baggeren. De diepte waarop een spleetkopzuiger kan baggeren is niet zo groot.

De spleetkopzuiger hindert de scheepvaart zeer weining tijdens het baggeren. Dit komt doordat de spleetkopzuiger zich tijdens het baggeren met behulp van zijn gekruiste voorzijdraden stroomopwaarts beweegt. De gekruiste voorzijdraden worden niet verankerd, ze worden aan spuitpalen bevestigd. Deze spuitpalen worden door de spleetkopzuiger zelf de rivierbodem in gespoten.

Het zand-water mengsel dat door de twee spleetkoppen wordt opgezogen wordt via een drijvende leiding weggepompt.

### De sleephopperzuiger

De grootste sleephopperzuiger kan tot een diepte van ongeveer 35 meter baggeren. De sleephopperzuiger vaart terwijl hij baggert. De tijdens het baggeren op de sleepkop uitgeoefende reactiekrachten worden gecompenseerd door de schroeven van de sleephopperzuiger.

Een sleephopperzuiger vaart dwars op de stroomrichting van de rivier, teneinde de scheepvaart zo min mogelijk te hinderen. Vanwege de economie moeten de sleeplengtes groter zijn dan 500 meter, dit is hier het geval, want de rivierbreedte bedraagt 1150 meter.

De diameter van de draaicirkel van een sleephopperzuiger bedraagt ongeveer 4 x de lengte van de sleephopperzuiger.

De hinder die de scheepvaart op de rivier ondervindt ten gevolge van een sleephopperzuiger is niet zo groot. Een sleephopperzuiger moet in geladen toestand over het nog te baggeren veld heen kunnen varen, dit kan problemen geven, aangezien de diepgang in geladen toestand, afhankelijk van de grootte van de sleephopperzuiger, tussen de 7 à 10 meter bedraagt.

Het zand-water mengsel dat door de sleepkop wordt afgezogen kan

- 1<sup>e</sup> tot bezinken worden gebracht in de hopper inrichting;
- 2<sup>e</sup> direkt via een "boom dredge" (zwevende leiding) weer op een diepere plaats in de rivier worden geleid. Deze tweede methode noemt men ook wel aggitatie baggeren. Aangezien men het te baggeren zand wil opspuiten ten behoeve van "steelplan" zal de mogelijkheid van aggitatie baggeren niet in aanmerking komen.

De hopperinrichting kan worden geledigd door een bakkenzuiger of in een zogenaamde klepput. In deze klepput zal dan een zuiger moeten liggen die het geklepte zand weer opzuigt en naar het op te spuiten terrein perst.

Opmerking: terwijl een sleephopperzuiger over het te baggeren veld vaart, zuigt hij een laag ter dikte van ca. 40 centimeter van de rivierbodem af.

§ 4-6.2 Het horizontale transport van het "gebaggerde zand" over de rivier naar het op te spuiten terrein.

Nadat het zand van de rivierbodem is gebaggerd, moet het gebaggerde zand naar het op te spuiten terrein worden getransporteerd. Dit kan men op zeer veel verschillende manieren doen. Enkele mogelijke manieren worden hieronder aangegeven.

Horizontaaltransport over de rivier met behulp van een persleiding  
Er zijn baggerwerktuigen, zoals een snijkopzuiger, een winzuiger en een spleetkopzuiger die een "zandpomp" aan boord hebben. Met behulp van deze "zandpomp" kunnen deze baggerwerktuigen het opgebaggerde zand direct via een persleiding verder transporteren. Indien de afstand tussen de plaats waar gebaggerd wordt en het op te spuiten terrein groot is, zal men gebruik moeten maken van tussenpompstations.

In verband met de scheepvaart zal men deze tussenpompstations en de persleidingen zo veel mogelijk op de wal situeren. Natuurlijk zal een in de rivier drijvende persleiding hinder voor de scheepvaart opleveren.

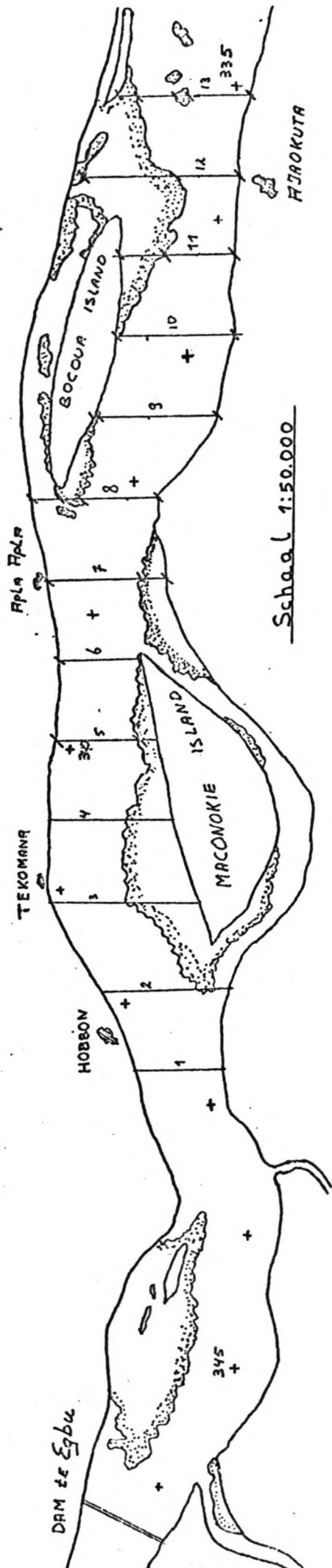
Horizontaaltransport over de rivier met behulp van varende voertuigen  
Er zijn baggerwerktuigen, zoals een emmerbaggermolen, een drijvende baggerlepel, een drijvende grijper en een winzuiger, die het gebaggerde zand deponeren in langs zij afgemeerde bakken. In deze bakken wordt het gebaggerde zand over de rivier naar een plaats getransporteerd, waar ze weer geledigd kunnen worden.

Het ledigen kan gebeuren door:

- een bakkenzuiger die het zand uit de bakken opzuigt;
- de bakken deponeren het gebaggerde zand op de rivierbodem.

Een ter plaatse gelegen zuiger, zuigt het "geklepte zand" weer op.





Het ruwvertraject der hoogte van Apla Apla is hierboven getekend

RIVIERBREEDTE, INCLUSIEF ZANDBANKEN

|                   |
|-------------------|
| $B_1 = 1100$ m    |
| $B_2 = 1600$ m    |
| $B_3 = 1200$ m    |
| $B_4 = 1500$ m    |
| $B_5 = 1250$ m    |
| $B_6 = 1025$ m    |
| $B_7 = 1450$ m    |
| $B_8 = 1750$ m    |
| $B_9 = 1550$ m    |
| $B_{10} = 1400$ m |
| $B_{11} = 1350$ m |
| $B_{12} = 1950$ m |
| $B_{13} = 1550$ m |

$$\bar{B} = \frac{\sum_{i=1}^{13} B_i}{13} = \underline{1480 \text{ m}}$$

RIVIERBREEDTE, EXCLUSIEF ZANDBANKEN

|                   |
|-------------------|
| $B_1 = 1100$ m    |
| $B_2 = 1025$ m    |
| $B_3 = 925$ m     |
| $B_4 = 900$ m     |
| $B_5 = 900$ m     |
| $B_6 = 1025$ m    |
| $B_7 = 1050$ m    |
| $B_8 = 925$ m     |
| $B_9 = 1400$ m    |
| $B_{10} = 1400$ m |
| $B_{11} = 900$ m  |
| $B_{12} = 825$ m  |
| $B_{13} = 1350$ m |

$$\bar{B} = \frac{\sum_{i=1}^{13} B_i}{13} = \underline{1050 \text{ m}}$$

Het ruwvertraject ter hoogte van Apla Apla is geschematiseerd tot een bakvormige profiel met een constante rivierbreedte van 1150 m

FIG 4-20

### Literatuurlijst

- [1] Chass T. Main International, Inc.  
„Shiroro Hydro-electric Project, Engineering  
and Economic Feasibility Report, Maart 1977
- [2] Collegedictaat f10, ir. A. Prins
- [3] Collegedictaat "Rivieren en rivierwerken"  
Prof. ir. L. van Bendegom
- [4] Journal of the Hydraulics Division, vol 97  
no hy 1; jan. 1971
- [5] Montreal engineering Company, Ltd  
"Jebba Hydro-electric Development"  
Feasibility Report, February 1977
- [6] Motor Columbus, "Lokoja Hydro-electric Project"  
Excutive Summary, December 1978
- [7] Preliminary report on effect of dams on flowregime  
of the Lower Niger, R.N.T.C. Oktober 1979
- [8] Rio Magdalena and Canal de Digue,  
Survey Project, Nedeco 1973
- [9] River Niger Transport Consortum  
"Preliminary Report on Data Processing", Mei 1979

