3e JAARGANG
NUMMER 11

NOVEMBER
1936

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

Orgaan der Groep Ned.-Indië van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs,
Maandblad gewijd aan de Techniek en Wetenschap in Ned.-Indië,

waarin opgenomen

De Waterstaats-Ingenieur, opgericht in 1913

en

De Mijningenieur, opgericht in 1919.

Commissie van Toezicht:
jhr. ir. H. S. van Lennep,
ir. Ch. F. van Haeften,
P. J. Graaff.

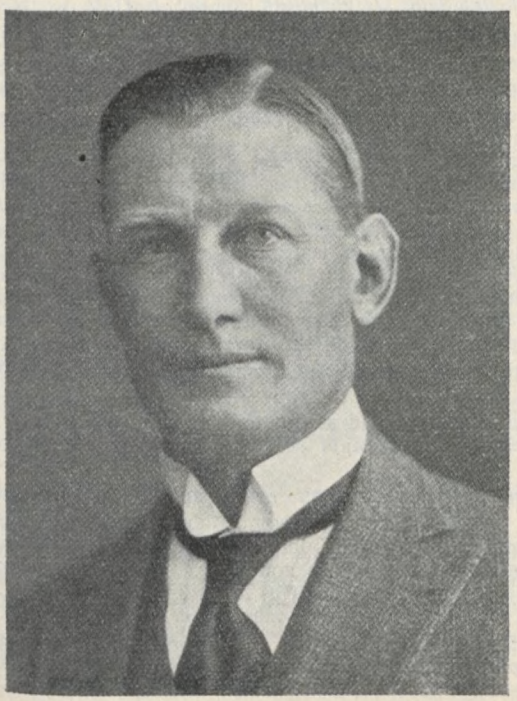
Commissie van Redactie:
Voorzitter: prof. ir. C. G. J. Vreedenburgh;
Leden: ir. E. E. Hens,
dr. ir. Tan Sin Hok.

Prijs per jaargang: *f* 20,— Afzonderlijke nummers: *f* 2.—

Redactie-adres (zonder vermelding van persoonsnamen): Hoogeschoolweg 3, Bandoeng.
Adres voor administratie en abonnementen: Bragaweg 38, Bandoeng.
Adres voor advertenties: Firma G. Kolff & Co., Batavia-Centrum.

I. ALGEMEEN GEDEELTE.

INHOUD: Ter herdenking, † ir. F. J. Dyxhoorn 1888—1936. — Geologische contra mechanische analyse der geotektoniek, door dr. ir. R. W. van Bemmelen. — Nadere toelichting van de toepassing van mijn theorie der plaatselijke plastische vervormingen op de tektoniek, door prof. ir. P. P. Bijlaard. — *Ingezonden.* — *Berichten van allerlei aard:* Waterleidingbedrijven. — Normalisatie. — *Boekbespreking.* — *Ver. van Delftsche Ingenieurs* — *Kon. Instituut van Ingenieurs:* Bestuursmededeelingen.



Ter herdenking

† ir. F. J. DIJXHOORN

1888 — 1936.

Zaterdagmiddag, 26 September kwam het ontzettende bericht per telefoon uit Batavia: Frits Dijxhoorn is overleden.

Niet te gelooven, dat dit sterke gezonde lichaam de wreede ziekte, die het had aangetast niet heeft kunnen weerstaan. Juist een week tevoren bezocht ik hem in het ziekenhuis en ofschoon hij toen hard ziek was, liet toch niets het naderend einde vermoeden. In de korte oogenblikken, die de pleegzuster mij toestond, was zijn gesprek toen nog zoo normaal gericht op de toekomstige beterschap en het werk, dat hem wachtte.

Het werk.

Zijn werk.

Toen hij in Februari 1934 bij de Bataviasche Verkeers Maatschappij werd tewerkgesteld met de bedoeling om na het vertrek van den toenmaligen Directeur diens plaats in te nemen, heeft hij vanaf den

eersten dag zijn heele kennen en kunnen aan deze Maatschappij gegeven. Vooral in het begin kwam hij dikwijls bij mij praten. Nog niet ingeleefd in zijn nieuwe woonplaats en toch de behoefte voelend om zijn plannen met een vertrouwd vriend te bespreken, heb ik zoo dikwijls met belangstelling en bewondering naar deze van energie en levenslust overbruisende figuur geluisterd.

Door zijn ruim zestien-jarigen diensttijd bij de Nederlandsch-Indische Spoorweg Maatschappij was hij spoorweg-ingenieur in hart en nieren geworden en zijn oude werkgeefster heeft ook, nadat hij met 1 Januari 1934 tengevolge van de tijdsomstandigheden bij zijn promotie tot Hoofdingenieur op wachtgeld moest worden gesteld, steeds zijn volle belangstelling blijven behouden.

Een groot geluk was het voor zijn werkzame natuur, dat bijna dadelijk na zijn op-wachtgeld-stelling bij de N. I. S. zijn werk bij de B. V. M. kon beginnen.

Nauwelijks twee en een half jaar heeft hij in Batavia mogen werken, maar de massa's bloemkransen, die als een laatste groet de baar dekten, en de enorme belangstelling bij de ter aarde bestelling toonden, hoezeer de persoon van Frits Dijxhoorn gerespecteerd, gezien en bemind was in de kringen, waarin hij verkeerde. Bij zijn personeel stond hij in hoog aanzien en het was een roerend moment, toen de droeve stoet op weg naar het Kerkhof Tanah Abang bij het Koningsplein de trambaan kruiste en van het daardoor opgehouden tramrijtuig de Inlandsche bestuurder en de conducteur afstegen en in eerbiedige houding met droeven blik den stoet nastaarden, die het stoffelijk overschot van hun beminden Directeur wegbracht.

Zijn heengaan laat een groote leegte achter bij zijn personeel, zijn vrienden hier en in Holland, bij de Vereeniging van Delftsche Ingenieurs, die hij in Nederlandsch-Indië vertegenwoordigde, bij de vereenigingen in Batavia, die hij bezielde. Maar hoe groot de leegte is, die zijn heengaan laat bij zijn bejaarde ouders, wier rechtmatige trots deze krachtige 48-jarige zoon was, bij zijn lieve vrouw en kinderen, kunnen wij nauwelijks beseffen. Dat het hun gegeven moge zijn, dit groot verlies te dragen en te berusten en te leven op de herinnering van het heerlijke dat was.

Rust in vrede, Frits, wij vergeten je niet.

Ir. A. C. Ingenegeren.

Geologische contra mechanische analyse der geotektoniek

(Geologische bezwaren tegen Bijlaard's theorie der locale, plastische deformaties der aardkorst).

door

dr. ir. R. W. VAN BEMMELEN,

geoloog bij den Dienst van den Mijnbouw te Bandoeng.

SUMMARY

Geological Objections against Bijlaard's Theory of local plastical Deformation of the Earth's Crust.

§ I) Bijlaard's refutation of my critical remarks on his theory (see this Journal, 1936, No. 7, pp. 87-93 and 93-97) only increase and strengthen my objections. Because Bijlaard is not a geologist his answer shows that he undervalues the geological arguments so that the present author gives in this paper a closer analysis of them.

§ II) The premiss of Bijlaard's theory is, that the earth's crust can be compared with a strong, plane, iron sheet, which is elastically supported by a viscous substrate.

Against this premiss the following can be brought forward: The border between strong and viscous does not lie between the (sialic) crust and the (simatic) substrate, but this is a gradual transition of the physical properties of crustal matter to the depth under the influence of increasing temperature and pressure. The chemical composition or the state of matter is of much less importance. Near to the surface sima is as strong as sial and in the depth they are both as viscous. The comparison between the iceberg in water is incorrect in this respect, because we may not compare the strength and viscosity of ice and water with these properties of cristalline and glassy silicaterocks, nor may we neglect the influence of high pressure in the deeper zones of the tectonosphere.

Moreover the strength of the crust is locally or regionally diminished by geosynclinal sediments on the upper side and by migmatitisation (Wegmann) and magmatic corrosion (Daly) on the lower side. (see fig. 1)

The lower part of the sialic crust must with respect to its mobility be reckoned to the substrate (Wegmann).

These variations of crustal strength by sedimentation, migmatitisation and magmatic corrosion cause such local and regional anisotropies of physical properties, that the earth's crust cannot be compared with a plane, strong iron sheet.

§ III) Against the conclusions of Bijlaard's theory in connection with the origin and caracter of geosynclines the following may be set:

a) According to Bijlaard's theory geosynclinal sinking occurs *after* local plastic deformation of the earth's crust (as a consequence of the bending down of the middle plane in the zone of plastic deformation and therefore the tangential forces take hold of the crust excentrically; see fig. 1a in No. 7 of this Journal, 1936), but:

According to geological observations geosynclinal sinking occurs *before* the orogenetic deformations.

b) According to Bijlaard's theory the full amount of geosynclinal sinking will express itself in negative gravity anomalies (because Bijlaard supposes it to be a purely elastic reaction to the plastic deformation; see fig. 1b in No. 7 of this Journal, 1936), but:

According to gravimetrical and geological observations these quiet epirogenetic oscillations of the earth's crust are more or less isostatically compensated.

c) According to B i j l a a r d's theory these elastical deformations of the earth's crust would last during the whole geosynclinal period, often more than 100 million years, which is quite improbable.

d) According to B i j l a a r d's theory the geosynclines must have a symmetrical form, but:

According to geomorphology most islandrows and mountainranges are accompanied by a foredeep, which causes an *anti*symmetrical situation (see fig. 2 and also fig. 3, 4a and 4b of this paper).

§ IV). The angle of 110° ($=2 \times 55°$) between intersecting islandrows and mountainranges forms an essential part in the argumentation of B i j l a a r d's theory. In connection with the signification of the intersectionangle and its construction in the map the following can be said:

Geologists and geomorphologists generally and justly speak of island- and mountain*arcs*. The angle between the intersecting ends of these arcs is quite an unessential outer form, which has no direct connection with the orogenetic forces (see fig. 5). Moreover it is not difficult to construct on the map an angle of about 110° between two intersecting island- or mountainarcs or ranges, because there is enough allowance for variations (see fig. 6).

B i j l a a r d's observation that it is just remarkable how well the actual morphological features of the earth fit in with his theory is only a question of appreciation, depending on the point of view to be taken; this argument has no evidential force.

When one wants to explain the remarkably curved form of the belt of negative gravity anomalies in the Dutch East Indies (found by V e n i n g M e i n e s z) by an uniform pressure of the Asiatic continent to the SE it is necessary to make hypothetical assumptions, such as: deviations in the direction of the main force, gliding of crustal parts along each other, adventitious stresses (arc-influence of the Australian-New Guinean continent) and other secondary reactions.

Such a mechanical analysis of the orogenetic forces, without the help of the corroborating evidence of geological sciences, has no exact meaning for the problem which forces actual caused and still cause mountainbuilding. It is perhaps possible to reproduce certain morphological features of the earth's relief by experiments with iron, clay or other material and by applying diverse stresses and resistances; but here must be warned against a grave *methodological error*, for analogies of *forms* do not prove anologies of *causes*!

§ V) In the last chapter attention is drawn to the fact that many geophysicists, who are more physicist than geologist, often show a remarkable lack of attention for the physico-*chemical* side of the development of the earth's crust. Perhaps one reason for this neglect lies in the fact, that these chemical processes are much more difficult to treat mathematically than for instance purely thermal cooling; but they are non the less important for the development of the earth's crust and geotectonics.

On the other side geologists often show a lack of insight into the power of the physicist and his formulas. The mathematical treatment of natural processes is only a form of logic reasoning and it cannot give more than the premisses, the geological „opinions", on which they are based. The mathematical way from premisses to conclusions can be left to the physicist, but the verification of the correctness of the geological premisses and the geological conclusions must be left to geologists. In this way an effective coöperation between both is possible.

I. Inleiding.

In zijn antwoord op mijn kritische beschouwingen in No. 7 van dezen jaargang van *De Ingenieur in Ned.-Indië* meent B i j l a a r d mijn bezwaren tegen zijn theorie weerlegd te hebben. Dit is echter geenszins het geval; integendeel, ze zijn er door vergroot. Daar B i j l a a r d geen geoloog is, onderschat hij de draagwijdte en waarde van de aangevoerde geologische argumenten (zooals de dimensioneele verschillen tusschen de technische experimenten en de geologische processen der tektogenese, de invloed van de anisotropie der aardkorst, de geosynclinale voorgeschiedenis der gebergten, de beteekenis van den invloed van het substratum door de daarin plaats vindende physisch-chemische processen). De, in algemeene bewoordingen gestelde beschouwingen van mijn vorige artikel blijken derhalve niet in staat geweest te zijn, om een brug te slaan tusschen de beschouwingswijze van den technicus en den geoloog. Ik wil dit thans nog eens probeeren door dieper op de door mij aangevoerde geologische bezwaren in te gaan.

Voorop zij echter nogmaals van geologische zijde de waardeering uitgesproken voor deze poging van een technicus om met behulp van zijn door mechanische experimenten verkregen ervaringen een bijdrage te leveren tot de verklaring van geotektonische problemen. Tot dusver heeft de theoretische tektoniek reeds veel van de technische mechanika geleerd; het is dan ook mogelijk, dat de door B i j l a a r d aangevoerde principes, mits met de noodige geologische reserve gehanteerd, kunnen bijdragen tot een beter inzicht in enkele tektonische verschijnselen. Men denke echter niet, dat hiermee *de* verklaring voor tal van uiteenloopende, geologische problemen (gebergtevorming, het ontstaan van geosynclinalen, vulkanisme, zwaarteanomalieën, enz.) gegeven zou zijn, zooals de titel van B i j l a a r d 's antwoord (1936 b) belooft.

In deze discussie komt juist één van de principieele verschillen tusschen de mechanische physica en de geologie scherp tot uiting. De eerste tracht een mathemathische formuleering te geven van een uit zijn verband genomen, begrensd proces (experiment), hetgeen nimmer mogelijk is bij de geologie, die in haar wezen een *historische* wetenschap is, waarbij alle processen zoowel in verband met de omgeving als ook met den tijd, waarin ze plaats vinden, beschouwd moeten worden.

De resultaten van de mechanische, klassieke physica der gemiddelde grootten zijn niet van toepassing op de kleine en kleinste dimensies. De atoomphysica is veeleer een nieuw gebied met haar eigen specifieke betrekkingen en wetmatigheden. Dat heeft de physica zelf in alle duidelijkheid aangetoond. Evenzoo valt de tektoniek of geophysica als „een physica der groote, bovenmenschelijke dimensies" buiten het bereik der klassieke, mechanistische physica en de experimenten. Dit wordt bijv. op overtuigende wijze aangetoond in de zoo juist verschenen studie van T h i e l e & B e u r l e n, 1936, waarin deze schrijvers o.a. tot de volgende conclusie komen:

„Die beim Versuch erhaltenen Verformungen sind nur als Formänderungen an Körpern von der Art, der Grösse, den Festigkeitseigenschaften usw. des Versuchskörpers zu werten. Die tektonischen Formänderungen haben, scharf formuliert, ihre eigene Verformungskunde, welche nicht der identisch ist, die auf den Aussagen der Physik der mittleren Grössen aufbaut. Die Möglichkeit eines mechanistischen Aktualismus wird für die Tektonik dadurch grundsätzlich wie methodisch ausgeschlossen. Die Grundlagen der tektonischen Forschung sind unabhängig von den Aussagen der Physik und der von ihr aus entwickelten Verformungskunde zu halten; sie sind vielmehr von den Beobachtungen der tektonischen und der übrigen geologischen Tatsachen allein herzuleiten, so wie das ja aus einem sicheren Gefühl für die Dinge die Tektoniker vielfach gemacht haben".

II. De bewegelijkheid van de aardkorst.

Bijlaard gaat, in navolging van Vening Meinesz, uit van de veronderstelling, dat we te maken hebben met een *vaste* aardkorst (=sial) met een s.g. 2,7, die rust op een *visceus* substratum (=sima), dat in zijn buitenste lagen een s.g. van ca. 3,3 bezit. Deze situatie vergelijkt hij met een veerend ondersteunde vloeistalen plaat. De deformaties van de aardkorst zouden het gevolg zijn van in deze plaat werkende horizontale (c.q. tangentiale) spanningen.

Op pag. 91 — 92 van mijn „kritische beschouwingen" in Afl. 7, 1936 van dit tijdschrift heb ik reeds den twijfel uitgesproken, of aan deze premisse van de berekeningen van Vening Meinesz en Bijlaard wel door de werkelijke situatie in de tektonosfeer der aarde voldaan wordt.

De tektonosfeer, dat is de buitenste zone der aarde, waarin zich de tektonische deformaties en massaverplaatsingen afspelen, wordt op grond van bepaalde eigenschappen van het samenstellende materiaal in schalen verdeeld; namelijk 1) volgens de voortplantingssnelheid der seismische golven, 2) volgens het soortelijk gewicht, 3) volgens de chemische en mineralogische samenstelling en 4) volgens de bewegelijkheid van het materiaal.

De grenzen van de volgens 1), 2) en 3) onderscheiden schalen kunnen samenvallen, daar deze berusten op verschillende physische eigenschappen van lagen met een bepaalde chemische en mineralogische samenstelling. Door het seismische onderzoek is voorts vastgesteld, dat de tektonosfeer niet uit twee schalen (sial en sima) bestaat, doch minstens uit drie, waarbij derhalve nog met een intermediaire laag (door velen salsima genaamd) rekening gehouden moet worden. De onderscheiding in sal en sima in de bovengenoemde premisse is dus te simplistisch, hetgeen vooral van belang is in de kwestie der isostatische compensatie, die dan niet meer uitsluitend door dikteveranderingen van de sial veroorzaakt behoeft te worden (Van Bemmelen, 1932, p. 134 — 146; Ansel, 1934, p. 718).

De onderverdeeling der tektonosfeer op grond van 4): de bewegelijkheid van het materiaal, is van groot belang voor de tektoniek. Nabij de oppervlakte bestaan groote verschillen tusschen de bewegelijkheid van kristallijne gesteenten (stollingsgesteenten, kristallijne schisten e.d.) en nog niet diagenetisch verharde, plastische sedimenten (kleien, mergels e.d.). Naar de diepte gaan deze verschillen vervagen en overheerschen de invloeden van druk en temperatuur. Nabij de oppervlakte valt de grens tusschen de bewegelijkheid van het materiaal derhalve nog wel samen met chemische, mineralogische en structureele eigenschappen der gesteenten, waardoor men een onderscheid kan maken tusschen de bewegelijkheid van de sedimentaire huid, die in de geosynclinalen een aanzienlijke dikte kan hebben en het zoogenaamde kristallijne „grondgebergte"; naar de diepte toe is de grens tusschen vast en visceus voornamelijk een functie van temperatuur en druk, en zij valt derhalve niet samen met de grenzen volgens de samenstelling van het materiaal. De bewegelijkheid van het gesteente hangt af van den vloeiweerstand (dat is het minimum spanningsverschil dat noodig is voor vloeien kan beginnen) en de viscositeit. Uit de experimenten van Adams, Bridgman, v. Kármán e.a. blijkt, dat deze factoren door toenemenden hijdrostatischen druk verhoogd en door toenemende temperatuur verlaagd worden.

Gutenberg (1931, p. 547) meent op grond van deze experimenten, dat in geringe diepte de druk de werking van de temperatuur compenseert en de vloeiweerstand zelfs iets boven de waarden aan de oppervlakte groeien kan, maar dat hij daarna (onder invloed van de naar de diepte toenemende temperatuur) geleidelijk afneemt en ten slotte practisch nul wordt. Ook voor de viscositeit is er volgens Gutenberg (l.c. pag. 556) rekening mee te houden, dat deze factor door de toenemende temperatuur naar de diepte afneemt tot zij bij ca 50 km diepte een minimum bereikt, om daarna onder invloed van den heerschenden hydrostatischen druk weer toe te nemen.

Uit de waarneming, dat aan de oppervlakte nagenoeg isostatisch evenwicht heerscht, terwijl toch de aardoppervlakte in den loop der geologische geschiedenis aanzienlijke vertikale oscillaties doormaakte, kan geconcludeerd worden, dat massaverplaatsingen onder de oppervlakte deze vertikale oscillaties isostatisch compenseeren. Voor het geval van het isostatisch opstijgen van Scandinavië na het afsmelten der ijskap van den glaciaaltijd berekenden Van Bemmelen & Berlage (1934, p. 43) de grootte van den viscositeitscoëfficiënt van het subcrustale materiaal, dat deze isostatische herstelbewegingen uitvoert; zij vonden daarvoor de waarde $1{,}3 \times 10^{20}$ cgs, wat goed overeenkomt met de op grond van poolbewegingen en getijwrijving gevonden waarden.

Door deze zeer groote viscositeit is het isostatische evenwichtsherstel een sterk vertraagd, „nahinkend" proces; maar aard en tempo der waargenomen bewegingen in Scandinavië komen zóó goed overeen met de bewegingen, die te verwachten zijn bij het vervloeien van een betrekkelijk geringe verstoring van het hydrostatische (c.q. isostatische) evenwicht (door ijsafsmelting), dat hier weinig ruimte meer is voor de aanname van bepaalde drempelwaarden (=vloeiweerstanden), die eerst overschreden moeten worden, alvorens sprake kan zijn van plastische deformatie.

Uit dit voorbeeld van Scandinavië volgt reeds de groote invloed van den *factor tijd* (c.q. bewegingssnel-

heid) *in de geologie*. Voor metalen werd deze invloed experimenteel nagegaan, waarbij bleek, dat hoe langzamer de bewegingen zijn, des te geringer zijn de benoodigde spanningen (zie het spanning-deformatie-snelheidsdiagram in N a d a i, 1931, *fig. 351* en *352*). Door de relatief veel grootere deformatie-snelheden bij de experimenten is daarbij minder gelegenheid dan bij de natuurlijke geologische processen voor aanpassingen (c.q. deformaties) aan de bestaande spanningen door omkristallisaties, stofdiffusies (met of zonder oplosmiddel, principe van R i e c k e), structuurregelingen enz. Deze processen veroorzaken, mits slechts voldoende tijd ter beschikking staat, een aanzienlijke verlaging van den vloeiweerstand, die bij sneller verloopende experimenten gevonden werd. Het is zelfs de vraag, of er nog wel éénige vloeiweerstand overblijft, wanneer ook de mobilisatie van het gesteentemateriaal door de naar de diepte toenemende temperatuur, door imbititie met gassen (migmatitisatie) en door injectie met magma in aanmerking wordt genomen. Dit zijn allen factoren, waarmee bij deze experimenten niet in voldoende mate — of in het geheel geen — rekening is gehouden.

C l o o s zegt over den invloed van den tijdfactor in zijn zoo juist verschenen leerboek (1936, p. 294): „Wirkt ein Spannungszustand sehr lange auf einen Körper ein, so lässt der Widerstand gegen Formänderung allmählich nach, sodass die Verformungen schon unterhalb die Elastizitätsgrenze grösser werden als dem Elastizitätsgesetz entspricht und nicht mehr zurück gehen (Relaxation). Nach technischen und physikalischen Erfahrungen können diese Verformungen beliebig gross werden, wenn nur genügend Zeit zur verfügung steht".

Uit het voorgaande volgt meteen de beperkte draagwijdte van de opmerking van B i j l a a r d aan het eind van zijn antwoord (dit Tijdschrift, 1936, afl. 7 pag. 97), namelijk dat mijn opvatting over het gebrek aan weerstand van de korst op een misverstand moet berusten, daar volgens de experimenten van v. K ă r m à n en R o š door hydrostatischen druk de weerstand tegen deviatoren vergroot wordt. Deze en de vele andere experimenten op dit gebied door A d a m s, B r i d g m a n enz. zijn mij natuurlijk bekend, evenals een ieder, die in deze materie gewerkt heeft. B i j l a a r d onderschat echter de beteekenis van den *geologischen* factor tijd (relaxatie), die uitgedrukt is in de bewoordingen *„blijvend* werkende spanningen" en *„op den duur* geen deviator kan opnemen".

Overigens wordt door mij geenszins beweerd, dat voor álle gesteenten de vloeiweerstand reeds op eenige kilometers diepte nihil is. Behalve van de chemische en mineralogische samenstelling (kristallijne gesteenten of plastische sedimenten), hangt de bewegelijkheid ook af van de temperatuur en druk en van de dieptelligging van het migmatietfront, waar we straks nader op zullen ingaan.

De secundaire bewegingen en massaverplaatsingen, die onder invloed van de gravitatiepotentiaal optreden en die er naar streven het door verticale oscillaties verstoorde gravitatische evenwicht weer te herstellen, kunnen òver en ònder de oppervlakte plaats vinden (respectievelijk erosie en secundaire tektogenese genaamd). Verder zal het proces der secundaire tektogenese zich dicht of diep onder de oppervlakte kunnen voltrekken, al naar de omstandigheden, waarbij de weg van den minimum weerstand wordt gekozen.

Hierbij is ook weer de anisotropie van de korst van belang, daar wij in de natuur niet te maken hebben met uitgezocht gave blokjes van carrara-marmer of van graniet, zooals voor de experimenten gebruikt worden, maar met gesteenten, wier vastheid van plaats tot plaats wisselt, door de aanwezigheid van spleten en breuken; van plastische klei- of mergelinschakelingen tusschen dolomieten en kwartsieten, van gips- en zoutlagen; door ophiolitische en andere magma-injecties; door imbibitie met pneumatolitische gassen en hydrothermale oplossingen; enz.

Deze kwestie wordt door mij uitvoerig besproken in lit. 1931, p. 370-372, p. 380-383 en p. 385-388, waarnaar hier kortheidshalve verwezen kan worden.

Eén ding kunnen we echter op grond van de experimenteele en physische ervaringen alvast zeggen, dat is dat de grens tusschen vast en visceus in de tektonosfeer niet samenvalt met de grens van sima of sial of van de korst en het substratum, zooals bijv. W e g e n e r, V e n i n g M e i n e s z, en B i j l a a r d dat aannemen Er treedt naar de diepte toe onder invloed van den toenemenden hydrostatischen druk en temperatuur een min of meer geleidelijke verandering van de vloeigrens en de viscositeit op. Terwijl chemische en mineralogische factoren nabij de oppervlakte voor de bewegelijkheid van grooten invloed zijn, vervaagt deze invloed naar de diepte toe. Het is op groote diepte bij hooge temperaturen van gering belang voor de bewegelijkheid of we met een kristallijnen graniet, een sediment of een magmatische smelt te maken hebben: voor allen is de vloeigrens laag tot nihil en de viscositeit groot.

De in navolging van W e g e n e r veel gebruikte vergelijking, dat het sial op het sima zou drijven als een ijsberg in het water is in dit opzicht (namelijk voor de vraag, waar de grens tusschen vast en visceus in de tektonosfeer ligt) volkomen misleidend, daar de sima nabij de oppervlakte even vast is als de sial en in de diepte is de sial even visceus als de sima. Men heeft bij de vergelijking tusschen den ijsberg in het water en de sialschol in het substratum de begrippen „vast" en „vloeibaar" met de aggregaatstoestanden (water en ijs) verbonden, wat voor de glazige en kristallijne gesteenten van de tektonosfeer natuurlijk ontoelaatbaar is. Evenmin mogen we den invloed van den druk in de tektonosfeer verwaarloozen. Hierop werd door mij in lit. 1932, p. 104 reeds met nadruk gewezen.

Wanneer wij willen weten, wat de aarde zelf ons over de bewegelijkheid van de korst te vertellen heeft, dan staan ons daartoe de geologische methodes ter beschikking. Deze zijn inductief, in tegenstelling met de deductieve methodes der physica; dit zijn de methodes der structuuranalyse in het detail volgens S a n d e r, W. S c h m i d t en C l o o s en in het groot de methode van de systematische geologische kaarteering.

Groote vooruitgang in onze inzichten omtrent de bewegingen in de diepere deelen van de salische korst is, na het baanbrekende werk van S e d e r h o l m over

migmatieten, in den laatsten tijd verkregen door de studies van Wegmann (1935 a en b, 1936). We willen hierop even wat dieper ingaan, daar deze kwestie van groot belang is voor de beoordeeling der juistheid van de premisse van Bijlaard's berekeningen en beschouwingen, namelijk dat de aardkorst te vergelijken zou zijn met een vlakke, vaste, op het visceuse substratum veerend opgelegde plaat.

Onder de korst ligt het magmatische substratum, dat een groote hoeveelheid latente physisch-chemische energie bevat. Dit magma kan zich in een onderkoelden, amorphen (glazigen) toestand bevinden (zoogenaamde tachyliet), maar het kan ook plaatselijk geactiveerd zijn (door drukontlasting, temperatuursverhooging door radioactieve warmteontwikkeling en derg.) Dan treden daarin allerlei irreversibele physisch-chemische processen op (magmatische differentiatie in ruimen zin), waarbij de latente energieën vrijkomen in den vorm van reactiewarmte, opstijgende vluchtige bestanddeelen (voornamelijk door diffusie), uitkristallisaties van bepaalde komponenten enz.

Door de temperatuursverhooging en differentiatie kan het soortelijk gewicht van de magmatische smelt kleiner worden dan dat van de erop rustende korst; tengevolge van deze inversie van de normale, gravitatisch stabiele gelaagdheid in de tektonosfeer (met naar boven toe afnemende soortelijke gewichten) kunnen deelen van de korst (het dak) losbreken en in het magma wegzakken, terwijl het magma tegelijkertijd passief in de boven deze blokken zich vormende ruimten wordt opgezogen (principe der Schotsche „Ringdykes" of der „major overhead-stoping" van Daly). Ook kunnen gedeelten van het magmatische substraat door de stofsplitsing (differentiatie) soortelijk lichter worden dan het omgevende materiaal. Door deze verstoring van het hydrostatische evenwicht in de magmazone worden zulke deelen actief omhoog gedrukt en in de korst geperst of geinjecteerd. Voorts dringen de opstijgende vluchtige bestanddeelen door diffusie de korst binnen, waardoor de korst met magmatisch materiaal doordrenkt (geimbibeerd) en gegranitiseerd wordt (zoogenaamde migmatitisatie).

Door dit indringen van magma en de magmatische gassen in de korst wordt deze laatste verdeeld in een niet-migmatitischen bovenbouw (suprastructuur) en een migmatitischen onderbouw (infrastructuur). Tusschen onderbouw en bovenbouw bevindt zich een overgangszone van wisselende dikte (de zone der regionale metamorphose der gesteenten). De onderbouw is de zone der „Intrusionstektonik", de bovenbouw der „Wandertektonik" van F. E. Suess.

De bewegingen tusschen onderbouw en bovenbouw zijn disharmonisch. In alle gebergten met onder- en bovenbouw glijdt de laatste over de eerste. In kontinenten is deze „Ablösungszone" niet waarneembaar, maar in vele gebergten is deze grens door de erosie ontsloten en voor den kaarteerenden geoloog direct toegankelijk.

Een belangrijk resultaat der migmatietstudie is derhalve, dat de bovenste bewegende deelen van de korst glijden over sial en *niet over de sima,* zooals ten onrechte door vele geophysici wordt aangenomen (zooals door Wegener, en ook door Vening Meinesz en Bijlaard). De diepere deelen der salische korst behooren (althans in de orogenetische zones) wat hun bewegelijkheid betreft tot het substratum gerekend te worden. Wegmann (1935 a p. 336) zegt in dit verband:

„Dieses Ergebnis der Migmatitforschung dürfte auch von den Theoretikern der Erdkruste bei ihren Überlegungen beachtet werden. Von der Form, der Höhe in der Kruste und den Bewegungen der Migmatitfront hängt zu einem grossen Teile der Baustil der Gebirgsbildung ab".

Op welke diepte begint deze onderbouw? Volgens Wegmann (1935 b, p. 450) begint hij in de Huanglin — antiklinaal nog niet op 9 km diepte, in de Rocky Mountains nog niet op 25 km diepte. In de Groenlandsche Kaledoniden begon hij reeds plaatselijk op 5 km, in Midden-Noordwegen op 6 km en in Zuid-Finland op 5 km diepte. De veldonderzoekingen toonen bovendien aan, dat het migmatietfront in deze gebieden op verschillende tijden niet even diep lag. Het dringt van beneden naar boven door en zakt dan weer terug; in sommige deelen der korst blijft het in het kristallijne grondgebergte, in andere dringt het tot in de sedimenten der geosynclinalen door (zie *fig. 1,* overgenomen uit Wegmann 1935 a, p. 333).

Uit het bovenstaande blijkt, dat het niet mogelijk is de aardkorst (c.q. bovenbouw) met een vlakke, vaste plaat te vergelijken. Daarvoor zijn de optredende anistropien door wisselingen van vastheid (kristallijne grondgebergte en geosynclinale sedimenten) en dikte (hoogtewisselingen van het migmatietfront) te belangrijk. De bovengeschetste situatie komt veeleer overeen met de door mij verdedigde opvatting, dat wij te maken hebben met een betrekkelijk slappe korst, welke op het substratum drijft en door massaverplaatsingen in het substratum *passief* op en neer bewogen wordt.

In dit hoofdstuk toonen wij aan dat de premisse van Bijlaard's berekeningen en beschouwingen geologisch onhoudbaar is. (Deze conclusie spreekt ook tegen de opvattingen van Vening Meinesz). Thans (§ III en § IV) zullen we nagaan, hoe het met de geologische conclusies van Bijlaard's beschouwingen gesteld is.

III. Het ontstaan der geosynclinalen.

In mijn vorige artikel in dit tijdschrift (Afl. 7, 1936) wees ik erop, dat aan de gebergtevorming een lange periode van geosynclinale daling *vooraf* gaat. Bijlaard antwoordt hierop (Afd. 7, p. 95):

„De geosynclinalen zijn dus ontstaan door het naar beneden buigen van de aardkorst door de, *nà* de plaatselijke vervorming excentrisch aangrijpende drukkrachten, zooals in *fig. 1a, 1c, 1e, 2a, 2c* en *2d* is aangegeven".

en meent met dit antwoord mijn bezwaar tegen zijn theorie weerlegd te hebben. Doch integendeel; mijn bezwaren worden door dit antwoord nog vergroot!

a) Ten eerste moet er volgens Bijlaard vóór de geosynclinale daling een strook van locale plastische deformatie ontstaan, waardoor het middenvlak van de korst krom wordt. Eerst dan zou het omlaag druk-

ken van de korst door de excentrisch aangrijpende tangentieele drukkrachten optreden, terwijl volgens de geologische waarnemingen de volgorde juist andersom is, namelijk éérst rustige daling, dàn gebergtevorming. Volgens deze voorstelling van B i j l a a r d zou elk gebergte, dat het waagt te ontstaan en dat door een wortel isostatisch gekompenseerd wordt, tengevolge van deze kromming van het middenvlak in een geosynclinaal omlaag gedrukt moeten worden, wat ten eenenmale in strijd is met wat wij waarnemen.

b) Voorts zou volgens de voorstelling van B i j l a a r d de geosynclinale daling het gevolg zijn van *elastische* deformaties van de korst, waarbij derhalve *het volle bedrag van de daling door gravitatie-anomalieën gekenmerkt zou worden*, dat is een negatieve anomalie van ruim 100 milligal voor elke kilometer daling. Deze negatieve anomalie zou voorts gedurende de gansche periode van de geosynclinale voorgeschiedenis van het gebergte, die vaak tientallen millioen jaren omvat, moeten blijven bestaan. De positieve uitbuilingen opzij van de geosynclinale zouden naar rato positieve afwijkingen van de normale zwaartekracht moeten vertoonen.

Ook dit is in strijd met de waarnemingen, die juist geleid hebben tot het principe der isostatie dat zegt, dat voor groote gebieden bij langzame epirogenetische bewegingen, dat zijn breede opwelvingen en dalingen, het isostatische evenwicht nagenoeg behouden blijft. Alleen bij de relatief snel verloopende orogenetische bewegingen kunnen tijdelijk en plaatselijk groote afwijkingen van het isostatische evenwicht optreden, zooals de zone van negatieve anomalieën, die V e n i n g M e i n e s z in onzen archipel vaststelde.

c) Wanneer men de *dimensies* der geosynclinalen beschouwt, dan blijkt het, dat men een onderscheid kan maken tusschen: *1*) geosynclinale dalingsgebieden met een diameter van meer dan 1 000 km, welke de volumetrische compensatie vormen van aangrenzende kontinentale opwelvingen (zoogenaamde undatiès der eerste orde of geo-undaties; voorbeeld met Tethysgebied, waaruit het Alpine gebergtesysteem ontstaan is; ontwikkelingsduur meer dan 100 millioen jaren); *2*) geosynclinalen met een breedte van ca. 200 km, die de volumetrische kompensatie vormen van de afzonderlijke bergruggen en eilandenreeksen van een gebergtesysteem (zoogenaamde undaties der tweede orde of meso-undaties, welke zich binnen de grenzen der geosynclinale gebieden der eerste orde vormen en een ontwikkelingsperiode van enkele tientallen millioenen jaren bezitten); *3*) voorts kan men nog dalingsgebieden van ondergeschikt belang met een diameter van enkele tientallen kilometers onderscheiden (undaties der derde orde of detailundaties).

Wanneer B i j l a a r d geosynclinale gebieden van de eerste orde als de Tethys, naar analogie met zijn technische experimenten met vloeistalen platen, wil verklaren door een *elastische* verbuiging van de aardkorst, die bovendien meer dan 100 millioen jaren zou moeten blijven bestaan, dan begaat hij hier een ontoelaatbare extrapolatie, waarin waarschijnlijk niet één geoloog hem zal willen volgen. Men denke slechts aan den verslappenden invloed der plastische geosynclinale sedimenten en van het opdringende migmatietfront. Voor de geosynclinalen van de tweede orde met een breedte van ca. 200 km en een levensduur van enkele tientallen millioenen jaren is de door B i j l a a r d gegeven verklaring op grond van elastische deformaties evenzeer onwaarschijnlijk.

d) Nog onbevredigender wordt B i j l a a r d's voorstelling voor het ontstaan der geosynclinalen, wanneer men hun *vorm* beschouwt. Volgens B i j l a a r d 's theorie zou een symmetrische structuur verwacht moeten worden, waarbij de zone van lokale plastische deformatie in het diepste centrale deel van de geosynclinale gelegen is. Een symmetrische structuur is voor de geosynclinalen der eerste orde en de zich daaruit ontwikkelde gebergtesystemen nog mogelijk (b.v. de naar het Noorden bewogen Alpide stam en de naar het Zuiden bewogen Dinarische stam, beide behoorende tot het Alpine gebergtesysteem, dat zich uit de Tethys-geosynclinaal ontwikkelde). Maar de geosynclinalen der tweede orde bezitten meestal géén symmetrische structuur. Deze vormen vaak voordiepten aan de buitenzijde van de geanticlinale bergruggen en eilandenreeksen, waardoor een antisymmetrisch vormbeeld ontstaat (zie *fig. 2*), hetwelk niet past in het kader van B i j l a a r d's theorie [1]).

Het merkwaardige van deze aardkorstdeformaties is bovendien, dat zij meestal slechts geringe afwijkingen der isostatie vertoonen (b.v. de Mindenaotrog) en in geen geval verbuigingen der korst zonder dikte veranderingen kunnen zijn, zooals *fig. 3* aangeeft, want dan zou het volle bedrag der gebergteopwelving en der voordieptedaling zich als respectievelijk positieve en negatieve zwaarteanomalieën moeten manifesteeren.

Wanneer men aanneemt, dat de isostatische kompensatie door diktewisselingen van de salische korst tot stand gebracht wordt, zooals W e g e n e r, V e n i n g M e i n e s z en B i j l a a r d zich dat denken, dan zou de vorm van het oppervlakterelief als 4 tot 10 maal [2]) versterkt spiegelbeeld aan de benedengrens van de salische korst moeten optreden (*fig. 4a*). Hier zouden dus rek- en kompressievormen *gelijktijdig* naast elkaar optreden, hetgeen niet waarschijnlijk is. Bovendien zou men voor het geval der tot 10 000 m diepe Mindenaotrog b.v. tot negatieve korstdikten moeten concludeeren, wat natuurlijk onmogelijk is.

Wanneer men echter, zooals steller dezes dat doet, rekening houdt met het seismisch vastgestelde feit, dat men voor de tektonosfeer niet met een tweedeeling in sial en sima, maar minstens met een driedeeling (sal-salsima-sima) te maken heeft, dan behoeft de isostatische kompensatie niet uitsluitend door dikte-wisselingen van de sial te geschieden. Ook veranderingen in de diepteligging van de grens tusschen salsima en sima is hierop van invloed (*fig. 4b*). De isostatische wortel van den bergrug kan gevormd worden door de asthenolitische, soortelijk lichte splitsingsproducten, welke uit het salsimatische stammagma door stofsplitsing (differentiatie) in het groot zijn ontstaan. Het verschil van mijn voorstelling omtrent het ontstaan der gebergtewortels met die van

1) Op dit bezwaar tegen B i j l a a r d's voorstelling maakte collega H a r l o f f mij attent.

2) Al naar gelang het dichtheidverschil tusschen sial en sima.

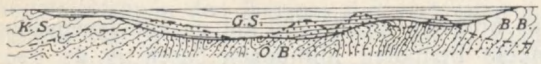


fig. 1

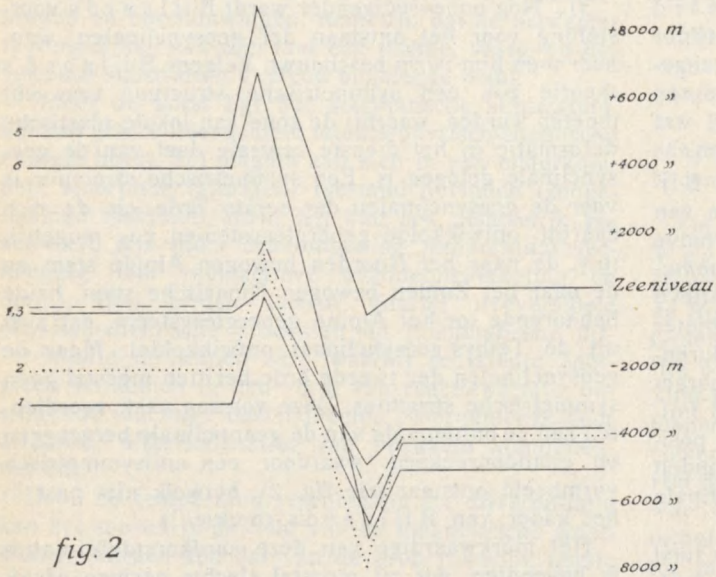


fig. 2

fig. 3

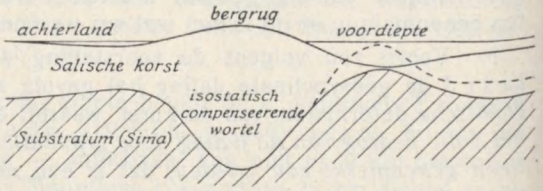


fig. 4a

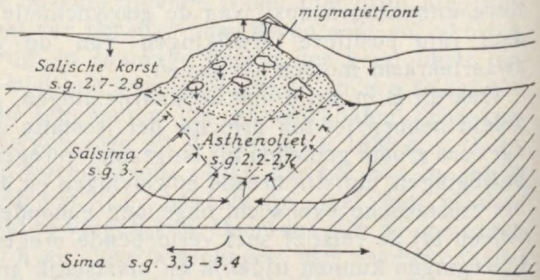


fig. 4b

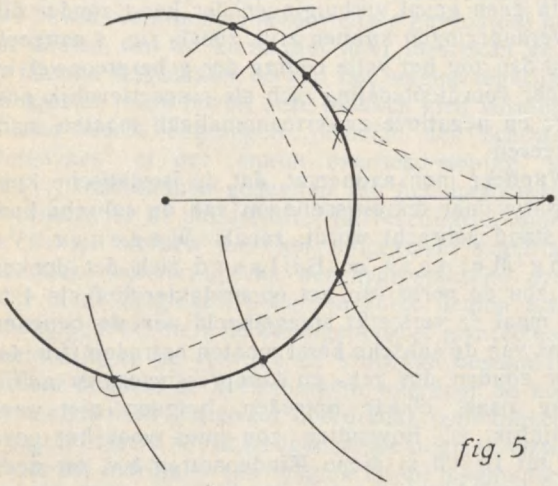


fig. 5

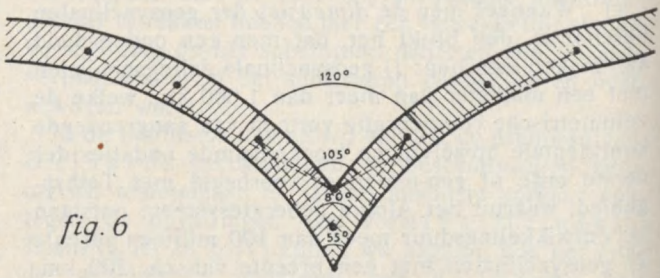


fig. 6

Fig. 1. *Schematische voorstelling van het migmatietfront onder een geosynclinaal volgens W e g m a n n (1935 a, fig. 1).*
G. S. = Met sedimenten gevulde geosynclinaal.
K. S. = Kristallijn grondgebergte (salische korst).
B. B. = Bovenbouw (niet migmatitische suprastructuur).
O. B. = Onderbouw (migmatitische infrastructuur).
—.— = Migmatietfront.

Fig. 2. *Normaalprofiel van gebergten en hun voordiepten (overgenomen van H. v o n S t a f f, Zeitschrift d. D. Geol. Ges., 63, p. 182).*
1) Beringzee-Aleuten-Aleutentrog-Pacifik.
2) Japansche zee-Fusijama-Japansche trog-Pacifik.
3) Oost Chineesche zee-Riukiu-Formosatrog-Pacifik.
4) Soendazee-Java-Soendatrog-Indische Oceaan.
5) Tibet-Himalaya-Gangesdiepte-Voorindië.
6) Titicacaplateau-buitenste Kordillera's-Atakamatrog-Pacifik.

Fig. 3. *Verklaring van het normaalprofiel (fig. 2), zonder dat diktewisseling van de korst aangenomen wordt. Het volle bedrag van de afwijkingen van het relief van het geoidniveau zou dan als zwaarteanomalie waargenomen moeten worden.*

Fig. 4a. *Schematische voorstelling voor het geval, dat de isostatische kompensatie voornamelijk het gevolg is van diktewisselingen van de salische korst. Voor de Minenaotrog zou men dan tot negatieve korstdikten komen (gestippeld in de figuur).*

Fig. 4b. *Schematische voorstelling van de aanname, dat de kompensatie veroorzaakt wordt door wisseling in de diepteligging zoowel van de grens sial-salsima als ook van de grens salsima-sima, volgens de Undatie-theorie (zie v a n B e m m e l e n, lit. 1935).*

Fig. 5. *Het verband tusschen den snijhoek van twee bogen en den afstand van de middelpunten of de lengte van de stralen.*

Fig. 6. *„Speelruimte" bij de constructie van den snijhoek tusschen twee gebergtezones.*

Vening Meinesz en Bijlaard is, dat volgens de undatietheorie de ophooping van licht materiaal, dat deze wortels onder de bergruggen aan de benedenzijde der aardkorst vormt, van *beneden* uit geschiedt, terwijl volgens Vening Meinesz en Bijlaard dit lichte materiaal der wortels van *boven* uit in het substratum geperst wordt [3]).

De splitsingsproducten worden door hun geringer soortelijk gewicht dan het omgevende, niet of minder gedifferentieerde stammagma hydrostatisch omhoog gedrukt. Hiertoe moet salsima van beide zijden toestroomen. We zouden hier eveneens een symmetrische structuur moeten verwachten, zooals in *fig. 5*, p. 91 van afl. 7, 1936 van dit tijdschrift voor het ideale geval ook is aangegeven. Wanneer we echter rekening houden met het feit, dat dergelijke gebergteruggen behooren tot een systeem van (meso-) undaties, welke zich in den loop van den tijd zijwaarts door het geosynclinale gebied verplaatsen (principe van de migratie der gebergten en hun voordiepten), dan vervalt deze symmetrische situatie. Het achterland heeft in de voorgaande geologische periode reeds een undatiecyclus doorgemaakt, waarbij het salsima grootendeels door de ontleding opgeteerd werd, terwijl zich in het voorland nog een reservoir van ongesplitst salsima bevindt. De toevloeiing van salsima zal daardoor vooral uit het voorland plaats vinden, waardoor een voordiepte ontstaat, terwijl de toevloeiing uit het achterland en de daarmee samenhangende „achterdiepte" („Rücktiefe") meestal minder belangrijk is.

De isostatische kompensatie van deze daling der voordiepte geschiedt volgens mijn voorstelling niet door rek en verdunning der salische korst, doch doordat in den ondergrond de grens tusschen salsima en sima hooger komt te liggen (door het vervloeien van de simatische, soortelijk zwaardere pool der ontleding van het stammagma (salsima).

De onder *III a*), *b*), *c*) en *d*) genoemde bezwaren tegen Bijlaard's voorstelling van het ontstaan der geosynclinalen doen duidelijk zien, dat deze voorstelling *volkomen in strijd is met de geologie*. Laat ons thans de snijhoeken tusschen de bergruggen of eilandenreeksen, welke voor Bijlaard's theorie een kriterium vormen, wat nader bekijken.

IV. De snijhoeken tusschen gebergteruggen of eilandenreeksen.

Bijlaard toonde door experimenten met dunne vloeistalen platen aan, dat deze bij eenassigen druk (of trek) een strook van lokale plastische deformatie vertoonen, die een hoek van 55° met de druk- (of trek-) richting vormt.

Deze hoek van 55° (c.q. van 110° bij snijdende gebergtezones) meent Bijlaard ook op te kunnen merken in Nederlandsch-Indië en de Oostaziatische randbogen, waaruit hij de conclusie trekt, dat de aardkorst hier een lokale plastische deformatie heeft ondergaan.

In afl. 7, 1936, publiceerde ik een kaartje van Tanakadate betreffende het verloop der seismische en vulkanische zones, waarin deze hoek van 110° weinig evident is. (zie l.c. *fig. 3* pag. 89 en *fig. 4* pag. 90). Bijlaard meent, dat deze zones niet direct door de tangentieele drukkrachten ontstaan zijn en daardoor het verloop der zones slechts zeer onvolkomen afspiegelen. Een betere afspiegeling zou men in het verloop van de geologische en tektonische structuren kunnen verwachten. Nu had ik daarvoor geen geschikt kaartje ter reproductie beschikbaar, maar wanneer men de moeite neemt, om de geologische kaart van de Japansche eilanden te bestudeeren, dan blijken hierin de snijhoeken evenmin duidelijk met de door Bijlaard ingeteekende richtingen te correspondeeren.

„Het is juist merkwaardig, dat het overal zoo goed klopt", zegt Bijlaard (l.c. pag. 97), maar dat hangt er toch slechts van af in hoeverre men het zoo *wenscht* te zien! Men moet niet uit het oog verliezen, dat de geologen en geografen altijd spreken van gebergte*bogen*, en zulks zeker niet ten onrechte, waarbij de mate van kromming van den boog vaak als karakteristiek wordt opgevat (Hobbs). De hoek, waaronder twee gebergte- of eilandenbogen elkaar snijden, is iets bijkomstigs; hij hangt af van de afstanden der brandpunten der bogen en de lengte der kromtestralen (*fig. 5*), maar heeft verder niets te maken met de krachten, waardoor deze morphologische bogen ontstonden. Wanneer men bovendien eenige „speelruimte" heeft, is het niet moeilijk om door de uiteinden van twee elkaar snijdende bogen lijnen te trekken, die elkaar onder hoeken van ca 110° snijden (*fig. 6*).

De Soenda*boog* en het merkwaardige *lus*vormige verloop van de zone van negatieve anomalieën door de Molukken en Celebes wijzen zeker niet ondubbelzinnig op een uniforme, van het Aziatische kontinent naar het Zuidoosten gerichte drukkracht. De gang van zaken bij Bijlaard's analyse van het krachtenspel in den Indischen Archipel is, dat hij uitgaat van den hoek van ca 110° tusschen de strooken Banggai-Obi en Talaud-Soela, die door een Zuidoost gerichte drukkracht verklaard zou kunnen worden. Parallel met deze drukrichting zou de kracht kunnen loopen, die in den Timorsector van de zone negatieve anomalieën veroorzaakte. Hiermee houdt echter de *„ondubbelzinnigheid"* voor onzen archipel op, want voor alle overige deelen van de zone van negatieve anomalieën moeten afwijkingen en mechanische kunstgrepen worden toegepast, om hierin het effect van de Zuidoostkracht te willen zien. Voor Java zou de drukrichting reeds 23° van de Timorrichting afwijken. Voor Sumatra wordt een gedeeltelijk langs elkaar heen glijden

3) Men zou, als men een populaire vergelijking zou willen maken, het verschil tusschen beide opvattingen kunnen zien als het verschil tusschen den wortel van een organisch gegroeide kies (de gebergtewortel volgens de undatietheorie) en een stifttand (de gebergtewortel volgens de theorieën van Vening Meinesz en Bijlaard). De wortel van een kies ontstaat eerst in aanleg in de diepte en nadat hij ontstaan is, drukt hij de kies omhoog, terwijl de stift (c.q. wortel) van een stifttand van buiten naar binnen gedrukt wordt. De wortel van een levende kies staat in organisch verband met de evolutie van het organisme, waar hij uit ontstaat, evenals de gebergtewortel volgens de undatietheorie een causale consequentie is van de evolutie der aarde (c.q. tektonosfeer), hetgeen niet gezegd kan worden van den kunstmatigen wortel van een stifttand, die er van boven ingedrukt wordt.

van korstdeelen aangenomen. Men loopt echter vast, wanneer men zich niet tot onzen archipel beperkt, maar ook met de mogelijke voortzetting van de negatieve anomaliezone naar het Noorden, langs de Andamanen en Nicobaren en eventueel nog verder langs de Arakan-Yoma-keten in Burma tot het snijpunt met de Himalaya rekening wil houden. Dat deze zone van negatieve anomalieën niet bij Sumatra's Noordpunt ophoudt, ziet men duidelijk uit de toename, die de anomalieën daar weer vertoonen. Voor deze voortzetting zou men nog veel sterker divergenties van de drukkrachten moeten aannemen, dan tusschen Java en Timor; ja, de Arakan-Yoma ligt vrijwel in den rug van de veronderstelde, Zuidoost gerichte drukkrachten.

De lus van de negatieve anomaliezone door de Molukken en Celebes wordt grootendeels door secundaire reactiekrachten verklaard: „Dat de door deze secundaire kracht (D_s) ontstane strook bij de Kei-eilanden loodrecht op de richting van deze West-Oost gerichte drukkracht staat, wijst op een ongeveer 0,5 maal zoo groote hoofdspanning in noordzuidelijke richting daar ter plaatse, die haar ontstaan te danken zou hebben aan de primaire ZZO gerichte drukkracht (D_p) dan wel aan de boogwerking (?) als gevolg van den vorm van het continent Australië-Nieuw Guinea (zie de 200 m lijn)" (B i j l a a r d, dit tijdschrift, Afl. 11, 1935, pag. 155). Voor den zuidoostarm van Celebes zou het misschien weer niet noodig zijn, dergelijke hoofdspanningen loodrecht op de hoofddrukkracht (D_s) aan te nemen, daar deze vervormingsstrook een hoek van 45° met D_s maakt. Dit zou eerder op zuivere schuifspanning wijzen volgens B i j l a a r d 1935, p. 154. Betreffende de Aziatische randbogen zegt B i j l a a r d, dat al was de snijhoek niet 110°, maar 100 of 140°, dan nog zou dit niets tegen zijn theorie bewijzen, want dan zou een extra druk of trek dwars op de hoofddrukrichting aangenomen moeten worden.

Men ontkomt bij het bestudeeren van B i j l a a r d's analyse van de tektonische krachten in den Indischen Archipel niet aan den indruk, dat hier hetgeen te bewijzen was, namelijk de uniforme, door het Aziatische kontinent uitgeoefende, ZO of ZZO gerichte drukkracht, teveel in de redeneeringen vooròp gesteld werd, waarna getracht wordt door allerlei nevenaannamen (het langs-elkaar-glijden van korstdeelen, divergentie van de hoofddrukrichting, secundaire krachtrichtingen, dwars-, druk- of trekkrachten, boogwerking van het kontinent Australië-Nieuw Guinea) de werkelijke situatie in onzen Archipel met deze uniforme drukkrachtrichting van Azië te verklaren. Deze situatie is echter vermoedelijk op deze wijze ook nog door andere krachtencombinaties te verklaren, bijvoorbeeld wanneer wij een Noord-Zuid druk en complementaire Oost-West spanningen van wisselende grootte aannemen. Maar een dergelijke analyse van het *mogelijke* krachtenspel, dat de gebergtevorming in onzen Archipel veroorzaakte, heeft immers niet de minste bewijskracht voor de vraag, of nu ook werkelijk deze en geen andere krachten bij de gebergtevorming van onzen archipel de hoofdrol speelden. Zooals ik reeds in de inleiding van mijn kritische beschouwingen in dit Tijdschrift 1936, Afl. 7, pag. 88 opmerkte, is het misschien wel experimenteel mogelijk. door de toepassing van diverse krachten en weerstanden in een vloeistalen plaat of klei of andere materialen structuren te verkrijgen, die eenigermate gelijken op de morphologische situatie in den Indischen Archipel en de Oostaziatische randbogen, maar een dergelijke *vormanalogie* bewijst nog geenszins, dat in de natuur ook werkelijk analoge krachten werkzaam zijn geweest, dus dat deze vormen in de natuur ook een *analoge oorzaak* gehad hebben.

B i j l a a r d zegt (No. 7, p. 97), dat zijn experimenten slechts als demonstratie bedoeld zijn, doch dat de wetten, die het optreden der plaatselijke vervormingen beheerschen, geheel exact zijn afgeleid, *welke afleidingen evengoed geldig zijn voor de aardkorst als voor een ijzeren plaat.* Dit is echter alleen het geval als zijn premisse juist is, dat we de aardkorst als een ijzeren plaat mogen beschouwen en dat meen ik op grond van het vermelde in § II van dit artikel te mogen betwijfelen.

De uitspraak van B i j l a a r d, dat „het juist merkwaardig is, dat het overal zoo goed klopt" moet derhalve met de noodige reserve opgenomen worden. Ten eerste komen allerlei afwijkingen van de drukrichtingen en de snijhoeken voor; ten tweede stelt hij als kriterium voor zijn theorie een uitwendigen vorm (snijhoek), die voor aard en oorzaak van den inwendigen tektonischen bouw niet essentieel is; ten derde kan bij de constructie van de kaart de snijhoek belangrijk worden aangepast, waarbij de wensch een bepaalden hoek (c.q. dien van 110°) te construeeren vaak een belangrijkere rol speelt, dan de werkelijk waargenomen geologische, vulkanologische en seismologische richtlijnen; ten vierde wordt bij de analyse van het krachtenspel, hetgeen te bewijzen was (de uniforme drukrichting), teveel in de redeneering voorop gesteld; ten vijfde mag uit vormanalogieën tusschen experiment en natuur niet tot oorzaakanologieën geconcludeerd worden.

Wanneer men een inzicht wil verkrijgen omtrent de krachten, die bij de gebergtevorming werkzaam waren en zijn, dan kan dat alleen verkregen worden door de convergeerende evidentie van geologische, geomorphologische, structureele (S a n d e r, C l o o s), petrologische, geophysische (seismische en gravitatische) en ook mechanische analyses. Wanneer men alleen de laatste methode tot gids neemt, loopt men gevaar met de andere in tegenspraak te komen en op een zijspoor dood te loopen.

V. Over de samenwerking van physici en geologen in de tektonologie.

Het is in dit verband wel eens goed erop te wijzen, hoe geophysici, die qua opleiding meer physicus dan geoloog zijn, zooals G u t e n b e r g, J e f f r e y s, W e g e n e r en ook V e n i n g M e i n e s z, of uitsluitend technicus zijn, zooals B i j l a a r d, opvallend weinig begrip toonen voor of aandacht schenken aan de beteekenis van de physisch-*chemische* processen bij de ontwikkeling

van de aardkorst. De silicaatsmelt van het substratum wordt door hen meestal als een neutrale, visceuze vloeistof beschouwd. Deze vloeistof zou passief op allerlei uitwendige krachten reageeren; druk- en temperatuursveranderingen zouden reversibele reacties veroorzaken, zooals dichtheidsveranderingen die met zwellen en krimpen gepaard gaan, uitkristallisatie (stollen) of smelten. Hierdoor zouden thermale convectiestroomen in het substratum kunnen ontstaan, zooals Vening Meinesz bijvoorbeeld aanneemt.

Bijlaard gaat bij zijn verklaring van het vulkanisme uit van een (passief) omhoogzuigen van het magma in rekspleten of door het „overhead stoping" proces van Daly. Men met echter niet vergeten, dat de merkwaardige batholietvorm, dien Bijlaard in dit tijdschrift, 1936, afl. 4, pag. 38, *fig. 1* teekent, *uit de geologische literatuur nog niet bekend is en ook door* Harloff *nog niet beschreven werd.* Wel zijn, dank zij de onderzoekingen van Cloos en zijn leerlingen, vele batholieten bekend, waarin het granietmagma omhoog geperst werd; in tal van andere gevallen blijkt het opstijgen van het magma door middel van assimilatie van de korst (migmatitisatie) geschied te zijn.

Het magmatische subtraat is dan ook allerminst passief en reageert geenszins alleen maar reversibel op druk- en temperatuursveranderingen. Daarvoor is deze complexe silicaatsmelt, die bovendien groote hoeveelheden lichtvluchtige bestanddeelen in oplossing houdt, te veel geladen met latente physisch-chemische energieën. De ontwikkeling van de aarde en de aardkorst moet, als ieder ander natuurproces, gericht zijn op entropieverhooging, naar een evenwichtstoestand streven, d.w.z. „equilibriopetaal" zijn. Dit gaat gepaard met tal van ingewikkelde *ònomkeerbare* physisch-chemische reacties en stofsplitsingen (magmatische differentiatie in ruimen zin, groei van de salische korst e.d.).

Het is hier niet de plaats daarop nader in te gaan; deze zijde der tektonologie zij hier slechts naar voren gebracht, omdat deze onderschatting van het irreversibele karakter van deze equilibriopetale magmatische processen en onvoldoende aandacht voor hun geotektonische beteekenis de bron is van veel misverstand van de zijde der (geo-) physici.

Maar ook de geologen vertoonen vaak van hun zijde een wanbegrip voor de methoden en het vermogen der physici. Er is bij hen soms een angst en een respect voor formules, waarbij zij vergeten, dat deze niet meer kunnen geven, dan er met de premisses ingelegd wordt. De berekeningen zijn slechts overzichtelijke vormen van de logische consequenties der premisses. Men mag daarom weer niet de beteekenis van de mathematische berekeningen voor de geophysica onderschatten, want zij zijn vaak onmisbaar voor het vinden van deze logische consequenties. Maar men moet zich steeds voor oogen houden, dat de berekeningen niet meer kunnen geven, dan er met de premisse („Ansatz") in wordt gelegd, waarbij vooral vaak de invloed van de omgeving en van het historische moment worden uitgeschakeld. Voor ons geologen is derhalve van belang te weten of de premisses, de geologische „opvattingen", waar bij de berekeningen van uit gegaan wordt, juist zijn. Den mathematischen weg van de premisse tot de conclusie kunnen wij zoo noodig aan den mathematicus of physicus overlaten; de contrôle van de juistheid der premisses en conclusie, namelijk in hoeverre het „klopt" en zij in overeenstemming zijn met hetgeen de aarde zelf ons leert, dàt is het werk van de geologen.

Er is derhalve in de geophysica en de geotektoniek een vruchtbare samenwerking tusschen geoloog en physicus mogelijk. Voor het geval van Bijlaard's theorie der lokale plastische deformaties van de aardkorst is echter in het voorgaande aangetoond, dat zoowel de premisse (aardkorst is te vergelijken met een vlakke, veerend opgelegde plaat, die aan zijdelingschen druk onderworpen wordt) als ook de conclusies (karakter der deformaties; grootte der snijhoeken; aard, vorm en tijdstip van de geosynclinale dalingen) geologisch onhoudbaar zijn. Dat ik tegenover de voorstelling van de theorie van Bijlaard soms die der undatietheorie gesteld heb, vindt alleen zijn oorzaak in de wensch om behalve het maken van kritische opmerkingen ook opbouwend te werken en aan te geven hoe de oplossing dan wel zou kunnen zijn. Of de door mij gegeven theorie al dan niet juist is, beinvloedt niet in het minst de algemeene geldigheid van de in dit artikel tegen Bijlaard's voorstelling aangevoerde geologische bezwaren.

Moge deze discussie er echter toe bijgedragen hebben eenerzijds het verschil in beschouwingswijze van tektonologische problemen door geologen en physici (c.q. technici) duidelijker te maken en anderzijds den weg tot samenwerking aan te geven, dan is daarmee het door mij gestelde doel ruimschoots bereikt.

Literatuur.

Ansel, E. A. 1934: Zur Theorie des irdischen Schwerefeldes. Handbuch der Geophysik, Band I, p. 718 (183).

Bemmelen, R. W. van 1931: Kritische beschouwingen over geotektonische hypothesen. *Nat. Tijdschr. v. Ned.-Indië, 91,* 1, p. 93-117.

„ „ „ 1931: De bicausaliteit der bodembewegingen. Ibidem, *91,* 3, p. 363-413.

„ „ „ 1932: De Undatietheorie enz. ..... Ibidem, *92,* 1, p. 85-242.

„ „ „ 1935: Über die Deutung der Schwerkraftanomalien in Niederländisch-Indien. *Geol. Rundsch. 26,* 3, p. 199-226.

„ „ „ 1936: Kritische beschouwingen naar aanleiding van Bijlaard's theorie over plastische deformaties van de aardkorst (with Engl. Summary). *De Ingenieur in Ned.-Indië,* 1936, 7, I, p. 87-93.

„ „ „ & Berlage, H. P. 1934: Versuch einer mathematischen Behandlung geotektonischer Bewegungen unter besonderer Berücksichtigung der Undationstheorie. Gerl. Beitr. z. Geophysik *43*, p. 19-55.

Bijlaard, P. P. 1935: Beschouwingen over de knikzekerheid en de plastische vervormingen van de aardkorst in verband met de geologie van den Oost-Indischen Archipel. (Mit deutschen Zusammenfassung). *De Ingenieur in Ned.-Indië*, 1935, 11, I, p. 135-156.

„ „ 1936a: Poging tot verklaring van het vulkanisme en de geologie van den westelijken Pacific. *De Ingenieur in Ned.-Indië*, 1936, 4, I, p. 37-43.

„ „ 1936b: De verklaring voor het optreden van zwaartekrachtanomalieën, diepzeetroggen, geosynclinalen, gebergtevorming en vulkanisme bij plaatselijke, plastische vervorming van de aardkorst (With Engl. Summary). *De Ingenieur in Ned.-Indië*, 1936, 7, I, p. 93-97.

„ „ 1936c: Théorie des déformations plastiques et locales par rapport aux anomalies négatives de la gravitation, aux fosses océaniennes, aux géosynclinaux, au volcanisme, à l'orogénie et à la géologie de l'océan pacifique occidental. Rapport à l'association de géophysique de l'union géodésique et géophysique internationale. Congrès à Edinbourg, 1936.

Cloos, H. 1936: Einführung in die Geologie. Borntraeger, Berlijn.

Gutenberg, B. 1931: Der physikalische Aufbau der Erde. Handb. der Geophysik, Band 2, Lief. 1, p. 440-564.

Nadai, A. 1931: Plasticity (A Mechanics of the Plastic State of Matter). *Eng. Soc. Monogr.* McGraw-Hill, New-York—London.

Sander, B. 1930: Gefügekunde der Gesteine. Springer, Weenen.

Schmidt, W. 1932: Tektonik und Verformungslehre. Borntraeger, Berlijn.

Thiele, S. & Beurlen, K. 1936: Das Experiment in der Tektonik und seine Bedeutung in der Geologie. Z. f. die gesamte Naturwiss. Heft 2, 1936.

Wegmann, C. E. 1935a: Zur Deutung der Migmatite. *Geol. Rundsch.*, *26*, 5, p. 305-350.

„ „ 1935b: Über einige Fragen der Tiefentektonik. Ibidem, *26*, 6, p. 448-451.

„ „ 1936: Geologische Merkmale der Unterkruste. Ibidem, *27*, 1, p. 43-47.

Nadere toelichting van de toepassing van mijn theorie der plaatselijke plastische vervormingen op de tektoniek

door

prof. ir. P. P. BIJLAARD.

Weerlegging van de door v. Bemmelen aangevoerde geologische bezwaren.

I. De volgens mijn theorie optredende vervormingen zijn geheel in overeenstemming met de geologische gegevens betreffende de door v. Bemmelen ter sprake gebrachte onderwerpen.

II. Het doet er in mijn beschouwingen niets toe, welke gesteenten tot de korst behooren. Bovendien heb ik niet vast en visqueus vereenzelvigd met sial en sima, maar in dit tijdschrift No. 7 — 1936 juist gezegd, dat de vaste korst waarschijnlijk voornamelijk uit basalt bestaat. Van Bemmelen valt me dus aan over dingen, die ik niet gezegd heb (ijsbergen in water e.d.). Waar ik, naar aanleiding van mijn slotopmerking in No. 7 — 1936, dit persoonlijk aan v. Bemmelen heb uitgelegd, doet het me genoegen, dat hij nu ook zegt, dat de weerstand van de korst naar beneden toe *door den hydrostatischen druk verhoogd* en door de temperatuur verlaagd wordt, dus geleidelijk verandert als in *fig. 1* (lijn *w*), waarvoor de aanname van Vening Meinesz (lijn *a*) een goede benadering vormt. De opvatting van v. Bemmelen, dat de korst slap zou zijn, die gebaseerd is op het idee, dat een hydrostatische druk gelijk aan de schuif- of drukvastheid (die daar absoluut niet mee vergelijkbaar zijn!) den weerstand nul zou maken, *waarbij b.v. afschuivingen zouden optreden zonder aanwezigheid van schuifspanning*, berust dus op een misverstand omtrent de daarvoor algemeen geldende wetten (*fig. 4*). Dat uit de opstijging van Scandinavië zou volgen, dat bij langzame vervormingen de weerstand van de korst nul is, blijkt eveneens onjuist te zijn. Uit het feit, dat gebergtevorming optreedt, volgt, zooals door berekening wordt aangetoond, dat de korst in staat is groote spanningen op te nemen, ook bij kleine vervormingssnelheden. Ook de opvatting van v. Bemmelen, dat convectiestroomen geen krachten op de korst kunnen overbrengen, berust op onbekendheid met de daarvoor geldende wetten. Van Bemmelen stelt n.l. de schuifspanning evenredig aan de *snelheid*, terwijl, zooals direct is in te zien en reeds door Newton werd ontdekt, de schuifspanningen evenredig zijn met het *snelheidsverschil* tusschen de langs el-

kaar glijdende lagen. *Aan den onderkant van de korst, waar* v. Bemmelen *tot een schuifspanning nul concludeert, is deze juist maximaal* (hoofdstuk IV).

De invloed van het migmatietfront, dat optreedt *nà* het ontstaan van een vervormingsstrook, is in mijn beschouwingen verdisconteerd. Dat *daarna* sial over sial glijdt, beinvloedt de richting der vervormingsstrook niet meer.

III. De in het derde hoofdstuk door v. Bemmelen aangevoerde bezwaren berusten op een onjuiste interpretatie van mijn theorie eenerzijds en van de geologische gegevens anderzijds.

a) Ook volgens mijn theorie gaat de geosynclinale daling aan de gebergtevorming vooraf.

b) De door mij beschouwde geosynclinalen van ± 200 km breedte vertoonen wel degelijk negatieve anomalieën, geheel overeenkomstig mijn theorie.

c) De door mij beschouwde geosynclinalen hebben slechts een levensduur van meer dan 10 millioen jaar. Aangetoond werd, dat ook bij kleine vervormingssnelheden de korst een grooten weerstand vertoont.

d) Dat de eilandenreeksen geen symmetrischen vorm vertoonen, wordt direct verklaard, wanneer men er mee rekening houdt, dat de vervorming zich van het continent naar de oceaan zal voortplanten.

IV. Dat de geologen over gebergte*bogen* spreken, zegt niets, omdat een algemeen aanvaarde verklaring voor het ontstaan daarvan nog niet bestaat. Volgens mijn theorie is juist de snijhoek tusschen de vervormingsstrooken wel essentieel. Wat v. Bemmelen „hypothetische aannamen" noemt, zijn slechts feiten, die vanzelf uit de daarvoor geldende mechanische wetten voortvloeien, zooals nog nader wordt verduidelijkt.

I. Inleiding.

Onder dankzegging aan de redactie van dit tijdschrift, dat ze mij in de gelegenheid heeft gesteld nog in dit zelfde nummer op de opmerkingen van v. Bemmelen van repliek te dienen, kan ik daarop hoofdstuksgewijs het volgende antwoorden.

Ik kan niet anders dan constateeren, dat ik ook na deze hernieuwde toetsing van mijn theorie aan de geologische gegevens mijn beschouwingen ten volle kan handhaven.

Hoewel ik reeds in dit tijdschrift No. 7 — 1936 er de aandacht op vestigde dat de wetten, die het optreden van plaatselijke plastische vervormingen beheerschen, door mij exact werden afgeleid, welke afleiding *onafhankelijk is van de dimensies*, gaat v. Bemmelen door met te spreken over mechanische experimenten, die niet voor de groote dimensies van de aardkorst zouden gelden.

Ofschoon de grondvoorstellingen en wetten der mechanica van de lichamen van „gewone" afmetingen niet zonder meer toegepast kunnen worden op lichamen van zeer kleine afmetingen (beweging van de electronen in het atoom) moet men zich hoeden hiervan een willekeurig gebruik te maken. De beweging der hemellichamen wordt door de wetten der mechanica beheerscht. Dat de processen der tektoniek niet aan deze wetten zouden gehoorzamen, moet ik dus ten stelligste tegenspreken. Het gevaar schuilt echter in een verkeerd begrip van deze wetten, dat tot een onjuiste toepassing daarvan leidt.

Waar mij, door aan de redactie bekende onvoorziene omstandigheden, slechts enkele dagen voor de beantwoording van het bovenstaande artikel overbleven, kan ik hier nu niet verder op ingaan, maar hoop daar bij een andere gelegenheid nog eens op terug te komen. *Uit de volgende hoofdstukken zal reeds blijken, dat v. Bemmelen de mechanica zelf juist dikwijls op de geologie heeft toegepast, echter op een wijze, waar ik ernstig bezwaar tegen moet maken.* Hetgeen wordt opgemerkt in de tweede helft van de inleiding van het artikel van v. Bemmelen (door hem ingelascht, nadat mijn antwoord reeds gereed was), n.l. dat de mechanica *niet* op de geologie van toepassing zou zijn, kan dus ook moeilijk dienen als excuus voor deze *onjuiste* toepassing.

II. De praemissen.

De bezwaren, die v. Bemmelen aanvoert tegen de praemissen van mijn theorie, n.l. dat de aardkorst als een stijve plaat, drijvende op een visqueus substratum, is te beschouwen en de oorzaak der vervormingen voornamelijk in tangentieele spanningen moet worden gezocht, zijn niet voor het eerst door mijn theorie in het leven geroepen, maar vormen het onderwerp van een strijd tusschen de geophysici onderling. Mijn beschouwingen geven dus een uitbreiding van de opvattingen van een *bestaanden* kring van geophysici, waarbij het voor mij onverschillig zou kunnen zijn, of die bestaande kring van al dan niet *algemeen* aanvaarde praemissen uitging. Ik zou dus b.v. kunnen volstaan met v. Bemmelen te verwijzen naar Vening Meinesz, die van dezelfde praemissen uitgaat en zich juist door zijn zwaartekrachtsmetingen een goed idee heeft kunnen vormen van de eigenschappen van de aardkorst, of naar het mij door hemzelf welwillend ter inzage gegeven boek van Bucher, een rasechte geoloog, die zijn theorie over het ontstaan der Mesozoïsch-Cenozoïsche geosynclinalen door rek grondde op proeven met een met water gevulde dunne bolschaal van paraffine, waarin rekscheuren werden opgewekt door het water te laten bevriezen [1]). Daar v. Bemmelen echter bij de bestrijding van deze praemissen verschillende onjuiste argumenten heeft aangevoerd, wil ik daar toch even op in gaan.

Of de tektonosfeer uit 2 of 3 schalen bestaat komt er bij mijn theorie niets op aan. Ook bij Vening Meinesz maakt dit geen verschil; hij heeft bij het nagaan van de oorzaak van de strook van negatieve anomolieën trouwens ook het geval in beschouwing genomen, dat de korst uit meerdere lagen zou bestaan, hetgeen zijn conclusies betreffende de grootte van den wortel onder de strooken van negatieve anomalieën niet beinvloedt [2]). Dat ik aanneem, dat de vaste korst alleen uit sial bestaat, heb ik nergens gezegd; in een vorig artikel [3]) heb ik er juist op gewezen, dat deze waarschijnlijk grootendeels uit bazalt zal bestaan,

---

1) Bucher. The deformation of the Earth's crust. An inductive approach of the problems of diastrophism. p. 123.

2) Vening Meinesz, Umbgrove en Kuenen. Gravity expeditions at sea. 1923 — 1932. Vol. II p. 121.

3) Bijlaard. *De Ingenieur in Ned.-Indië* No. 7 — 1936.

zoodat men dan ook 3 schalen krijgt, n.l. graniet, bazalt en dan nog het eklogitische substratum [4]).

Door den van buiten naar binnen ongeveer rechtlijnig toenemenden hydrostatischen druk zal de weerstand van het gesteente tegen deviatoren, dus b.v. tegen tangentieelen druk, in die richting toenemen, zooals volgt uit de naar de drukzijde divergeerende omhullende van Mohr (hierop kom ik nog terug), dus zou b.v. volgens lijn *h* in *fig. 1* verloopen. Door de naar binnen toenemende temperatuur zal echter de weerstand van het materiaal in die richting afnemen, zoodat het werkelijk verloop van den weerstand ongeveer volgens lijn *w* in *fig. 1* zal zijn. De geoloog Bucher [5]) geeft hiervoor b.v. een tabel van Barrell, waarin op diepten van resp. 20, 25, 30 en 50 km de weerstand van de korst resp. 4, 5, 4 en 0,25 maal den weerstand aan de oppervlakte geschat wordt, aan welke cijfers hij zelf echter alleen in zooverre waarde hecht, dat ze laten zien dat de hydrostatische druk den weerstand verhoogt en de temperatuur deze verlaagt. Hij zegt echter, dat hij de hypothese van Barrell, die nog meer punten omvat, beschouwt als het beste door alle bekende feiten, zoowel geodetisch, geophysisch als geologisch, bevestigd te worden. Bij aanname van ees vastheid van frissche graniet of bazalt van 2 000 kg/cm² krijg ik dan de in *fig. 1* bijgeschreven weerstanden σ tegen druk in kg/cm², zoodat de door Vening Meinesz aangenomen weerstand van 10 000 kg/cm² bij een 30 km dikke korst een goede benadering vormt (*lijn a*). Zoo'n groote weerstand behoeft de korst echter volgens mijn theorie heelemaal niet te hebben; dat ik in mijn eerste artikel over dit onderwerp [6]) ook met deze vrij hooge waarde heb gerekend, vindt alleen zijn oorzaak daarin, dat mijn daar gegeven redeneering, n.l. dat de korst minder weerstand biedt tegen plaatselijke plastische vervorming dan tegen knik, dan des te meer geldt voor een lagere waarde.

Daar v. Bemmelen mij eerst zeide van verdere schriftelijke discussie te willen afzien, heb ik hem, naar aanleiding van mijn opmerking aan het slot van mijn artikel in No. 7 — 1936, de hierboven bij *fig. 1* gegeven niets nieuws bevattende redeneering en wel speciaal, dat de hydrostatische druk den weerstand verhoogt en niet nul maakt, ook niet bij blijvend werkende spanningen, persoonlijk, met redenen omkleed uitgelegd, zoodat het mij genoegen doet, dat hij het daar nu mee eens is. Des te onbegrijpelijker is het mij daarom, waarom hij mij nu aanvalt over dingen, die ik nooit gezegd heb en die er bij mijn theorie niets toe doen, n.l. dat de grens tusschen vast en visqueus zou samenvallen met die tusschen sial en sima. Dat de grens tusschen korst en substratum niet zou samenvallen met die tusschen vast en visqueus is mij niet duidelijk, want ik „noem" immers het vaste gedeelte juist de „korst".

Van Bemmelen denkt nu echter, dat uit een door hemzelf in samenwerking met Berlage gepubliceerde berekening [7]) van de opstijging van Scandinavië als gevolg van het afsmelten van den ijskap zou volgen, dat de weerstand van de korst tegen zeer langzame vervormingen toch zoo goed als nihil is. Deze berekening *bewijst echter niets.* Bij deze berekening is de stijfheid van de korst geheel verwaarloosd. De berekende viscositeitscoëfficiënt, waarvoor zij vonden $\gamma = \frac{1}{3} \cdot \frac{g \cdot h^3}{4{,}26 \cdot 10^3}$ c.g.s., kwam goed overeen met de op grond van poolbewegingen en getijwrijving door anderen gevonden waarden. Nu is ten eerste, zooals ook gezegd wordt, het geval slechts tweedimensionaal beschouwd, terwijl het in werkelijkheid driedimensionaal is. Verder is aangenomen, dat de korst alleen naar isostatisch en niet naar hydrostatisch evenwicht streeft. Wanneer meer met de werkelijkheid was rekening gehouden, zou dus een een andere viscositeitscoëfficiënt zijn gevonden. Verder is over de diepte *h* tot waar de bewegingen zich zullen uitstrekken vrijwel niets bekend. De schrijvers hebben daarvoor 100 km aangenomen, maar daar de waarde van γ door *h* sterk beinvloed wordt, zou hoogstens gezegd kunnen worden, dat omgekeerd met den op grond van getijwrijving en poolbewegingen bekenden viscositeitscoëfficiënt voor *h* een bedrag van ongeveer 100 km werd gevonden.

Waar het hier echter om gaat, is het feit, dat de schrijvers bij aanname van een vaste, tegen blijvend werkende spanningen weerstand biedende korst, precies dezelfde uitkomsten gekregen zouden hebben. Met de door hen aangenomen vereenvoudigingen, n.l. tweedimensionale vervorming en vlakke aardoppervlakte, is direct in te zien, dat tegen de uiteindelijke verbuiging van de korst over een afstand *l* van 1 400 km, zooals daar het geval is, de korst niet den minsten weerstand heeft. Om de korst in het midden van dien afstand *l* over den uiteindelijken afstand *f* van 490 m te verbuigen, zou bij een aan de uiteinden ingeklemd gedachte plaat een parabolische verdeeld gedachte, naar boven gerichte belasting *p* noodig zijn, die te berekenen is uit de formule:

$$f = \frac{13}{15} \cdot \frac{1}{384} \cdot \frac{p \cdot l^4}{N}$$

Hierin stelt *N* den stijfheidsfactor van de korst voor, waarvoor bij de aannamen van Vening Meinesz vroeger [8]) werd berekend $N = 2 \cdot 10^{24}$ kg cm. Verder is $l = 1\,400$ km $= 14 \cdot 10^7$ cm en $f = 490$ m $= 49 \cdot 10^3$ cm. Invulling van deze waarden geeft:

$$p = \frac{5\,760}{13} \cdot \frac{N \cdot f}{l^4} = 0{,}121 \text{ kg/cm}^2, \textit{ zegge 121 gram per cm}^2.$$

Een uiteindelijke stijging *f* van 490 m wijst op een door het afsmelten van den ijskap veroorzaakte negatieve belasting van $f \cdot c$, waarin *c* den door het substratum gegeven weerstand tegen uitwijking voorstelt, die bij een s.g. van 3,3 zal bedragen 0,0033

4) Escher. Algemeene geologie 1934. p. 452.

5) Litt. noot 1. p. 37 e.v.

6) Bijlaard. *De Ingenieur in Ned.-Indië* No. 11 — 1935.

7) v. Bemmelen en Berlage. Gerl. Beitr. z. Geophysik. 43. p. 19-55.

8) Bijlaard. *De Ingenieur in Ned.-Indië* No. 11 — 1935. p. I. 145.

kg/cm³. Deze negatieve belasting is dus 49 000 cm. 0,0033 kg/cm³ = 162 kg/cm². *De uieindelijke opstijging wordt door de korst dus slechts met*

$$\frac{0{,}121}{162} = 0{,}00075 \text{ of}$$

0,075% verminderd. De door de schrijvers gegeven berekening bewijst dus niets over het al of niet stijf zijn van de korst en over den factor tijd in de geologie, zooals v. Bemmelen denkt.

Inderdaad vindt men bij metalen bij langzame doorvoering van een trekproef iets geringere weerstanden dan bij snel oploopen van de spanningen, maar wanneer we b.v. gewoon vloeistaal bij kamertemperatuur beschouwen, met een vloeigrens van ongeveer 2 400 kg/cm², zal ook bij de kleinst mogelijke deformatiesnelheid de vloeigrens niet bij een kleinere spanning dan b.v. ongeveer 2 200 kg/cm² overschreden worden. Ook de hooge temperatuur, omkristallisaties, stofdiffusies, structuurregelingen etc. maken de vloeigrens bij de geologische processen niet nul om de zeer eenvoudige reden, dat er dan geen gebergten gevormd zouden worden en de geheele aardoppervlakte vlak zou moeten zijn. Jeffreys[9]) zegt hierover heel aardig:

„The outer surface would become a level surface, the ocean would cover it to a uniform depth and that would be the end of us".

Jeffreys berekent b.v. dat om de Himalaya staande te houden *minstens* een vloeiweerstand van de korst noodig is van 1 200 kg/cm², n.l. bij de gunstigst mogelijke spanningsverdeeling. In werkelijkheid zullen de maximum spanningen veel grooter zijn. Jeffreys neemt aan dat het gebergte 5 km boven de korst uitsteekt en een s.g. heeft van 2.4. Het oefent dan in de doorsnede *AB* een verticaal gerichte lijndrukspanning van 1 200 kg/cm² op de korst uit (*fig. 2*). Hij denkt nu deze *extra* belasting opgenomen door extra verticaal gerichte lijndrukspanningen van 1 200 kg/cm², zoodat de wortel ook extra lijndrukspanningen van 1 200 kg/cm² tegen den onderkant van de korst moet leveren. In het gedeelte *ABCD* moet dus over de geheele hoogte een hoofdspanningsverschil van 1 200 kg/cm² heerschen. Hij neemt dus aan, dat er nu geen tangentieele spanningen in de korst heerschen. Hiermee zijn we er echter nog niet, want aan den onderkant van de korst kan deze gesuperponeerde spanning van 1 200 kg/cm² op den duur niet opgenomen worden, zoodat om het gebergte te dragen ook schuifspanningen langs de vlakken *AD* en *BC* zullen moeten werken, waardoor, zooals Jeffreys ook opmerkt, het hoofdspanningsverschil daar veel grooter zal worden dan 1 200 kg/cm². Dat inderdaad schuifspanningen langs de vlakken *AD* en *BC* werken, blijkt uit de negatieve zwaartekrachtsanomalieën van 150 milligal, die in het zuidelijk voorland van de Himalaya optreden, waaruit men afleidt, dat de korst daar door het gebergte verder naar beneden is gebogen dan overeenkomt met het isostatische evenwicht[10]).

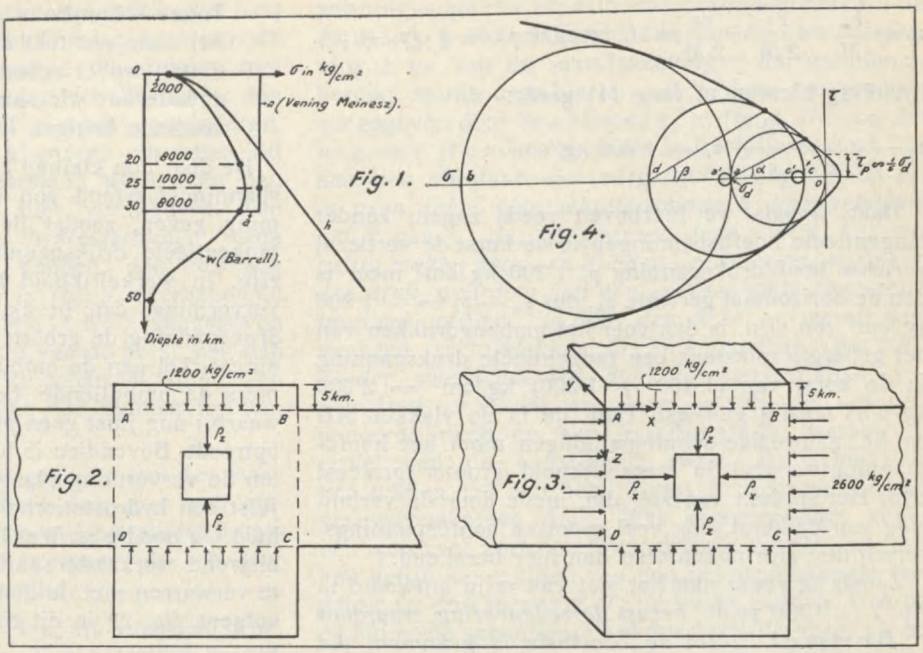


Fig. 1. Verloop van den weerstand van de korst tegen op den hydrostatischen druk gesuperponeerde drukspanningen.

Fig. 2. Op den in de normale korst heerschende, hydrostatischen druk gesuperponeerde spanningen in de Himalaya bij de meest gunstige spanningsverdeeling volgens Jeffreys.

Fig. 3. Op den hydrostatischen druk gesuperponeerde spanningen bij de vorming van de Himalaya door tangentieelen druk.

Fig. 4. Omhullende van Mohr voor gesteenten. De cirkels, die den spanningstoestand aangeven, moeten, opdat geen breuk of plastische vervorming optrede, binnen de omhullende blijven.

Jeffreys berekende het hoofdspanningsverschil dat *nu* minstens in de Himalaya moet optreden. Het is niet moeilijk om op analoge wijze zeer globaal te berekenen, welke tangentieele spanningen minstens in de korst gewerkt zullen moeten hebben om het gebergte te doen ontstaan. Wordt aangenomen, dat bij het in elkaar drukken van het gebergte de vervormingsstrook een vloeigrens had van $\sigma_v = 1\,200$ kg/cm² en wordt een vlakke vervormingstoestand aangenomen, dan is het benoodigde hoofdspanningsverschil $\varrho_x - \varrho_z$ in de vervormingsstrook volgens de vloeivoorwaarde van Huber-v. Mises-Hencky, luidende:

$$(\varrho_x - \varrho_y)^2 + (\varrho_y - \varrho_z)^2 + (\varrho_z - \varrho_x)^2 = 2 \cdot \sigma_v^2 \quad \ldots \quad (1)$$

te berekenen. In *fig. 3* zijn de *X*-, *Y*- en *Z*-richting aangegeven. Wegens den vlakken vervormingstoestand is:

9) Jeffreys. Earthquakes and mountains. p. 84.

10) Handbuch der Experimentalphysik. Geophysik. 2. Teil. *fig. 97.*

$$\varepsilon_y = \frac{\rho_y}{M} - \frac{\rho_x}{2 \cdot M} - \frac{\rho_z}{2 \cdot M} = 0, \text{ zoodat } \rho_y = \tfrac{1}{2} \cdot (\rho_x + \rho_z).$$

Invulling hiervan in verg. (**1**) geeft:

$$\rho_x - \rho_z = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_v = 1\,400 \text{ kg/cm}^2.$$

Daar, zooals we hierboven reeds zagen, zonder tangentieele hoofdspanningen in de korst de verticaal gerichte hoofddrukspanning ρ_z 1 200 kg/cm² meer is dan de horizontaal gerichte ρ_x, dus $\rho_x - \rho_z = -1\,200$ kg/cm² zou zijn, is dus voor het omhoogdrukken van het gebergte minstens een tangentieele drukspanning in de korst van (1 400 + 1 200) kg/cm² = 2 600 kg/cm² noodig geweest. Door de in de vlakken *AD* en *BC* aanwezige schuifspanningen moet het hoofdspanningsverschil in werkelijkheid grooter geweest zijn. Het spreekt van zelf dat, mede door de verbuiging van de korst, nog veel grootere hoofdspanningsverschillen zijn opgetreden dan hier berekend.

Zooals ik reeds aan het slot van mijn antwoord in No. 7 — 1936 zeide, *berust de redeneering, waardoor v. Bemmelen tot de conclusie is gekomen, dat de korst geen weerstand zou hebben, op een misverstand.* Dit misverstand is n.l. dat v. Bemmelen meende, dat een hydrostatische druk gelijk aan de drukvastheid van het materiaal den weerstand van de korst tegen blijvend werkende spanningen nul zou maken. Hier wordt het begrip plastisch vereenzelvigd met „zonder weerstand", terwijl het slechts wil zeggen dat, wanneer er vervorming plaats heeft, deze plastisch zal zijn, dus zonder breuk, zonder overschrijding der cohaesievastheid, waarbij dan bij de verdere vervorming de *toename* van de spanning gering of nihil zal zijn. Hier wordt dus de functie zelf verward met het differentiaalquotiënt, waarvan hieronder nog een voorbeeld zal volgen.

Dat een gesteente plastisch vervormd is, wil dus heelemaal niet zeggen, dat dit zonder weerstand geschied is, dat het zich als water gedragen zou hebben, *integendeel.* De hydrostatische druk zorgt er slechts voor, dat de vagabondeerende trekspanningen de cohaesievastheid van het materiaal niet kunnen overschrijden. Als breuk optreedt, is dit juist een teeken, dat de spanningen, doordat reeds eerder de cohaesievastheid werd bereikt, niet voldoende hoog zijn geweest om den vloeiweerstand te overwinnen. In de vloeizone is dit wèl mogelijk geweest, is de deviator, dus b.v. de gesuperponeerde tangentieele druk, dus hooger geweest, immers de vloeiweerstand, of meer algemeen de weerstand tegen deviatoren, wordt door den hydrostatischen druk, die een deviator nul heeft, zeker niet verkleind, kan daardoor alleen, in geval van inwendige wrijving, vergroot worden.

Bovendien zijn hydrostatische druk en lijndrukspanning geen vergelijkbare grootheden. Een hydrostatische druk gelijk aan de drukvastheid wordt aangegeven door het *punt a* in *fig. 4.*
v. Bemmelen zegt nu[11]):

> „Wenn die hydrostatische Beanspruchung eines Teilchens gröszer wird als seine Druck- oder Schubfestigkeit (was z.B. bei durchfeuchteten Tonen schon beinahe an der Oberfläche der Fall ist) dann entsteht der Zustand der latenten Plastizität, wobei schon ein sehr kleiner, wenn nur andauernd wirksamer Deviator Verformungen zustande bringen kann".

De door den kleinen cirkel *aa'* in *fig. 4* aangegeven spanningstoestand zou dus reeds plastische vervorming geven, zoodat daarvoor dus een zeer kleine tangentieele drukspanning *aa'* reeds voldoende zou zijn. In werkelijkheid heeft echter eerst plastische vervorming, c.q. breuk, plaats, als de tangentieele drukspanning de grootte *ab* bereikt, waarbij de spanningscirkel aan de omhullende van Mohr raakt, immers de omhullende begrenst de spanningscirkels, waarbij nog juist geen plastische vervorming of breuk optreedt. Bovendien is het heelemaal niet gezegd dat, om de vervorming plastisch te doen plaats hebben, juist een hydrostatische druk gelijk aan de drukvastheid *Oa* noodig is. Wat hier gezegd is, geldt ook voor blijvend werkende spanningen. De omhullende (niet te verwarren met de door mij ingevoerde omhullende volgens *fig. 29* in dit tijdschrift No. 11 — 1935, die

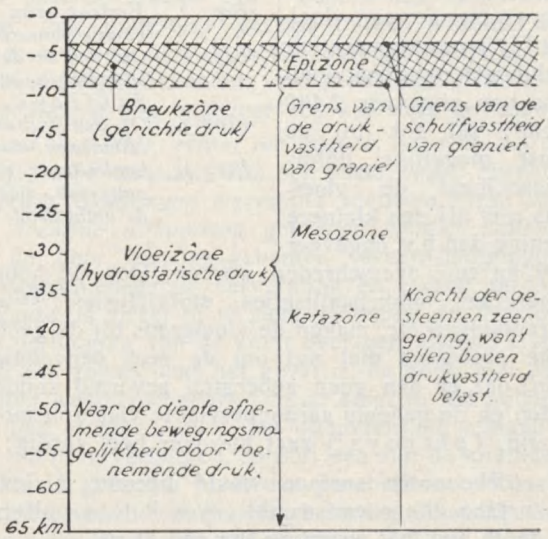


Fig. 5.

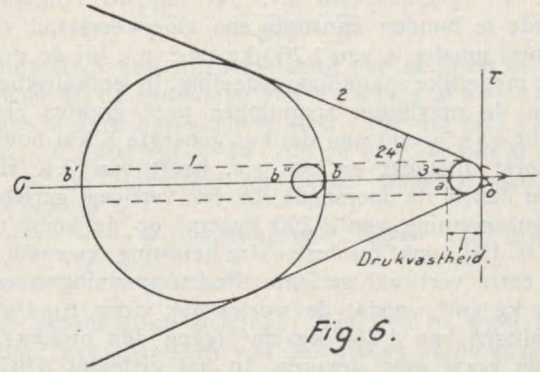


Fig. 6.

Fig. 5. Indeeling van de aardkorst in verschillende lagen. Met bijschriften overgenomen uit een artikel van v. Bemmelen[12]). Met „kracht" is „weerstand" bedoeld.

Fig. 6. Omhullende van Mohr voor klei bij snel (lijn 1) en bij zeer langzaam aanbrengen (lijn 2) der belasting volgens Terzaghi. Volgens v. Bemmelen zou voor het laatste geval de omhullende volgens lijn 3 loopen.

11) v. Bemmelen. *Die Geologische Rundschau.* 1934. Heft 3.

zijn vorm behoudt) kan hierbij natuurlijk wel een ander verloop krijgen, maar blijft naar de drukzijde divergeeren, zal in ieder geval in die richting niet convergeeren, omdat de hydrostatische druk den vloeiweerstand in ieder geval niet zal verminderen, de cirkel *ab* dus nooit een kleineren diameter zal krijgen dan *Oa*. De vloeiweerstand wordt door den hydrostatischen druk zeker niet verminderd. Zou het materiaal onder een hydrostatischen druk *Oa* een vloeiweerstand nul hebben, dan zou ook de drukvastheid nul zijn. De in *fig. 5*, overgenomen uit een artikel van v. Bemmelen[12]), aangegeven breukzone in de bovenste 8 km van de korst, zou dan niet bestaan, omdat dan ook de cohaesievastheid van het materiaal niet overschreden zou kunnen worden, *alles* zou plastisch vervormen.

Wat in het bovenaangehaald gedeelte met een overschrijding van de schuifvastheid door den hydrostatischen druk wordt bedoeld, is mij nu duidelijk geworden uit een ander artikel, waarnaar de schrijver thans verwijst[13]). Daar staat n.l.:

> „Bovendien gaat Nölke uit van den druk, waarbij graniet bij eenzijdige belasting breekt, doch bij een zekere uitwijkingsmogelijkheid veroorzaakt een eenzijdige druk schuifvlakken in het gesteente (zgn. Scherflächen), die bewegingen mogelijk maken. Deze schuifvastheid van gesteenten („Schubfestigkeit") is aanmerkelijk kleiner dan de drukvastheid; voor graniet b.v. 520 kg/cm²",

terwijl ik ergens anders lees[14]):

> „Nu is beweging niet slechts pas mogelijk, wanneer de gesteenten breken. In vorige publicaties werd er op gewezen, dat bewegingsmogelijkheid reeds bestaat, wanneer de grens van de schuifvastheid bereikt wordt. Deze grens ligt belangrijk lager dan de drukvastheid. Voor frissche graniet b.v. is de schuifvastheid 520 kg/cm² en de drukvastheid 2 250 kg/cm². Deze schuifvastheidgrens van graniet wordt door den druk van de erop rustende gesteenten reeds op een diepte van 2 — 3 km bereikt. Wanneer op een diepte van meer dan een paar km op graniet een geringe stress wordt uitgeoefend, zal deze overdruk reeds beweging langs schuifvlakken ten gevolge hebben. Deze bewegingen uiten zich in kataklase en mylonitisatie, de zgn. deformatie door breuk. Voor graniet ligt deze zone der epimetamorfose, dat is de zone, waar de deformatie voornamelijk door breuk plaats vindt, op een diepte van 3 km tot 8 à 10 km".

Daar de hier bedoelde schuifvastheid ongeveer $\frac{1}{5}$ is van de drukvastheid, is hiermee de zgn. „Scherfestigkeit" bedoeld, bij beton de ponsvastheid genoemd, dat is de schuifspanning, die in een bepaald vlak, waarin de normaalspanning nul is, moet werken om afschuiving langs dat vlak te geven. Daar alleen vervorming langs een bepaald vlak plaats kan hebben, als de daarop werkende combinatie van de normaalspanning σ en van de schuifspanning τ de omhullende bereikt, wordt, daar hier $\sigma = 0$ is, deze ponsvastheid aangegeven door den afstand τ_p in *fig. 4*. *Nu zou dus volgens v. Bemmelen een hydrostatische druk (die daarmee absoluut niet vergelijkbaar is, omdat die in geen enkel vlak schuifspanningen doet ontstaan) gelijk aan τ_p, dus aangegeven door punt c, het mogelijk maken door een kleinen daarop gesuperponeerden druk, waardoor dan een resulteerende spanningstoestand ontstaat, die door den cirkel cc' wordt aangegeven, schuifvlakken te doen ontstaan; practisch zonder schuifspanning dus*! In werkelijkheid treden deze schuifvlakken eerst op als de gesuperponeerde druk de waarde *cd* bereikt, waarbij de cirkel aan de omhullende raakt. De schuifvlakken maken dan een hoek β met de richting van den gesuperponeerden druk. Was oorspronkelijk alleen een verticaal gerichte lijndrukspanning *Oc* voorhanden gelijk aan τ_p, dan zou een gesuperponeerde tangentieele drukspanning *Oa* vereischt worden, waarbij de buitenste spanningscirkel dus dezelfde wordt als bij zuiveren druk; de verticaal gerichte drukspanning heeft dan (zoo goed als) geen invloed op den weerstand tegen tangentieelen druk. Ook bij zuiveren druk treedt breuk op door glijding langs schuifvlakken; die maken dan een hoek α met de richting van den druk (*fig. 4*).

Uit het voorgaande blijkt, dat de opvatting van v. Bemmelen, dat de aardkorst geen weerstand zou hebben, berust op een misverstand betreffende de hiervoor algemeen geldende wetten.

Wat de „durchfeuchtete Tone" betreft, moge hier nog opgemerkt worden, dat deze onder hydrostatischen druk *juist een veel grooteren weerstand vertoonen tegen zeer langzaam aangroeiende lijndrukspanningen dan tegen snel aangrijpende*, zooals door Terzaghi[15]) werd aangetoond (*fig. 6*). Bij snel aangroeiende spanningen, waarbij het poriënwater geen gelegenheid heeft om direct te ontwijken, geldt n.l. de vloeivoorwaarde van Coulomb, met omhullende 1; voor langzaam aangrijpende ($T = \infty$) die van Mohr met omhullende 2[16]). *Volgens v. Bemmelen zou bij langzaam aangrijpende spanningen de omhullende 3 gelden, zou bij een hydrostatischen druk Ob b.v. de drukvastheid nul zijn, terwijl deze in werkelijkheid bb' is, dus vele malen grooter dan de normale drukvastheid Oa;* bij snel aangrijpende spanningen is ze daarentegen *bb''*, dus kleiner. Zoo is het dus ook niet altijd juist, dat langzaam aangroeiende spanningen een kleineren weerstand ontmoeten dan snel aangebrachte.

De processen, die v. Bemmelen zich onder de aardkorst denkt af te spelen en als feiten noemt, zooals magmatische differentiatie etc. worden blijkbaar door andere geologen niet als zoodanig beschouwd. Kuenen, die ook meewerkte aan het belangrijke werk van Vening Meinesz: „Gra-

12) v. Bemmelen. *Natuurkundig Tijdschrift voor Ned.-Indië* 1932. p. 107.

13) v. Bemmelen. *Natuurkundig Tijdschrift voor Ned.-Indië*. 1931. p. 112.

14) Lit. noot 13. p. 106.

15) Terzaghi. Tragfähigkeit der Flachgründungen. Association internationale des ponts et charpentes. Premier Congres. Paris 1932 p. 663.

16) Fröhlich. Druckverteilung im Baugrunde. 1934.

vity expeditions at sea" (zie *noot 2*), zegt hierover in zijn kritiek op de Undatietheorie van v. Bemmelen [17]).

> „*The causes of the primary tectonic movements.* According to v. B. the chief cause is movements to regain hydrostatic equilibrium, after the disturbance brought about by differentiation. This differentiation is the consequence of crystallisation in the salsima. In my opinion the latter assumption is very bold".

en verder:

> „On the contrary, all known phenomena point to an equally viscous substratum existing below the orogenetic belts of the earth as elsewhere. But is it permissable to imagine the process of crystal sinking in a liquid that may be likened to glass? Currents and convection are the result of forces that work on the entire mass. The sinking of crystals under the influence of gravity, however, is the consequence of a very small force working on a very small mass, while no addition of the minute forces occurs".

Wat zich precies onder de aardkorst bevindt, is tenslotte niet bekend, en ik neem aan, dat de meest vooraanstaande geophysici, die v. Bemmelen in zijn vijfde hoofdstuk noemt, Vening Meinesz, Gutenberg, Jeffreys en Wegener, gegronde redenen hebben om het substratum als een neutrale, visqueuze vloeistof te beschouwen en kan mij bij hen in goed gezelschap voelen.

Bucher, die de aardkorst eveneens als een stijve plaat beschouwt, zegt o.a.:

> „We shall judge such interpretations solely by geologic facts leaving aside all arguments derived from speculations concerning the physical nature of the unknown subcrustal regions." [18])

Tenslotte nog de kwestie van het migmatietfront. *Fig. 1* in het artikel van v. Bemmelen stelt voor, hoe Wegmann zich de situatie denkt geweest te zijn in het geosynclinale stadium van gebergten in Groenland, Finland en Scandinavië [19]). Nu zegt Wegmann zelf reeds, dat alles wat over migmatieten geschreven wordt meer „Deutung" dan „Tatsache" is, zooals ook trouwens uit den titel van zijn artikel blijkt. Ook zal de situatie bij de gebergtevorming in Groenland, Finland en Scandinavië, toen de korst nog dunner was [20]), een andere geweest zijn dan bij de door mij beschouwde gebergtevorming rond Oost-Azië (zie ook hoofdstuk III). Bucher zegt o.a. naar aanleiding van de publicaties van Sederholm in zijn Opinion 26: „Only in early pre-Cambrian time did granitic magmas invade the mantle of sediments early in the orogenic phase".

Dat in de geosynclinalen het migmatietfront tot in de sedimenten kan doordringen is bekend. Het zal dit ook bij de door mij voor het vormen der geosynclinalen gegeven verklaring doen. Ik heb dan ook in *fig. 2* in dit tijdschrift No. 4 1936 aangenomen, dat de plastisch vervormde deelen van de korst onder de geosynclinaal tenslotte zullen verweeken en naar beneden zullen worden weggedrukt, waarbij dan de drukkracht in de korst zal afnemen. *Hier is dus de verzwakking door het naar boven dringen van het migmatietfront in verdisconteerd.* Nadat nu de korst ter plaatse van de vervormingsstrook haar weerstand weer heeft herkregen en door haar grooter geworden dikte zelfs sterker geworden is dan de aan de oceaanzijde gelegen korst, zal aan de oceaanzijde een nieuwe vervormingsstrook ontstaan (dit tijdschrift No. 4 — 1936. p. I. 40), waardoor de vervorming zich naar de oceaanzijde voortplant (zie hoofdstuk III). In dit sterker geworden zijn is dus verdisconteerd, dat het migmatietfront weer voldoende is teruggedrongen. Zoolang dat nog niet het geval is, wordt — ook al zou de krachtrichting intusschen iets gewijzigd zijn — de *oude* strook verder in elkaar gedrukt. Ik heb dan ook gesproken van „de daar werkzaam *geweest zijnde* tangentieele hoofdspanningen" en van „de spanningstoestand, die hen (de vervormingsstrooken) *deed ontstaan*" (dit tijdschrift No. 4 — 1936. p. I. 40). Er is geen reden om te veronderstellen, dat de dikte van de maagdelijke korst onder den oceaanbodem in een bepaald gebied, waar de vervormingsstrook optreedt, sterk zal wisselen, dus het temperatuursverloop zeer verschillend zou zijn, zoodat deze zeker als een vlakke plaat te beschouwen zal zijn. Mochten in vroegere geologische tijdperken daar reeds vervormingsstrooken zijn opgetreden, dan zal daar het migmatietfront reeds lang weer teruggedrongen zijn, het temperatuursverloop en dus ook de weerstand weer gelijk zijn aan die van de aangrenzende korst. De nieuwe vervormingsstrook ontstaat dus dan onafhankelijk van de oude. Mocht ter plaatse nog een vrij jonge vervormingsstrook aanwezig zijn dan zal, wanneer de nieuwe spanningstoestand niet veel verschilt van de oude, wat richting en verhouding der hoofdspanningen betreft, op diezelfde plaats verdere vervorming optreden, hetgeen niets afdoet aan mijn conclusie betreffende de krachten, die de vervormingsstrooken *deden ontstaan*. Voor het theoretische geval, dat de nieuwe krachtrichting veel afwijkt van de oude, zal in zoo'n geval een nieuwe strook onafhankelijk van de oude kunnen ontstaan. Bij éénassigen druk is b.v. volgens verg. (3) van een vorig artikel [21]) de voor plaatselijke plastische vervorming benoodigde drukkracht gelijk aan:

$$P = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f \cdot \sigma_v}{\cos\beta \cdot \sqrt{4 - 3 \cdot \cos^2\beta}}$$

waarin f de normale doorsnede van de plaat voorstelt, σ_v de vloeigrens en β den hoek, dien de beschouwde doorsnede met het normale vlak maakt (*fig. 7*). Voor een doorsnede *cd* onder 55° met de krachtrichting, dus onder $\beta = 35°$ met het normale vlak, is deze weerstand dus volgens bovenstaande vergelijking:

$P_{35} = f \cdot \sigma_v$

17) Kuenen. Kon. Akademie v. Wetenschappen. *Proceedings* 1932. Vol. XXXV. p. 1156.

18) Bucher. l.c. p. 39.

19) Wegmann. Zur Deutung der Migmatie. *Geol. Rundschau* 1935 Heft 5 p. 333.

20) Bucher. l.c. p. 296.

21) Bijlaard. *De Ingenieur in Ned.-Indië* No. 6 — 1935.

Was er nu een oude vervormingsstrook *ab* aanwezig, onder een hoek van b.v. 30° met de nieuwe krachtrichting en was die b.v. nog 10% zwakker, dan zou deze een weerstand tegen plaatselijk vloeien hebben, daar nu $\beta = 60°$ is, van

$$P_{60} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{0{,}9 \cdot f \cdot \sigma_v}{\cos\beta \cdot \sqrt{4 - 3 \cdot \cos^2\beta}} = 1{,}035 \cdot f \cdot \sigma_v$$

dus toch een grooteren weerstand dan de doorsnede onder 55° met de drukkracht, zoodat de nieuwe vervormingsstrook onafhankelijk van de oude toch onder 55° met de drukkracht zou ontstaan. Dergelijke snelle veranderingen van de krachtrichting, van de bewegingsrichting eigenlijk, lijken me overigens minder waarschijnlijk. De berekening demonstreert echter tevens dat, al is een doorsnede *ab* onder een anderen hoek met de krachtrichting vrij sterk verzwakt, om welke reden dan ook, de vervormingsstrook toch onder 55° met de krachtrichting zal optreden, ook al maakt die verzwakte doorsnede slechts een hoek van 25° met deze theoretische richting der vervormingsstrook. De ligging der beschouwde vervormingsstrooken wijst er echter veel meer op, dat de bewegingsrichting van het Oost-Aziatische continent sinds langen tijd geen verandering heeft ondergaan, n.l. ongeveer Z.O. is gebleven.

Dat verder volgens Wegmann in de orogenetische zones de bovenbouw over den onderbouw glijdt en dat het migmatietfront daardoor den bouw der gebergten grootendeels bepaalt, staat met mijn theorie niet in verband, want dit gebeurt eerst *na* het optreden der vervormingsstrook en natuurlijk ook in een vergevorderd stadium der vervorming. Het zal alleen invloed hebben op den vorm der gebergten in detail, waarmee ik me niet heb ingelaten.

In het voorgaande werd aangetoond dat de overwegingen, die v. Bemmelen voerden tot het aannemen van een slappe korst, *zooals het aannemen van afschuivingen langs vlakken, waarin geen schuifspanning optreedt,* in strijd zijn met de voor het gansche heelal, dus ook de tektoniek, geldende wetten. In de beschouwingen van Vening Meinesz en mij mag de aardkorst wel degelijk als een stijve vlakke plaat worden opgevat.

III. Het ontstaan der geosynclinalen.

a. Van Bemmelen zegt, dat eerst een strook van locale plastische deformatie moet ontstaan. Eerst dan zal het omlaagdrukken van de korst door de excentrisch aangrijpende drukkrachten mogelijk zijn. Dit zou eerst gebergtevorming geven en daarna pas een naar omlaag drukken van de korst, terwijl in werkelijkheid de volgorde juist andersom is, n.l. eerst rustige daling en dan gebergtevorming. Uit mijn voorgaande artikelen blijkt toch duidelijk, dat ook bij mij eerst daling en dan gebergtevorming optreedt. Van Bemmelen ziet over het hoofd dat, daar in de vervormingsstrook de vloeigrens bereikt is, *reeds een zeer kleine onmerkbare excentriciteit van de drukkrachten voldoende is om de korst direct te doen beginnen met uitbuigen,* de geosynclinale daling dus. Zooals ik in No. 4 — 1936, blz. I. 38, rechts boven reeds zei: „zal door de in verband met het isostatisch evenwicht ontstane kromming, de vervormingsstrook al gauw naar beneden beginnen uit te buigen". Hieraan is dan reeds een daling voorafgegaan door het omhoogdrukken van het naastgelegen eiland (*fig. 1d* in No. 7 — 1936). Vening Meinesz schreef mij, dat men zich de zaak ook zoo zou kunnen voorstellen, dat de korst eerst symmetrisch in elkaar gedrukt wordt, waarbij ze dus in de vervormingsstrook hooger ligt dan met haar isostatisch evenwicht overeenkomt. Daardoor is ze dus te zwaar, waardoor in de vervormingsstrook een positief moment ontstaat. Op deze wijze redeneerende, kom ik tot hetzelfde resultaat. Men denke zich de strook slechts zeer weinig verdikt. De te zware vervormingsstrook met een breedte *b,* oefent dan op de korst een belasting volgens *fig. 8a* uit, waardoor de aangrenzende korst naar beneden gedrukt wordt en daardoor tegendrukken levert, zoodat de totale belasting op de korst volgens *fig. 8b* verloopt. Hierdoor ontstaat dus een momentenverloop volgens *fig. 8c,* en dus weer een excentriciteit van de drukkracht. Daar dit zich reeds bij een zeer kleine, desnoods oneindig kleine, verdikking van de korst voordoet, gaat ook volgens deze redeneering de drukkracht direct excentrisch werken. Daar in de ver-

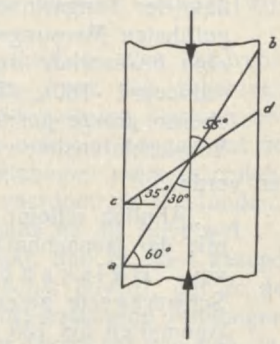


Fig. 7.

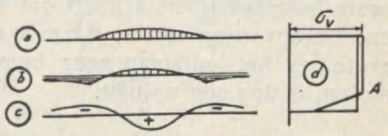


Fig. 8.

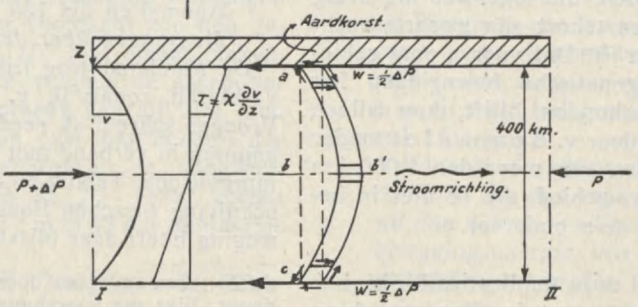


Fig. 9.

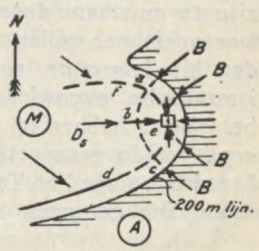


Fig. 10.

Fig. 9. Spanningsverdeeling in een convectiestroom.
Fig. 10. Spanningsverdeeling bij het ontstaan der secundaire vervormingsstrook Tanimbereil. — Kei-eil. — Ceram.

vormingsstrook de vloeigrens was bereikt, zal de drukkracht hierdoor vanzelf iets terugloopen, daar ze anders niet opgenomen kan worden. In de middendoorsnede van de strook, waar een positief moment heerscht, zal dan een spanningsverdeeling volgens *fig. 8d* ontstaan. Er heeft dan dus een hoekverdraaiing plaats om het punt *A*. Daar boven *A* de korst verder wordt ingedrukt, terwijl over den korten afstand beneden *A* de spanning terugloopt, treedt tegelijk een verdikking en een verbuiging van de korst op. Door de verbuiging en ook door het verbrijzelen van de bovenste lagen wordt nu de excentriciteit van de drukkracht vergroot, terwijl door de verdikking en sedimentatie het gewicht toeneemt, waardoor dus verdere uitbuiging plaats heeft, die door de door het substratum geleverde tegendrukken bij een verbuiging met deze kleine golflengte niet kan worden verhinderd. Bij verdere verbuiging zullen bij gelaagdheid van de korst de verschillende lagen over elkaar kunnen gaan glijden. Al naar gelang dit in mindere of meerdere mate het geval is, zal de vervormingsstrook een vorm krijgen, die varieert tusschen de *figuren 1c* en *1e* in No. 7 — 1936. *Er treedt dus wel degelijk eerst een daling op.* Eerst als de vervormingsstrook te slap wordt, heeft sterke indrukking plaats, terwijl de drukkrachten afnemen, waardoor de korst haar isostatisch evenwicht herstelt; *dit is dus het stadium van de gebergtevorming.*

Een gebergte ontstaat dus volgens mijn voorstelling eerst als de wortel zoo slap is geworden, dat ze bijna geen krachten meer kan opnemen, terwijl de bovenliggende korst nu de geheele drukkracht opneemt (*fig. 2c* en *2d* in No. 4 of No. 7 — 1936). De wortel telt dus nu niet meer mee als een deel van de korst voor het opnemen der tangentieele drukkrachten. Bovendien zou een uitbuiging nu niet meer mogelijk zijn, omdat de bovendien dikker geworden korst nu niet meer tot haar vloeigrens is belast, dus veel te groote buigingsstijfheid heeft om uitgebogen te worden. De opvatting van v. Bemmelen, dat een gebergte na het ontstaan naar beneden gedrukt zou worden, is dus ook onjuist.

b. De volgens mijn voorstelling optredende zwaartekrachtsanomalieën komen goed overeen met de door Vening Meinesz gevondene (*fig. 1* in No. 7 — 1936). Dat geosynclinalen geen anomalieën vertoonen, is een opvatting, die blijkbaar niet door anderen gedeeld wordt (zie ook onder *d*). Escher zegt b.v., dat geosynclinalen, die tegenwoordig bezig zijn te ontstaan, door een tekort aan zwaartekracht waarneembaar zullen zijn [22]). Dat voor groote gebieden bij langzame epirogenetische bewegingen het isostatische evenwicht behouden blijft, kan alleen betrekking hebben op de door v. Bemmelen onder *c* genoemde geosynclinalen van meer dan 1 000 km breedte, zooals het Tethys-gebied, die ik niet in beschouwing genomen heb (zie onder *c*).

c. Zooals duidelijk uit mijn publicaties blijkt, heb ik me alleen bezig gehouden met de eilandenreeksen rond den westelijken Pacific, die dus uit geosynclinalen van ongeveer 200 km breedte zijn ontstaan, welke afstand juist past in de door mij gegeven verklaring, en met de strooken van negatieve anomalieën. Zooals in hoofdstuk II reeds werd besproken, heeft de aardkorst voldoenden weerstand om ook bij kleine deformatiesnelheden (immers de spanning wordt voortdurend a.h.w. aangevuld door het opschuiven van de korst) groote spanningen op te nemen. Geosynclinale gebieden van 1 000 km breedte, zooals de Tethys, kunnen, indien ze één trog vormden, natuurlijk niet op dezelfde wijze worden verklaard. In dat geval volgt uit de veel grootere breedte, dat ze een heel ander karakter dragen, dus ook een afzonderlijke verklaring behoeven. Om die te vinden zou ik eerst de over dat soort geosynclinalen bestaande gegevens moeten bestudeeren [23]).

d. Dat de geosynclinalen van ongeveer 200 km breedte meestal een onsymmetrisch profiel vertoonen, is volgens mijn voorstelling duidelijk, want ik stel me voor, dat de vervormingsstrooken zich naar de oceaanzijde uitbreiden. Aan de zijde van het continent is dus de korst reeds omhoog gedrukt en door compressie en sedimentatie versterkt. Na Java ontstaat uit den rug ten Zuiden van Java een nieuw eiland etc. De anomalieën ten Zuiden van Java worden door mijn theorie goed verklaard. Van Bemmelen zegt, dat de voordiepten aan de buitenzijde van de geanticlinale bergruggen meestal een geringe afwijking van de isostasie vertoonen. Dit geldt voor zoover ik kon nagaan alleen voor de Mindanao-trog. Bij profiel 5 over Himalaya en Gangesdiepte is b.v. de negatieve anomalie van de voordiepte 150 milligal [24]): Wat de andere voordiepten betreft, vind ik het volgende [25]):

> „Sehr charakteristisch verhalten sich die Anomalien über Tiefseegräben und den ihnen benachbarten Plateaus. Wie die von Hecker über der Tongarinne und den Tongaplateau ausgeführten Messungen zeigen, ist *über der Tiefe eine bedeutende negative* (-270; isostatisch gereduceerd -180), über dem Plateau eine etwa ebenso grosze positive Anomalie der Fayeschen Schwereintensität vorhanden (fig. 96b)"

en verder:

> „Ähnlich scheint sich die Ostküste von Japan mit der benachbarten Tiefe zu verhalten: die von Heiskanen isostatisch reduzierten Schwerewerte zeigen an der Ostküste positive Anomalien bis 138 milligal. *Leider fehlen die Messungen über der Tiefe*".

De Mindanao-trog lijkt mij inderdaad door rek te verklaren, zooals ik v. Bemmelen reeds zeide. Vroeger schreef ik reeds [26]), dat ik daar afschuiving aannam in verband met de beweging langs de vervormingsstrook Talaud-eil.-Soela-eil., waardoor ook afschuiving tusschen Boeroe en Ceram optrad. De beweging heeft daar blijkbaar ook nog een kleine com-

22) Escher. l.c. p. 299. Door de geringe breedte der niet gecompenseerde (negatieve) massa zal verder de isostatische anomalie veel minder zijn dan 100 milligal per km korstdaling.

23) Een ontstaan door rek, zooals Bucher zich dit denkt, lijkt me voorshands niet onaannemelijk.

24) Handbuch der Experimentalphysik. Geophysik. 2 Teil. fig. 97.

25) Id. p. 295 e.v.

26) Bijlaard. *De Ingenieur in Ned.-Indië* No. 11 — 1935. p. I. 155.

ponente loodrecht op de trogrichting, waardoor daar rek ontstaan is. De trog ligt 4 km dieper dan de oceaanbodem, zoodat bij soortelijke gewichten van korst en substratum volgens Vening Meinesz van 2,7 en 3,3 of Holmes[27]) van 2,9 en 3,5 en een korstdikte onder den oceaan van 30 km de onderkant van de korst onder de trog $\frac{\gamma_k - 1}{\gamma_s - \gamma_k} \cdot 4$ km $= \frac{1,7}{0,6} \cdot 4$ of $\frac{1,9}{0,6} \cdot 4$ km $= 11,3$ of 12,7 km hooger ligt dan onder den oceaan. Er blijft dus nog een korstdikte over van (30 — 4 — 12) km = *14 km*. Ook bij de normaal aangenomen soortelijke gewichten van sial en sima, die ik, zooals reeds gezegd, *niet* identiek denk met korst en substratum, krijgt men dus een 3 en niet 4 keer vergroot spiegelbeeld, omdat men in den teller van de breuk, daar de korst onder water ligt, $\gamma_k - 1$ moet plaatsen inplaats van γ_k. Waarom v. Bemmelen, teneinde tot negatieve korstdikten te kunnen concludeeren, onder een 10 keer versterkt spiegelbeeld aanneemt, dus $\gamma_k - 1 = 10 \cdot (\gamma_s - \gamma_k)$ stelt of, bij $\gamma_k = 2,7$, $\gamma_s = 2,87$ stelt, is mij niet duidelijk[28]).

In zijn uitwijdingen over zijn undatietheorie zal ik v. Bemmelen thans niet volgen. Wel had ik in hoofdstuk II gelegenheid op te merken dat ik daartegen ernstig bezwaar moet maken voorzoover daarbij steun wordt gezocht in de mechanica.

De in het derde hoofdstuk door v. Bemmelen aangevoerde bezwaren berusten dus op een onjuiste interpretatie van mijn theorie eenerzijds en van de geologische gegevens anderzijds.

IV. De snijhoeken der eilandenreeksen.

Terwijl v. Bemmelen in hoofdstuk II juist zegt, dat de anisotropieën, dikteveranderingen etc. van de aardkorst te groot zijn om toepassing van mijn theorie mogelijk te maken, wordt in dit hoofdstuk bezwaar gemaakt tegen allerlei kleine afwijkingen, die zouden bestaan.

Dat de geologen altijd spreken over gebergte*bogen* zegt natuurlijk niets, want een algemeen aanvaarde verklaring voor de vorming daarvan bestaat nog niet. Men kan dus ook niet zeggen dat de snijhoeken van zulke gebergtebogen niets te maken hebben met de krachten, waardoor ze ontstonden; volgens mijn verklaring hebben ze dit juist wel.

Zooals ik nogmaals herhaal, heb ik juist gezegd (No. 4 — 1936. blz. I. 40 rechts boven), dat ik de streep-stip-lijnen over de Oost-Aziatische randbogen (*fig. 5* in No. 4 — 1936) met voordacht zoo heb geteekend, dat ze hoeken van 110° met elkaar maken. Deze lijnen loopen vrijwel volgens de assen der vervormingsstrooken. Het spreekt vanzelf, dat men zich deze assen moet denken over het *midden* der vervormingsstrooken, eilandenreeksen en onderzeesche ruggen (zie ook *fig. 4* in No. 7 — 1936), zoodat *fig. 6* in het artikel van v. Bemmelen eenigszins vreemd aandoet.

Uit zijn bezwaar tegen het divergeeren der drukkrachten concludeer ik, dat v. Bemmelen schijnt te denken, dat wanneer het Aziatisch Continent een Z-Z.O. gerichte drukkracht op den oceaanbodem uitoefent, in dien oceaanbodem ook overal een Z.-Z.O. gerichte lijndrukspanning zal heerschen. Dit is echter geenszins het geval. Zelfs wanneer loodrecht op den rand van een rechthoekige plaat over zekeren afstand een gelijkmatige belasting wordt aangebracht, zullen de drukspanningstrajectoriën daarin divergeeren, terwijl in richtingen loodrecht daarop de hoofdspanningen in het algemeen niet nul zullen zijn. Het divergeeren tusschen de krachtrichtingen voor Java en Timor is dan ook heel normaal. De krachtrichting voor Timor wordt ook beinvloed door het feit, dat het Australische Continent een grooteren weerstand heeft dan de oceaanbodem, waardoor dit de krachtlijnen naar zich toe trekt, hetgeen geheel in overeenstemming is met den naar het Australische Continent gerichten druk, die Timor deed ontstaan.

Verder is nog te bedenken, dat de verschillende vervormingsstrooken in het algemeen niet gelijktijdig ontstonden, hetgeen ook kleine afwijkingen, zoo ze er al mochten zijn, zou kunnen verklaren. Ook zouden onder den archipel aanwezige convectiestroomen, zooals Vening Meinesz zich die denkt, verandering in de spanningsverdeeling kunnen brengen. Van Bemmelen meent echter, dat zulke convectiestroomen hoegenaamd geen krachten op de korst kunnen overbrengen en zegt[29]):

> „Deshalb ist es bedauerlich, dasz V. Meinesz ohne weitere Begründung sagt:
>
> Half of this force (nämlich der Druckunterschied zwischen dem auf und dem absteigenden Teil des Konvektionsstromes!) must be transfered on the lower boundary of the crust in the shape of a viscous drag exerted by the current"

Deze bestrijding nu kwam mij volkomen onbegrijpelijk voor, omdat, *als in de verticale doorsneden I en II drukken* $P + \triangle P$ *resp.* P *optreden, het geen „Begründung" behoeft, dat de helft van dit drukverschil, dus* $\frac{1}{2} \cdot \triangle P$ *op de korst moet worden overgedragen.* Immers dit volgt direct uit het evenwicht, zooals in *fig. 9* is te zien. De wrijvingskrachten W langs boven- en onderkant moeten samen gelijk zijn aan $P + \triangle P - P = \triangle P$, dus $W = \frac{1}{2} \cdot \triangle P$.

Ik lees nu echter in de door v. Bemmelen opgegeven literatuur[30]):

> „Wanneer een visqueuze vloeistof onder een vaste korst doorstroomt, zal de bewegingssnelheid in het centrum van den stroom het grootst zijn en naar het grensvlak toe asymptotisch tot nul afnemen.
>
> *Doordat de stroomsnelheid op de grens van de korst en den onderstroom nagenoeg nul is, zal dan ook door wrijving weinig of niets van de bewegingsenergie van den stroom op de korst overgedragen worden".*[31])

27) Escher. l.c. p. 452.

28) Waarschijnlijk is γ_s ongeveer 3 gesteld en is in den teller van bovenbedoelde breuk abusievelijk γ_k inplaats van γ_k-1 geplaatst.

29) v. Bemmelen. *Geol. Rundschau* 1935. Heft 3.

30) v. Bemmelen. *Natuurkundig Tijdschrift voor Ned.-Indië.* 1932. p. 114.

31) Cursiveering van v. Bemmelen.

Inderdaad verloopt bij een Poiseuille-stroming de snelheid v als in *fig. 9* is aangegeven en is aan de grensvlakken nul, dus zou heelemaal niets op de korst overgedragen kunnen worden, omdat *volgens v. Bemmelen de horizontale schuifspanning τ evenredig met v zou zijn.* Deze veronderstelling is echter verre van juist. Immers volgens Newton is:

$$\tau = \chi \cdot \frac{\partial v}{\partial z}$$

waarin χ den wrijvingscoëfficiënt voorstelt en z in ons geval de verticale richting, *dus is τ evenredig met de partieele afgeleide van v.* De horizontale schuifspanningen langs den onderkant van de korst zijn dus juist het grootst, want $\frac{\partial v}{\partial z}$ verloopt, bij parabolisch verloop van v, rechtlijnig volgens *fig. 9*, dus ook τ, *die dus aan onderkant korst, waar $v = o$ is, juist maximum is, inplaats van nul,* zooals v. Bemmelen *denkt,* wat trouwens direct is te zien uit de vervorming van de gestippelde strook *abc*, welke na een zekeren tijd den getrokken geteekenden stand *ab'c* inneemt. De deeltjes *a* en *c*, waar $v = o$ is, worden afgeschoven, het deeltje *b*, waar v maximum is, juist niet. *Ook dit argument van v. Bemmelen moet ik dus verwerpen.* Maar laten we terugkeeren tot de vervormingsstrooken.

Of de strook van negatieve anomalieën langs Sumatra zich naar het Noorden voortzet en zoo ja in welke richting, is niet bekend, zoodat verklaringen daarvoor praematuur zouden zijn. De vorming der Arakan Yoma in Burma staat in verband met het in elkaar drukken van de Tethys-geosynclinaal, staat dus met de Z-ZO gerichte beweginstendenz van Azië slechts in zijdelingsch verband en is klaarblijkelijk evenals de Himalaya veroorzaakt door een opdringen van Voor-Indië tegen het Aziatisch Continent.

Om te laten zien, wat ik met het woord „boogwerking" heb bedoeld, is in *fig. 10* nog de vorming van de lus van negatieve anomalieën rond de Bandazee verduidelijkt, waarbij de harceering het continent Australië — Nieuw Guinea aangeeft. Onder verdere verwijzing naar dit tijdschrift No. 11 — 1935 kan hierbij nog worden aangeteekend, dat door de plastische vervorming van de primair ontstane strooken langs Java en over Timor — Tanimber-eilanden het ten Noorden van deze strooken gelegen deel *M* ten opzichte van deel *A* in oostelijke richting wil bewegen, waardoor een secundaire drukkracht D_s wordt opgewekt, die het deel *M* tegen het continent opdrukt. Hierdoor ontstaan reacties *B*, die druktrajectoriën *a-b-c* leveren. De druk D_s wordt dus door boogwerking opgenomen, de bogen zijn de druktrajectoriën *a-b-c*. Bij *e* ontstaat dus de daar aangegeven spanningstoestand. Ook al zou de loodrecht op D_s gerichte hoofddrukspanning niet precies half zoo groot zijn als de door D_s geleverde, zal hier toch de richting der vervormingsstrook ongeveer loodrecht op D_s staan, omdat hier de *beweging* in de richting van D_s moet plaats hebben; zooals in No. 11 — 1935 aan de hand van *fig. 29* werd bewezen en ook in No. 4 — 1936 bij de verklaring van de Ryukyu-eilanden werd besproken, heeft dan de loodrecht op de krachtrichting staande doorsnede den geringsten weerstand tegen plaatselijk vloeien. Het is dan verder duidelijk, dat de strookrichting van *d* naar *e* gaande zich geleidelijk zal wijzigen en verder doorloopen naar *f*. Op gelijke wijze als de vorm der Ryukyu-eilanden werd verklaard (zie ook *foto 3* in No. 4 — 1936) zou overigens ook *zonder* de aanwezigheid van het Australische Continent de lus *d-e-f* te verklaren zijn, maar klaarblijkelijk wordt haar vorm er toch overwegend door beïnvloed.

Wat de strook over den ZO arm van Celebes betreft, moge ik verwijzen naar No. 11 — 1935. *De kracht D_s werkt hier niet alleen,* de voornaamste oorzaak zijn hier de spanningen, die ontstaan als gevolg van de neiging van de deelen ter weerszijden van de strook Banggai-eilanden — Obi om ten opzichte van elkaar te verplaatsen, waardoor natuurlijk een zeer ingewikkelde vlakke spanningstoestand ontstaat, waarvan niet precies te zeggen is, hoe ze precies is geweest.

Dat de vervormingsstrooken in den Oost-Indischen Archipel ook door Noord-Zuid gerichten druk en complimentaire Oost-West spanningen zouden zijn te verklaren, is niet juist, want de bissectrice van den hoek tusschen de vervormingsstrooken Banggai-eilanden — Obi en Talaud-eilanden — Soela-eilanden, resp. die hoek zelf, bepalen daar richting en verhouding der hoofdspanningen en *kunnen alleen verklaard worden door een Zuid-Oost gerichte lijndrukspanning.*

V. Slot.

De in dit tijdschrift No. 4 — 1936 in *fig. 1* afgebeelde batholietvorm is volgens mondelinge mededeeling van Harloff beschreven in een door hem bij den Dienst van Mijnbouw ingediend rapport over de geologische kaarteering van de sectie Muntok op Banka over Juli en Augustus 1933. Verder wordt het magma bij mijn verklaring niet omhoog gezogen maar geperst.

Zooals uit het voorgaande blijkt, kan ik de in mijn vorige artikelen gegeven beschouwingen ten volle handhaven. Tot het idee, dat de korst geen weerstand zou bezitten en dat convectiestroomen geen tangentieele krachten in de korst zouden kunnen opwekken, werd v. Bemmelen gevoerd door een misverstand omtrent de daarvoor geldende wetten (zie hoofdstuk II en IV). Geosynclinale daling en gebergtevorming worden door mijn theorie goed verklaard (hoofdstuk III), terwijl de snijhoeken tusschen de vervormingsstrooken juist een goede bevestiging daarvan geven (hoofdstuk IV).

Niet alleen is de mechanica, mits juist gehanteerd, van toepassing op de tektoniek, maar een discussie over de daarbij plaats grijpende processen, zonder rekening te houden met de daarvoor geldende mechanische wetten, heeft m.i. zelfs geen zin.

NASCHRIFT DER REDACTIE.

Ondanks den belangwekkenden aard van het onderwerp, heeft de Redactie gemeend na re- en dupliek van beide opponenten, de discussie te moeten sluiten.

Intusschen wordt met belangstelling tegemoetgezien, de verschijning der Handelingen van het in September j.l. te *Edinburg* gehouden Congres van de *Association Internationale de Géodésie et Géophysique* onder voorzitterschap van prof. Vening Meinesz, die zich gaarne bereid heeft verklaard, aldaar eene uiteenzetting te geven van de door prof. Bijlaard ontvouwde denkbeelden. Redactie.

INGEZONDEN.

Toepassing van gewapend beton plaatliggers bij bruggen en viaducten voor gewoon verkeer.

In *De Ingenieur in Ned.-Indië* van Juli 1936 komt voor een ingezonden stuk door ir. G. S. Goemans, waarin een door mij onder bovenstaanden titel in *De Ingenieur* van 3 April 1936 (Bijlage Beton) gepubliceerd artikel wordt besproken. Volgens ir. Goemans zou een plaatligger door zijn grooter eigengewicht een duurdere fundeering vereischen dan T-liggers. Dit is echter niet steeds het geval. Bij de in mijn artikel beschouwde viaduct waren de oplegdrukken, veroorzaakt door het eigengewicht, voor den plaatligger inderdaad grooter dan voor T-liggers. *Daarentegen waren de oplegdrukken, veroorzaakt door de geconcentreerde mobiele lasten, voor den plaatligger kleiner dan voor T-liggers.*

De oorzaak hiervan is, dat de bovenbouw een geheel van gewapend beton vormt, waarin door belasting met een *enkelen zwaren wagen*, niet alleen momenten optreden in de richting der overspanning, maar ook dwars op de richting der overspanning. De momenten in dwarsrichting zijn bij een bovenbouw, bestaande uit een dikke plaat, grooter dan bij een bovenbouw, welke bestaat uit zware langsliggers, die door betrekkelijk lichte dwarsbalken verbonden zijn. Door dit grooter moment in dwarsrichting wordt bij den plaatligger het gewicht van een enkelen zwaren wagen over een grooter gedeelte van den onderbouw verdeeld dan bij T-liggers. Hieruit volgt, dat de belasting per m onderbouw (gemeten dwars op de richting der overspanning), veroorzaakt door een enkelen zwaren wagen, bij den plaatligger kleiner is dan bij T-liggers. Waar hier voor de beide met elkaar te vergelijken projecten de opleggingen op dezelfde plaatsen zijn aangebracht, is de maximum druk per oplegging, veroorzaakt door een enkelen wagen, voor den plaatligger kleiner dan voor T-liggers. Ik vestig er nog de aandacht op, dat volgens de V. O. S. B. de belastingen mogen worden gereduceerd, naarmate meer wagens naast elkaar geplaatst worden.

Voor het betreffende geval bleken de totale oplegdrukken voor den plaatligger en den T-ligger vrijwel gelijk te zijn. Om deze reden zijn dan ook in mijn artikel de kosten van den onderbouw en de stalen opleggingen buiten beschouwing gelaten.

Er kunnen zich echter ook gevallen voordoen, waar de totale oplegdrukken voor een plaatligger wel grooter zijn dan voor T-liggers. In zulk een geval zal dan ook bij toepassing van een plaatligger op een duurderen onderbouw gerekend moeten worden. Deze meerdere fundeeringskosten zijn gewoonlijk niet zeer groot. Dit geldt voor het Nederlandsche polderland, waar steeds op palen gefundeerd moet worden, zoodat hier zeker geen sprake is van een goeden bouwgrond. Ik meen dan ook te kunnen concludeeren, dat *ook bij slechten bouwgrond een plaatligger veelal voordeeliger is dan T-liggers.*

Volgens ir. Goemans zouden mijn conclusies in hun algemeenheid alleen gelden voor zeer speciale omstandigheden, zooals die in Holland voorkomen. Ik ben echter overtuigd, dat *de plaatligger door zijn eenvoudige detailleering en uitvoering en door zijn geringe constructiehoogte, ook onder omstandigheden, welke van de Hollandsche verschillen, in menig geval met voordeel kan worden toegepast.*

ir. H. J. Kist, den Haag.

BERICHTEN VAN ALLERLEI AARD.

Waterleidingbedrijven.

Door het Instituut voor Technische Hygiëne en Assaineering in Nederlandsch-Indië, gevestigd te Bandoeng werd het volgend schrijven gericht aan alle overheden en particulieren, welke het beheer voeren over of het toezicht houden op de openbare waterleiding-bedrijven in Ned.-Indië.

Het Bestuur van het Instituut voor Technische Hygiëne en Assaineering in Nederlandsch-Indië, dat zich in het algemeen ten doel stelt de bevordering der gezondmaking van deze landen, en dat dus een belangrijk deel van zijn werkzaamheid vindt op het terrein der drinkwatervoorziening, vraagt beleefd Uw aandacht voor het volgende.

Dat deze — in haar huidigen vorm nog jonge — stichting op dit speciale gebied reeds haar arbeid metterdaad heeft aangevangen, is vermoedelijk nog niet in ruimen kring bekend. Dit vinde verklaring in het feit, dat het Bestuur vermeend heeft reeds aanstonds zoodanige onderwerpen te moeten ter hand nemen, waartoe het zich met de beschikbare middelen en krachten reeds aanstonds in staat achtte, en waarvoor dus nog geen beroep op deskundigen en belanghebbenden buiten de Vereeniging behoefde te worden gedaan.

Daarom zij hier vermeld, dat als eerste uiting van die werkzaamheid mag worden aangemerkt de oprichting van een cursus voor analysten, waartoe werd overgegaan met het oog op de dringende behoefte aan tijdige vorming van geschikte krachten voor de dagelijksche leiding van het technologisch deel van die bedrijven, waarbij niet kan worden beschikt over direct voor consumptie geschikt water. Ofschoon reeds meerdere omvangrijke bedrijven rivier- en oppervlaktewater of ander ruw materiaal moeten verwerken — Makassar, Palembang, Benkoelen, Djambi, Pangkalpinang, Indramajoe, Samarinda e.a. — en ofschoon eerlang de oprichting van dergelijke bedrijven te Pontianak en Bandjermasin mag worden tegemoetgezien, beschikt men h.t.l. niet over één enkele reserve-kracht.

Evenwel kan slechts een klein gedeelte van die taak „op eigen gelegenheid" worden volbracht. In

hoofdzaak kan het doel slechts worden benaderd door medewerking van alle belanghebbenden, doordien de gezonde uitbouw van de drinkwatervoorziening h.t.l. slechts kan worden gefundeerd op de ervaringen der practijk, die dus behooren te worden verzameld en verwerkt, terwijl de uitkomsten van dien arbeid moeten worden gepubliceerd.

In dit opzicht is men o.a. bij Nederland hier bepaald ten achter. Daar heeft men voor dat doel gesticht de Vereeniging voor Waterleidingsbelangen, die reeds veel nuttig werk heeft verricht en waarbij practisch alle bestaande bedrijven zijn aangesloten, die geregeld de uitkomsten van hun ondernemings- en bedrijfs-ervaringen in allerlei richting — chemisch, biologisch, technisch, bedrijfs-economisch, enz. — volgens bepaalde schema's bekend stellen en die hun medewerking verleenen bij het instellen van enquêtes, bij het nemen van proeven in de practijk e.a.

In die richting wil het Instituut thans ook iets gaan ondernemen, steunende op de overtuiging, dat dergelijke arbeid urgent is en dat stichting van nieuwe vereenigingen slechts tot versnippering van de h.t.l. steeds in slechts beperkte mate beschikbare krachten moet leiden.

De vraagstukken, die zich telkenmale voordoen en waarbij men bij herhaling stuit op nieuwe onbekende moeilijkheden, zouden veel minder talrijk zijn en sneller kunnen worden opgelost, indien men slechts op de hoogte was van hetgeen elders zich voordoet en wat men elders heeft ondernomen.

De voorbeelden hiervan liggen voor het grijpen. Het zij veroorloofd enkele te noemen:

a) Buizen-materiaal. Vrijwel elk soort buizen-materiaal heeft h.t.l. in de waterleidingtechniek toepassing gevonden. Vele kilometers gietijzeren, Mannesmann, getrokken ijzeren en eternieten buizen zijn in Indië gelegd, doch de ervaringen die met al deze materialen zijn opgedaan, zijn nog steeds niet bijeengebracht in een voor ieder gemakkelijk toegankelijken vorm, terwijl voortdurend veel van de kennis, die hierop betrekking heeft, verloren gaat door personeelswisselingen.

b) Watermeters. Bij de aanschaffing van nieuwe watermeters staat men ten deele voor dezelfde vragen. Men kan te weten komen bij welke bedrijven de meters in gebruik zijn, waarop men reflecteert en men zal dus om inlichtingen kunnen verzoeken, doch wanneer men zich dan verder wil laten leiden door de kennis van het water, waaraan die instrumenten zijn blootgesteld, dan moet men wederom bij tal van overheidsdiensten op informatie uitgaan.

In Holland beschikt men, dank zij de publicaties der genoemde Vereeniging, over tal van gegevens, die in dergelijke gevallen den weg kunnen wijzen.

c) Tarieven. Is in het voorstaande eigenlijk sprake van de technische eigenschappen van watermeters op zich zelf, de keuze van een metertype wordt evenzeer beheerscht door het tariefstelsel van het betrokken bedrijf. Helaas is daaromtrent tot nu toe weinig of niets bekend en toch geldt het hier een vraagstuk van de eerste orde, hetwelk thans op verschillende plaatsen aan het licht treedt.

d) Aardbevingen. Een vierde voorbeeld biedt onze kennis van de uitwerking van aardbevingen op onze waterleidingen, aan de hand waarvan men er wellicht in kon slagen middelen aan te wijzen om de schadelijke gevolgen van deze en overeenkomstige verschijnselen zooveel mogelijk te voorkomen. In betrekkelijk korten tijd werd een drietal onzer steden in ernstige mate aan die gevaren blootgesteld. Djokjakarta onder invloed van de nevenverschijnselen van de Merapi-uitbarsting; Menado tengevolge van heftig vernielende bandjirs; Koetaradja door tectonische oorzaken, hebben allen hun watertoevoer verstoord gehad. Het „heden gij, morgen ik" en het „voorkomen is beter dan genezen" mogen de prikkels zijn om de gemeenschappelijke bestudeering van dit vraagstuk ter hand te nemen.

e) Hygiëne. Ten slotte een onderwerp, dat voor het Instituut eigenlijk wel als nummer één op de lijst mocht staan, t.w. de kennis van de uitwerking der bestaande drinkwatervoorzieningen op den gezondheidstoestand der betrokken plaatsen. Dit is wel een zeer bijzonder voorbeeld, want ofschoon de verbetering van de openbare gezondheid steeds het doel is van de oprichting van zulke bedrijven, heeft men tot nu toe nog nergens een reëele studie gemaakt van de bereikte resultaten en toch zouden die uitkomsten de richtlijnen moeten bepalen voor de wijze waarop de exploitatie eventueel behoorde te worden gewijzigd.

De lichtzijde van dezen stand van zaken is ongetwijfeld, dat een dergelijk observeeren en bestudeeren thans op geheel gelijke basis bij de verschillende bedrijven gelijktijdig zal kunnen worden ingezet.

Het is duidelijk, dat het juiste inzicht in deze en andere vraagstukken slechts kan worden verkregen door vergelijkende studie van veel materiaal en dat het nut van dien arbeid slechts kan worden bereikt door bekendstelling door middel van regelmatige publicaties in de kringen van geinteresseerden, publicaties, die men zich voorstelt aan te vullen met overzichten van de vakliteratuur.

Hetgeen hier beoogd wordt — hoe bescheiden ook de eerste opzet moge zijn — vordert reeds van meet af aan een omvangrijken arbeid, waarvan de continuiteit dient te zijn verzekerd, en welken het Instituutsbestuur zelf onmogelijk naar behooren zou kunnen behartigen, daar ook andere onderwerpen de zorgen van het Bestuur vragen.

Daarom werd besloten over te gaan tot de stichting van speciale secties o.a. ook voor het *Waterleidingwezen,* die onder supervisie van het Centrale Bestuur hun arbeid zullen verrichten.

Vermeend werd, dat het vooral met het oog op het goed op gang brengen van de werkzaamheid dier secties, en niet het minst om zoo goed mogelijken waarborg te verkrijgen voor de continuiteit in den arbeid, het de meeste aanbeveling zou verdienen te trachten de besturen dier secties te doen samenstellen uit op één plaats wonende deskundigen, derhalve ook overeenkomstig het beginsel van de samenstelling van het dagelijksch bestuur van het Instituut.

Vanzelf viel daarbij in de eerste plaats het oog op Bandoeng, waardoor de innige samenwerking tus-

schen secties, Bestuur en het aldaar bestaande Laboratorium voor Technische Hygiëne, het beste is verzekerd.

Voor het Waterleidingwezen komt daar bij, dat Bandoeng een der grootste bedrijven heeft, terwijl door het Departement van Verkeer & Waterstaat ook nagenoeg alle Gouvernementsdrinkwaterleidingen worden beheerd.

In die richting heeft het Instituutsbestuur gezocht naar eenige deskundigen en het verheugt zich te kunnen mededeelen, dat de na te noemen heeren zich bereid hebben verklaard het eerste sectie-bestuur te vormen.

Het zijn:

ir. F. M. C. Berkhout — v/h Dept. v. Verkeer & Waterstaat,

ir. N. D. R. Schaafsma — v/d Dienst der Volksgezondheid,

ir. J. P. Thijsse — v/d Bandoengsche Gemeentewerken.

Deze technici zullen nu in de eerste plaats een werkprogramma opstellen en zich ongetwijfeld binnen afzienbaren tijd wenden tot de daarvoor in aanmerking komende autoriteiten en tot de waterleidingwereld hier te lande, met een beroep op aller medewerking en steun, welke — naar wordt vertrouwd — hen op ruime wijze zal worden verleend.

De Sectie voor Waterleidingwezen van het Instituut voor Technische Hygiëne en Assaineering zij hiermede in Uw warme belangstelling aanbevolen.

Namens het Bestuur v/h Instituut
voor Technische Hygiëne en Assaineering *)

prof. dr. W. Boomstra
prof. dr. ir. C. P. Mom.

*) Volledigheidshalve wordt hierbij vermeld, dat in voornoemd Bestuur mede zitting hebben de heeren Gen. maj. dr. J. M. Elshout, G. van Galen Last en ir. S. Snuyf.

Red.

Normalisatie.

Bij het Secretariaat van den Normalisatieraad — Bragaweg 38, Bandoeng — zijn verkrijgbaar gesteld de navolgende ter critiek gepubliceerde ontwerp-normaalbladen:

V 163: Pijpleidingen en toebehooren. Gietijzeren mofbochten voor I-10 K- en L-stukken.
V 336: Idem. Syphons voor gasleidingen.
V 378. Idem. Bronzen en messingen schroefkoppelingen voor gas- en waterleiding. Lichte wartelmoeren en pakkingringen.
V 421: Idem. Gietijzeren hulpstukken voor I-10 Verloopstukken.
V 422: Idem. Idem. Overschuifmoffen, E-stukken, F-stukken.
V 835: Idem. Idem. Voor A- en AA-stukken.
V 836: Idem. Idem. Voor B- en BB-stukken.
V 837: Idem. Idem. Voor A- en AA-stukken. Gewichten.
V 838: Idem. Idem. Voor B- en BB-stukken. Gewichten.
V 231: Scheepsonderdeelen. Kenterschalmen.
V 599: Rauwe houtolie voor de bereiding van vernis (lak).
V 902: Kleuren voor lakverven.
V 903: Kleuren voor drukinkten.

BOEKBESPREKING.

Fachgruppe für Wasserchemie.
Einheitsverfahren der physikalische und chemische Wasseruntersuchung.

Verlag Chemie Berlin W. 35, prijs M. 8,80, Buitenland M. 6,60.

Deze voorschriften voor het physische en chemische wateronderzoek stemmen deels overeen met die in soortgelijke werken in andere landen verschenen, deels zijn zij er van afwijkend, hetgeen aanleiding geeft tot de vraag of het niet beter ware internationale voorschriften op te stellen dan in ieder land van elkaar verschillende te maken. In hoeverre het wenschelijk is, nu eens het hier besproken werkje te volgen, dan weer een ander, kan in dit tijdschrift niet nader worden uiteengezet. Voldoende is op te merken, dat men bij het gebruik van dit boek niet tot verkeerde resultaten komt, behalve indien men overeenkomstig het in systeemnummer G 1 beschrevene het „bijbehoorende" koolzuur berekent als het verschil van „totaal" koolzuur en „kalkagressief" koolzuur.

De indeeeling van het boek is systematisch, de verschijningsvorm losbladig. Het geheel is dus berekend op de practijk, waarin aanvullingen en wijzigingen nog wel eens zullen voorkomen. Jammer is het echter, dat niet dadelijk is gestreefd naar de grootst mogelijke volledigheid en verschillende bepalingsmethoden alleen nog maar in den inhoud worden vermeld. Met aanschaffing van het boek is dus te wachten tot ook het ontbrekende is verschenen, hetgeen in den loop van dit jaar moet geschieden.

S.

A. Rauwerda.
„De machinale houtbewerking".

Dit leerboek, dat verschenen is bij den Technischen Boekhandel H. Stam, Amsterdam-Haarlem, maakt bij het doorbladeren reeds een verzorgden indruk. De figuren zijn zeer duidelijk ontworpen, terwijl de talrijke foto's bijdragen tot een goed begrip der werktuigen. Bij het doorlezen van den tekst bemerkt men met een kundig vakman in contact te zijn gekomen, die niet alleen de kunst verstaat een onderwerp technisch te bewerken, doch ook practischen raad te kunnen geven, gebaseerd op ervaring. Aan de beveiliging der werktuigen is veel aandacht gewijd. Ook voor technici, die werkzaam zijn in houtbewerkingsfabrieken, kunnen de talrijke vingerwijzingen, die de schrijver geeft, van groot nut zijn, reden waarom wij dit werk een algemeene verspreiding gaarne toewenschen.

Ir. P. F. A. von Wolzogen Kühr.

Ontvangen publicaties.

Jaarboek der Technische Hoogeschool te Bandoeng, 16e cursusjaar, 1936.

Tijdschrift van de Vlaamsche Ingenieurs-Vereeniging;

Philippine Engineering Record.

Bovengenoemde tijdschriften, welke resp. maandelijks en driemaandelijks verschijnen en als ruilexemplaren worden toegezonden, worden opgeborgen in de bibliotheek van het departement van Verkeer en Waterstaat, waar zij voor belangstellenden ter inzage beschikbaar zijn.

Macnaughtan, D. J. Some Recent Investigations on the Corrosion of Tin. Techn. Pub. Internat. Tin Research Developm. Council. Ser. A. 34.

Haringhuizen, P. J. & Was, D. A. Research on Thin Layers of Tin and Other Metals II. The Corrosion of Metals by Technical Insulating Oils. Idem. Ser. A. 35.

Hoar, T. P. & Havenhand, D. Factors Infuencing the Rate of Attack of Mild Steels by Tropical weak Acid Media. Techn. Pub. Internat. Tin Research Developm. Council. Ser. A. 36.

Hothersall, A. W. & Bradshaw, W. N. Methods of Detinning Tinplate for Examination of the Thickness and Continuity of the Alloy Layer. Idem. Ser. A. 37.

..... & Prytherch, J. C. A Study of the Porosity in the Tin Coating of Tinplate. Idem. Ser. A. 38.

Clark, R. E. D. The Detection and Colorimetric Determination of Tin by Means of Substituted 1 : 2-Dimercaptobenzenes. A Specific Reagent for Tin. Idem. Ser. A. 40.

..... The Preparation of Substituted Benzene-o-dithiols for Use as Specific Reagents for Tin. Idem. Ser. A. 41.

Exemplaren van de bovengenoemde publicaties worden op aanvrage gratis verstrekt door de International Tin Research and Development Council, Statistical Office, Prinsessegracht 21, Den Haag.

In de hierboven genoemde geschriften van R. E. D. Clark (Ser. A. 40 en 41) wordt *een nieuw en gevoelig reagens* op tin behandeld.

Serie A. 40 is een herdruk van een rede, tevoren voor de Society of Public Analysts uitgesproken, waarin de methoden om de reagentia te gebruiken worden aangegeven, terwijl in Serie A. 41 de methoden, waarop zij bereid kunnen worden, zijn gepubliceerd.

De reagentia zijn 4-Cl en 4-CH_3 1 : 2 di-merkaptobenzeen. De vorming van een roode verbinding met elk van deze reagentia is een specifiek en zeer gevoelig reagens op tin.

Het groote voordeel boven de enkele andere gevoeligheidsreacties is, dat de laatstgenoemde afhangen van het reduceerend vermogen van stanno-chloride en gestoord worden door de aanwezigheid van vele andere reductiemiddelen.

Wanneer eenige druppels van een 0,2% oplossing van deze merkaptanen in een waterige loogoplossing worden toegevoegd aan oplossingen met minder dan 15% zoutzuur, niet minder bevattend dan een millioenste deel tin, en het mengsel wordt opgewarmd, zal binnen enkele seconden een roode tint kenbaar zijn. De stanni-vorm is minder gevoelig; daarom wordt een voorafgaande reductie met thioglycolzuur aanbevolen. Met het methyl-derivaat komt de kleur sneller te voorschijn dan met de chloor-substituent.

Het eenige andere element, dat met het reagens een roode kleur gaf, was bismuth, maar deze was steenrood i.p.v. helrood. Het reagens kan worden toegepast op het filtraat van de ammoniumsulfide-groep, na aanzuren, bij aanwezigheid van antimoon en arseen, die eerst een geel neerslag vormen, dat rood wordt bij toevoeging van een overmaat van het reagens.

Deze reagentia kunnen met goed gevolg worden gebruikt voor de colorimetrische bepaling van tin.

VEREENIGING VAN DELFTSCHE INGENIEURS.

Het Bestuur in Holland heeft, na het overlijden van den heer ir. F. J. Dijxhoorn, in zijn plaats ir. A. Noordijk, Tanah Abang West 56a, Batavia-C., aangewezen om als Correspondent in Nederlandsch-Indië voor de Vereeniging van Delftsche Ingenieurs op te treden.

KON. INST. VAN INGENIEURS.
Groep Ned.-Indië.

BESTUURSMEDEDEELINGEN.

De in No. 9 van dezen jaargang voorgestelde nieuwe leden zijn aangenomen.

Als gewoon lid worden voorgesteld:

ir. H. Terpstra, ingenieur bij de Firma Erdmann & Sielcken te Pelaboean Ratoe (Poste Restante).

dr. Ch. E. Stehn, geoloog bij den Dienst v. d. Mijnbouw, Bilderdijkstraat 4, Bandoeng.

dr. ir. R. W. van Bemmelen, ingenieur bij den Dienst v. d. Mijnbouw, Progostraat 18, Bandoeng.

ir. A. Harting, ingenieur bij den Dienst v. d. Mijnbouw, de Ionghstraat 9, Bandoeng.

ir. C. S. van Haeften, ingenieur bij den Dienst v. d. Mijnbouw, Riouwstraat 119, Bandoeng.

dr. M. Neumann van Padang, geoloog bij den Dienst v. d. Mijnbouw, Boumanlaan 1, Bandoeng.

Eventueele bezwaren tegen deze candidaatstelling worden vóór 10 December a.s. ingewacht bij den Secretaris, Bragaweg 38, Bandoeng.

3e JAARGANG
NUMMER 11

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

NOVEMBER
1936

IV. MIJNBOUW EN GEOLOGIE.

„DE MIJNINGENIEUR"

INHOUD: Concentratie bij de Indische Kolenmijnen, door ir. W. J. R. Lanzing. — Over waschtoestellen bij de exploratie naar diamant, door ir. H. Terpstra. — Over de waardebepaling van het primaire diamantterrein van Z. O. Borneo, door ir. H. Terpstra. — Naschrift van ir. W. C. B. Koolhoven. — Economische mededeelingen. — Personalia.

Concentratie bij de Indische Kolenmijnen

door

ir. W. J. R. LANZING,

ingenieur bij de Boekit Asam-Steenkolenmijnen, Tandjong Enim.

Van concentratie bij de Indische mijnen kon pas worden gesproken, toen in 1931 bij de Ombilinmijnen te Sawah-Loento de lange pijlers werden ingevoerd. De omstandigheden op die mijnen waren hiervoor zeer gunstig en mede hierdoor werd een aanzienlijke verlaging van den kostprijs verkregen. De afdeelingsproductie bij de Indische mijnen wordt o.a. beheerscht door de snelheid, waarmee de ontkoolde ruimten kunnen worden opgevuld. Juist deze was in Sawah-Loento in den loop der jaren sterk opgevoerd, zoodat met de afbouwmethode der lange pijlers geen moeilijkheden werden ondervonden; deze kwam in de plaats van de korte pijler-methode, uitvoerig beschreven door W. Hollemann in de *Mijningenieur* 1931 No. 8. De pijlerlengte werd gebracht van 40 m op ca 100 m. De totale lengte der werkfronten nam hierdoor eveneens toe, waarmee een aanzienlijke productievermeerdering gepaard ging.

Op Sawah-Loento waren in 1931 in bedrijf 5 koolproduceerende afdeelingen met een gezamenlijke dagproductie van ongeveer 1300 t. Reeds in 1933 gelukte het, het aantal koolproduceerende afdeelingen terug te brengen tot 2 met nagenoeg dezelfde dag-productie. Dit waren de velden Soengei Doerian (5 banken afbouw, laag 10 m dik) met 750 t per dag en Sawah Rasau IV (3 banken afbouw, laag 6 m dik) met 550 t per dag. Beide velden zijn gelegen in de C-laag, die plaatselijk een dikte van 10 m bereikt. De pijlerlengte is sindsdien nog toegenomen. Door een ver doorgevoerde centralisatie gelukte het voor beide velden de koolwinning afwisselend tot één ploeg te beperken. Op de andere ploeg werd gespoeld en geschiedden de reparatiewerkzaamheden, zoodat de derde ploeg practisch kon worden afgeschaft. De velden liggen circa 1,5 km hemelsbreed uit elkaar, zoodat het noodzakelijk was voor ieder veld een afzonderlijk spoelterrein aan te leggen, doch het toezicht op grondwinning en spoeling werd voor beide velden in één hand gelaten. Daarnaast bestond nog de transportafdeeling, welke door de groote afstanden een apart beheer vereischte; ook de voorbereiding werd bij deze afdeeling ondergebracht. Men had dus:

2 koolproduceerende afdeelingen,
1 afdeeling hoofdtransport en voorbereiding en
1 afdeeling grondwinning en spoeling.

Deze toestand werd sindsdien behouden, terwijl het voor zoover bekend, niet in de bedoeling ligt nog verder te concentreeren.

Van concentratie op de *K. P. M.-mijn te Parapatan (Rantau-Pandjang)* [1]) wordt voor het eerst gewag gemaakt in het Jaarboek van den Dienst van den Mijnbouw 1932 — 1933. Het aantal koolproduceerende afdeelingen liep van 5 in 1932 terug tot 3 in 1933, het aantal werkfronten van 56 tot 36. Sindsdien werd de concentratie nog verder doorgevoerd, zoodat thans dezelfde productie uit 2 afdeelingen wordt verkregen op 13 werkfronten. De gevolgde afbouwmethode is de diagonale bankenbouw („Schrägbau") met hand-opvulling. Wegens de steile helling der lagen (± 50°) is een hellende bankenbouw zooals gebruikelijk bij de Gouvernementsmijnen niet wel mogelijk. De grondwinning heeft plaats met graafschoppen; de grond wordt met mijnwagens in het veld gebracht, die na geleegd te zijn, met kolen gevuld worden teruggestuurd.

De concentratie bij de *Boekit-Asam Steenkolenmijnen* zal uitvoeriger worden besproken. In 1933 waren nog 3 productiecentra aanwezig. Deze lagen in de, ook reeds door Mannhardt onderschei-

1) De aanvullende gegevens, betrekking hebbende op de Parapatanmijn, werden ontvangen door vriendelijke bemiddeling van ir. H. Th. Bakker te Batavia-Centrum.

den, tectonische gebieden: (zie Verhand. Jaarb. Mijnwezen 1918).

1e. de Mangoesanticlinaal;
2e. „ Berangausanticlinaal (koepel);
3e. „ Pinangsynclinaal.

In de Mangoesanticlinaal werd de C-laag in diepbouw gewonnen, terwijl op de flanken de A- en B-lagen voor dagbouw konden worden vrijgelegd. In de Berangau koepel werd de C-laag niet aangetroffen, zoodat alleen de A- en B-lagen voor afbouw en gedeeltelijk voor dagbouw in aanmerking kwamen. In de Pinangsynclinaal werden de A-lagen ontsloten. Er waren dus 3 ondergrondsche koolproduceerende afdeelingen en 2 dagbouwen. De dagproductie van een ondergrondsche afdeeling bedroeg gemiddeld 174 t.

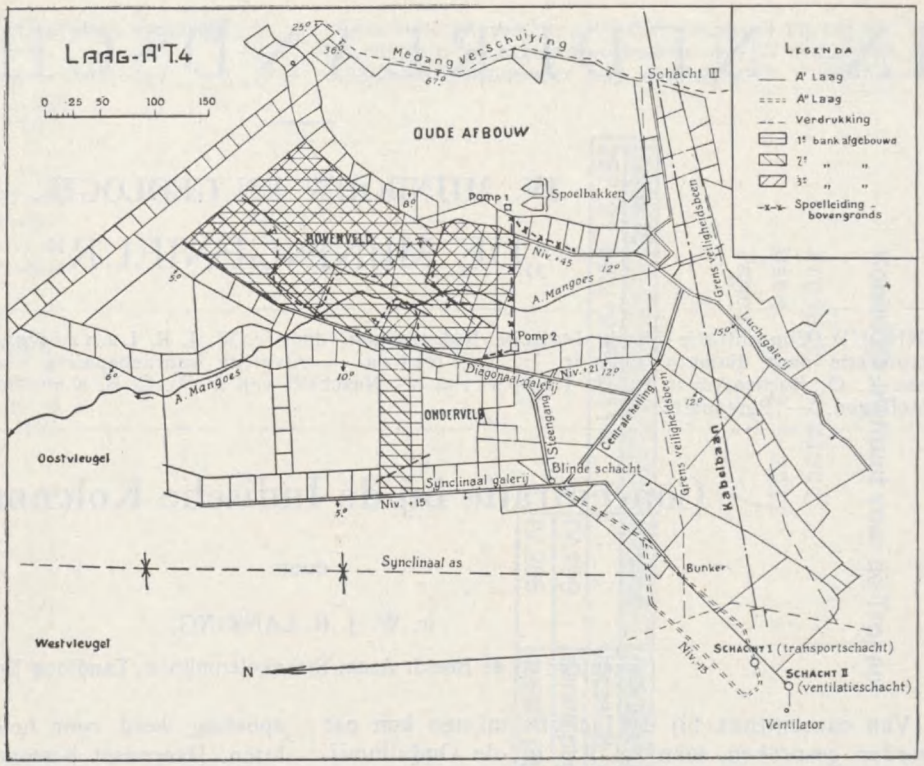


Fig. 1.

Successievelijk werden de afbouw C-laag in 1934 en de ontginning Boekit-Moengoe in 1936 gestaakt, zoodat sinds Juni 1936 de productie hoofdzakelijk uit de Pinangsynclinaal (het z.g. schachtenveld) wordt verkregen. De gemiddelde dagproductie over Juni en Juli bedroeg rond 1 000 t. Het ligt in de bedoeling deze op te voeren tot 1 100 t, zijnde de maximale hijschcapaciteit der transportschacht.

Deze concentratie werd mogelijk door de invoering der lange pijler-methode, waarmee begin 1934 een aanvang werd gemaakt en welke werd uitgebreid tot de geheele Oost-vleugel der AI-laag in de Pinangsynclinaal (zie kaart). Door een diagonaalgalerij werd de vleugel in twee strooken (velden) verdeeld, met een gemeenschappelijken afvoer over een transportband in de synclinaalgalerij. De afvoer van het bovenveld geschiedt met schudgoten door de diagonaalgalerij en een centrale helling, welke buiten het onderveld is gelegen. Deze „centrale" schudgoot mondt op den transportband uit. De kolen van het onderveld zullen direct op den transportband worden afgevoerd (dit gebeurt nu nog op een schudgoot in het verlengde van den band). Door verschillende omstandigheden werd het onderveld later in afbouw genomen dan het bovenveld. Tengevolge hiervan liggen de pijlers niet in elkaars verlengde.

In het bovengedeelte der pijlers (30 — 40 m) worden schudgoten met kleine vuldoorsnede gebruikt (310 cm²), daarop volgen schudgoten van 513 cm² vuldoorsnede. In de diagonaalgalerij waar de helling geringer is, kon met deze schudgoten niet volstaan worden; hier worden in afwachting van 700 cm² goten, goten van 513 cm² doorsnede met opzetplaten gebruikt. De aandrijving der kleinere schudgoten heeft plaats met drukluchtmotoren van 160 mm cyl. diam, die der grootere goten met motoren van 290 mm cyl. diam.

Ook de aandrijving der transportbanden geschiedt met druklucht (pijlrad) motoren. Deze bezitten een vervoerscapaciteit van 100 t per uur, waarmee de productie zeer gemakkelijk kan worden verwerkt. Dank zij de inbedrijfname der banden, kon het transportvraagstuk in het veld op afdoende wijze worden opgelost.

De belading in mijnwagens vindt eerst plaats op het schachtniveau (niv.-13 m, in de AII-laag). De kolen geraken n.l. van den transportband in een voorraadsbunker, welke in de nabijheid van de transportschacht ligt. De mijnwagenomloop is in Fig. 1 met een -- lijn aangegeven. De tractie heeft hier plaats met een drukluchtlocomotief.

De vroegere deeling van den vleugel door niveau 21 is thans overbodig geworden. Op dit niveau had de belading plaats in mijnwagens van de kool uit het bovenveld. De wagens geraakten door een steengang en een blinde schacht op het schachtniveau. Door de invoering der transportbanden kon dit omslachtige vervoer vervallen.

Een ander probleem vormde dat van de opvulling. Voor het bovenveld was deze reeds opgelost (zie dit tijdschrift, IV, 3*e* Jg., No. 5). De spoelleiding voor het onderveld zou echter een lengte kunnen krijgen van 500 m met een verval van maximaal 60 m. Deze afstand kan met één spoelpomp (Bankapomp 6") niet goed worden overwonnen, een tweede pomp (tandampomp) moest in de leiding worden opgenomen om een bedrijfszekeren toestand te verkrijgen. Met pomp 1 gelegen vlak onder de spoelbakken wordt het bovenveld gespoeld; vermoedelijk kan met deze opstelling het geheele bovenveld worden be-

diend. Moet in het onderveld worden gespoeld dan wordt de leiding naar het boorgat van het bovenveld afgekoppeld en deze verbonden met de zuigleiding van pomp 2. De gemiddelde opvulsnelheid der tandampompen is weliswaar kleiner dan die van de enkele pomp, doch nog zeer bevredigend te noemen. Op deze wijze kon de bouw van afzonderlijke spoelbakken voor het onderveld worden voorkomen. Het behoeft geen betoog dat deze afbouwmethode veel vereenvoudigingen meebracht ten opzichte van de vroegere methode. Als nadeel der ver doorgevoerde concentratie kan worden aangevoerd, dat bij uitval van één der, de productie beheerschende eenheden, de geheele productie wordt stilgelegd. Door een matig capaciteitsoverschot aan te leggen, waarmee kleine storingen kunnen worden ingehaald en een zoo goed mogelijke „service" voor de mechanische installaties te kweeken, kan dit bezwaar grootendeels worden opgevangen. Dit geldt echter niet voor productieuitval door mijnbrand. Nu is het op de Boekit-Asam Steenkolenmijnen mogelijk door toepassing van droog grondverzet met transportbanden groote hoeveelheden kool in dagbouw vrij te leggen, waarvan een gedeelte gereserveerd moet worden voor eventueelen mijnbrand. Zoolang dit evenwel niet het geval is, moest op andere wijze in een reserve worden voorzien en daartoe werd in den Westvleugel een nieuw veld voorbereid, dat niet in verbinding staat met het tegenwoordige afbouwveld.

Door de concentratie was het mogelijk het aantal mijnafdeelingen tot drie te reduceeren, deze zijn:

1e. de afdeeling grondwinning, spoelend opvullen en dagbouw,

2e. de afdeeling afbouw en opvulling en

3e. de afdeeling hoofdtransport en voorbereiding.

Het personeel wordt nu zooveel mogelijk gespecialiseerd; dit was vroeger onmogelijk. Iedere afdeeling was een aparte mijn, waarin de leiding van alle bovengenoemde werkzaamheden aan één persoon moest worden opgedragen. Door de onoverzichtelijkheid van het werk gelukte het niet de bestaande moeilijkheden op te lossen Door de inkrimping van het aantal afdeelingen werden de algemeene kosten voor onderhoud, transport, bemaling en ventilatie lager. Voor de lange pijler-methode kan bovendien met een eenvoudige voorbereiding worden volstaan; slechts behoeven te worden aangelegd een luchtgalerij met parallel en een transportgalerij met parallel. Tusschen deze evenwijdig loopende galerijen vindt de afbouw plaats. De ventilatie der voorbereiding wordt hierdoor tevens veel eenvoudiger.

De rationalisatie van het bedrijf had ten gevolge een stijging van de hoofdelijke productie. In ondervolgend staatje zijn de hoofdelijke producties der mijnen sinds 1931 bijgewerkt:

	Ombilinmijnen		Parapatanmijnen		Boekit-Asammijnen		
	Mijn-sterkte	Totale sterkte	Mijn-sterkte	Totale sterkte	% dagbouw	Mijn-sterkte	Totale sterkte
1931	500 kg	320 kg	655 kg	422 kg	31,4	432 kg	314 kg
1932	651 „	351 „	752 „	449 „	33,8	528 „	356 „
1933	912 „	536 „	863 „	502 „	35,5	640 „	377 „
1934	885 „	536 „	982 „	547 „	38,5	619 „	406 „
1935	972 „	601 „	1 076 „	616 „	24,2	687 „	463 „
1936*)	972 „	620 „	1 227 „	714 „	8,0	771 „	519 „

*) 1e halfjaar.

De stijging van de hoofdelijke productie berekend over de totale sterkte bedroeg voor de respectieve mijnen 93,8%, 69,2% en 65,3%. De invloed der lange-pijler-methode op de hoofdelijke productie is bij de Ombilinmijnen duidelijk merkbaar. In 1932 bedroeg de hoofdelijke productie over de mijnsterkte 651 kg, in 1933 reeds 912 kg. Op de Boekit-Asammijnen werd de stijging der hoofdelijke productie getemperd door de vermindering der dagbouwproductie.

Als de hoofdelijke productie ongunstig beinvloedende factoren bij de Boekit-Asammijnen, zijn aan te merken:

1e. het slechte dak;

2e. de onregelmatig verloopende verdrukkingen;

3e. de harde deklagen.

Het dak bestaat uit onsamenhangende grijs blauwe kleisteen welke wanneer deze nat wordt, gemakkelijk loslaat. Speciaal wanneer het dak wordt aangesneden, zijn instortingen in de bovenste (derde) bank moeilijk te voorkomen. Zooveel mogelijk wordt dan ook een koolbank ter dikte van 60 — 70 cm in het dak „aangebouwd".

De geringe dikte der deklagen (50 — 60 m) is oorzaak, dat de afbouwscheuren zich spoedig tot de oppervlakte voortplanten. Het water van de Ajer Mangoes siepelt door deze scheuren heen, waardoor het in de pijlers plaatselijk kan „regenen". De kleisteen begint dan te werken, waardoor in de 2e en 3e bank, ook zonder dat de kleisteen wordt aangesneden bovenmatige druk optreedt, wat veel onderhoud meebrengt.

Wegens de vlakke helling kan de opvulling der ontkoolde ruimten niet volledig plaats hebben, hetgeen eveneens een ongunstigen invloed op het dak uitoefent. E.e.a. maakt het noodzakelijk de opvulling zoo snel mogelijk te doen plaats hebben, de pijler kan daarom maximaal 4 panden (d.i. 5 m) „open" staan, waarvan 3 panden worden gespoeld. In het vrije pand wordt de schudgoot gehangen. In den regel worden echter slechts 2 panden gespoeld.

De onregelmatig verloopende verdrukkingen (insnoeringen) zijn een kenmerkend verschijnsel voor de AI-laag. Op de kaart is het tot nu bekende verloop ingeschetst; over deze oppervlakte kon de 3e bank niet worden gewonnen, terwijl plaatselijk zelfs geen 2e bank aanwezig is. Om zoo weinig mogelijk kool te verliezen, dient zoo dicht mogelijk langs de verdrukking een aparte afvoergalerij te worden gedreven. De aanleg en het onderhoud van deze galerijen gaan ten koste van de hoofdelijke productie.

Naast deze ongunstige factoren, welke het ondergrondsche effect drukken, staat bovengronds de dagtaken roovende grondwinning (zie dit Tijdschrift IV, Jg. 2, No. 11). Dit jaar zal evenwel nog worden begonnen met droge grondwinning door middel van transportbanden. De regelmatige winning van de daarbij vrijgelegde koollagen zal de hoofdelijke productie wederom doen stijgen.

Van grooten invloed op de hoofdelijke productie is verder de vastheid van de kool. Deze neemt af naarmate het calorisch effect toeneemt. Over betrekkelijk kleinen afstand kan dit oploopen van 7 000 tot 8 500 caloriën. In de minder veredelde kool geschiedt de winning met afbouwhamers, terwijl bovendien springstoffen worden gebruikt; in de hoogst veredelde, gruizige, kool worden met pikhouweelen hoogere prestaties bereikt.

Bij de winning in de vaste kool spelen de splijtvlakken een groote rol. Ofschoon meestal drie splijtrichtingen zijn te herkennen, treedt één splijtrichting, waarlangs de kool goed loslaat, op den voorgrond. Deze verloopt echter in één voor den afbouw ongunstigen zin, d.w.z. evenwijdig aan de strekking. Waar met den afbouwhamer loodrecht op deze richting zou moeten worden gewerkt om het grootst mogelijke effect te kunnen bereiken, zou het gebruik van kerfmachines (koolzagen) gemotiveerd zijn; de aanwezigheid van talrijke kiezelknollen in de AI-laag laat dit echter niet toe. Indien de helling van de laag dit mogelijk maakt, dient dan ook aan den diagonalen afbouw de voorkeur te worden gegeven boven den hellenden afbouw.

Over waschtoestellen bij de exploratie naar diamant

door

ir. H. TERPSTRA,

ingenieur bij „Erdmann & Sielcken".

De diamant-prospectie is moeilijker, dan die van goud. En wel om de volgende redenen:

1e. de prijs van diamant bedraagt ongeveer een 20 × dien van goud.

2e. het s.g. van diamant is 5 tot 6 × kleiner, dan dat van goud.

3e. — 1mm diamant is niet afbouwwaardig, terwijl stofgoud, dat tot 200 „colours" per mg kan bevatten, nog steeds zooveel mogelijk gewonnen wordt.

Teneinde nu de nauwkeurigheid en snelheid van het onderzoek van het grind op te voeren en tevens de contrôle te vergemakkelijken, gebruikt men in West- en Midden-Afrika de z.g. „shaker" („rocking screen" of „tamis") en handjig. Met de „shaker" wordt het te onderzoeken materiaal verdeeld in verschillende korrelgrootten, terwijl de jig het verder classificeert naar gewicht.

De „shaker" (fig. 1a, b), welke eigenlijk een gewijzigde „cradle" of „rocker" der goud-prospectie is, bestaat uit 4 zeven van verschillende maaswijdten. De maaswijdten worden geregeld naar de meest voorkomende grootten van den diamant, daar de jig het beste werkt met goed gesorteerd materiaal. Daarom gebruikt men in West-Afrika meestal de 1, 2, 4, en 8 of 12 mm maaswijdten.

De drie grofste zeven zijn, ieder voor zich ingebouwd in afneembare ramen, terwijl de fijnste zeef in de „cradle" zelve geplaatst is.

Het grind wordt nu in pannen op de bovenste zeef gestort en het apparaat wordt door 2 boys (die op de randen van het apparaat staan) in een schommelende beweging gebracht.

Daar de ontkleiing van groot belang is, begint men met eenige korte slagen, waarna het apparaat naar de andere zijde gedrukt wordt. Om deze werking te bevorderen, worden de 2 steunvlakken der „cradle" over een 20 cm horizontaal afgesneden. De stabiliteit der „cradle" wordt verhoogd door de twee steunvlakken op twee ter plaatse gekapte, uitgeholde stukken boomstam te plaatsen. Tijdens het schudden moet steeds veel water toegevoegd worden.

Aldus krijgt men 4 producten, n.l.: + 12, + 4, + 2 en + 1 mm. Het — 1 mm product laat men wegloopen.

Het + 12 mm product wordt na grondige schoonmaak weggeworpen, zoodat er 3 producten overblijven. Daar bij geringer korrelgrootte de werking langer duurt (ook al omdat meer kleine korrels aanwezig zijn), zijn de grofste zeefklassen het eerst gereed, waarna hun zeven achtereenvolgens van de „cradle" afgenomen worden. Meestal wordt een hoeveelheid van 100 — 200 *l* in eens verwerkt. De + 4, + 2 en + 1 mm producten worden nu, ieder voor zich, in de jig verder behandeld.

De jig (fig 2a, b) bestaat uit een beweeglijke zeef van 1 mm maaswijdte, opgehangen aan een hefboom, welke rust op een ter plaatse gemaakte bok. Een 5 tot 10 cm dik bed van gezeefd materiaal wordt horizontaal in het water gehouden. Door een snel neergaande en langzaam opgaande beweging (dus voor den werkman juist andersom), verkregen

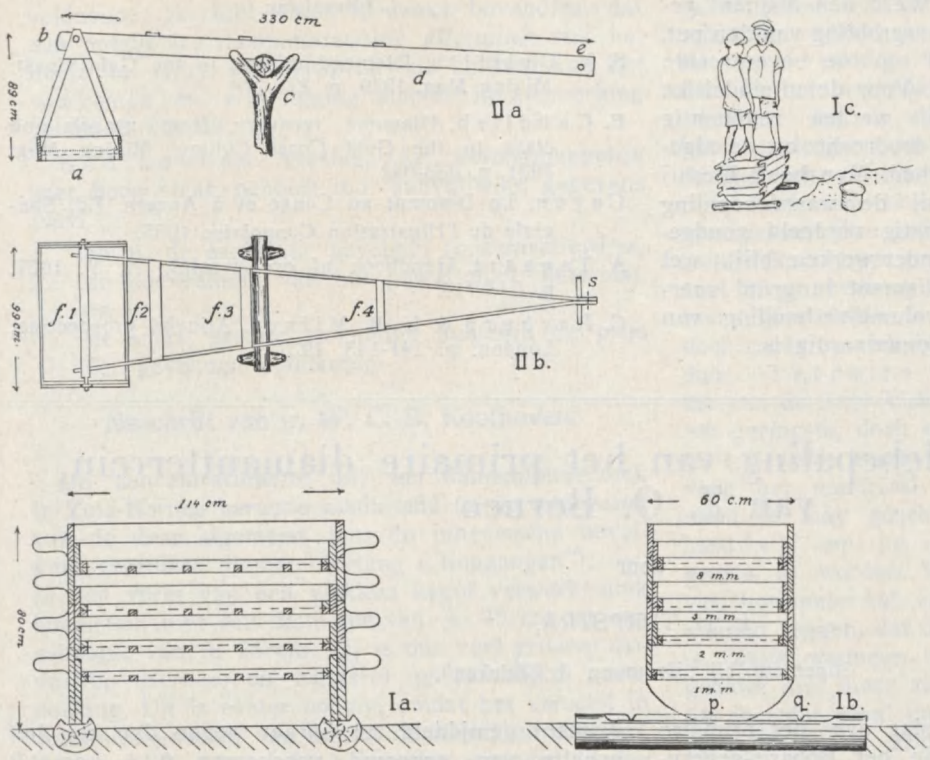


Fig. I. Afrikaansche shaker.

Op schaal geteekend in hoofdzaak naar Griffith.
Ia: langsdoorsnede; Ib: dwarsdoorsnede.
Ic: wijze waarop het toestel in werking wordt gesteld.
p: dwarsgleuven, voor het maken der langsgleuf.
q: steunvlakken, horizontaal afgesneden en versterkt met bandijzer.

Fig. II. Handjig.

Op schaal geteekend in haafdzaak naar Griffith & Candlish.
IIa: zij-aanzicht; IIb boven-aanzicht.
a: 1 mm zeef in jig.
b: vierkante staaf, welke wordt vastgeklemd met houten wigjes in de openingen van den hefboom. De uiteinden zijn rond.
c: bok, ter plaatse gemaakt.
d: hefboom, uit 2.10 cm breede planken, aan het rechter uiteinde afgeschaafd; door f_1, f_2 etc. uit elkaar gehouden. Bij c uitholling, ook bij b.
e: uitneembare stok, die als handle dient.
f: vastgespijkerde plankjes, die de hefboomarmen uit elkaar trekken.
s: schroef.

door korte, veerkrachtige rukjes, wordt het materiaal in lichter en zwaarder product gescheiden. Het lichte materiaal wordt na eenige zeer kleine rukjes, bij een iets scheefgehouden jig, afgeschraapt en weggeworpen. Het zware concentraat wordt vervolgens in zwarte, vlakke pannen onder een weinig water nader onderzocht. Meestal valt de diamant spoedig op door verschil in brekingssindex, en door den kristalvorm. Voor definitief onderzoek wordt het materiaal met behulp van een bamboe-splinter opzijgeschoven.

Voor een shaker- en jigploeg zijn noodig:
2 „shakerboys", 1 koelie voor het aanbrengen van water, 1 voor transport van het grind, 1 „jigboy" en 1 „scraperboy"; verder eenige koelies voor het maken van putten en rintissans. De „shaker" en jig worden door de bovengenoemde boys zelve getransporteerd. Vooral in het begin is het niet gemakkelijk, uit de geworven dragers, de menschen uit te zoeken, die voor één der uit te voeren handelingen een specialen aanleg blijken te bezitten. Van belang is, dat de mandoer alle manupulaties zoo goed mogelijk kent, om bij wisseling van koelies, weer als leermeester te kunnen optreden en ook om goede contrôle op het werk te kunnen uitoefenen.

Beschikt men niet over voldoende aantal dragers, dan gebruikt men de kleine „shaker-jig". Ze bestaat uit 3 zeven met maaswijdten van 4, 2, en 1 mm, welke geplaatst zijn in 3 in-elkaarpassende ramen (van 20 × 20 cm²). Ze zijn voorzien van handvatten, evenals de stevige ronde pan, waarin het zeefstel geplaatst wordt. Met dit apparaat wordt het materiaal ook zoo goed mogelijk gezeefd en gejigd; 2 man zijn noodig en het gewicht bedraagt ongeveer een ½-mans-vracht.

1 m³ grind zal een panner ongeveer 50 — 100 uren in beslag nemen; een kleine „shaker-jig" (waarvoor noodig een geoefend en een ongeoefend man) zal er 40 uren voor noodig hebben, terwijl de shaker en jig (waarvoor noodig: 4 geoefende en 1 ongeoefende) het in 8 uren verwerken kan.

Het is duidelijk, dat indien men een groot gebied moet onderzoeken (ik had indertijd de opdracht een gebied van 70 000 km² in Liberia op diamant en goud te onderzoeken), men moet trachten zoo spoedig mogelijk aanwijzingen voor de aanwezigheid van diamant op te sporen. In de eerste plaats, indien mogelijk, het moedergesteente van den diamant, n.l. Kimberliet of Algonkische gemetamorfoseerde ultra-basische eruptiva.

Echter kan ze ook afkomstig zijn van een secundaire of tertiaire ligplaats, dus van conglomeraten van verschillenden ouderdom. Geomorfologisch onderzoek der te onderzoeken landstreek voor het opsporen van valleien en onderzoek der begeleidende mineralen („indicators") mogen evenmin verwaarloosd worden.

Bij de „flying survey" onderzocht ik in de eerste plaats de grindafzettingen, waar de gunstigste afzettingsmogelijkheid van diamant verwacht kon worden. Deze bleken voor te komen beneden de binnenbocht der kleine riviertjes, en tot ongeveer

15 cm boven de „bedrock". Werd een diamant gevonden, dan volgde eerst een vergrooting van den put, teneinde te constateeren of op de bevoorrechte plaats meerdere voorkwamen. Voor de uiteindelijke waardebepaling eener vallei werden regelmatig putten aangezet op lijnen, loodrecht op de algemeene richting van het rivierbed. Men heeft hierbij dezelfde moeilijkheid als bij de waardebepaling van een gang met onregelmatig verdeeld goudgehalte. Hoe nauwkeurig men moet werken, blijkt wel uit het feit, dat indien de diamant in grind voorkomt met een onderlinge volume-verhouding van 1 : 13 000 000, deze nog afbouwwaardig is.

Literatuur.

S. V. Griffith. Diamond mining in the Gold Coast. Mining Mag. 1929, p. 271-278.

E. Candlish. Diamond recovery from gravels and clays in the Gold Coast Colony. Mining Mag. 1931, p. 333-342.

Cayen. Le Diamant au Congo et à Anvers. Ed. Spéciale de l'Illustration Congolaise 1935.

A. Taggart. Handbook of ore-dressing. N. Y. 1927, p. 713-714.

C. Raeburn & H. B. Milner. Alluvial prospecting. London. p. 141-143, 1927.

Over de waardebepaling van het primaire diamantterrein van Z. O. Borneo

door

ir. H. TERPSTRA,

ingenieur bij „Erdmann & Sielcken".

In het alleszins fraaie verslag over het primaire diamanthoudende gesteente in het Bobaris-gebergte van de hand van Koolhoven[1]), treffen we enkele conclusies omtrent de economische waarde der terreinen aan, die m.i. een nadere toelichting behoeven:

a. „De Pamali-breccie heeft slechts een zeer gering diamantgehalte" lezen we op pag. 226 van genoemd verslag. Deze meening berust op de resultaten van het onderzoek van:

1. verweerden en aangespoelden grond uit 17 putjes met een gezamenlijk gewicht van 10 t, waaruit 13 kleine diamantjes verkregen werden van minder dan 0,2 karaat.

2. op primitieve manier verstampt gesteente, verkregen uit schachtjes van max. 9 m diepte, nadat het gedurende 3 maanden aan de lucht was blootgesteld. Hieruit werden 2 diamantjes gewonnen.

Het onderzochte materiaal werd gedolven van een oppervlakte, dat in totaal ongeveer 20 m^2 omvat, terwijl volgens Koolhoven's fig. 5 het oppervlak van den dagzoom der breccie ongeveer 20 000 m^2 bedraagt. Aldus werd slechts ongeveer 0,1% van de pijpdoorsnede onderzocht, hetgeen m.i. de boven aangehaalde conclusie niet wettigt.

Bovendien lijkt mij de verwijzing naar de grens van de ontginbaarheid in Zuid-Afrika niet juist, daar in dit gebied de diamant in diepbouw gewonnen wordt (de Kimberley mijn bereikte in 1927 een diepte van 900 m). Tenslotte zij op het volgende gewezen: het diamantgehalte van de Premier-mijn bedraagt volgens Krenkel in 1928 0,2 karaat/t; dat van de Koffiefonteyn-mijn slechts 0,0625 karaat/t, terwijl de rijkste mijn 0,5 karaat /t produceerde. Neemt men aan, dat de Pamali-diamant gemiddeld 0,1 karaat weegt, dan zou het gehalte van genoemd voorkomen 0,13 karaat/t zijn, hetgeen méér is, dan dat van de Koffiefonteyn-mijn.

Ook is het van belang te weten, welke waschmethode bij de exploratie werd gebezigd. De „doelang" geeft toch een geringer rendement, dan de „shaker" en de „Joplin jig", die bij de prospectie in de Congo en in W.-Afrika in zwang zijn[2]).

b. Op p. 226 leest men: „Op drie andere plaatsen in den Bobaris-peridotiet werden breccies gevonden..... Een diamantgehalte kon niet worden aangetoond". Ook hier zijn gegevens over het volume der verwerkte breccie of grind, over de toegepaste waschmethode van noode, terwijl niet beoordeeld kan worden, of de putten wel op de plekken zijn aangebracht, die gunstig waren voor de afzetting van diamant.

c. We vinden op pag. 226 de mededeeling: „Andere terreinen dan het Bobaris-gebergte komen voor een nader onderzoek niet in aanmerking, er zijn tenminste geen aanwijzingen voor de aanwezigheid van diamant in die terreinen (o.a. het Meratoes-gebergte)". De steriliteit der op den Meratoes-peridotiet rustende conglomeraten wordt bewezen geacht (p. 211), omdat de goudwasscherij in deze streek nooit diamant opgeleverd heeft. Zouden echter wel alle diamantvondsten bekend geworden zijn? Bovendien kan m.i. op grond der in dit opzicht negatieve resultaten van een goudwasscherij, de afwezigheid van diamant niet geconcludeerd worden.

Naar mijn meening wordt aldus de algemeene conclusie, dat de kans om rijke primaire diamantafzettingen aan te treffen, zeer gering moet worden geacht, door de gepubliceerde gegevens niet

1) W. C. B. Koolhoven. Het primaire voorkomen van den Zuid Borneo-diamant. Verhand. Geol. Mijnb. Genootsch. (Geol. Serie), 9, 1935, p. 189-232.

2) H. Terpstra: Over waschtoestellen bij de exploratie naar diamant. Deze aflevering *Ing. Ned.-Indië* (IV).

voldoende gestaafd. Men bedenke bovendien, dat een ontginbare diamantafzetting allerminst rijk behoeft te zijn; ook factoren als omvang van het voorkomen en zijn ligging moeten in aanmerking genomen worden.

Koolhoven's verslag, dat wetenschappelijk zeer hoog staat, behoeft m.i. aanvullende gegevens t.a.v.

1. de bij de exploratie gevolgde concentratiewijze,
2. de hoeveelheid van het gewasschen materiaal, en
3. de soort, grootte en indien mogelijk de prijs der gevonden diamanten.

Naschrift van ir. W. C. B. Koolhoven.

De concentratiewijze bij het diamantonderzoek in Zuid-Borneo berustte uitsluitend op de toepassing van de daar algemeen door de inheemsche bevolking gebruikte diamant-doelang („linggangan"), een in den vorm van een vlakken kegel verwerkt stuk boomstam met een diameter van ± 80 cm en een ashoogte van ± 25 cm. Zij is dus veel grooter dan de op Borneo en Sumatra gebruikelijke gouddoelang. Dit is echter noodig, omdat het verschil in soortelijk gewicht van steriel materiaal en diamant, n.l. resp. ± 2,5 en 3,5 belangrijk geringer is dan dat van steriel materiaal en goud, n.l. resp. ± 2,5 en 15 à 20. De behandeling is dan ook iets anders dan bij het goudwasschen: na een poosje gedoelangd te hebben, wordt het materiaal met de vlakke hand op de doelang uitgestreken tot een dun laagje, dat goed bekeken wordt en waaruit men dan de diamantjes pikt, dan wordt verder gedoelangd en de vorige bewerking herhaald, enz. Het oog van den inheemschen diamantwasscher is dusdanig getraind, dat diamantjes tot ½ mg = 1/400 karaat er altijd uit gehaald worden en in onze collectie bevinden zich zelfs steentjes van 0,2 mg = 1/1000 karaat. De bij deze methode bereikte graad van nauwkeurigheid is dus meer dan voldoende, daar diamantjes van minder dan 1/400 karaat geen waarde meer hebben. Nu heeft Terpstra zeker gelijk, wanneer hij schrijft, dat de in de Congo en W.-Afrika gebruikelijke waschapparaten grooter rendement hebben dan de doelang. Doch bij het onderzoek in Zuid-Borneo ging het in de allereerste plaats om de nauwkeurigheid, d.w.z. om in het te onderzoeken materiaal ook werkelijk den kleinsten diamant te vinden en dit doel wordt met behulp van de daar in gebruik zijnde doelang volledig bereikt. Tot zoover de bij de exploratie gevolgde waschmethode.

Wat betreft de hoeveelheden van het uit de Pamali-breccie verwasschen materiaal en de daaruit verkregen diamantjes het volgende. Uit 17 ondiepe putjes met aangespoeld en tot een bruine aardachtige massa verweerd materiaal werden 10 ton verwasschen, waaruit 13 diamantjes verkregen werden met een gezamenlijk gewicht van 0,35 karaat (het grootste diamantje woog 0,1 karaat). Verder werd brecciemateriaal uit 2 schachten verwasschen, gewicht 15 ton, resultaat 2 diamantjes van tezamen 0,05 karaat. Het gehalte per ton van het materiaal uit de putjes bedraagt dus 0,035 karaat, dat van de schachten 0,0035 karaat. Deze cijfers moeten echter met de noodige voorzichtigheid beoordeeld worden. In het materiaal uit de putjes mag men verwachten, dat de diamant een zekere verrijking heeft ondergaan, evenals dit van sommige Zuid-Afrikaansche kimberlieten bekend is (de Premiermijn heeft een 12 — 17 m dikke deklaag van secundair verrijkte grond met een diamantgehalte tot ruim 1 karaat per ton, daaronder neemt het gehalte snel af en bedroeg in 1930 0,23 karaat per ton). Het cijfer 0,035 is dus eigenlijk nog geflatteerd, doch reeds op zich zelf lager dan de cijfers voor de door Terpstra genoemde Koffiefonteynpijp, die van de Zuid-Afrikaansche mijnen degene is met het geringste, doch nog te ontginnen diamantgehalte (± 0,08 karaat per ton) [1]). Het cijfer 0,0035 voor het materiaal uit de schachten daarentegen moet te laag geacht worden, omdat de breccie te hard was om in ijzeren mortieren volledig vergruisd te worden. Ik schat, dat ongeveer de helft van het materiaal voldoende vergruisd was om te kunnen zeggen, dat daaruit alle diamant gewasschen is. Zelfs wanneer men dit op 1/3 schat, zou het gehalte niet meer zijn dan 0,01 karaat, een cijfer, dat in ieder geval nog lang niet de ontginbaarheidsgrens van de armste Zuid-Afrikaansche mijnen bereikt. De kwaliteit der diamantjes was goed te noemen, n.l. overwegend waterhelder, hoogstens troebel door oppervlakkige huidjes, enkele zijn heel lichtbruin. De waarde van deze kleinsoortige diamantjes is echter gering, de 15 stuks bij elkaar zouden in Martapoera niet meer opbrengen dan *f* 0,50 à *f* 0,60. De breccie zou dus niet meer waard zijn dan ten hoogste *f* 0,05 per ton. Echter zal men goed doen deze, op zich zelf zeer ontmoedigende cijfers, toch nog met de noodige reserve te beschouwen, omdat, zooals Terpstra terecht opmerkt, er zeer weinig materiaal verwasschen is. De waarde van een diamantafzetting hangt n.l. niet in de eerste plaats van de kleine, doch veel meer van de meestal slechts relatief weinig voorkomende, doch kostbare groote diamanten. De mogelijkheid bestaat dus altijd, dat men bij verdere behandeling van de Pamali-breccie groote diamanten aantreft, die de beoordeeling van deze afzetting anders doen uitvallen. Ik acht echter deze mogelijkheid zeer gering, omdat noch in het eluviale + alluviale materiaal uit de 17, verspreid over het breccielichaam aangezette putjes, noch in het meer benedenstrooms in de S. Pamali verwasschen grind, waarin de diamant een nog verder gaande secundaire verrijking heeft ondergaan, ooit een diamant is aangetroffen, grooter dan 1/5 karaat, terwijl men verder in aanmerking te nemen heeft, dat de breccie zich (door tektonische oorzaken) niet naar de diepte voortzet. Op grond van al deze overwegingen werd het niet wenschelijk geacht het onderzoek van gouvernementswege voort te zetten.

Wat betreft de door Terpstra aangehaalde andere breccie's in den Bobarisperidotiet moge verwezen worden naar hetgeen daarvan op p. 202 en 203 van mijn publicatie opgemerkt is. Al deze

1) Bauer: Edelsteinkunde 1932, p. 399.

lichamen hebben dusdanig kleine afmetingen (maximaal ± 30 m), dat zij al daarom zeer geringe kans hebben afbouwwaardig te zijn.

Tenslotte moge nog naar aanleiding van Terpstra's opmerkingen ad c vermeld worden, dat de goudwasschers van Martapoera altijd tevens diamantwasschers zijn. Voor het goudwasschen gebruiken zij ook wel de kleine gouddoelang, doch meestal de groote diamantdoelang. Zij zijn ten allen tijde er op uit om behalve goud en platina, ook diamanten te vinden, zoodat men er zeker van kan zijn, dat in een goudhoudende streek, waarin zij géén diamanten aangetroffen hebben, deze er ook inderdaad niet zijn. De kans dat niet alle diamantvondsten bekend geworden zouden zijn, acht ik zeer gering. Vooral de onderzoekingen van Krol (Jaarb. Mijnwezen 1920, verh. I) zijn in dit opzicht zeer intensief geweest.

Terpstra's opmerkingen en vragen zoomede de bereidwilligheid van de Redactie van dit Tijdschrift plaatsruimte beschikbaar te stellen, hebben mij een dankbaar aangegrepen gelegenheid gegeven mijn eindconclusie's omtrent het primaire diamantvoorkomen in Zuid-Borneo nader toe te lichten, zoodat het thans voor een ieder beter mogelijk zal zijn de waarde ervan aan de feiten te toetsen.

ECONOMISCHE MEDEDEELINGEN.

Productiecijfers van Aardolie in kgtonnen.

	1936		1935	
	Sept.	t/m Sept.	Sept.	t/m Sept.
Java en Madoera	43 529,9	315 738,4	43 827,6	349 840,6
Noord-Sumatra	52 217,6	496 347,5	74 175,6	703 066,1
Palembang	229 675,1	2 046 710,1	221 868,1	1 811 644,5
Djambi	54 861,3	462 668,6	28 200,7	245 064,7
Oost-Borneo	89 571,3	754 022,2	80 676,4	761 269,7
Tarakan	58 105,4	551 630,1	70 570,3	616 727,1
Boenjoe	346,8	4 322,3	251,3	4 767,4
Ceram	4 832,–	35 489,4	3 766,7	30 967,9
Nederlandsch-Indië	533 139,4	4 666 928,6	523 336,7	4 523 348,–

Productiecijfers van Steenkolen in kgtonnen.

	1936		1935	
	Sept.	t/m Sept.	Sept.	t/m Sept.
Gouvernementsbedrijven	64 167	552 157	58 600	524 831
Steenkolen Mij „Parapattan"	20 880	189 560	20 000	191 380
Oost-Borneo Maatschappij	6 347 [1])	56 649	5 853	51 163
Loa-Boekit kolenmijnen..	2 200 [2])	23 568	3 258	28 296

1) Werkelijke productie over Aug. 1936 : 5 813 kgton.
2) Geschat.

Mijnbouw Maatschappij Redjang Lebong.

Gedurende de maand September werden:
8 100 tons erts vermalen van } 3,48 dwts. goud per ton.
gemiddeld } 20,7 „ zilver per ton.
2 240 „ sands en
5 940 „ slimes behandeld.

Geëxtraheerd werden ca. 1 385 ozs. goud en ca. 8 081 ozs. zilver ter gezamenlijke waarde van ± *f* 90 000,—.

De bedrijfskosten over September bedroegen ± *f* 52 000,—, terwijl voor prospecteeren werden uitgegeven ± *f* nihil.

Volgens een van de mijn ontvangen telegrafische mededeeling worden bij den afbouw der laatste ertspartijen in het mijnwerk Lebong Donok thans dergelijke ernstige moeilijkheden ondervonden, dat de ertswinning als gevolg daarvan tegen het midden van deze maand moet worden gestaakt.

De voorraad reeds gewonnen maar nog niet verwerkt erts zal de verwerkingsinstallatie, naar schatting van den bedrijfsleider, nog tot circa medio December a.s. in bedrijf kunnen houden.

Daarna zal het geheele bedrijf te Lebong Donok moeten worden stilgelegd.

Mijnbouw Maatschappij Simau.

Gedurende de maand September werden:
7 495 tons erts vermalen van } 9,21 dwts. goud per ton.
gemiddeld } 132,-- „ zilver per ton.
2 990 „ sands,
4 322 „ slimes en
265 „ concentraten behandeld.

Geëxtraheerd werden ca. 3 590 ozs. goud en ca. 44 588 ozs. zilver ter gezamenlijke waarde van ± *f* 251 000,—.

De bedrijfskosten over Sept. bedroegen ± *f* 105 000,—, terwijl voor montage werd uitgegeven ± *f* 3 000,— en voor prospecteeren der nieuwe vergunningen ± *f* 3 000,—.

PERSONALIA.

Verleend wegens zesjarigen dienst acht maanden verlof naar Europa aan ir. N. A. A. Smets, ingenieur bij den Dienst van den Mijnbouw, ingaande 16 Juni 1937.

Rectificaties September-aflevering.

Art. Tan Sin Hok, *Over verschillende paleontologische criteria voor de geleding van het Tertiair.*
p. 173, rechter kolom, regel 29 v.o., lees „Boven" i.p.v. „pre-Boven"
p. 173, „ „ „ 22 v.o., „ „Overigens" i.p.v. „Bovendien"
p. 177, linker „ „ „ 20 v.b., „ „hervorgehen" i.p.v. „erfolgen"
p. 177, „ „ „ 3 v.o., „ „erachte ich es als angängig" i.p.v. „erachte ich".

Art. H. Terpstra: *Eenige opmerkingen naar aanleiding van het Radium-houdend Uranium-erts in de Timorcollectie van den Dienst van den Mijnbouw.*
p. 180, rechter kolom, regel 18 en 17 v.o., lees „vrij-goud-gang" i.p.v. „alluviale goudafzetting".

3e JAARGANG
NUMMER 11

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

NOVEMBER
1936

VI. WATERBOUWKUNDE.

INHOUD: Beschouwingen over een 9-tal formules van den vorm $U = f(\eta, R, i)$ voor de berekening van kunstmatige en natuurlijke waterloopen, door ir. J. P. der Weduwen.

Beschouwingen over een 9-tal formules van den vorm $U = f(\eta, R, i)$ voor de berekening van kunstmatige en natuurlijke waterloopen

door

ir. J. P. DER WEDUWEN,

ingenieur bij 's Lands Waterstaat ter besch. v/d Prov. West-Java te Batavia-C.

Résumé. Etude comparative de neuf formules de la forme $U = f(\eta, R, i)$ pour calculer des cours d'eau artificiels et naturels.

Les formules de Gauckler-Manning, Forchheimer, Beyerhaus, de Chézy, Steevensz, Kutter, Ganguillet-Kutter, Bazin et Harder. La quantité i doit être définiée comme la pente du plan de charge. Le rapport entre les coëfficiënts d'uni et de rugosité des formules. Dérivation des formules d'approximation vers la formule $U = C_1 . R^{\alpha} . i^{\beta}$, dans laquelle $C_1 = C$ pour $R = 1$ m, pour les formules de Kutter, Ganguillet-Kutter, Bazin et Harder et examen des lois comprises dans les formules; l'irrégularité de la formule de Ganguillet-Kutter pour les grandes valeurs de R. Aperçu historique, y compris la formule de Darcy. Examen de la validité générale des formules.

Discussion de la formule de Gauckler-Manning; les formules de Gauckler-Manning et Bazin comparées aux résultats des expériences de Scobey. Discussion des formules de Steevensz et Bazin. Le caractère peu sûr des expériences exécutées dans le Mississippi par Humphreys et Abbot. Discussion des formules de Kutter et Ganguillet-Kutter; dérivation des exposants momentanes dans la formule de Ganguillet-Kutter. Discussion des formules de Beyerhaus et Harder.

Les neuf formules vérifiées au moyen de 345 expériences. Conclusion.

Inleiding.

Voor het berekenen van kunstmatige en natuurlijke waterloopen zijn sinds de 2de helft van de 18de eeuw door een groot aantal onderzoekers formules opgesteld, welke niet alleen zeer ver uiteenloopen wat hun structuur betreft, doch waarbij ook de grootheden, waaruit die formules zijn opgebouwd, een groote verscheidenheid vertoonen. Tot de belangrijkste en meest gebruikte formules moeten worden gerekend die, welke op meer of minder eenvoudige wijze een verband leggen tusschen de volgende 4 grootheden:

1e. de gemiddelde stroomsnelheid U in m/sec, d.i. het quotient van het debiet Q in m³/sec en het oppervlak van het doorstroomingsprofiel F in m²;

2e. de hydraulische straal R in m, d.i. het quotient van het oppervlak F in m² en den natten omtrek van het doorstroomingsprofiel O in m;

3e. het waterspiegelverhang i of meer in het algemeen het verhang van de energielijn;

4e. de snelheidscoëfficiënt η, waarvan de getalwaarde afhankelijk is van de geaardheid van bodem en wanden; zij komt onder 2 benamingen voor, n.l. als ruwheidscoëfficiënt, indien de getalwaarde toeneemt en als gladheidscoëfficiënt, indien die waarde afneemt bij toenemende ruwheid van bodem en wanden (zie de publicatie van ir. C. G. J. Vreedenburgh in *De Waterstaats-Ingenieur*, No. 9 — 1924).

Deze formules, welke in het algemeen worden geschreven in den vorm $U = f(\eta, R, i)$, kunnen in een drietal groepen worden verdeeld.

A. De exponentieele formules.

Deze groep wordt gevormd door de formules van de gedaante

$$U = K \cdot R^p \cdot i^q,$$

waarin de correctiecoëff. K recht-evenredig is met den gladheidscoëff. of omgekeerd-evenredig met den ruwheidscoëff. en de exponenten p en q constante getallen zijn. Tot deze groep behooren o.m.:

a. de formule van Gauckler-Manning
$$U = K \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2},$$

b. de formule van Forchheimer
$$U = K \cdot R^{0,70} \cdot i^{1/2},$$

c. de formule van Beyerhaus
$$U = K \cdot R^{0,70} \cdot i^{0,46},$$

d. de oorspronkelijke formule van de Chézy
$$U = K \cdot R^{1/2} \cdot i^{1/2}.$$

B. De semi-exponentieele formules.

Deze groep omvat de formules van de gedaante $U = K \cdot R^p \cdot i^\beta$, $U = K \cdot R^\alpha \cdot i^q$ en $U = K \cdot R^\alpha \cdot i^\beta$, waarin de correctiecoëff. K en de exponenten p en q dezelfde beteekenis hebben als bij de voorgaande groep, terwijl de exponenten α en β elk een functie zijn van één der grootheden R, i en η. Tot deze groep behoort o.m.:

e. de formule van Steevensz

$$U = \frac{1}{n} \cdot R^{10 \cdot n + 0{,}49} \cdot i^{1/2}$$

C. De niet-exponentieele formules.

Hiertoe moeten worden gerekend de formules niet behoorende tot een der beide bovengenoemde groepen.

Van deze groep maken o.m. deel uit de formules, welke de formule van de Chézy tot grondslag hebben, doch hiervan in zooverre afwijken, dat de correctiecoëff. een functie is van η en R, η en i of η, R en i, zooals:

f. de formule van Kutter

$$U = \frac{100}{1 + \frac{b}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i},$$

g. de formule van Ganguillet-Kutter:

$$U = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i},$$

h. de formule van Bazin:

$$U = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i},$$

i. de formule van Harder:

$$U = (c + 7{,}254 \cdot \sqrt{R}) \cdot \sqrt{R \cdot i},$$

in welke formules de coëff. η wordt uitgedrukt door resp. b, n, γ en c.

Verder maken van deze groep deel uit de formules, welke in zooverre van de onder groep *B* gedefinieerde afwijken, dat de correctiecoëff. K niet meer rechtevenredig of omgekeerd-evenredig is met den snelheidscoëff. η, doch meer in het algemeen een functie daarvan, en ten minste één der exponenten α en β een functie is van twee der grootheden η, R en i of van alle drie. Hiertoe moeten worden gerekend de benaderingsformules der onder *f*, *g*, *h* en *i* genoemde formules:

voor de formule van Kutter:

$$U = \frac{100}{1 + b} \cdot R^{\frac{2 \cdot b + R^{1/4}}{2 \cdot (b + R^{1/4})}} \cdot i^{1/2},$$

voor de formule van Ganguillet-Kutter:

$$U = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2 \cdot (23 + \frac{0{,}00155}{i}) + R^{1/4}}{2 \cdot \left\{(23 + \frac{0{,}00155}{i}) \cdot n + R^{1/4}\right\}}} \cdot i^{1/2},$$

voor de formule van Bazin:

$$U = \frac{87}{1 + \gamma} \cdot R^{\frac{2 \cdot \gamma + R^{1/4}}{2 \cdot (\gamma + R^{1/4})}} \cdot i^{1/2},$$

voor de formule van Harder:

$$U = (c + 7{,}254) \cdot R^{\frac{0{,}2757 \cdot c + 4 \cdot R^{1/4}}{2 \cdot (0{,}2757 \cdot c + 2 \cdot R^{1/4})}} \cdot i^{1/2}.$$

(Op de afleiding en beteekenis van deze benaderingsformules zal nog nader worden teruggekomen).

Met bovenstaande indeeling in groepen valt samen een indeeling naar de wijze, waarop het verband tusschen de grootheden U, R, i en η grafisch kan worden voorgesteld.

Dit verband kan voor de exponentieele formules (groep *A*) worden weergegeven door een eenvoudig, rechtlijnig nomogram met evenwijdige schaaldragers.

Voor de semi-exponentieele formules (groep *B*) kan dit verband worden uitgebeeld door middel van een eveneens rechtlijnig nomogram, doch bestaande uit een aantal verticale schaaldragers en leeslijnen en één of twee horizontale schaaldragers, afhankelijk van het voorkomen van één of twee exponenten, elk als functie van één der grootheden R, i of η. De schaaldragers van deze exponenten α en β staan nu loodrecht op die van de grootheden R resp. i en wel in de punten $R = 1$ resp. $i = 1$. Bovendien zijn behalve de onderling evenwijdige schaaldragers van R en i nog hieraan evenwijdig loopende leeslijnen voor R^α en i^β noodig.

Voor de niet-exponentieele formules (groep *C*) kan dit verband niet door een rechtlijnig nomogram worden voorgesteld. De formules van Kutter, Bazin en Harder zijn echter wel grafisch weer te geven door een nomogram met één of twee gebogen schaaldragers (Van de formule van Bazin komt een afbeelding voor in „Hydraulik" van Ph. Forchheimer, 3de druk blz. 148).

De onder *a* t/m *i* genoemde formules zijn nu nader onderzocht en getoetst aan de uitkomsten van een 345-tal metingen verricht in een groot aantal kunstmatige en natuurlijke waterloopen, omvattende het geheele gebied, gelegen tusschen aquaducten met zeer gladde en rivieren met zeer onregelmatige wanden.

Het verhang.

Het verhang i wordt in den regel gedefinieerd als het verhang van den waterspiegel. Dit is slechts in zooverre juist, indien in de beschouwde strekking van den waterloop de waterbeweging eenparig is; treedt in die strekking een versnelling of vertraging van de waterbeweging op, dan is dit niet meer het geval.

Zijn F_1 en F_2 resp. het oppervlak van het doorstroomingsprofiel aan de boven- en benedenstroomsche zijde van de beschouwde strekking, dan zal, indien daarin een versnelling of vertraging van de waterbeweging plaats heeft, het tusschen de doorsneden *1* en *2* opgemeten verval vermeerderd moeten worden met:

$$z = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot g} = \frac{Q^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{1}{F_1^2} - \frac{1}{F_2^2} \right)$$

om bij benadering het verhang te kunnen vaststellen, dat noodig is voor het behoud van de gemiddelde snelheid in doorsnede *1*.

Het verhang, dat in rekening moet worden gebracht, is derhalve niet het gemiddelde verhang van den waterspiegel, doch het verhang van de energielijn (in den vervolge „waterspiegelverhang" resp. „maatgevend verhang" genoemd).

Het was E. Beyerhaus, die in zijn artikel: „Geschwindigkeitsformeln für Wasserläufe und massgebendes Gefälle, Mängel der Ganguillet-Kutterschen Formel und Darlegung eines geeigneten Ersatzes", verschenen in *Der Bauingenieur* Jrg. 1921 Nos. 18 en 19, hierop de aandacht vestigde en de twijfel uitsprak of hiermede wel voldoende rekening is gehouden bij het verrichten van metingen in natuurlijke waterloopen.

Uit het bovenstaande volgt, dat bij versnelling resp. vertraging van de waterbeweging het maatgevend verhang kleiner resp. grooter zal zijn dan het waterspiegelverhang, d. w. z. de verhouding $\frac{\text{maatgevend verhang}}{\text{waterspiegelverhang}}$ is in het eerste geval kleiner dan 1 en in het tweede geval grooter dan 1.

Is nu het waterspiegelverhang $= w$ en de afwijking van het maatgevend verhang t.o.v. het waterspiegelverhang:

$$z' = \frac{\frac{Q^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{1}{F_1^2} - \frac{1}{F_2^2} \right)}{L},$$

waarin $L =$ de lengte van de beschouwde strekking, dan stellen $w - z'$ en $w + z'$ het maatgevend verhang voor bij de versnelde resp. vertraagde waterbeweging. De werkelijke waarde van i in de formule $U = C \cdot \sqrt{R \cdot i}$ is derhalve in het eerste geval $\frac{w - z'}{w}$ en in het tweede geval $\frac{w + z'}{w}$ maal zoo groot als het waterspiegelverhang, zoodat de werkelijke waarde van den coëff. C zal moeten zijn $C \cdot \sqrt{\frac{w}{w - z'}}$, indien de waterbeweging versneld en $C \cdot \sqrt{\frac{w}{w + z'}}$, indien zij vertraagd is.

Nu is:

$$C \cdot \sqrt{\frac{w}{w - z'}} - C > C - C \cdot \sqrt{\frac{w}{w + z'}}$$

immers in het algemeen is voor waarden van $a < 1$

$$\sqrt{\frac{1}{1 - a}} - 1 > 1 - \sqrt{\frac{1}{1 + a}}$$

waaruit volgt, dat de fout gemaakt bij verwaarloozing van de snelheidshoogte bij de versnelde waterbeweging grooter is dan bij de vertraagde.

Het verschil tusschen het waterspiegelverhang en het maatgevend verhang zal in verhouding grooter zijn, naarmate:

1e. het waterspiegelverhang kleiner,

2e. de gemiddelde snelheid grooter is.

In het algemeen is bij groote waterdiepte, dus groote R, het waterspiegelverhang klein en de gemiddelde snelheid groot, zoodat in dit geval het in rekening brengen van het waterspiegelverhang i.p.v. het maatgevend verhang aanleiding kan geven tot zeer belangrijke fouten.

In 1861 verscheen van de onderzoekers A. A. Humphreys en H. L. Abbot een publicatie: „Report upon the physics and hydraulics of the Mississippi River", waarin de uitkomsten werden medegedeeld van een tiental door de schrijvers in het jaar 1851 verrichte metingen in de Mississippi bij Carrollton, Columbus en Vicksburg (zie het hfdst.: „Critiek op de metingen van Humphreys en Abbot in de Mississippi"). Uit een der metingen bij laatstgenoemde plaats werd gevonden: $U = 1{,}93$ m/sec, $R = 17{,}48$ m en $i = 0{,}0000481$. De gemiddelde snelheid en het waterspiegelverhang werden gemeten in een rivierstrekking van bepaalde lengte, terwijl de waarde van R werd gevonden als gemiddelde van een aantal in die strekking opgemeten dwarsprofielen.

Stel nu, dat deze strekking een lengte had van b.v. 2 000 m en dat het oppervlak van het doorstroomingsprofiel geleidelijk toenam, zoodanig dat het aan de benedenstroomsche zijde 10% grooter was dan aan de bovenstroomsche. Dan moet de gemiddelde snelheid bij de intrede in die strekking hebben bedragen $1{,}05 \cdot 1{,}93 = 2{,}027$ m/sec en bij de uittrede $0{,}95 \cdot 1{,}93 = 1{,}834$ m/sec. Het maatgevend verhang behoorende bij de snelheid van 2,027 m/sec zou dan zijn geweest:

$$0{,}000\,0481 + \frac{2{,}027^2 - 1{,}834^2}{2000 \cdot 2 \cdot g} = 0{,}000\,0481 +$$

$$+ 0{,}000\,0190 = 0{,}000\,0671.$$

Wordt nu nog aangenomen, dat aan de bovenstroomsche zijde, waar $F = 0{,}95 \cdot F_{gem}$, $R = \sqrt{0{,}95} \cdot R_{gem} = 17{,}03$ m, dan zou voor den coëff. C in de formule $U = C \cdot \sqrt{R \cdot i}$ zijn gevonden:

$$C = \frac{2{,}027}{\sqrt{17{,}03 \cdot 0{,}000\,0671}} = 59{,}9$$

i.p.v.

$$C = \frac{1{,}93}{\sqrt{17{,}48 \cdot 0{,}000\,0481}} = 66{,}2.$$

Had in plaats van de hierboven veronderstelde vertraagde waterbeweging een versnelde plaats gehad, dan zou het maatgevend verhang zijn geweest:

$$0{,}000\,0481 - 0{,}000\,0190 = 0{,}000\,0291$$

waaruit dan volgt voor den coëff. C:

$$C = \frac{1{,}834}{\sqrt{17{,}92 \cdot 0{,}000\,0291}} = 80{,}3.$$

Een nog sprekender voorbeeld is het volgende, eveneens voorkomende in bovengenoemd rapport.

Bij Carrollton werd gemeten: $U = 1{,}23$ m/sec, $R = 22{,}41$ m en het zeer geringe verhang $i = 0{,}0000034$. Onder dezelfde omstandigheden als golden voor het voorgaande geval, zou aan de bovenstroomsche zijde van de beschouwde rivierstrekking een gemiddelde snelheid zijn opgetreden van 1,292 m/sec en aan de benedenstroomsche zijde van 1,169 m/sec. Het maatgevend verhang zou dan zijn geweest:

$$0{,}000\,0034 + \frac{1{,}292^2 - 1{,}169^2}{2\,000 \cdot 2 \cdot g} = 0{,}000\,0111$$

d.w.z. het maatgevend verhang is ruim 3 maal zoo groot als het opgemeten waterspiegelverhang. Voor den coëff. C zou nu zijn gevonden:

$$C = \frac{1{,}292}{\sqrt{21{,}84 \cdot 0{,}000\,0111}} = 83{,}0$$

i.p.v.

$$C = \frac{1{,}23}{\sqrt{22{,}41 \cdot 0{,}000\,0034}} = 140{,}4.$$

Uit de op de Mississippi verrichte metingen werd de conclusie getrokken, dat bij groote waterdiepte, vooral indien dit samengaat met een gering waterspiegelverhang, de invloed van het verhang op de gemiddelde snelheid slechts gering is, zoodat de exponent van i in de formule $U = K \cdot R^{\alpha} \cdot i^{\beta}$ bij toenemende waterdiepte zou afnemen. Van de 9 genoemde formules is die van Ganguillet-Kutter de eenige, waarin deze conclusie tot uitdrukking komt, zooals nader zal worden aangetoond.

Het verrichten van metingen in een bepaalde strekking van een natuurlijken waterloop zal op de volgende wijze moeten plaats hebben.

In een aantal op niet te grooten afstand van elkaar gelegen dwarsprofielen worden zoodanige metingen verricht, dat daaruit de grootheden F en R kunnen worden berekend. Tevens wordt nu voor elk dezer profielen de daarin optredende gemiddelde snelheid zoo nauwkeurig mogelijk bepaald, zoodat eventueel met behulp van de methode der Kleinste Vierkanten de meest waarschijnlijke waarde van het debiet kan worden becijferd. Tegelijkertijd wordt in elk dezer profielen en zoo noodig nog in enkele profielen boven- en benedenstrooms van de onderzochte strekking, het peil van den waterspiegel nauwkeurig opgemeten. Met behulp van de op deze wijze verkregen gegevens kan de energielijn worden geconstrueerd; het maatgevend verhang in een bepaalde doorsnede wordt dan althans bij kleine verhangen uitgedrukt door den sinus van den hoek, welke de raaklijn aan de energielijn in die doorsnede maakt met den horizontaal.

De coëfficiënt η en de coëfficiënt van de Chézy.

In de 9 in de inleiding genoemde formules wordt de snelheidscoëfficiënt η uitgedrukt als in de laatste kolom van onderstaanden *staat* aangegeven is.

a.	Gauckler-Manning	$U = K \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$	K_G	gladh. coëff.
b.	Forchheimer	$U = K \cdot R^{0{,}70} \cdot i^{1/2}$	K_F	gladh. coëff.
c.	Beyerhaus	$U = K \cdot R^{0{,}70} \cdot i^{0{,}46}$	K_B	gladh. coëff.
d.	de Chézy	$U = K \cdot R^{1/2} \cdot i^{1/2}$	K_C	gladh. coëff.
e.	Steevensz	$U = \frac{1}{n} \cdot R^{10 \cdot n + 0{,}49} \cdot i^{1/2}$	n_S	ruwh. coëff.
f.	Kutter	$U = \frac{100}{1 + \frac{b}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i}$	b	ruwh. coëff.
g.	Ganguillet-Kutter	$U = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i}$	n_G	ruwh. coëff.
h.	Bazin	$U = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i}$	γ	ruwh. coëff.
i.	Harder	$U = (c + 7{,}254 \cdot \sqrt{R}) \cdot \sqrt{R \cdot i}$	c	gladh. coëff.

Om nu een onderling verband te kunnen zoeken tusschen de coëfficiënten η zijn de bovengenoemde formules herleid tot den vorm $U = C \cdot \sqrt{R \cdot i}$, waarin de correctiecoëff. C, als gevolg van de overeenkomst tusschen deze formule en de oorspronkelijke formule van de Chézy, in den vervolge de coëfficiënt van de Chézy zal worden genoemd. Deze coëfficiënten zijn nu:

Staat I.

	Formule van:	Coëfficiënt van de Chézy
a.	Gauckler-Manning	$C = K_G \cdot R^{1/6}$
b.	Forchheimer	$C = K_F \cdot R^{0,20}$
c.	Beyerhaus	$C = K_B \cdot R^{0,20} \cdot i^{-0,04}$
d.	de Chézy	$C = K_{Ch}$
e.	Steevensz	$C = \frac{1}{n_S} \cdot R^{10 \cdot n_S - 0,01}$
f	Kutter	$C = \frac{100}{1 + \frac{b}{\sqrt{R}}}$
g.	Ganguillet-Kutter	$C = \frac{23 + \frac{1}{n_G} + \frac{0,00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{i}\right)\frac{n_G}{\sqrt{R}}}$
h.	Bazin	$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$
i.	Harder	$C = c + 7,254 \cdot \sqrt{R}$

De coëff. C komt derhalve voor:

1e) als $f(\eta)$ in de oorspronkelijke formule van de Chézy;

2e) als $f(\eta, R)$ in de formules van Gauckler-Manning, Forchheimer, Steevensz, Kutter, Bazin en Harder; en

3e) als $f(\eta, R, i)$ in de formules van Beyerhaus en Ganguillet-Kutter.

De omstandigheid, dat de coëfficiënten C in deze formules voorkomen als functies van één of meer onafhankelijk veranderlijken, leidt tot de conclusie, dat het niet mogelijk is tusschen deze coëfficiënten een verband te leggen onafhankelijk van de grootheden R en i.

Nu behoort bij één bepaalde waarde van U, R en i slechts één waarde van C. Stelt men nu de coëfficiënten C aan elkaar gelijk, dan blijkt onmiddellijk, dat het eveneens onmogelijk is een verband te leggen tusschen de coëfficiënten η onafhankelijk van R en i.

Hieruit kan worden afgeleid, dat een indeeling van de geaardheid van bodem en wanden in categorieën naar graden van ruwheid, welke voor alle formules dezelfde gevallen omvatten, niet mogelijk is. De oorzaak hiervan moet worden gezocht in de omstandigheid, dat van het begrip „graad van ruwheid" geen definitie kan worden gegeven; met de exacte omschrijving van dit begrip zou de belangrijkste stap gedaan zijn voor het verkrijgen van de juiste formule voor de berekening van leidingen en waterloopen.

Om nu toch eenigszins een indruk te krijgen van de onderlinge verhouding der snelheidscoëfficiënten in de verschillende formules, zullen in de eerste plaats voor een bepaalde waarde van R de coëfficiënten C aan elkaar gelijk gesteld moeten worden. Waar hier te lande voor het gebruik van deze formule de irrigatiepractijk overheerscht, ligt het voor de hand, de keuze van R hiernaar te richten. In verband hiermede kan $R = 1$ m worden beschouwd als een goede gemiddelde waarde. Deze keuze heeft bovendien nog het groote voordeel, dat juist bij deze waarde van R een eenvoudig verband tusschen de coëfficiënten η onderling ontstaat:

$$K_G = K_F = K_B \cdot i^{0,04} = K_{Ch} = \frac{1}{n_S} =$$

$$= \frac{100}{1+b} = \frac{1}{n_G} = \frac{87}{1+\gamma} = c + 7,254.$$

(Voor een meer gedetailleerd verband tusschen de ruwheidscoëfficiënten van Bazin en Ganguillet-Kutter eenerzijds en de gladheidscoëfficiënten van Strickler (= Gauckler-Manning) anderzijds, moge worden verwezen naar de publicatie van ir. G. Meesters: „De snelheidscoëfficiënt in de formules van Bazin, Strickler en Ganguillet-Kutter voor de berekening van open leidingen", verschenen in dit tijdschrift, No. 4 — 1934).

Bazin stelde voor zijn formule naar den graad van ruwheid een zestal categorieën vast:

Cat.	Omschrijving:	
I	Zeer gladde wanden (cement, geschaafd hout, beton)	$\gamma = 0,06$
II	Gladde wanden (planken, hardsteen, baksteen)	$\gamma = 0,16$
III	Weinig gladde wanden (breuksteenmetselwerk)	$\gamma = 0,46$
IV	Zeer regelmatige aarden wanden	$\gamma = 0,85$
V	Weinig regelmatige aarden wanden	$\gamma = 1,30$
VI	Zeer onregelmatige aarden wanden	$\gamma = 1,75$

Deze indeeling is nu ook bij de andere formules gevolgd. Met behulp van het hierboven afgeleide verband tusschen de coëfficiënten η voor $R = 1$ m en bovenstaande γ-waarden, zijn de overeenkomstige waarden der ruwheids- en gladheidscoëfficiënten berekend:

$R = 1$ m **Staat II**

Cat.	γ	K_G	K_F	K_B			K_{Ch}	n_S	b	n_G *)	c
				$i =$ 0,005000	$i =$ 0,000300	$i =$ 0,000050					
I	0,06	82,08	82,08	66,41	59,35	55,24	82,08	0,0122	0,218	0,0122	74,82
II	0,16	75,00	75,00	60,68	54,23	50,47	75,00	0,0133	0,333	0,0133	67,75
III	0,46	59,59	59,59	48,21	43,09	40,10	59,59	0,0168	0,678	0,0168	52,34
IV	0,85	47,03	47,03	38,05	34,01	31,65	47,03	0,0213	1,126	0,0213	39,77
V	1,30	37,83	37,83	30,61	27,35	25,46	37,83	0,0264	1,643	0,0264	30,57
VI	1,75	31,64	31,64	25,60	22,88	21,29	31,64	0,0316	2,161	0,0316	24,38

*) voor alle waarden van i.

De in dezen *staat* gegeven cijfers zijn te beschouwen als de ruwheids- c.q. gladheidscoëfficiënten voor de genoemde categorieën, waarbij voor K_B kunnen gelden de cijfers gevonden bij $i = 0{,}000\,300$, welk verhang in de irrigatiepractijk wel als gemiddelde mag worden aangenomen.

Tusschen deze categorieën zijn de grenswaarden, welke uiteraard niet scherp kunnen worden aangegeven, gesteld op het gemiddelde van 2 opvolgende waarden van γ, derhalve:

grens	I—II	$\gamma = 0{,}11$
„	II—III	$\gamma = 0{,}31$
„	III—IV	$\gamma = 0{,}655$
„	IV—V	$\gamma = 1{,}075$
„	V—VI	$\gamma = 1{,}525$

In den volgenden *staat* zijn nu, eveneens voor $R = 1$ m, de overeenkomstige waarden der coëfficiënten η berekend, welke cijfers, evenals die in den voorgaanden *staat*, slechts een betrekkelijke waarde bezitten:

R = 1 m **Staat III**

Grens	γ	K_G	K_F	K_B			K_{Ch}	n_S	b	n_G *)	c
				$i =$ 0,005000	$i =$ 0,000300	$i =$ 0,000050					
I – II	0,11	78,38	78,38	63,41	56,66	52,74	78,38	0,0128	0,276	0,0128	71,13
II – III	0,31	66,41	66,41	53,72	48,73	44,69	66,41	0,0151	0,506	0,0151	59,16
III – IV	0,655	52,57	52,57	42,53	38,00	35,37	52,57	0,0190	0,903	0,0190	45,32
IV – V	1,075	41,93	41,93	33,92	30,31	28,21	41,93	0,0238	1,385	0,0238	34,68
V – VI	1,525	34,46	34,46	27,88	24,91	23,19	34,46	0,0290	1,902	0,0290	27,21

*) voor alle waarden van i.

In een achttal grafieken zijn voor de waarden van R tusschen 0,1 en 10 m de bovengenoemde grenswaarden van γ als functie van R en telkens een der coëfficiënten η uitgezet, en tevens de cijferwaarden van deze coëfficiënten uit bovenstaanden *staat*, deze laatste als verticalen. Uitgaande van:

$$\frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} = C \quad \text{of} \quad \gamma = \frac{87 - C}{C} \cdot R^{1/2}$$

stellen deze grafieken achtereenvolgens voor:

$$\gamma = \frac{87 \cdot R^{1/2}}{K_G} - R^{1/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(fig. 1)}$$

$$\gamma = \frac{87 \cdot R^{3/10}}{K_F} - R^{1/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(fig. 2)}$$

$$\gamma = \frac{62{,}90 \cdot R^{3/10}}{K_B} - R^{1/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(fig. 3)}$$

$$\gamma = \frac{87 - K_{Ch}}{K_{Ch}} \cdot R^{1/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(fig. 4)}$$

$$\gamma = \frac{87 \cdot n_S}{10 \cdot n_S - 0{,}01} - R^{1/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(fig. 5)}$$

$$\gamma = \frac{87 \cdot b - 13 \cdot R^{1/2}}{100} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(fig. 6)}$$

$$\gamma = \frac{87 \cdot n_G \cdot (R^{1/2} + A \cdot n_G)}{1 + A \cdot n_G} - R^{1/2} \quad \ldots \text{(fig. 7)}$$

waarin $A = 23 + \frac{0{,}00155}{i}$, en

$$\gamma = \frac{87}{c + 7{,}254 \cdot R^{1/2}} - R^{1/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(fig. 8)}$$

Wat de grafiek $\gamma = f(K_B, R)$ betreft (*fig. 3*), moet worden opgemerkt, dat deze is geteekend voor $i = 0{,}000\,300$. Voor alle andere waarden van i blijft de grafiek geheel conform, alleen met dit verschil, dat de op de horizontale as uitgezette waarden van K_B moeten worden vermenigvuldigd met den factor $\left(\frac{i}{0{,}000\,300}\right)^{0{,}04}$.

Uit de grafiek Bazin-Gauckler-Manning (*fig. 1*) blijkt nu b.v., dat voor $R = 2{,}00$ m en $K_G = 47{,}50$ de ruwheidsgraad van den onderzochten waterloop zoowel volgens Bazin als volgens Gauckler-Manning behoort tot categorie IV, daarentegen voor $R = 0{,}30$ m en $K_G = 31{,}50$ volgens Bazin tot categorie V en volgens Gauckler-Manning tot categorie VI.

Voor de verschillende categorieën is nu nog de verhouding tusschen de C-waarden bij $R = 0{,}2$, 0,5, 2, 5 en 10 m en de C-waarde bij $R = 1$ m berekend. Worden deze verhoudingsgetallen vermenigvuldigd met $\sqrt{R}$, dan ontstaat de verhouding tusschen de gemiddelde snelheden bij de 5 bovengenoemde waarden van R en de gemiddelde snelheid bij $R = 1$ m, indien i constant blijft. Immers zijn U_1 en C_1 de bij $R = 1$ m gevonden waarden van de gemiddelde snelheid en den coëff. van de Chézy, dan is:

$$\frac{U}{U_1} = \frac{C}{C_1} \cdot \sqrt{R}$$

Staat IV

Categorie	R	Gauckler-Manning	Forchheimer	Beyerhaus	de Chézy	Steevensz	Kutter	Ganguillet-Kutter $i = 0{,}005000$	Ganguillet-Kutter $i = 0{,}000300$	Ganguillet-Kutter $i = 0{,}000050$	Bazin	Harder
I	0,2	0,34	0,32	0,32	0,45	0,37	0,37	0,35	0,34	0,30	0,42	0,43
	0,5	0,63	0,61	0,61	0,71	0,65	0,66	0,65	0,64	0,61	0,69	0,69
	2,0	1,59	1,63	1,63	1,41	1,53	1,49	1,51	1,53	1,60	1,44	1,47
	5,0	2,93	3,09	3,09	2,24	2,68	2,48	2,55	2,61	2,86	2,31	2,48
	10,0	4,64	5,01	5,01	3,16	4,09	3,60	3,73	3,83	4,34	3,30	3,77
II	0,2	0,34	0,32	0,32	0,45	0,37	0,34	0,35	0,34	0,30	0,38	0,42
	0,5	0,63	0,61	0,61	0,71	0,65	0,64	0,64	0,64	0,60	0,67	0,69
	2,0	1,59	1,63	1,63	1,41	1,54	1,53	1,52	1,54	1,61	1,47	1,47
	5,0	2,93	3,09	3,09	2,24	2,73	2,60	2,57	2,63	2,91	2,42	2,50
	10,0	4,64	5,01	5,01	3,16	4,20	3,81	3,77	3,89	4,43	3,49	3,82
III	0,2	0,34	0,32	0,32	0,45	0,35	0,30	0,33	0,32	0,28	0,32	0,42
	0,5	0,63	0,61	0,61	0,71	0,63	0,61	0,63	0,62	0,59	0,63	0,68
	2,0	1,59	1,63	1,63	1,41	1,58	1,60	1,54	1,56	1,64	1,56	1,49
	5,0	2,93	3,09	3,09	2,24	2,89	2,88	2,65	2,72	3,03	2,71	2,57
	10,0	4,64	5,01	5,01	3,16	4,55	4,37	3,92	4,05	4,69	4,03	3,99
IV	0,2	0,34	0,32	0,32	0,45	0,32	0,27	0,32	0,31	0,27	0,29	0,41
	0,5	0,63	0,61	0,61	0,71	0,61	0,58	0,62	0,61	0,58	0,59	0,68
	2,0	1,59	1,63	1,63	1,41	1,63	1,67	1,57	1,59	1,68	1,64	1,51
	5,0	2,93	3,09	3,09	2,24	3,10	3,16	2,74	2,82	3,18	3,00	2,66
	10,0	4,64	5,01	5,01	3,16	5,05	4,96	4,09	4,25	4,99	4,70	4,22
V	0,2	0,34	0,32	0,32	0,45	0,30	0,25	0,30	0,29	0,26	0,26	0,40
	0,5	0,63	0,61	0,61	0,71	0,59	0,56	0,61	0,60	0,57	0,57	0,67
	2,0	1,59	1,63	1,63	1,41	1,69	1,73	1,59	1,62	1,71	1,69	1,53
	5,0	2,93	3,09	3,09	2,24	3,36	3,41	2,83	2,93	3,31	3,25	2,77
	10,0	4,64	5,01	5,01	3,16	5,68	5,50	4,28	4,47	5,29	5,16	4,47
VI	0,2	0,34	0,32	0,32	0,45	0,27	0,24	0,29	0,28	0,25	0,25	0,39
	0,5	0,63	0,61	0,61	0,71	0,57	0,55	0,60	0,59	0,56	0,56	0,66
	2,0	1,59	1,63	1,63	1,41	1,75	1,77	1,62	1,64	1,74	1,74	1,55
	5,0	2,93	3,09	3,09	2,24	3,66	3,59	2,92	3,02	3,43	3,45	2,87
	10,0	4,64	5,01	5,01	3,16	6,40	5,94	4,52	4,66	5,56	5,60	4,73

Wellicht ten overvloede moge er op worden gewezen, dat bij het opstellen van dezen *staat* is uitgegaan van de veronderstelling, dat deze formules bij een constante waarde van i en $R = 1$ m, alle dezelfde uitkomst geven voor de gemiddelde snelheid.

Onderzoek naar de in de formules tot uitdrukking komende wetten.

Om de wetten te kunnen onderzoeken, welke in de reeds meermalen genoemde formules tot uitdrukking worden gebracht, zijn deze formules, voor zoover zij nog niet in dezen vorm voorkomen, herleid tot de gedaante:

$$U = K \cdot R^{\alpha} \cdot i^{\beta}.$$

In het algemeen kunnen echter formules niet worden herleid tot een in wezen geheel verschillende gedaante, zoodat de formules ontstaan na de herleiding uiteraard benaderingsformules zijn.

De formules van Gauckler-Manning, Forchheimer, Beyerhaus, de Chézy en Steevensz hebben bovenstaande formule reeds tot grondvorm, en zij blijken, met uitzondering van de formule van Beyerhaus, in zooverre overeen te komen, dat de correctiecoëff. $K =$ de coëff. van de Chézy voor $R = 1$ m (voorgesteld door C_1). In verband hiermede zijn de formules van Kutter, Ganguillet-Kutter, Bazin en Harder herleid tot den vorm:

$$U = C_1 \cdot R^{\alpha} \cdot i^{\beta}.$$

Uitgaande van:

$$U = C_1 \cdot R^{\alpha} \cdot i^{\beta} = C \cdot \sqrt{R \cdot i},$$

waaruit volgt:

$$C = C_1 \cdot R^{\alpha - 1/2} \cdot i^{\beta - 1/2} = C_1 \cdot R^{v} \cdot i^{w},$$

komt het er voor de laatstgenoemde 4 formules op aan, de exponenten v en w te bepalen.

De formule van Kutter.
Voor deze formule wordt uitgegaan van:

$$C = \frac{100}{1 + \frac{b}{\sqrt{R}}} = C_1 \cdot R^{v} = \frac{100}{1 + b} \cdot R^{v} \quad \ldots\ldots\ (1)$$

waaruit volgt:

$$v = \frac{\log C - \log C_1}{\log R} =$$

$$= \frac{\log (1 + b) - \log \left(1 + \frac{b}{\sqrt{R}}\right)}{\log R} \quad \ldots\ldots\ (2)$$

Achtereenvolgens zijn nu berekend C, C/C_1 en v voor een zestal waarden van b en eveneens een zestal waarden van R.

Waarde van C **Staat Va.**

R \ b	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,2	64,143	47,213	37,354	30,902	22,967	18,274
0,5	73,880	58,579	48,528	41,421	32,038	26,120
1,0	80,000	66,667	57,143	50,000	40,000	33,333
2,0	84,978	73,880	65,345	58,579	48,528	41,421
5,0	89,946	81,726	74,884	69,099	59,851	52,787
10,0	92,674	86,347	80,830	75,975	67,827	61,258

Waarde van C/C_1 **Staat Vb.**

R \ b	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,2	0,8018	0,7082	0,6537	0,6180	0,5742	0,5482
0,5	0,9235	0,8787	0,8492	0,8284	0,8010	0,7836
1,0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
2,0	1,0622	1,1082	1,1435	1,1716	1,2132	1,2426
5,0	1,1243	1,2259	1,3105	1,3820	1,4963	1,5836
10,0	1,1584	1,2952	1,4145	1,5195	1,6957	1,8378

Waarde van v **Staat Vc.**

R \ b	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,2	0,1372	0,2144	0,2642	0,2990	0,3447	0,3735
0,5	0,1148	0,1866	0,2358	0,2716	0,3202	0,3518
1,0	0,1000	0,1667	0,2143	0,2500	0,3000	0,3333
2,0	0,0870	0,1482	0,1935	0,2285	0,2788	0,3134
5,0	0,0728	0,1266	0,1680	0,2010	0,2504	0,2856
10,0	0,0639	0,1123	0,1506	0,1817	0,2294	0,2643

De waarden van v in *staat* **Vc** kunnen voor $R = 1$ m niet worden berekend volgens (**2**), immers voor deze waarde van R is $C = C_1$ en derhalve $v = \frac{0}{0}$; zij zijn nu berekend met behulp van den regel van l'Hospital:

$$\left[v\right]_{R=1} = \left[\frac{\log(1+b) - \log\left(1+\frac{b}{\sqrt{R}}\right)}{\log R}\right]_{R=1} =$$

$$= \left[\frac{-\frac{1}{1+\frac{b}{\sqrt{R}}}\cdot -\frac{b}{2\cdot R^{3/2}}}{\frac{1}{R}}\right]_{R=1} =$$

$$= \left[\frac{b}{2\cdot(b+\sqrt{R})}\right]_{R=1} = \frac{b}{2\cdot(b+1)}$$

In verband met deze uitkomst werd nu

$$v = \frac{b}{2\cdot(b+R^z)}$$

gesteld, waaruit volgt:

$$R^z = \frac{b\cdot(1-2\cdot v)}{2\cdot v} \text{ en } z = \frac{\log\frac{b\cdot(1-2\cdot v)}{2\cdot v}}{\log R} \quad \ldots (3)$$

De in *staat* **Vc** gevonden waarden van v zijn nu in deze laatste formule gesubstitueerd:

Waarde van z **Staat Vd.**

R \ b	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,2	0,2574	0,2525	0,2492	0,2466	0,2436	0,2417
0,5	0,2531	0,2519	0,2505	0,2496	0,2485	0,2471
1,0	onbepaald					
2,0	0,2463	0,2470	0,2480	0,2490	0,2510	0,2529
5,0	0,2381	0,2408	0,2444	0,2466	0,2499	0,2523
10,0	0,2323	0,2369	0,2405	0,2435	0,2480	0,2521

Uit dezen *staat* blijkt, dat de exponent z kan worden gesteld op $\frac{1}{4}$, zoodat de coëff. C van de formule van Kutter mag worden vervangen door de benaderingsformule:

$$C = \frac{100}{1+b}\cdot R^{\frac{b}{2\cdot(b+R^{1/4})}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Met deze formule zijn nu opnieuw voor dezelfde waarden van R en b de coëfficiënten C berekend:

Waarde van C **Staat VI**

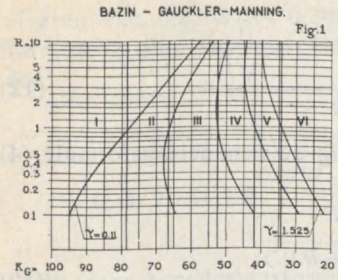
R \ b	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,2	64,267	47,249	37,342	30,870	22,926	18,238
0,5	73,891	58,585	48,529	41,420	32,034	26,116
1,0	80,000	66,667	57,143	50,000	40,000	33,333
2,0	84,960	73,867	65,337	58,575	48,532	41,427
5,0	89,776	81,560	74,767	69,030	59,852	52,827
10,0	92,200	85,827	80,406	75,640	67,740	61,313

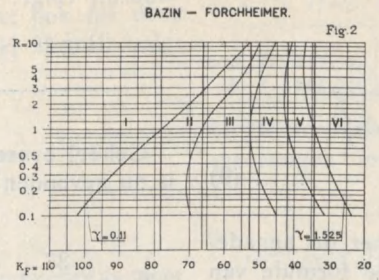
Worden de volgens de oorspronkelijke formule (*o. f.*) en de benaderingsformule (*b. f.*) berekende C-waarden onderling vergeleken (*staten* **Va** en **VI**), dan volgt hieruit, dat de fout, bij gebruik van de benaderingsformule, voor waarden van $R \leq 10$ m maximaal slechts $\frac{1}{2}\%$ bedraagt.

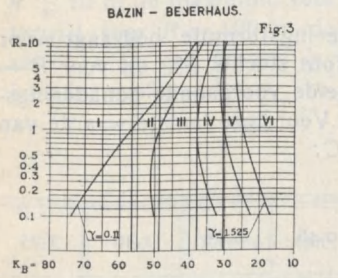
Volledigsheidshalve zijn nu nog met beide formules de coëfficiënten C voor $R = 100$ m berekend:

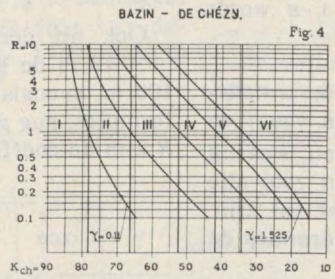
b	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
o. f.	97,561	95,238	93,023	90,909	86,957	83,333
b. f.	94,704	91,293	88,852	86,940	83,904	81,340

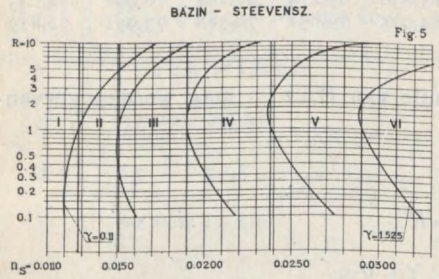
waaruit blijkt, dat voor deze waarde van R de gemaakte fout nog geen 5% bedraagt.

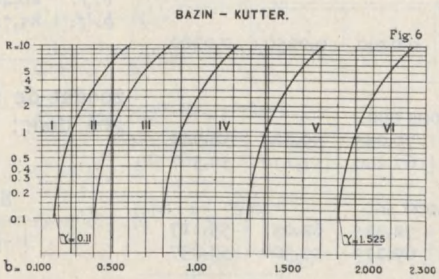


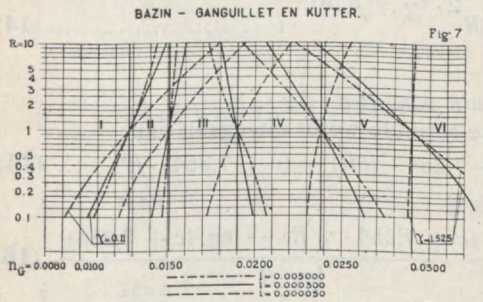


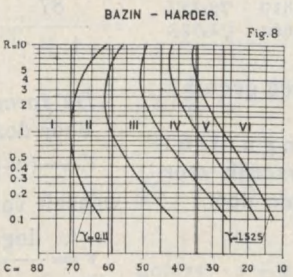












Uit het bovenstaande mag de conclusie worden getrokken, dat voor alle voorkomende waarden van R de oorspronkelijke formule van Kutter kan worden vervangen door de benaderingsformule:

$$U = \frac{100}{1+b} \cdot R^{\frac{b}{2\cdot(b+R^{1/4})}+\frac{1}{2}} \cdot i^{1/2} = \frac{100}{1+b} \cdot R^{\frac{2\cdot b+R^{1/4}}{2\cdot(b+R^{1/4})}} \cdot i^{1/2}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

De formule van Ganguillet-Kutter.

Voor deze formule wordt uitgegaan van:

$$C = \frac{23+\frac{1}{n}+\frac{0{,}00155}{i}}{1+(23+\frac{0{,}00155}{i})\cdot\frac{n}{\sqrt{R}}} =$$

$$= \frac{1}{n} \cdot R^{v} \cdot i^{w} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

Aangezien C een functie is van R, i en n, kan in het algemeen worden verwacht, dat ook de exponenten v en w functies zullen zijn van deze 3 grootheden. Is dit het geval, dan kunnen deze exponenten niet worden bepaald.

Nu is voor $R = 1$ m, onafhankelijk van de waarden van i en n, $C = \frac{1}{n}$, waaruit volgt:

$$w = f(R, i, n)_{R=1} = 0.$$

Hoewel er functies denkbaar zijn, welke voor alle waarden van i en n, doch $R = 1$ m, nul worden, ligt het voor de hand, na te gaan of niet $w = 0$ voor alle waarden van R. Stelt men nu $(23 + \frac{0{,}00155}{i}) = A$, waarin A niet als $f(i)$, doch slechts als getalwaarde moet worden beschouwd, dan gaat (6) over in:

$$C = \frac{A+\frac{1}{n}}{1+\frac{A\cdot n}{\sqrt{R}}} = \frac{1}{n} \cdot \frac{1+A\cdot n}{1+\frac{A\cdot n}{\sqrt{R}}} = \frac{1}{n} \cdot R^{v},$$

waaruit volgt:

$$v = \frac{\log(1+A\cdot n) - \log(1+\frac{A\cdot n}{\sqrt{R}})}{\log R} \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

Wordt deze laatste formule vergeleken met (2), dan blijkt het eenige verschil hierin te bestaan, dat in laatstgenoemde formule b is vervangen door $A \cdot n$. Op geheel overeenkomstige wijze als voor de formule van Kutter, is nu voor een drietal waarden van i, n.l. 0,005000, 0,000500 en 0,000050, de exponent v bepaald. Gevonden werd:

$$v = \frac{A\cdot n}{2\cdot(A\cdot n+R^{1/4})} = \frac{(23+\frac{0{,}00155}{i})\cdot n}{2\cdot\left\{(23+\frac{0{,}00155}{i})\cdot n+R^{1/4}\right\}} \quad \ldots\ldots\ldots (8)$$

of:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{\left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \cdot n}{2 \cdot \left\{\left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \cdot n + R^{1/4}\right\}}} \quad \ldots\ldots (9)$$

welke formule geheel overeenkomt met de benaderingsformule voor den coëff. C van de formule van Kutter, indien de term $(23 + \frac{0{,}00155}{i}) \cdot n$ wordt vervangen door b.

Ook nu blijkt de fout bij gebruik van de benaderingsformule voor de 3 genoemde waarden van i en $R \leq 10$ m maximaal slechts $\frac{1}{2}\%$ te bedragen, waaruit de conclusie mag worden getrokken, dat dit voor alle andere waarden van i eveneens het geval zal zijn. Voor $R = 100$ m zijn nu weer met beide formules de coëfficiënten C berekend:

n	0,0125	0,0150	0,0175	0,0200	0,0250	0,0300
			$i = 0{,}005\,000$			
o.f.	100,385	86,937	77,300	70,045	59,824	52,941
b.f.	97,160	83,853	74,332	67,200	57,236	50,567
			$i = 0{,}000\,500$			
o.f.	102,748	89,272	79,607	72,325	62,051	55,117
b.f.	99,240	85,900	76,412	69,275	59,300	52,637
			$i = 0{,}000\,050$			
o.f.	125,527	111,625	101,547	93,863	82,819	75,157
b.f.	119,976	106,640	97,040	89,860	79,664	72,723

Ook nu blijkt de fout voor $R = 100$ m nog geen 5% te bedragen.

De oorspronkelijke formule van Ganguillet-Kutter mag derhalve voor alle in de practijk voorkomende waarden van R worden vervangen door:

$$U = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{\left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \cdot n}{2 \cdot \left\{\left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \cdot n + R^{1/4}\right\}} + \frac{1}{2}} \cdot i^{1/2} = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2 \cdot \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \cdot n + R^{1/4}}{2 \cdot \left\{\left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \cdot n + R^{1/4}\right\}}} \cdot i^{1/2} \quad \ldots (10)$$

De formule van Bazin.

Voor deze formule, welke in structuur geheel overeenkomt met de formule van Kutter, wordt uitgegaan van:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} = \frac{87}{1 + \gamma} \cdot R^{v} \quad \ldots\ldots (11)$$

waaruit volgt:

$$v = \frac{\log (1 + \gamma) - \log (1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}})}{\log R} \quad \ldots\ldots (12)$$

Geheel overeenkomstig de benaderingsformule (4) is nu gevonden:

$$C = \frac{87}{1 + \gamma} \cdot R^{\frac{\gamma}{2 \cdot (\gamma + R^{1/4})}} \quad \ldots\ldots (13)$$

Ook bij deze benaderingsformule bedraagt voor 10 m de grootste fout slechts $\frac{1}{2}\%$ en voor $R = 100$ m, evenals bij de beide voorgaande benaderingsformules, nog geen 5%. Voor deze laatste waarde van R zijn de coëfficiënten C:

γ	0,06	0,16	0,46	0,85	1,30	1,75
o. f.	86,481	85,630	83,174	80,184	76,991	74,043
b. f.	85,744	84,075	79,831	76,588	73,991	71,819

zoodat de formule van Bazin mag worden vervangen door:

$$U = \frac{87}{1 + \gamma} \cdot R^{\frac{\gamma}{2 \cdot (\gamma + R^{1/4})} + \frac{1}{2}} \cdot i^{1/2} = \frac{87}{1 + \gamma} \cdot R^{\frac{2 \cdot \gamma + R^{1/4}}{2 \cdot (\gamma + R^{1/4})}} \cdot i \quad \ldots\ldots (14)$$

De formule van Harder.

Voor deze formule wordt uitgegaan van:

$$C = (c + 7{,}254 \cdot \sqrt{R}) = (c + 7{,}254) \cdot R^{v}, \quad \ldots (15)$$

waaruit volgt:

$$v = \frac{\log (c + 7{,}254 \cdot \sqrt{R}) - \log (c + 7{,}254)}{\log R} \quad (16)$$

De gevolgde werkwijze voor het bepalen van den exponent v komt geheel overeen met die, toegepast bij de voorgaande formules. Alleen heeft er bij het herleiden van den onbepaalden vorm $v = \frac{0}{0}$ met behulp van den regel van l'Hospital een kleine afwijking plaats. Deze herleiding leidt ten slotte tot:

$$\left[v\right]_{R=1} = \left[\frac{7{,}254 \cdot \sqrt{R}}{2 \cdot (c + 7{,}254 \cdot \sqrt{R})}\right]_{R=1} = \frac{7{,}254}{2 \cdot (c + 7{,}254)}$$

In verband met het voorkomen van $\sqrt{R}$ in den teller, hetgeen bij de voorgaande formules niet het geval is, moet nu worden gesteld:

$$v = \frac{7{,}254 \cdot R^{z}}{2 \cdot (c + 7{,}254 \cdot R^{z})} = \frac{R^{z}}{0{,}2757 \cdot c + R^{z}}.$$

De voor den exponent z gevonden waarden varieeren van 0,2368 tot 0,2625, zoodat ook bij deze formule z mag worden gesteld op $\frac{1}{4}$. Hieruit volgt dan:

$$C = (c + 7{,}254) \cdot R^{\frac{R^{1/4}}{0{,}2757 \cdot c + 2 \cdot R^{1/4}}} \quad \ldots\ldots (17)$$

Bij deze benaderingsformule blijkt eveneens voor $R \leqq 10$ m de maximum fout slechts $\frac{1}{2}\%$ te bedragen, terwijl voor $R = 100$ m de gemaakte fout van dezelfde orde van grootte is als bij de 3 voorgaande benaderingsformules.

c	75,00	67,50	50,00	40,00	30,00	25,00
o. f.	147,540	140,040	122,540	112,540	102,540	97,540
b. f.	141,049	134,041	118,086	109,355	101,059	97,049

De formule van Harder mag derhalve worden vervangen door de benaderingsformule:

$$U = (c + 7{,}254) \cdot R^{\frac{R^{1/4}}{0{,}2757 \cdot c + 2 \cdot R^{1/4}} + \frac{1}{2}} \cdot i^{1/2} = (c + 7{,}254) \cdot R^{\frac{0{,}2757 \cdot c + 4 \cdot R^{1/4}}{2 \cdot (0{,}2757 \cdot c + 2 \cdot R^{1/4})}} \cdot i^{1/2} \quad \ldots (18)$$

In verband met de hierboven afgeleide benaderingsformules kan nu *staat* I worden vervangen door:

Staat VII

	Formule van:	Coëfficiënt van de Chézy	C_1
a.	Gauckler-Manning	$C = C_1 \cdot R^{1/6}$	$C_1 = K_G$
b.	Forchheimer	$C = C_1 \cdot R^{0{,}20}$	$C_1 = K_F$
c.	Beyerhaus	$C = K_B \cdot R^{0{,}20} \cdot i^{-0{,}04}$	
d.	de Chézy	$C = C_1 \cdot R^{0}$	$C_1 = K_{Ch}$
e.	Steevensz	$C = C_1 \cdot R^{10 \cdot n_S - 0{,}01}$	$C_1 = \frac{1}{n_S}$
f.	Kutter	$C = C_1 \cdot R^{\frac{b}{2 \cdot (b + R^{1/4})}}$	$C_1 = \frac{100}{1 + b}$
g.	Ganguillet-Kutter	$C = C_1 \cdot R^{2 \cdot \left\{ \left(23 + \frac{0{,}00155}{i} \right) \cdot n_G + R^{1/4} \right\}}$	$C_1 = \frac{1}{n_G}$
h.	Bazin	$C = C_1 \cdot R^{\frac{\gamma}{2 \cdot (\gamma + R^{1/4})}}$	$C_1 = \frac{87}{1 + \gamma}$
i.	Harder	$C = C_1 \cdot R^{\frac{R^{1/4}}{0{,}2757 \cdot c + 2 \cdot R^{1/4}}}$	$C_1 = a + 7{,}254$

Met uitzondering van de formule van Beyerhaus is de exponent $w = 0$.

De exponent v komt voor:

A) als constante in de formules van Gauckler-Manning, Forchheimer, Beyerhaus en de Chézy;

B) als $f(\eta)$ in de formule van Steevensz;

C) als $f(\eta, R)$ in de formules van Kutter, Bazin en Harder;

D) als $f(\eta, R, i)$ in de formule van Ganguillet-Kutter.

A. De hieronder genoemde formules behoeven geen nadere toelichting.

B. In de formule van Steevensz: $v = 10 \cdot n_s - 0{,}01$, neemt de exponent v toe naarmate de ruwheidscoëff. toeneemt (c.q. de gladheidscoëff. afneemt).

C. In de formules van Kutter en Bazin:

$$v = \frac{\eta}{2 \cdot (\eta + R^{1/4})} = \frac{1}{2 \cdot \left(1 + \frac{R^{1/4}}{\eta} \right)}$$

neemt de exponent v toe:

1e. indien de ruwheidscoëff. toeneemt;
2e. indien R *af*neemt.

In de formule van Harder:

$$v = \frac{R^{1/4}}{0{,}2757 \cdot c + 2 \cdot R^{1/4}} = \frac{1}{\frac{0{,}2757 \cdot c}{R^{1/4}} + 2}$$

neemt de exponent v toe:

1e. indien de gladheidscoëff. afneemt;
2e. indien R *toe*neemt.

D. In de formule van Ganguillet-Kutter:

$$v = \frac{\left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \cdot n_G}{2 \cdot \left\{\left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \cdot n_G + R^{1/4}\right\}} = \frac{A \cdot n_G}{2 \cdot (A \cdot n_G + R^{1/4})} = \frac{A}{2 \cdot \left(A + \frac{R^{1/4}}{n_G}\right)} = \frac{1}{2 \cdot \left(1 + \frac{R^{1/4}}{A \cdot n_G}\right)},$$

neemt de exponent v toe:

1e. indien de ruwheidscoëff. toeneemt;
2e. indien R afneemt;
3e. indien A toeneemt, d.w.z. i kleiner wordt.

Met behulp van de overeenkomstige waarden der ruwheids- en gladheidscoëfficiënten, welke voortvloeien uit het gelijkstellen van de coëfficiënten C_1 (*staat* **II**), zijn voor een zevental waarden van R de exponenten v berekend volgens de formule van Steevensz en de benaderingsformules van Kutter, Ganguillet-Kutter, Bazin en Harder (zie *staat* **VIII**).

Staat VIII.

Categorie	R	Steevensz	Kutter	Ganguillet-Kutter			Bazin	Harder	
				$i =$ 0,005000	$i =$ 0,000500	$i =$ 0,000050			
I	0	0,112	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0	$C_1 = 82{,}08$
	0,2		0,123	0,149	0,161	0,248	0,041	0,030	$b = 0{,}218$
	0,5		0,103	0,126	0,137	0,220	0,033	0,038	
	1,0		0,089	0,111	0,121	0,199	0,028	0,046	$n_G = 0{,}0122$
	2,0		0,077	0,096	0,106	0,178	0,024	0,052	$\gamma = 0{,}06$
	5,0		0,064	0,080	0,088	0,153	0,019	0,063	
	10,0		0,055	0,069	0,076	0,135	0,016	0,074	$c = 74{,}82$
II	0	0,123	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0	$C_1 = 75{,}00$
	0,2		0,166	0,158	0,171	0,259	0,097	0,033	$b = 0{,}333$
	0,5		0,142	0,135	0,146	0,230	0,080	0,041	
	1,0		0,125	0,118	0,129	0,209	0,069	0,048	$n_G = 0{,}0133$
	2,0		0,109	0,103	0,113	0,188	0,059	0,056	$\gamma = 0{,}16$
	5,0		0,091	0,086	0,094	0,162	0,048	0,069	
	10,0		0,079	0,074	0,082	0,144	0,041	0,080	$c = 67{,}75$
III	0	0,158	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0	$C_1 = 59{,}59$
	0,2		0,252	0,185	0,198	0,288	0,204	0,042	$b = 0{,}678$
	0,5		0,223	0,159	0,171	0,259	0,177	0,052	
	1,0		0,202	0,141	0,152	0,238	0,158	0,057	$n_G = 0{,}0168$
	2,0		0,182	0,124	0,135	0,216	0,139	0,071	$\gamma = 0{,}46$
	5,0		0,156	0,104	0,113	0,189	0,118	0,086	
	10,0		0,138	0,090	0,099	0,169	0,103	0,099	$c = 52{,}34$
IV	0	0,203	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0	$C_1 = 47{,}03$
	0,2		0,314	0,213	0,227	0,316	0,280	0,054	$b = 1{,}126$
	0,5		0,286	0,186	0,199	0,289	0,251	0,066	
	1,0		0,265	0,166	0,179	0,267	0,230	0,077	$n_G = 0{,}0213$
	2,0		0,243	0,147	0,159	0,246	0,208	0,089	$\gamma = 0{,}85$
	5,0		0,215	0,125	0,136	0,217	0,181	0,107	
	10,0		0,194	0,109	0,119	0,196	0,162	0,122	$c = 39{,}77$
V	0	0,254	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0	$C_1 = 37{,}83$
	0,2		0,355	0,240	0,254	0,340	0,330	0,068	$b = 1{,}643$
	0,5		0,331	0,211	0,225	0,314	0,304	0,083	
	1,0		0,311	0,190	0,204	0,294	0,283	0,096	$n_G = 0{,}0264$
	2,0		0,290	0,171	0,183	0,273	0,207	0,110	$\gamma = 1{,}30$
	5,0		0,262	0,146	0,158	0,244	0,233	0,131	
	10,0		0,240	0,129	0,140	0,222	0,211	0,148	$c = 30{,}57$
VI	0	0,306	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0	$C_1 = 31{,}64$
	0,2		0,382	0,262	0,278	0,359	0,362	0,083	$b = 2{,}161$
	0,5		0,360	0,233	0,249	0,335	0,338	0,100	
	1,0		0,342	0,212	0,226	0,315	0,318	0,115	$n_G = 0{,}0316$
	2,0		0,323	0,191	0,206	0,295	0,298	0,131	$\gamma = 1{,}75$
	5,0		0,296	0,165	0,179	0,266	0,270	0,154	
	10,0		0,274	0,146	0,158	0,245	0,248	0,173	$c = 24{,}38$

Uit dezen *staat* blijkt, dat de exponent v in de benaderingsformules van Kutter, Ganguillet-Kutter en Bazin van $R = 0$ tot $R = 0{,}2$ m zeer snel afneemt en des te sneller, naarmate de wanden gladder zijn.

De wet, besloten in de oorspronkelijke formule van Ganguillet-Kutter:

$$U = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

is echter gecompliceerder dan uit de hierboven gegeven karakteristiek zou kunnen worden afgeleid.

Voor constante waarden van R en n is $U = f(i)$, welke functie grafisch kan worden voorgesteld. De afgeleide van deze functie naar i luidt:

$$\frac{dU}{di} = \frac{i^2 \cdot \left(\frac{\sqrt{R}}{n} + 23 + 23 \cdot \sqrt{R} + 529 \cdot n\right) - i \cdot \left(0{,}00155 \cdot \sqrt{R} - 0{,}00465 - 0{,}07130 \cdot n\right) + 0{,}00155^2 \cdot n}{2 \cdot i^{\frac{5}{2}} \cdot \left\{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}\right\}^2};$$

wordt nu $\frac{dU}{di} = 0$ gesteld, dan kunnen uit deze vergelijking 2 waarden van i worden opgelost, waarvoor de kromme $U = f(i)$ een minimum en een maximum heeft, d.w.z. naarmate i kleiner wordt, neemt U aanvankelijk af om bij een bepaalde waarde van i te stijgen en daarna wederom af te nemen. Allereerst is nu nagegaan bij welke waarde van R deze onregelmatigheid zich begint voor te doen, m.a.w. bij welke waarde van R de vergelijking $\frac{dU}{di} = 0$ twee gelijke en reëele wortels geeft, hetgeen zich in de kromme $U = f(i)$, geteekend voor die waarde van R, manifesteert in den vorm van een buigpunt. Gevonden werd:

n	R	i	U
0,0125	127,69 m	0,000 0050	7,63 m/sec
0,0250	184,96 m	0,000 0082	7,05 m/sec

Voor kleinere waarden van R komt deze onregelmatigheid in de functie $U = f(i)$ derhalve niet tot uiting.

Voor $n = 0{,}0250$ zijn nu de krommen $U = f(i)$ geteekend voor de volgende waarden van R: 184,96, 200, 300, 400, 600, 800 en 1000 m (*fig. 9*), waaruit blijkt, dat deze onregelmatigheid grootere afmetingen aanneemt, naarmate R toeneemt. Deze krommen vertoonen de minimum en maximum waarden bij:

R	Minimum		Maximum	
	i	U	i	U
200 m	0,000 0106	7,41 m/sec	0,000 0061	7,43 m/sec
300 „	0144	9,44 „	0037	9,81 „
400 „	0161	11,12 „	0029	12,00 „
600 „	0178	13,94 „	0021	16,00 „
800 „	0188	16,31 „	0018	19,69 „
1000 „	0195	18,41 „	0015	23,14 „

Kort historisch overzicht tot en met de formule van Darcy.

De Fransche onderzoeker de Chézy stelde op grond van theoretische beschouwingen en naar aanleiding van de uitkomsten van eenige door hem verrichte metingen in het jaar 1755 de eerste bruikbare formule op voor de berekening van de gemiddelde snelheid in open kanalen, welke formule hij schreef in den vorm:

$$R \cdot i = b \cdot U^2$$

Uit een 36-tal metingen van Dubuat vond J. A. Eytelwein $b = 0{,}000\,386$, waaruit volgt:

$$U = 50{,}9 \cdot \sqrt{R \cdot i},$$

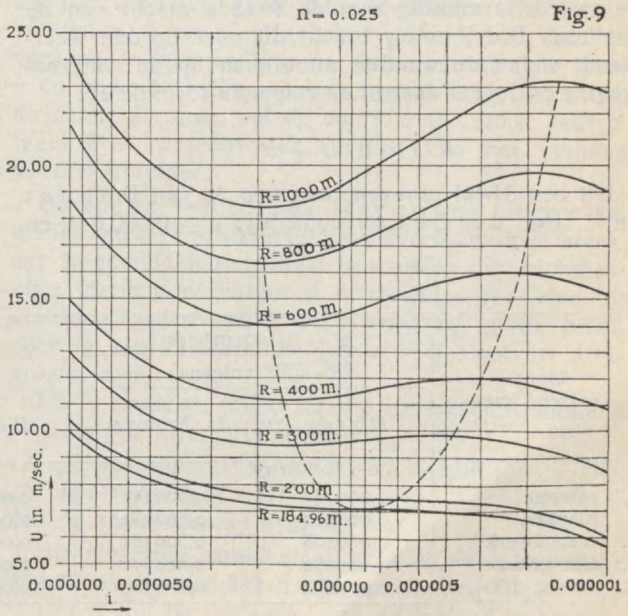
welke formule door Courtois werd vereenvoudigd tot:

$$R \cdot i = 0{,}0004 \cdot U^2 \text{ of } U = 50 \cdot \sqrt{R \cdot i}.$$

In zijn verhandeling „Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes" (1804) beschreef R. de Prony de principes, waaraan, volgens een aantal onderzoekers uit de 2de helft van de 18de eeuw, de waterbeweging in buizen en open kanalen zou voldoen.

1. Een vloeistofstroom door buizen en open kanalen ondervindt een weerstand, welke kan worden beschouwd als een aan de beweging tegengesteld gerichte kracht van de orde van grootte van de zwaartekracht; deze weerstand vermindert niet alleen den invloed van de zwaartekracht, doch

U = f(i) VOLGENS GANGUILLET EN KUTTER. Fig. 9



heft haar geheel op, zoodat de waterbeweging wordt teruggebracht van een versnelde tot een eenparige beweging.

2. Volgens de talrijke proeven van Dubuat e.a. blijkt bij een in beweging zijnde vloeistof de weerstand onafhankelijk te zijn van den in de vloeistof heerschenden druk, in tegenstelling met vaste lichamen, waar de weerstand bij het over elkaar heen schuiven afhankelijk is van den totalen druk op het contactvlak.
3. In elke dwarsdoorsnede hebben de waterdeeltjes evenwijdig aan de stroomrichting verschillende snelheid; bij een buis treedt de maximum snelheid op in de as en bij een open kanaal aan de oppervlakte, terwijl in beide gevallen de snelheid langs de wanden minimum is. Trekt men in de dwarsdoorsnede een rechte lijn vanaf het punt met de maximum snelheid naar een punt op den wand, dan neemt vanaf het eerstgenoemde punt de snelheid geleidelijk af.
4. Tusschen de snelheid aan de oppervlakte, de snelheid langs bodem en wanden en de gemiddelde snelheid bestaat volgens Dubuat een verband, dat geheel onafhankelijk is van vorm en afmetingen van het dwarsprofiel.
5. Indien het water door buizen en open kanalen stroomt, neemt een laag langs de wanden niet aan de waterbeweging deel; deze laag kan worden beschouwd als de werkelijke omwanding van het aan de beweging deelnemende water.
6. Als gevolg van deze omwanding in den vorm van een niet aan de waterbeweging deelnemende laag, oefent het materiaal, waaruit de wanden zijn vervaardigd, geen merkbaren invloed uit op den weerstand, welke de waterbeweging ondervindt.

Volgens de proeven van Coulomb is de analytische uitdrukking van den weerstand, welke een lichaam ondervindt, dat zich langzaam in het water beweegt, samengesteld uit een tweetal termen, waarvan de eerste evenredig is met de eerste macht en de tweede evenredig met de tweede macht van de snelheid. De Prony bracht dit over op den weerstand, welke de wanden uitoefenen op de waterbeweging en leidde daaruit de volgende formule af:

$$R \cdot i = a \cdot U + b \cdot U^2.$$

Uit een 31-tal proeven, waarvan 30 van Dubuat en 1 van de Chézy vond hij: $a = 0{,}000\,044$ en $b = 0{,}000\,309$. Eenige jaren later voegde Eytelwein hieraan nog een 55-tal uitkomsten toe en becijferde daaruit: $a = 0{,}000\,024$ en $b = 0{,}000\,366$.

Ongeveer tegelijkertijd stelde L. G. Dubuat in zijn „Principes d'hydraulique" (1806) op grond van een groot aantal nauwkeurige, door hem zelf verrichte metingen in plaats van de formule van de Chézy de volgende formule voor:

$$U = \frac{48{,}85 \cdot \sqrt{R} - 0{,}80}{\sqrt{\frac{1}{i}} - \text{nat log}\sqrt{\frac{1}{i} + 1{,}6}} - 0{,}05 \cdot \sqrt{R},$$

welke echter door zijn gecompliceerden vorm weinig aanhang verwierf.

Eenige tientallen jaren later (1851) kwam de Saint-Venant tot de formule:

$$R \cdot i = 0{,}000\,401 \cdot U^{\frac{21}{11}}$$

terwijl ongeveer tegelijkertijd J. W. Lahmeyer op grond van een 616-tal metingen, waarvan eenige honderden van hemzelf, de formule:

$$U = 183{,}56 \cdot R^{2/3} \cdot i^{2/3}$$

opstelde.

Bij geen dezer formules werd rekening gehouden met de geaardheid van bodem en wanden, welke immers, zooals uit de principes 5 en 6 blijkt, van geen invloed werd geacht, hoewel de Prony in zijn genoemde verhandeling tegen deze principes reeds eenige bedenkingen had geopperd.

Het bleef aan H. Darcy voorbehouden om aan te toonen, dat deze factor wel degelijk van zeer grooten invloed was op de waterbeweging. Experimenteerend met buizen, kwam hij tot de conclusie, dat de geaardheid der buiswanden een grooten invloed uitoefende op de uitstrooming en hij twijfelde er niet aan, of dit zou bij open kanalen eveneens het geval zijn.

Darcy construeerde nu een vijftal rechthoekige goten met een breedte van 1,80 — 2,00 m, waarvan de bekleeding van bodem en wanden uit verschillend materiaal bestond. Door deze goten, opgesteld onder een verhang van 0,0049, werd eenzelfde hoeveelheid water, varieerend van 0,100 — 1,236 m³/sec, afgevoerd. Met behulp van de opgemeten snelheid werd de verhouding $R \cdot i/U^2$ berekend; zoo vond hij:

Goot bekleed met	Q = 0,100 m³/sec		Q = 0,618 m³/sec		Q = 1,236 m³/sec	
	$R \cdot i/U^2$ volgens:		$R \cdot i/U^2$ volgens:		$R \cdot i/U^2$ volgens:	
	Darcy	*de Prony*	*Darcy*	*de Prony*	*Darcy*	*de Prony*
1. cement	0,000242	0,000352	0,000180	0,000331	0,000172	0,000327
2. planken	0,000411	0,000362	0,000257	0,000335	0,000229	0,000329
3. metselwerk	0,000408	0,000361	0,000305	0,000336	0,000277	0,000330
4. fijn grind	0,000862	0,000376	0,000528	0,000342	0,000472	0,000335
5. grover grind	0,001454	0,000389	0,000772	0,000347	0,000661	0,000338

Deze cijfers zijn ontleend aan „Recherches hydrauliques", het baanbrekende werk van de Fransche ingenieurs H. Darcy en H. Bazin, dat in 1865 het licht zag.

Darcy teekende hierbij aan, dat, hoewel de wanden van goot 5 ruw waren, deze toch niet die onregelmatigheid bezaten, welke in de natuur, zelfs bij goed onderhouden kanalen, voorkomen. Met het oog hierop nam hij proeven in het kanaal van Bourgogne en kwam toen tot de volgende resultaten:

	Darcy	*de Prony*
bodem en wanden onbekleed	0,000749	0,000407
bodem en wanden steenachtig	0,001300	0,000383
bodem en wanden bemetseld, doch begroeid met mos	0,002331	0,000343
dezelfde strekking, nadat het mos was verwijderd	0,001024	0,000335

Uit beide laatstgenoemde cijfers van Darcy blijkt wel heel duidelijk, dat de aanwezigheid van het mos, dat slechts een zeer gering gedeelte van het doorstroomingsprofiel in beslag nam, een zeer grooten invloed uitoefende op de waterbeweging.

De proeven verricht in de geconstrueerde goten hadden reeds duidelijk aangetoond, dat de verhouding $R \cdot i/U^2$ geen constante kon zijn, zooals door de Chézy, Eytelwein en Courtois was aangenomen; deze verhouding moest afhankelijk zijn van R, U of R en U.

Dubuat had reeds vroeger opgemerkt, dat de verhouding $R \cdot i/U^2$ kleiner wordt, indien R en U toenemen, de proeven van Darcy bevestigden dit. Bovendien constateerde Darcy, dat deze verhouding minder snel afneemt, naarmate het debiet en daarmede R en U toenemen. Hij stelde nu de limiet, waartoe deze verhouding nadert, $= \alpha$ en leidde uit het bovenstaande af:

$$\frac{R \cdot i}{U^2} = \alpha + f(R, U),$$

waarin derhalve de term $f(R, U)$ nadert tot 0, indien het debiet grooter wordt. De eenvoudigste vormen, welke aan deze functie kunnen worden gegeven, zijn β/R en β'/U, waarin β en β' constanten zijn; de eerste leidt tot de formule:

$$\frac{R \cdot i}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{R} \text{ of } U = \sqrt{\frac{1}{\alpha + \frac{\beta}{R}} \cdot \sqrt{R \cdot i}}$$

en de tweede tot:

$$\frac{R \cdot i}{U^2} = \alpha + \frac{\beta'}{U} \text{ of } U = \sqrt{\frac{1}{\alpha + \frac{\beta'}{U}} \cdot \sqrt{R \cdot i}},$$

welke laatste de grondvorm is van de formule van de Prony ($\beta' = 0{,}000\,044$ en $\alpha = 0{,}000\,309$).

De gevonden meetresultaten werden elk door een enkel punt vastgelegd in een tweetal grafieken, waarin op de Y-as de verhouding $R \cdot i/U^2$ en op de X-as de reciproke waarden resp. $1/R$ en $1/U$ waren uitgezet. Door de tot een serie behoorende punten werd zoo goed mogelijk daarbij aansluitend een rechte lijn getrokken Van deze lijn, waarvan de vergelijking $y = \alpha + \beta \cdot x$ luidt, stelt de ordinaat van het snijpunt met de Y-as de limiet α voor, terwijl de constante β wordt voorgesteld door de tangens van den hoek, welke deze lijn met de X-as maakt. Uit deze grafieken werden voor α, β en β' de volgende cijfers gevonden.

Goot bekleed met:	$\frac{R \cdot i}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{R}$		$\frac{R \cdot i}{U^2} = \alpha + \frac{\beta'}{U}$	
	α	β	α	β'
1. cement	0,000149	0,000005	0,000118	0,000127
2. planken	0,000177	0,000012	0,000127	0,000217
3. metselwerk	0,000208	0,000014	0,000162	0,000218
4. fijn grind	0,000326	0,000040	0,000226	0,000411
5. grover grind	0,000329	0,000100	0,000201	0,000680

Hieruit blijkt, dat de coëfficiënten α, β en β' toenemen met de ruwheid van bodem en wanden en naar verhouding de coëfficiënten β en β' sneller dan α.

Beide formules waren aanvaardbaar, de grafieken gaven geen aanwijzing, welke formule de voorkeur verdiende.

Darcy nam nu nieuwe proeven met een drietal houten goten, van welke de tweede en derde waren voorzien van houten dwarsrichels, breed 2,7 cm en dik 1 cm met een tusschenruimte van resp. 1 en 5 cm, welke ten doel hadden den weerstand te verhoogen. Deze goten werden achtereenvolgens gelegd onder een verhang van 0,0015, 0,0059 en 0,00886. Ook bij deze proeven varieerde het debiet van 0,100 tot 1,236 m³/sec. Op deze wijze ontstonden 9 series elk bestaande uit 7 proeven, waarvan de resultaten, op overeenkomstige wijze als hierboven vermeld, in een tweetal grafieken werden vastgelegd (*fig. 10* en *11*). Uit deze grafieken blijkt duidelijk, dat de formule:

$$\frac{R \cdot i}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{R} = A$$

betere resultaten geeft dan de andere. De coëfficiënten α, β en β' zijn echter afhankelijk van het verhang. In tegenstelling met de tweede formule, waar α en β' beide toenemen met het verhang, neemt bij de eerste formule wel de coëff. α toe, doch daarentegen β af, waardoor de invloed van het verhang wordt verminderd.

Bovendien werden door Darcy nog proeven genomen met verschillende profielvormen. Het bleek, dat de gemiddelde snelheid in kanalen met rechthoekige, trapeziumvormige en driehoekige profielen bij gelijke waarden van R en i nagenoeg gelijk bleef, doch in een half-cirkelvormig profiel ongeveer 10% grooter was.

De 3 factoren, welke op de gemiddelde snelheid van invloed zijn, zijn derhalve:

1e. de geaardheid van bodem en wanden;
2e. het verhang;
3e. de vorm van het profiel.

Uit een groot aantal eigen proeven en door andere onderzoekers verrichte metingen kwamen Darcy en Bazin tot de slotsom, dat de invloed van beide

laatstgenoemde factoren in het algemeen kan worden verwaarloosd.

Na den dood van D a r c y stelde B a z i n een viertal categorieën vast, voor welke hij de verhouding $R \cdot i/U^2 = A$ stelde op:

Cat.	Omschrijving:	A
I	Zeer gladde wanden (cement, geschaafd hout, beton)	$0{,}00015 \cdot \left(1 + \frac{0{,}03}{R}\right)$
II	Gladde wanden (planken, baksteenmetselwerk)	$0{,}00019 \cdot \left(1 + \frac{0{,}07}{R}\right)$
III	Weinig gladde wanden (breuksteenmetselwerk)	$0{,}00024 \cdot \left(1 + \frac{0{,}25}{R}\right)$
IV	Aarden wanden	$0{,}00028 \cdot \left(1 + \frac{1{,}25}{R}\right)$
waaraan G a n g u i l l e t en K u t t e r later toevoegden:		
V	Kiezelwanden	$0{,}00040 \cdot \left(1 + \frac{1{,}75}{R}\right)$

Omgewerkt in den tegenwoordig gangbaren vorm luiden deze formules:

Cat. I	$U = \frac{81{,}65}{\sqrt{1 + \frac{0{,}03}{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i}$
Cat. II	$U = \frac{72{,}55}{\sqrt{1 + \frac{0{,}07}{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i}$
Cat. III	$U = \frac{64{,}55}{\sqrt{1 + \frac{0{,}25}{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i}$
Cat. IV	$U = \frac{59{,}76}{\sqrt{1 + \frac{1{,}25}{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i}$
Cat. V	$U = \frac{50{,}00}{\sqrt{1 + \frac{1{,}75}{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i}$

De algemeene geldigheid der formules.

Alle formules voor de berekening van leidingen en waterloopen stemmen hierin overeen, dat bij gelijkblijvende waarde van i, de gemiddelde snelheid U met de grootheid R toeneemt.

Nu is $R = \frac{F}{O}$; van dit quotient neemt F, het oppervlak van het doorstroomingsprofiel, toe met de tweede macht en O, de natte omtrek van dat profiel, toe met de eerste macht van de dimensie $[l]$. De weerstand door bodem en wanden uitgeoefend op de waterbeweging is evenredig met O, d.w.z. met de eerste macht van $[l]$. Hieruit volgt onmiddellijk, dat de weerstand per m² doorstroomingsprofiel en daarmede de invloed van den ruwheidsgraad op de waterbeweging afneemt, indien R grooter wordt.

De definitie van het begrip „algemeene geldigheid" luidt nu als volgt:

> „een formule bezit een algemeene geldigheid, indien bij gelijkblijvende waarde van i, doch verschillende graden van ruwheid, de verhouding der gemiddelde snelheden bij toenemende waarden van R onafhankelijk van deze ruwheidsgraden nadert tot 1".

Ten aanzien van deze verhouding bestaan er 3 mogelijkheden:

A. De verhouding der gemiddelde snelheden nadert bij gelijke waarden van R en i tot een limietwaarde afhankelijk van de graden van ruwheid.

B. Deze verhouding nadert tot een limietwaarde, welke niet alleen afhankelijk is van de ruwheidsgraden, doch ook van één der grootheden R en i of van beide.

C. Deze verhouding nadert bij toenemende waarde van R onafhankelijk van de graden van ruwheid tot 1.

Alleen de formules, welke voldoen aan voorwaarde *C*, bezitten derhalve een algemeene geldigheid in den zin van bovenstaande definitie.

Tot de eerste groep behooren uit den aard van hun structuur de exponentieele formules.

In de verhandeling „Etude comparative des formules nouvellement proposées pour calculer le débit des canaux découverts", voorkomende in de *Annales des Ponts et Chaussées* jrg. 1871, wees B a z i n er reeds op, dat de formules van den vorm:

$$R^m \cdot i^n = b \cdot U^p,$$

waarin b een getalwaarde voorstelt, afhankelijk van de geaardheid van bodem en wanden en m, n en p constanten zijn (de ouderwetsche schrijfwijze voor de formules $U = K \cdot R^p \cdot i^q$),

> „slechts een beperkt gebied omvatten en divergee-
> „ren zoodra zij worden toegepast op gevallen, waarbij
> „de grootheden R en U een bepaalde limiet hebben
> „overschreden; toch kunnen zij voor een beperkt
> „gebied hun nut hebben".

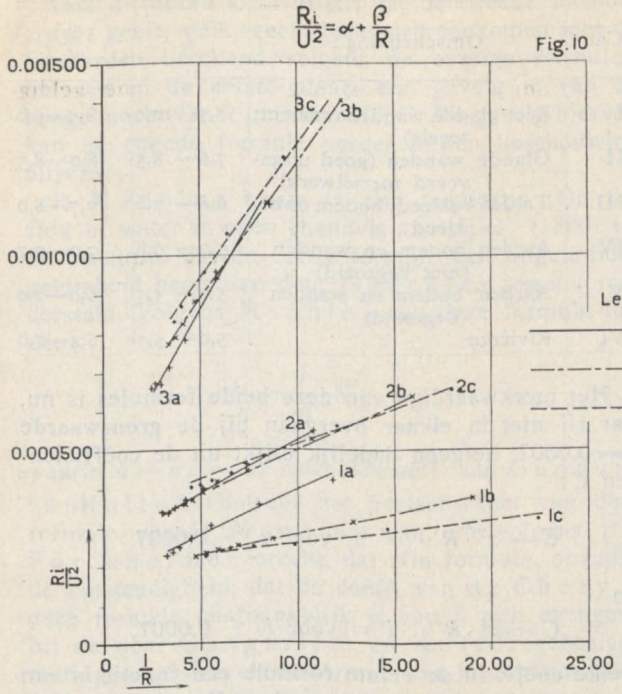
Voor de exponentieele formules is de verhouding der gemiddelde snelheden bij gelijkblijvende waarden van R en i:

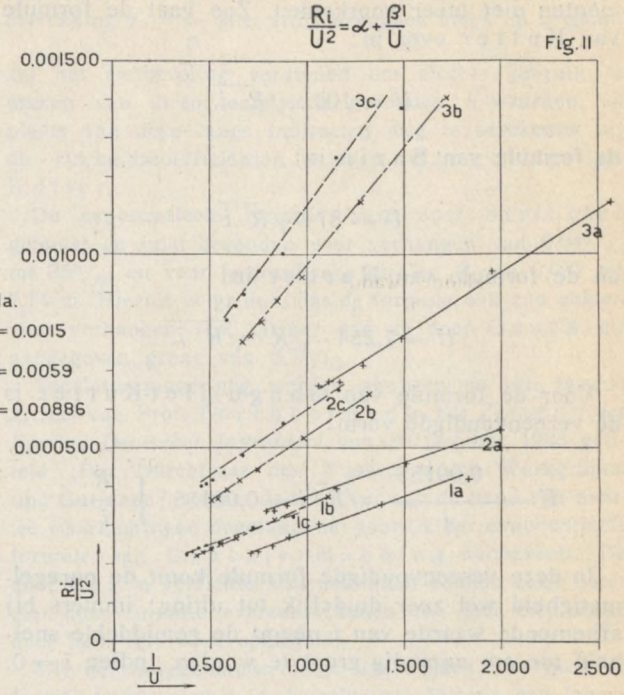
$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{K_2}{K_1},$$

onafhankelijk van R. Bij deze formules is derhalve van een limietwaarde, indien R nadert tot ∞, geen sprake.

Tot deze groep behoort ook de formule van D a r c y en B a z i n, meer bekend als de oude formule van B a z i n:

$$U = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \frac{\beta}{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i}.$$





Bij toenemende waarde van R nadert de verhouding

$$\frac{U_2}{U_1} = \sqrt{\frac{\alpha_1 + \frac{\beta_1}{R}}{\alpha_2 + \frac{\beta_2}{R}}} \text{ tot de limiet } \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2}}.$$

Bij de tot deze groep behoorende formules ligt de limiet tusschen de grenzen 1 en een door de uiterste waarden der gladheids- c.q. ruwheidscoëfficiënten bepaalde getalwaarde.

Tot de tweede groep behooren o.m. de semi-exponentieele formules.

Voor de formule van Steevensz is:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{R^{\frac{10 \cdot n_2 + 0{,}49}{10 \cdot n_1 + 0{,}49}}}{R} = \frac{n_1}{n_2} \cdot R^{10 \cdot (n_2 - n_1)}$$

d.w.z. de verhouding der gemiddelde snelheden is een functie van n en R. Is $n_2 > n_1$, dan nadert deze verhouding bij toenemende waarde van R tot ∞, en voor $n_2 < n_1$ tot 0.

Tot de derde groep behooren de formules van Kutter, Bazin en Harder.

Voor de beide eerstgenoemde formules is:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1 + \frac{\eta_1}{\sqrt{R}}}{1 + \frac{\eta_2}{\sqrt{R}}},$$

welke verhouding bij toenemende waarde van R nadert tot 1.

Voor de formule van Harder is:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{c_2 + 7{,}254 \cdot \sqrt{R}}{c_1 + 7{,}254 \cdot \sqrt{R}} = \frac{\frac{c_2}{\sqrt{R}} + 7{,}254}{\frac{c_1}{\sqrt{R}} + 7{,}254} = 1$$

voor oneindig groote waarden van R.

De formule van Ganguillet-Kutter kan zoowel tot de tweede als tot de derde groep worden gerekend. Voor deze formule is:

$$\frac{U_2}{U_1} = f(n, R, i),$$

van welke verhouding bij toenemende waarde van R de limiet wordt:

$$\frac{23 + \frac{1}{n_2} + \frac{0{,}00155}{i}}{23 + \frac{1}{n_1} + \frac{0{,}00155}{i}} = \frac{\left(23 + \frac{1}{n_2}\right) \cdot i + 0{,}00155}{\left(23 + \frac{1}{n_1}\right) \cdot i + 0{,}00155} =$$

$$= f(n,i) \cdot$$

Aangezien echter bij zeer groote waarden van R het verhang zeer gering zal zijn, kunnen de termen $\left(23 + \frac{1}{n}\right) \cdot i$ tegenover 0,00155 worden verwaarloosd, zoodat ook voor deze formule de limietwaarde is te stellen op 1. Toch kan, op grond van de in een der vorige hoofdstukken beschreven onregelmatigheid bij groote waarden van R, aan deze formule geen algemeene geldigheid worden toegekend.

De formules behoorende tot de derde groep gaan bij groote waarden van R over in een vereenvoudigden vorm, waarin de ruwheids- c.q. gladheidscoëffi-

ciënten niet meer voorkomen. Zoo gaat de formule van Kutter over in:

$$U = 100 \cdot \sqrt{R \cdot i},$$

de formule van Bazin in:

$$U = 87 \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

en de formule van Harder in:

$$U = 7{,}254 \cdot \sqrt{R} \cdot \sqrt{R \cdot i}.$$

Voor de formule van Ganguillet-Kutter is de vereenvoudigde vorm:

$$U = \frac{0{,}00155}{i} \cdot \sqrt{R \cdot i} = 0{,}00155 \cdot \sqrt{\frac{R}{i}}.$$

In deze vereenvoudigde formule komt de onregelmatigheid wel zeer duidelijk tot uiting; immers bij afnemende waarde van i neemt de gemiddelde snelheid toe om oneindig groot te worden, indien $i = 0$.

Van de genoemde formules blijken alleen die van Kutter, Bazin en Harder een algemeene geldigheid te bezitten, afgezien van het feit, of zij bij groote waarden van R uitkomsten geven, welke met de werkelijkheid voldoende in overeenstemming zijn. Zoo geeft de vereenvoudigde formule van Harder veel grootere uitkomsten dan de vereenvoudigde formules van Kutter en Bazin, hetgeen blijkt uit de coëfficiënten C van deze formules, resp. $7{,}254 \cdot \sqrt{R}$, 100 en 87.

Uit het bovenstaande mag de conclusie worden getrokken, dat alleen dan de ruwheids- c.q. gladheidscoëfficiënten constant kunnen zijn voor een bepaalden graad van ruwheid bij iedere willekeurige waarde van R, indien de formules, waarvan deze coëfficiënten deel uitmaken, een algemeene geldigheid bezitten.

De formule van Gauckler-Manning.

In de *Annales des Ponts et Chaussées*, jrg. 1868, publiceerde Ph. Gauckler een tweetal formules voor de berekening van waterloopen, welker gebruik afhankelijk was gesteld van het waterspiegelverhang, n.l.:

$$U = K_1 \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad \text{voor } i > 0{,}0007$$

en

$$U = K_2 \cdot R^{1/3} \cdot i \quad \text{voor } i \leq 0{,}0007$$

waarin K_1 en K_2 gladheidscoëfficiënten voorstellen.

Gauckler zelf schreef deze formules in den vorm:

$$\sqrt{U} = \alpha \cdot \sqrt[3]{R} \cdot \sqrt[4]{i} \text{ en } \sqrt[4]{U} = \beta \cdot \sqrt[3]{R} \cdot \sqrt[4]{i}.$$

Voor de coëfficiënten α en β zouden dan de volgende cijfers gelden:

Cat.	Omschrijving:	α	β
I	Zeer gladde wanden (cement, tegels)	8,5—10,0	8,5—9,0
II	Gladde wanden (goed uitgevoerd metselwerk)	7,6— 8,5	8,0—8,5
III	Taluds bekleed, bodem onbekleed	6,8— 7,6	7,7—8,0
IV	Aarden bodem en wanden (niet begroeid)	5,7— 6,8	7,0—7,7
V	Aarden bodem en wanden (begroeid)	5,0— 5,7	6,6—7,0
VI	Rivieren	5,0— 5,7	6,4—7,0

Het merkwaardige van deze beide formules is nu, dat zij niet in elkaar overgaan bij de grenswaarde $i = 0{,}0007$, hetgeen dadelijk blijkt uit de coëfficiënten C:

$$C = \alpha^2 \cdot R^{1/6} \quad \text{voor } i > 0{,}0007$$

en

$$C = \beta^4 \cdot R^{5/6} \cdot i^{1/2} \quad \text{voor } i \leq 0{,}0007,$$

welke coëff. in de eerste formule een functie is van den gladheidscoëff. en de grootheid R en in de tweede formule bovendien nog van het waterspiegelverhang.

Voor $i = 0{,}0007$ zijn volgens beide formules bij verschillende waarden van R de grenswaarden berekend, waartusschen de coëff. C varieert, indien α varieert van 10,0 tot 5,0 en β van 9,0 tot 6,4:

Staat IX

R	$C = f(\alpha, R)$	$C = f(\beta, R, i)$
0,1	68,1 — 17,0	25,5 — 6,5
0,2	76,4 — 19,1	45,4 — 11,6
0,5	89,1 — 22,3	97,4 — 24,9
1,0	100,0 — 25,0	173,6 — 44,4
2,0	112,2 — 28,1	309,3 — 79,1
5,0	130,8 — 32,7	663,8 — 169,7
10	146,8 — 36,7	1182,7 — 302,4
100	215,4 — 53,9	8058,0 — 2060,5
∞	∞	∞

waaruit blijkt, dat vooral de tweede formule waarden voor C geeft, welke voor kleine waarden van R te klein en voor groote waarden van R vele malen te groot zijn. Bovendien zijn nog voor $i = 0{,}0003$, 0,0001 en 0,000 01 de grenswaarden der coëfficiënten C berekend volgens de tweede formule. Gevonden werd:

Staat X

R	$i = 0{,}0003$	$i = 0{,}0001$	$i = 0{,}000\,01$
0,1	16,7 — 4,3	9,6 — 2,6	3,0 — 0,8
0,5	63,6 — 16,3	36,8 — 9,4	11,6 — 3,1
1,0	113,5 — 29,1	65,6 — 16,8	20,7 — 5,3
5,0	433,9 — 111,1	250,8 — 64,2	79,2 — 20,3
10	773,4 — 199,0	446,9 — 114,5	141,2 — 36,2
100	5267,7 — 1349,0	3044,9 — 779,5	962,1 — 246,4

Ook uit dezen *staat* blijkt, dat de tweede formule cijfers geeft, welke zeer slecht overeenkomen met de C-waarden berekend volgens de overige formules, hetgeen in de eerste plaats een gevolg is van de hooge macht van R in den coëff. C. Als gevolg hiervan kan de tweede formule verder buiten beschouwing blijven.

R. Manning kwam in zijn publicatie „On the flow of water in open channels and pipes" (1890) tot de conclusie dat de eerste formule een uitgebreider geldigheid heeft dan door Gauckler werd verondersteld. Volgens Manning zou deze formule luiden:

$$U = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2},$$

waarin $n = n_G$ = de ruwheidscoëff. van Ganguillet-Kutter. Omtrent het bestaansrecht van deze formule voerde Manning aan, en volgens Ph. Forchheimer terecht, dat zijn formule, ondanks de omstandigheid, dat de coëff. van de Chézy in deze formule onafhankelijk is van i, zich evengoed bij de door Ganguillet en Kutter gebezigde metingen aansluit als de formule van laatstgenoemden zelf.

Het was ir. C. G. J. Vreedenburgh, die in zijn artikel „Beschouwingen over de exponentieele formule van Gauckler-Manning voor de berekening van buisleidingen en open kanalen", verschenen in *De Waterstaats-Ingenieur*, No. 9 — 1924, de aandacht vestigde op de formules van Manning en Gauckler-Manning. Tot goed begrip moge er op worden gewezen, dat het verschil tusschen beide formules slechts hierin bestaat, dat voor de eerstgenoemde geldt: $K = 1/n_G$, terwijl voor de formule van Gauckler-Manning de coëff. K onafhankelijk is van den ruwheidscoëff. van Ganguillet-Kutter.

Aan het artikel van ir. Vreedenburgh is het volgende ontleend:

> Volgens Manning zou dus de betrekking gelden:
>
> $$K = \frac{1}{n}.$$
>
> Het moet zeker als een merkwaardig feit worden beschouwd, dat er een zoo eenvoudig verband schijnt te bestaan tusschen den gladheidscoëff. K van de exponentieele formule en de ruwheidsfactor n van de zeer ingewikkelde en in bouw geheel verschillende groote formule van Ganguillet en Kutter.

Voorts verscheen in Februari 1923 als no. 6 van de *Mitteilungen des Amtes für Wasserwirtschaft* in Zwitserland een boekje getiteld: „Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauhigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen", waarin Dr. A. Strickler naar aanleiding van een driehonderdtal door verschillende onderzoekers verrichte waarnemingen, zoowel in buizen als open leidingen met wanden van de meest uiteenloopende materialen, tot de conclusie komt, dat voor de turbulente strooming, waarmede men gewoonlijk in de practijk te doen heeft, het gebruik van de exponentieele formule van Gauckler-Manning ten zeerste moet worden aanbevolen. Daar echter de betrekking $K = \frac{1}{n}$ niet altijd evengoed bleek op te gaan, zal het aanbeveling verdienen om slechts gebruik te maken van direct empirisch gevonden K-waarden, in plaats van deze langs indirecten weg te berekenen uit de ruwheidscoëfficiënten n van Ganguillet en Kutter.

De exponentieele formule werd door Strickler getoetst en juist bevonden voor verhangen van $0{,}04^0/_{00}$ tot $25^0/_{00}$ en voor hydraulische stralen R van 0,037 tot 7,14 m. Hieruit volgt dus, dat de formule ook zou gelden voor verhangen veel kleiner dan de door Gauckler aangegeven grens van $0{,}7^0/_{00}$.

Tenslotte moge nog worden gewezen op een tweede artikel van Prof. Forchheimer in het *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure* van 20 October 1923 getiteld „Der Durchflusz des Wassers durch Werkgräben und Gerinnen", waarin de schrijver aan de hand van nieuwe waarnemingen nogmaals het gebruik der exponentieele formule van Gauckler-Manning aanbeveelt. De door Bazin verrichte waarnemingen zouden zelfs beter met deze formule overeenstemmen dan met die, welke door hem zelf werd opgesteld.

Uit het bovenstaande moge dus blijken, dat men de laatste jaren, zoowel in Amerika als Europa hoe langer hoe meer belangstelling is gaan toonen voor een formule, welke reeds 60 jaar oud is, doch om onbekende redenen tot voor kort door de meeste hydrotechnici slechts bij uitzondering werd toegepast.

Deze belangstelling moet allereerst worden verklaard door het feit, dat de formule van Gauckler-Manning, mits men beschikt over de juiste gladheidswaarden K, zeker niet minder nauwkeurig is dan b.v. de meer algemeen gebruikte formules van Bazin, Ganguillet-Kutter, Lang enz.

Bovendien heeft men echter het groote voordeel, dat de exponentieele vorm bijzonder geschikt is voor de berekening met logarithmen en grafisch op eenvoudige wijze in een rechtlijnig nomogram kan worden voorgesteld. Voorts bestaat er bij de formule van Gauckler-Manning een lineair verband tusschen de snelheid en de gladheidsfactor K, zoodat bij bepaalde waarden van R en i, de invloed van verschillende ruwheden der begrenzende vlakken op de watersnelheid veel gemakkelijker kan worden overzien dan b.v. bij de formules van Bazin of Ganguillet-Kutter.

In den aanhef van het geciteerde artikel verwijst ir. Vreedenburgh naar het in *Die Wasserkraft*, jrg. 1922, No. 7, voorkomende artikel van Prof. Forchheimer, getiteld „Scobey's Untersuchung über den Durchflusz durch Betongerinne", geschreven naar aanleiding van *Bulletin 852* van het United States Department of Agriculture: „The flow of water in concrete pipes" van Fred. C. Scobey.

In het laatstgenoemde geschrift worden de formules van Manning, de Chézy, Ganguillet-Kutter, Bazin en Williams-Hazen, welke laatste formule:

$$U = K \cdot R^{0{,}625} \cdot i^{1/2}$$

in Amerika veel wordt toegepast, aan de hand van een 84-tal waarnemingen, verdeeld in 20 series, onderling vergeleken.

Voor de formule van Manning ging Scobey uit van:

$$U = \frac{1}{n} \cdot R^{0,67} \cdot i^{1/2}$$

en kwam tot de conclusie, dat de n-waarden van Manning en Ganguillet-Kutter goed overeenkomen (zie *Aanhangsel,* staat *A,* kolommen *f* en *e*).

Uit de uitkomsten van deze waarnemingen trok Prof. Forchheimer de volgende conclusie:

> „Niet zoo goed als met de formules van Manning en Ganguillet-Kutter komen de uitkomsten overeen met de formule van Williams-Hazen en bepaald slecht met die van de Chézy en van Bazin".

Dat deze uitkomsten veel beter in overeenstemming zouden zijn met de formule van Manning (lees: Gauckler-Manning) dan met de formule van Bazin, is, zooals hieronder zal worden aangetoond, niet juist.

In het artikel van Prof. Forchheimer worden van de 84 waarnemingen de volgende cijfers gegeven:

a. de hydraulische straal R in m;
b. de gemiddelde snelheid U in m/sec;
c. de waarden van $\frac{1}{n}$ en n uit de formule $U = \frac{1}{n} \cdot R^{0,67} \cdot i^{1/2}$;
d. de waarde van n volgens de formule van Ganguillet-Kutter; en
e. de coëff. van de Chézy.

Het blijkt nu, dat de onder *e* genoemde C-waarden niet overeenkomen met die, welke volgen uit de onder *a* en *c* genoemde waarden van R en n. De verschillen blijken aanmerkelijk grooter te zijn dan uit het verwaarloozen van decimalen kan worden verklaard. In verband hiermede zijn voor alle waarnemingen de C-waarden, welke voor het artikel van Prof. Forchheimer van nagenoeg geen belang zijn, opnieuw becijferd volgens de formule $C = \frac{1}{n} \cdot R^{0,17}$ en met de aldus gevonden C-waarden de betrekkelijke waarden van γ berekend met de formule

$$\gamma = \frac{87 - C}{C} \cdot \sqrt{R}.$$

Terwijl de n-waarden van Gauckler-Manning varieeren van 0,0099 tot 0,0155 (*staat A*, kolom *f*), blijken de uiterste γ-waarden -0,009 en 0,365 te zijn (kolom *j*). Nu zijn volgens het hoofdstuk „De coëfficiënt η en de coëfficiënt van de Chézy" de aequivalente waarden van $\gamma = -0,009$ en 0,365 te stellen op resp. $n = 0,0114$ en 0,0157; de uit de γ-waarden afgeleide n-waarden blijken zich derhalve binnen een minder uitgestrekt gebied te bewegen dan de direct uit de metingen verkregen n-waarden. In aansluiting hierop is aan de hand van de grafieken Bazin — Gauckler-Manning (*fig. 1*) en Bazin — de Chézy (*fig. 4*) nagegaan, dat van de 84 waarnemingen de in onderstaanden *staat* genoemde aantallen tot de volgende categorieën behooren:

Gat.	Gauckler-Manning	Bazin	de Chézy
I	65	30	18
II	15	49	41
III	4	5	20
IV	—	—	5

Uit het bovenstaande mag de conclusie worden getrokken, dat het verschil in bruikbaarheid tusschen de formules van Gauckler-Manning en Bazin niet groot kan zijn.

De uitkomsten der enkele waarnemingen, vereenigd tot één categorie, zijn nu op de volgende wijze bewerkt (*staat A*).

Nadat, zooals hierboven reeds is aangegeven, voor elke waarneming de coëfficiënten C en γ waren becijferd, zijn de gemiddelde waarden van n en γ vastgesteld:

$$n_{gem} = \frac{\Sigma n}{84} = \frac{1,0296}{84} = 0,0122 \text{ en } \gamma_{gem} = \frac{\Sigma \gamma}{84} = \frac{12,332}{84} = 0,147.$$

Met deze gemiddelden zijn, wederom voor elke waarneming, berekend de coëfficiënten:

$$C_{G\text{-}M} = \frac{1}{0,0122} \cdot R^{0,17} \quad \text{en} \quad C_B = \frac{87}{1 + \frac{0,147}{\sqrt{R}}}$$

(kolommen *g* en *k*) en daarna de verschillen $C_{G\text{-}M} - C$ (kolommen *h* en *i*) en $C_B - C$ (kommen *l* en *m*) bepaald. De som der absolute verschillen bedraagt nu voor de formule van Gauckler-Manning: 204,7 + 190,1 = 394,8 en voor die van Bazin: 228,2 + 208,8 = 437,0.

De gemiddelde afwijking van de met den gemiddelden ruwheidscoëff. becijferde C-waarde t.o.v. den werkelijken coëff. C der enkele waarneming wordt dan bepaald door het quotient van de som der absolute verschillen en de som der werkelijke coëfficiënten C; in procenten uitgedrukt bedraagt zij voor de formules van Gauckler-Manning en Bazin resp.:

$$\frac{394,8}{\Sigma C} \cdot 100 = \frac{39\,480}{5\,857,0} = 6,74\% \text{ en } \frac{437,0}{\Sigma C} \cdot 100 = \frac{43\,700}{5\,857,0} = 7,46\%.$$

Eveneens is voor de reeks series de gemiddelde afwijking berekend (zie *Aanhangsel, staat B*). Voor elke serie zijn de verschillen $C'_{G\text{-}M} - C'$ en $C'_B - C'$ bepaald, waarbij C', $C'_{G\text{-}M}$ en C'_B de gemiddelden voorstellen van de overeenkomstige coëfficiënten der tot één serie behoorende waarnemingen. Deze afwijking bedraagt voor de formules van Gauckler-Manning resp.:

$$\frac{55,7 + 64,5}{1\,352,9} \cdot 100 = 8,88\% \text{ en } \frac{48,2 + 71,3}{1\,352,9} \cdot 100 = 8,83\%.$$

Als gemiddelde fout is nu aangenomen de gemiddelde waarde van de beide hierboven becijferde gemiddelde afwijkingen, voor de formules van Gauckler-Manning en Bazin te stellen op resp.:

$$\frac{6{,}74 + 8{,}88}{2} = 7{,}81\% \quad \text{en} \quad \frac{7{,}46 + 8{,}83}{2} = 8{,}15\%.$$

Hieruit volgt, dat de gemiddelde fouten zich verhouden als 1 : 1,044, zoodat de formule van Bazin practisch even bruikbaar moet worden geacht als de formule van Gauckler-Manning.

Voor het berekenen van leidingen volgens de formule van Gauckler-Manning met behulp van nomogrammen moge worden verwezen naar de publicatie van ir. A. L. Verwoerd: „Een eenvoudige berekeningswijze voor leidingen en waterloopen" en van ir. A. G. Beckeringh van Loenen: „Berekening van tertiaire leidingen", resp. voorkomende in *De Waterstaats-Ingenieur*, No. 9 — 1931 en No. 10 — 1932, terwijl voor algemeen gebruik een nomogram voorkomt in het geciteerde artikel van ir. Vreedenburgh.

De formule van Steevensz.

In *De Waterstaats-Ingenieur* 1916 komen van de hand van ir. J. M. Steevensz een tweetal artikelen voor, getiteld: „Over snelheden, waterdiepten en verhangen in kanalen met hoogstens 10 m bodembreedte" en „Grafieken voor de berekening van open kanalen".

In het eerstgenoemde artikel ging ir. Steevensz uit van het verband tusschen het debiet, de toe te laten snelheid en de verhouding $\frac{\text{bodembreedte}}{\text{waterdiepte}}$, zooals dit was vastgesteld in de Irrigatie-Afdeeling Pekalen-Sampean:

Staat XI

Taluds 2 : 3

Q	U	b/h	b	h
0,150	0,30	1,5	0,65	0,40
1,5	0,50	2	1,85	0,925
4,5	0,60	3	3,90	1,29
11,0	0,65	5	8,05	1,61

Met behulp van de formule van Ganguillet-Kutter, welke „het minst van alle formules afwijkt van de door directe meting verkregen uitkomsten", werd bij taludhellingen 1 : 1, 2 : 3 en 1 : 2 (nieuwe schrijfwijze) het bijbehoorende verhang berekend, terwijl tevens werd nagegaan, welke wijziging i ondergaat, indien de waterdiepte verandert. Het bleek, dat voor deze kanalen het verband tusschen h en i bij gelijkblijvend oppervlak van het doorstroomingsprofiel practisch te verwaarloozen is. Ir. Steevensz schrijft nu:

„Practisch kan men dus zeggen, dat bij een bepaalde Q en U een bepaalde i behoort. Getracht is nu dit verband tusschen Q, U en i in formule te brengen.

In Chézy's formule $U = C \cdot \sqrt{R \cdot i}$ is de coëff. C volgens Ganguillet-Kutter:

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

een functie van den gemiddelden straal R, den ruwheidscoëff. n en het verhang i. Uit de daarvoor bestaande tabellen is echter te zien, dat voor verhangen van $i = 0{,}0002$ tot $0{,}0100$ de i van weinig invloed is op de grootte van C, zoodat de C dan vrijwel alleen afhankelijk is van R en n, en dus bij een bepaalden ruwheidscoëff. ($n = 0{,}025$ voor aarden wanden) de C nog slechts een functie van R is.

Worden de verschillende waarden van R en de daarbij behoorende gemiddelde waarden van C resp. als abscissen en ordinaten uitgezet, dan wordt een kromme verkregen, die voor waarden van R, gelegen tusschen 0,20 en 1,20, benaderd is door een lijn van de vergelijking:

$$C = 40 \cdot R^{0{,}24}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$R = 0{,}20$ tot 1,20 zijn de waarden, waartusschen voor de in *staat XI* voorkomende profielen de R schommelt. Voor deze leidingprofielen mag verder als gemiddelde straal aangenomen worden:

$$R = 0{,}3 \cdot \sqrt{F} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

waarin F de natte doorsnede voorstelt.

Substitueert men deze benaderingen voor C en voor R in de formule $U = C \cdot \sqrt{R \cdot i}$, dan wordt:

$$U = 7{,}78 \cdot i^{0{,}365} \cdot Q^{0{,}270}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Door middel van grafische interpolatie werden nu voor een aantal tusschen de in *staat XI* genoemde debieten de bijbehoorende snelheden bepaald en de verhangen berekend met behulp van formule (3). Tevens legde ir. Steevensz de waterdiepten vast, eveneens door grafische interpolatie, welke waterdiepten zouden kunnen worden aangehouden onafhankelijk van de te bezigen taludhelling:

Staat XII

Q	U	i	h
0,075	0,25	0,00056	0,31
0,150	0,30	0,00055	0,40
0,30	0,35	0,00050	0,52
0,60	0,40	0,00044	0,64
1,0	0,45	0,00042	0,78
1,5	0,50	0,00041	0,92
2,0	0,53	0,00039	1,03
2,5	0,55	0,00037	1,11
3,0	0,57	0,00036	1,19
3,5	0,58	0,00032	1,22
4,0	0,59	0,00031	1,26
4,5	0,60	0,00030	1,29
5,0	0,61	0,00029	1,33
6,0	0,62	0,00027	1,39
7,0	0,63	0,00025	1,45
8,0	0,635	0,00023	1,50
9,0	0,64	0,00022	1,54
10,0	0,645	0,00020	1,58
11,0	0,65	0,00019	1,61

Het blijkt, dat voor de kleinere debieten de afwijking van het volgens formule (3) becijferde verhang t.o.v. het verhang berekend met de formule van Ganguillet-Kutter grooter is dan voor de grootere debieten, echter belangrijk kleiner dan t.o.v. het met de formule van Bazin berekende. Op grond van dit laatste zag ir. Steevensz er van af om voor kleinere debieten een formule op te stellen, welke zich beter aan de formule van Ganguillet-Kutter zou aansluiten dan de voorgestelde.

In het tweede artikel bepaalde ir. Steevensz een benaderingsformule voor kanalen met gladde wanden voor verhangen van 0,0002 tot 0,0100, wederom gebaseerd op de formule van Ganguillet-Kutter, waarbij als ruwheidscoëff. werd aangenomen $n_G = 0{,}015$. Hierbij was echter geen vast verband tusschen het debiet en de snelheid aangenomen, slechts mag de waterdiepte niet te groot of te klein zijn t.o.v. de afmetingen van het profiel. De coëff. C kan nu worden benaderd door:

$$C = 71 \cdot R^{0,216}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

In verband met de omstandigheid, dat gladde wanden hoofdzakelijk beperkt blijven tot kanalen met kleine profielen, werd in plaats van $R = 0{,}30 \cdot \sqrt{F}$ ingevoerd $R = 0{,}36 \cdot \sqrt{F}$, waaruit volgt:

$$U = 13{,}5 \cdot i^{0,368} \cdot Q^{0,264}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Op geheel overeenkomstige wijze werd voor kanalen met zeer onregelmatige aarden wanden, gebaseerd op $n_G = 0{,}040$, gevonden:

$$C = 25 \cdot R^{0,224}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

zoodat met invoering van $R = 0{,}30 \cdot \sqrt{F}$ de formule van Ganguillet-Kutter kan worden benaderd door:

$$U = 5{,}437 \cdot i^{0,364} \cdot Q^{0,271}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

In *De Waterstaats-Ingenieur* Nos. 5 en 6 — 1918 publiceerde ir. Steevensz een voortzetting op de beide hierboven aangehaalde artikelen, getiteld: „Nieuwe formules en grafieken voor het berekenen van open kanalen met regelmatige aarden wanden". Hierin leidde hij voor verschillende graden van ruwheid, zooals deze hoofdzakelijk in de irrigatiepractijk voorkomen, een meer algemeene en op eenvoudige wijze in nomogramvorm grafisch voor te stellen formule van de structuur:

$$U = a \cdot i^p \cdot Q^r \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

af. Deze betrekking zou dan bij gemis aan voldoende gegevens afgeleid moeten worden uit de formules van Bazin en Ganguillet-Kutter.

Uitgegaan werd van de volgende categorieën van aarden wanden:

Cat.	Omschrijving	Ruwheidscoëfficiënt
I	Aarden bodem en bemetselde taluds	$n = 0{,}0200$ ($\gamma = 0{,}74$)
II	Aarden bodem en met steen bezette taluds of zeer regelmatige aarden wanden	$\gamma = 0{,}85$ ($n = 0{,}0213$)
III	Regelmatige aarden wanden	$n = 0{,}0225$ ($\gamma = 0{,}9575$)
IV	Tamelijk regelmatige aarden wanden	$n = 0{,}0250$ ($\gamma = 1{,}175$)

Voor categorie IV had ir. Steevensz reeds gevonden:

$$C = 40 \cdot R^{0,24} = \frac{1}{0{,}025} \cdot R^{0,24}$$

op grond waarvan hij nu voorstelde:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{10 \cdot n \,-\, 0{,}01}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

waarin n = de ruwheidscoëff. van Ganguillet-Kutter, of indien de ruwheidscoëff. van Bazin wordt ingevoerd:

$$C = \frac{87}{1 + \gamma} \cdot R^{0,115 \,\cdot\, \gamma \,+\, 0{,}105}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

Voor de 4 bovengenoemde categorieën wordt nu de coëff. C:

Cat. I	$C = 50{,}0 \cdot R^{0,19}$
„ II	$C = 47{,}0 \cdot R^{0,20}$
„ III	$C = 44{,}5 \cdot R^{0,215}$
„ IV	$C = 40{,}0 \cdot R^{0,24}$

Deze C-waarden sluiten in het algemeen goed aan bij de C-waarden volgens de formules van Bazin en Ganguillet-Kutter.

Wordt nu $C = \frac{1}{n} \cdot R^{10 \,\cdot\, n \,-\, 0{,}01}$ gesubstitueerd in de formule van de Chézy, dan ontstaat de formule:

$$U = \frac{1}{n} \cdot R^{10 \,\cdot\, n \,+\, 0{,}49} \cdot i^{1/2}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

welke nu nog moet worden getransformeerd tot $U = a \cdot i^p \cdot Q^r$, d.w.z. de grootheid R moet worden vervangen door Q.

Opnieuw stelde ir. Steevensz $R = e \cdot \sqrt{F}$, hierbij uitgaande van het verband tusschen de gemiddelde stroomsnelheid en het debiet, voorgesteld door:

$$U = 0{,}41 \cdot Q^{0,225}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

terwijl hij voor de meest gewenschte waterdiepte h_o bij gegeven snelheid de formule van Kennedy invoerde:

$$h_o = 2{,}54 \cdot U^{1,56} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

Met behulp van deze beide formules werd voor debieten van 0,250 tot 25 m³/sec en taludhellingen 1 : 1, 2 : 3 en 1 : 2 als gemiddelde waarde van den coëff. e, welke varieerde van 0,33 tot 0,28, vastgesteld: $e = 0{,}30$.

Wordt nu in formule (**11**) gesubstitueerd:

$$R = 0{,}30 \cdot \sqrt{F} = 0{,}30 \frac{Q^{1/2}}{U^{1/2}}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

dan ontstaat tenslotte de formule:

$$U = n^{-\frac{1}{5 \cdot n + 1{,}245}} \cdot 0{,}30^{\frac{10 \cdot n + 0{,}49}{5 \cdot n + 1{,}245}} \cdot Q^{\frac{5 \cdot n + 0{,}245}{5 \cdot n + 1{,}245}} \cdot i^{\frac{1}{10 \cdot n + 2{,}49}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

Op geheel overeenkomstige wijze kunnen nog de volgende formules worden afgeleid:

$$F = n^{\frac{1}{5 \cdot n + 1{,}245}} \cdot 0{,}30^{-\frac{10 \cdot n + 0{,}49}{5 \cdot n + 1{,}245}} \cdot Q^{\frac{1}{5 \cdot n + 1{,}245}} \cdot i^{-\frac{1}{10 \cdot n + 2{,}49}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (16)$$

en

$$i = n^2 \cdot 0{,}30^{-(20 \cdot n + 0{,}98)} \cdot U^2 \cdot F^{-(10 \cdot n + 0{,}49)} \quad (17)$$

Voor de 4 categorieën gaan deze formules over in:

Cat.	$U = f(Q, i)$	$F = f(Q, i)$	$i = f(U, F)$
I	$U = 9{,}88 \cdot Q^{0{,}256} \cdot i^{0{,}372}$	$F = 0{,}101 \cdot Q^{0{,}744} \cdot i^{-0{,}372}$	$i = 0{,}00212 \cdot U^2 \cdot F^{-0{,}690}$
II	$U = 9{,}28 \cdot Q^{0{,}260} \cdot i^{0{,}370}$	$F = 0{,}108 \cdot Q^{0{,}740} \cdot i^{-0{,}370}$	$i = 0{,}00247 \cdot U^2 \cdot F^{-0{,}703}$
III	$U = 8{,}67 \cdot Q^{0{,}264} \cdot i^{0{,}368}$	$F = 0{,}115 \cdot Q^{0{,}736} \cdot i^{-0{,}368}$	$i = 0{,}00283 \cdot U^2 \cdot F^{-0{,}715}$
IV	$U = 7{,}71 \cdot Q^{0{,}270} \cdot i^{0{,}365}$	$F = 0{,}130 \cdot Q^{0{,}730} \cdot i^{-0{,}365}$	$i = 0{,}00372 \cdot U^2 \cdot F^{-0{,}740}$

welke formules in nomogramvorm zijn vereenigd in het bekende „Album van Steevensz".

Zooals hierboven reeds is uiteengezet, berusten deze formules op de benadering $R = 0{,}30 \cdot \sqrt{F}$, waarin de coëff. $e = 0{,}30$ werd afgeleid met inachtneming van de formules (**12**) en (**13**). Tot welke verhouding $\frac{\text{bodembreedte}}{\text{waterdiepte}}$ deze beide hulpformules aanleiding geven, moge blijken uit den volgenden *staat*, waarin tevens zijn bijgevoegd de verhoudingsgetallen voor taludhellingen 2 : 3, zooals deze grafisch geïnterpoleerd zijn uit *staat XI:*

Q	1 : 1	2 : 3	1 : 2	Pekalen–Sampean 2 : 3
0,250	3,78	3,28	2,78	1,55
0,500	4,14	3,64	3,14	1,65
1,0	5,15	4,65	4,15	1,80
2,5	5,19	4,69	4,19	2,35
5,0	5,65	5,15	4,65	2,65
10,0	5,98	5,48	4,98	4,70
25,0	6,35	5,85	5,35	—

Nu is:

$$e = \frac{R}{\sqrt{F}} = \frac{\sqrt{F}}{O} = \frac{\sqrt{(b + m \cdot h) \cdot h}}{b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{m^2 + 1}} = \frac{\sqrt{\frac{b}{h} + m}}{\frac{b}{h} + 2 \cdot \sqrt{m^2 + 1}},$$

waaruit volgt, dat de coëff. e een functie is van de verhouding $\frac{\text{bodembreedte}}{\text{waterdiepte}}$ en de taludhelling.

Aangezien met de door ir. Steevensz gestelde beperkingen ten aanzien van den vorm der dwarsprofielen in de irrigatiepractijk weinig of geen rekening meer wordt gehouden, is de coëff. e bepaald voor verschillende waarden van b/h:

b/h	1 : 1 ($m = 1$)	2 : 3 ($m = 1{,}5$)	1 : 2 ($m = 2$)
1	0,37	0,34	0,32
2	0,36	0,33	0,31
3	0,34	0,32	0,30
4	0,33	0,31	0,29
5	0,31	0,30	0,28
6	0,30	0,29	0,27

Uit dezen *staat* blijkt duidelijk, dat, naarmate de kanaalprofielen, d.w.z. de verhoudingen b/h, grooter worden, de afwijkingen bij gebruik der nomogrammen zullen toenemen. Ir. Steevensz heeft dan ook zeer terecht de verdeeling op den schaaldrager Q niet verder aangebracht dan tot 30 m³/sec.

Waar de verhouding $\frac{\text{bodembreedte}}{\text{waterdiepte}}$ voor de kanaalprofielen, waarvoor deze nomogrammen gelden, maximaal op 6 moet worden gesteld, lijkt de keuze $e = 0{,}32$ meer gemotiveerd dan $e = 0{,}30$.

De formule van Bazin.

In een studie, getiteld „Etude d'une nouvelle formule pour calculer le débit des canaux découverts", verschenen in de *Annales des Ponts et Chaussées* jrg. 1897, werd door H. Bazin tegen de formule van Darcy en Bazin:

$$U = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \frac{\beta}{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

een tweetal bedenkingen geopperd:

1e. tusschen de coëfficiënten α en β, van welke de laatste veel sneller met den ruwheidsgraad toeneemt dan de eerste, blijkt geen verband te bestaan, zoodat bij het uitvoeren van berekeningen met deze formule een keuze moet worden gedaan voor 2 coëfficiënten;

2e. deze formule bezit geen algemeene geldigheid.

Met het oog hierop verving Bazin de term $1 : \sqrt{\alpha + \frac{\beta}{R}}$ door $1 : (\alpha' + \frac{\beta'}{\sqrt{R}})$ en veronderstelde de coëff. α' constant, waarmede de beide bezwaren waren weggenomen. Op deze wijze ontstond een formule van geheel gelijke structuur als de toen reeds 30 jaar bestaande formule van Kutter, waarin $\alpha' = \frac{1}{100}$ en $\beta' = \frac{b}{100}$. Waar het nu op aankwam, was de juiste waarde van α' te vinden.

Bazin ging nu als volgt te werk.

Op de X- en Y-as van een rechthoekig assenkruis werden resp. $\frac{1}{\sqrt{R}}$ en $\frac{\sqrt{R \cdot i}}{U}$ lineair uitgezet. De formule:

$$U = \frac{1}{\alpha' + \frac{\beta'}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i} \quad \text{of} \quad \frac{\sqrt{R \cdot i}}{U} = \alpha' + \frac{\beta'}{\sqrt{R}}$$

wordt dan voorgesteld door een bundel rechte lijnen, waarvan de vergelijking luidt:

$$y = \alpha' + \beta' \cdot x$$

en waarin β' de parameter is. Deze lijnenbundel snijdt de Y-as in het punt met ordinaat α', terwijl de parameter de tangens der hoeken voorstelt, welke deze lijnen met de X-as maken, welke hoeken dan een maat voor den graad van ruwheid zijn.

In dit assenkruis werden de uitkomsten van een zeer groot aantal metingen in kunstmatige en natuurlijke waterloopen als punten uitgezet, elke meting afzonderlijk of, indien voor een serie metingen de grootheden R gelijk waren, de geheele serie als één punt, in welk geval het gemiddelde der gevonden waarden $\frac{\sqrt{R \cdot i}}{U}$ de ordinaat van dit punt voorstelde. Deze metingen betroffen het geheele gebied tusschen kunstmatige goten en aquaducten met zeer pladde wanden (R varieerend van 0,05 tot 2,00 m) en groote rivieren met zeer onregelmatige wanden.

Bazin hield aanvankelijk de 4 door hem bij de formule van Darcy en Bazin vastgestelde categorieën aan, uitgebreid met die, welke door Ganguillet en Kutter hieraan was toegevoegd; later breidde hij dit vijftal nog uit met de categorie IIIbis, zoodat tenslotte de reeds vermelde indeeling ontstond.

Hij stelde nu den eisch, dat de met deze categorieën correspondeerende lijnen in de eerste plaats zoo goed mogelijk moesten aansluiten aan een aantal puntverzamelingen, elk behoorende tot één serie metingen, en tevens moesten gaan door één punt op de Y-as, welke voorwaarde noodzakelijk is voor de algemeene geldigheid der formule. Immers de ordinaat van het gemeenschappelijke snijpunt van alle lijnen van den lijnenbundel is dan onafhankelijk van de hoeken, welke deze lijnen met de X-as maken. Valt dit snijpunt nu op de Y-as, dan zijn de coördinaten van dit punt:

$$x = \frac{1}{\sqrt{R}} = 0, \text{ d.w.z. } R = \infty,$$

$$y = \alpha' = \frac{\sqrt{R \cdot i}}{U} = \frac{1}{C};$$

derhalve geeft de reciproke waarde van de ordinaat van het snijpunt den coëff C voor $R = \infty$, d.i. de limietwaare van C onafhankelijk van den graad van ruwheid.

Bazin stelde nu als snijpunt dezer lijnen het punt $x = 0$, $y = 0{,}0115$ vast. De vergelijking van den lijnenbundel werd nu:

$$y = 0{,}0115 + \beta' \cdot x.$$

Voor de 6 lijnen, voorstellende de series metingen, welke maatgevend zouden zijn voor de verschillende categorieën, varieerde de parameter β' van 0,0007 voor zeer gladde wanden tot 0,0202 voor zeer onregelmatige aarden wanden. Wordt deze vergelijking nu nog geschreven in den vorm $y = 0{,}0115 \cdot (1 + \gamma \cdot x)$, waarin $\gamma = \frac{\beta'}{0{,}0115} = 87 \cdot \beta$, dan luidt de formule, welke door dezen lijnenbundel wordt voorgesteld:

$$\frac{\sqrt{R \cdot i}}{U} = 0{,}0115 \cdot (1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}) \quad \text{of} \quad U = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i}.$$

Bazin deelt nog mede, dat de coëff. γ, hoewel in geringe mate, afhankelijk is van het verhang. Uit de metingen in kunstmatige waterloopen, waarbij de ruwheidsgraad van bodem en wanden behoorde tot de beide eerste categorieën, bleek, dat de term $\alpha' + \frac{\beta'}{\sqrt{R}}$ toeneemt, indien i afneemt, doch bij de andere categorieën bleek juist het tegenovergestelde het geval te

zijn. De invloed van i op de γ-waarde was echter te gering om hiermede rekening te houden.

In het reeds meergenoemde artikel: „Beschouwingen over de exponentieele formule van Gauckler-Manning voor de berekening van buisleidingen en open kanalen" wijst ir. Vreedenburgh op een tweetal metingen, door hem verricht in de toevoerleiding van het W. K. W. Oebroeg, waarbij γ-waarden werden gevonden van — 0,024 en 0,005. Ook in de metingen van Scobey (zie *staat A*) komt een negatieve waarde van γ voor, n.l. — 0,009, welke echter t.o.v. de andere γ-waarden in dezelfde serie (No. 71) een zeer geïsoleerde plaats inneemt.

Een negatieve waarde van γ geeft een C-waarde, welke hooger is dan 87, d.w.z. hooger dan de limiet van dezen coëff. bij toenemende waarde van R.

Had Bazin bij de uitkomsten van zijn proefnemingen en bij de bewerking van aan andere onderzoekers ontleende metingen eveneens negatieve γ-waarden gevonden, dan zou het snijpunt van den lijnenbundel met de Y-as zeker lager zijn uitgevallen, immers het door Bazin vastgestelde punt $x = 0$, $y = 0{,}0115$ is slechts een vrij grove benadering, niet alleen omdat de rechte lijnen benaderingen zijn, maar ook omdat deze lijnen elkaar bovendien niet in één punt snijden. Had Bazin in plaats van $y = 0{,}0115$ gevonden $y = 0{,}0111$, dan ware dit zeker niet minder gemotiveerd geweest. De met laatstgenoemde y-waarde correspondeerende formule luidt:

$$U = \frac{90}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i};$$

in stede van $\gamma = -0{,}024$ en 0,005 zou nu zijn gevonden $\gamma = 0{,}013$ en 0,037.

Bij een nadere bestudeering van de grafische voorstelling van Bazin kwam schrijver dezes tot de conclusie, dat, indien er sprake is van een lijnenbundel, het gemeenschappelijke snijpunt zal liggen aan de andere zijde van de Y-as, d.w.z. in een punt, waarvan de abscis negatief is. In dat geval snijdt de lijnenbundel de Y-as in verschillende punten en wel zoodanig, dat de ordinaat van het snijpunt toeneemt met den ruwheidscoëfficiënt.

Hiermede gaat echter de algemeene geldigheid van de formule verloren.

Gevonden werd: $x = -0{,}3$, $y = 0{,}0097$. De lijnenhandel wordt nu voorgesteld door de vergelijking:

$$y = 0{,}0097 + \beta' \cdot (x + 0{,}3).$$

De ordinaat van het snijpunt met de Y-as is nu $y = 0{,}0097 + 0{,}3 \cdot \beta'$. Varieert β' weer van 0,0007 tot 0,0202, hetgeen ongeveer juist is, dan varieert y van 0,00991 tot 0,01576, d.w.z. de C-waarde bij $R = \infty$ van 100,9 voor zeer gladde wanden tot 63,5 voor zeer onregelmatige aarden wanden. De formule voorgesteld door dezen lijnenbundel is:

$$U = \frac{103}{1 + \gamma \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{R}} + 0{,}3\right)} \cdot \sqrt{R \cdot i}.$$

Toegepast op de beide metingen van ir. Vreedenburgh werd voor de waarden van γ gevonden resp. 0,122 en 0,138.

Alvorens over te gaan tot de bespreking van de aan de formule van Bazin nauw verwante formule van Kutter en de formule van Ganguillet-Kutter zijn eerst de door Humphreys en Abbot in de Mississippi verrichte metingen aan een nader onderzoek onderworpen, aangezien de resultaten van deze metingen van grooten invloed zijn geweest op de opstelling van deze beide formules en wel voornamelijk op die van Ganguillet-Kutter.

Critiek op de metingen van Humphreys en Abbot in de Mississippi.

Zooals reeds in het hfdst. „Het verhang" is aangestipt, werden in het jaar 1851 door de Amerikaansche onderzoekers Humphreys en Abbot metingen verricht in de Mississippi (zie o.m. het artikel van E. Beyerhaus in het *Zentralblatt der Bauverwaltung*, Heft 27: „Die Trugschlüsse aus den Mississippi-Messungen von Humphreys und Abbot und der fehlerhafte Bau der Ganguillet-Kutter'schen Formel").

Deze metingen, welke, zooals hieronder nader zal worden uiteengezet, als vrijwel waardeloos moeten worden beschouwd, zijn alleen hierom van belang, omdat de formule van Ganguillet-Kutter haar onoverzichtelijken en ingewikkelden vorm voornamelijk te danken heeft aan het streven een formule op te stellen, welke zoo goed mogelijk zou aansluiten aan de uitkomsten van deze metingen. Ook bij het opstellen van de formule van Kutter hebben deze metingen, hoewel in geringer mate, een rol gespeeld.

Van deze meetresultaten werd o.m. het volgende tiental gepubliceerd:

Staat XIII

Plaats	No.	R in m	i	U in m/sec	$C = \frac{U}{\sqrt{R \cdot i}}$
Carrollton	1	21,95	0,000 0205	1,81	85,1
	2	22,09	0,000 0171	1,79	92,2
	3	22,41	0,000 0034	1,23	140,4
	4	22,67	0,000 0038	1,21	129,9
Columbus	1	20,08	0,000 0680	2,12	57,5
Vicksburg	1	9,50	0,000 0223	1,07	73,5
	2	15,89	0,000 0303	1,69	76,9
	3	17,48	0,000 0481	1,93	66,2
	4	19,67	0,000 0436	2,08	70,9
	5	19,54	0,000 0638	2,12	59,9

Uit de geschriften van Kutter, betrekking hebbende op het opstellen van de zgn. „nieuwe formule", blijkt, dat de 4 nabij Carrollton verrichte metingen, welke meer gedetailleerd in *staat XIV* voorkomen, de meeste aandacht hebben gehad en wel in het bijzonder Nos. 3 en 4, welke metingen onmiddellijk in het oog springen door het zeer geringe waterspiegelverhang, in verband waarmede voor de coëfficiënten van de Chézy de zeer hooge waarden $C = 140{,}4$ en 129,9 werd gevonden.

Staat XIV

No.	Peilschaalstand in eng. voet bij Carrollton	Debiet in m^3/sec	Oppervlak doorstroomingsprofiel in m^2	Breedte waterspiegel in m	Natte omtrek doorstroomingsprofiel in m	Grootste waterdiepte in m	Hydraulische straal in m	Waterspiegelverhang	Gemiddelde sneldheid in m/sec	Coëff. van de Chézy	Lengte rivierstrekking in m
		Q	F	B	O	H_{max}	R	i	U	C	
1	15,4	32 562	18 019	802,50	820,80	41,45	21,95	0,000 02051	1,81	85,1	2 600
2	15,4	32 562	18 148	809,50	821,70	41,45	22,09	0,000 01713	1,79	92,2	3 200
3	10,6	20 670	16 812	737,90	750,10	39,93	22,41	0,000 00342	1,23	140,4	2 600
4	11,0	20 670	17 062	740,30	752,40	40,23	22,67	0,000 00384	1,21	129,9	3 200

De metingen 1 en 3 hebben betrekking op de rond 2 600 m lange rivierstrekking *AB* (zie *fig. 12*), terwijl voor de metingen 2 en 4 deze strekking met ongeveer 630 m was verlengd tot *C*.

De grootheden *F*, *B*, *O* en H_{max} stellen de gemiddelde waarden voor, becijferd uit een groot aantal in beide strekkingen opgemeten dwarsprofielen; de opgegeven waarden van *R* zijn uit deze gemiddelden bepaald.

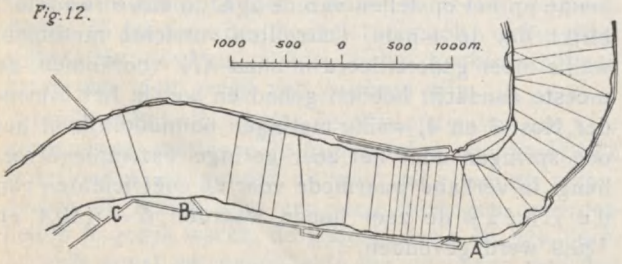
Het valt nu direct op, dat bij de vrijwel gelijke grootheden *F*, *B*, *O* en *R* en bij gelijke peilschaalstanden, het verhang gevonden bij meting 2 ruim 15% lager is dan bij meting 1.

De oorzaak hiervan is gemakkelijk aan te wijzen.

De voor het verhang opgegeven cijfers, met behulp waarvan de coëff. *C* is bepaald, betreffen het verhang van den waterspiegel, terwijl juist, zooals reeds werd uiteengezet, de grootheid *i* moet worden gedefinieerd als het verhang van de energielijn. Dat het gemiddelde waterspiegelverhang bij meting 2 lager is dan bij meting 1 wijst op een vertraging van de waterbeweging in de strekking *BC*, en inderdaad blijkt dit het geval te zijn, immers de gemiddelde waarde van het oppervlak van het doorstroomingsprofiel is in de strekking *AC* (meting 2) grooter dan in de strekking *AB* (meting 1). In verband hiermede moet het maatgevend verhang bij meting 2 grooter zijn geweest dan het waterspiegelverhang, waaruit volgt, dat de berekende waarde $C = 92{,}2$ te hoog is.

Voor meting 3 heeft blijkens mededeeling der onderzoekers geen debietwaarneming plaats gehad, doch uit een door hen opgestelde grafische voorstelling van het debiet als functie van den tijd werd de conclusie getrokken, dat het debiet tijdens de metingen 3 en 4, waartusschen een tijdsverloop van 3 dagen lag, even groot moet zijn geweest, hoewel de peilschaal bij Carrollton een lageren stand aanwees.

Fig. 12.



Zooals te verwachten is, is ook bij meting 4 de gemiddelde waarde van *F* grooter dan bij meting 3. Het bevreemdt daarom, dat ondanks de ook hier opgetreden vertraging in de waterbeweging, het verhang van den waterspiegel bij meting 4 grooter is geweest dan bij meting 3.

De eenige verklaring, welke hiervoor te vinden is, is wel deze, dat het opmeten van het gemiddelde waterspiegelverhang niet met de noodige nauwkeurigheid heeft plaats gehad, hetgeen juist met het oog op het bij beide metingen zeer geringe verhang zeker niet onwaarschijnlijk moet worden geacht.

Het peil van den waterspiegel werd langs de oevers op verschillende plaatsen afgelezen met peilschalen verdeeld in 0,1′ (= 3 cm). Nu bedroeg voor meting 3 het verschil in waterspiegelhoogte aan het boven- en benedenstroomsche einde van de strekking *AB*:

$$2\,600 \cdot 0{,}000\,00342 = 0{,}89 \text{ cm} = 0{,}03'.$$

Het behoeft geen betoog, dat de peilschaalverdeeling in 0,1′ voor het beoogde doel als veel te onnauwkeurig moet worden beschouwd en rekening dient te worden gehouden met waarschijnlijke afleesfouten van 0,02′.

Is nu aan de bovenstroomsche zijde van de strekking in de aflezing een fout gemaakt van 0,02′ in positieven zin en aan de benedenstroomsche zijde een gelijke fout in negatieven zin, dan zou voor het gemiddelde waterspiegelverhang zijn gevonden 0,000 00821 in plaats van 0,000 00342 en voor den coëff. van de Chézy $C = 90{,}6$ i.p.v. $C = 140{,}4$.

Verder valt het op, dat de grootheid *R* bij de metingen 1 en 2 kleiner is dan bij de metingen 3 en 4, terwijl toch de waterstand bij de laatstgenoemde metingen lager is geweest.

Dit is een gevolg van de omstandigheid, dat bij de beide eerstgenoemde metingen een strook (uiterwaard of deel ervan) met een gemiddelde breedte van 65 — 70 m en een t.o.v. den hoofdstroom geringe waterdiepte is medegerekend (vgl. *B* en H_{max} in *staat XIV*). Bij het hooger worden van den waterstand nam nu het oppervlak van het doorstroomingsprofiel in verhouding minder snel toe dan de omtrek daarvan, hetgeen ook blijkt uit de opgegeven waarden van *F* en *O*, immers terwijl *F* toeneemt met 6% neemt *O* toe met ongeveer 10%.

Hieruit mag worden afgeleid, dat inderdaad de grootheden *R* bij de metingen 1 en 2 te klein zijn t.o.v.

die bij de metingen 3 en 4. In vergelijking met meting 4 zou bij meting 2 het oppervlak van het doorstroomingsprofiel F niet grooter mogen zijn geweest dan:

$$17\,062 + 740{,}30 \cdot (41{,}45 - 40{,}23) = 17\,965 \text{ m}^2$$

en de natte omtrek O:

$$752{,}40 + 2 \cdot (41{,}45 - 40{,}23) = 754{,}80 \text{ m}$$

waaruit volgt:

$$R = \frac{17\,965}{754{,}80} = 23{,}80 \text{ m},$$

d.i. ongeveer 8% grooter, zoodat alleen op grond hiervan de coëff. C 4% kleiner had moeten zijn.

De 4 hierboven besproken metingen hebben plaats gehad in een strekking onmiddellijk benedenstrooms van een zeer scherpe bocht in de rivier. Nu is het algemeen bekend, dat benedenstrooms van een kromming het water nog geruimen tijd een dwars op den stroom gerichte heen en weer gaande beweging maakt, als gevolg waarvan langs de oevers vrij sterke schommelingen optreden, resulteerend in een golfbeweging in de lengterichting van de rivier.

In verband hiermede is het onmogelijk om langs de oevers van een rivier het verhang van den waterspiegel te meten, indien de afstand van het bovenstroomsche einde van de strekking, waarover de meting plaats heeft, tot aan de kromming kleiner is dan 5 tot 10 maal de breedte van den waterspiegel.

Uiteraard zal deze golfbeweging zich verder voortzetten, naarmate de waterdiepte grooter is, als gevolg van de grootere massa, welke aan deze golfbeweging deelneemt, en de geringe wrijving langs den omtrek.

Bovendien zijn de strekkingen, in verband met de onnauwkeurige wijze, waarop het verschil in waterspiegelhoogte werd afgelezen, veel te kort genomen.

Uit het bovenstaande mag de conclusie worden getrokken, dat de uitkomsten van deze 4 metingen in hooge mate onbetrouwbaar zijn.

Van de 6 overige door Humphreys en Abbot verrichte metingen kan het volgende worden vermeld.

De meting bij Columbus moet eveneens als onbetrouwbaar worden aangemerkt; de beschouwde strekking bleek tamelijk onregelmatig te zijn en werd aan de benedenstroomsche zijde afgesloten door een eiland, ten gevolge waarvan vooral aan de benedenstroomsche zijde een onregelmatige waterbeweging moet hebben geheerscht.

De metingen bij Vicksburg hebben plaats gehad in een strekking, welke als regelmatig wordt beschreven. Uit een onderlinge vergelijking der metingen 4 en 5 (zie *staat XIII*) kan echter wel worden afgeleid, dat ook hier bij het opmeten van het verschil in waterspiegelhoogte aan het boven- en benedenstroomsche einde belangrijke afleesfouten moeten zijn gemaakt, zoodat ook aan deze metingen geen grootere betrouwbaarheid mag worden toegekend.

Uit deze metingen leidden Humphreys en Abbot de volgende formule af:

$$\sqrt{U} = \sqrt{\frac{0{,}002333}{\sqrt{R} + 0{,}457}} + \sqrt{68{,}72 \cdot R_1 \cdot \sqrt{i}} - \sqrt{\frac{0{,}002333}{\sqrt{R} + 0{,}457}},$$

waarin:

$$R = \frac{\text{oppervlak doorstroomingsprofiel}}{\text{natte omtrek}}$$

en

$$R_1 = \frac{\text{oppervlak doorstroomingsprofiel}}{\text{natte omtrek} + \text{waterspiegelbreedte}},$$

welke formule werd vereenvoudigd tot:

$$\sqrt{U} = \sqrt[4]{69 \cdot R_1 \cdot \sqrt{i}} - 0{,}0214.$$

H. Grebenau verbeterde in zijn: „Theorie der Bewegung des Wassers in Flüssen und Kanälen" (1867) deze formule tot:

$$U = \beta \cdot k_1 \cdot \sqrt{R_1 \cdot \sqrt{i}},$$

waarin $k_1 = 8{,}28972$ en β afhankelijk is van het oppervlak van het doorstroomingsprofiel:

F in m²	β
< 1	0,8543
1 — 5	0,8796
5 — 20	0,8890
20 — 400	0,9223
> 400	0,9459

Aangezien deze formule in hoofdzaak geldt voor zeer breede rivieren, kan de grootheid R_1 worden vervangen door $\frac{1}{2} \cdot R$; hieruit volgt:

$U = 8{,}29 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \beta \cdot R^{1/2} \cdot i^{1/4}} = 5{,}86 \cdot \beta \cdot R^{1/2} \cdot i^{1/4}$,

welke formule in het algemeen wordt aangeduid met den naam Humphreys-Abbot—Grebenau.

Naar aanleiding van de uitkomsten van deze metingen werden in de jaren 1881 — '82 opnieuw metingen verricht in de Mississippi.

De uitkomsten van deze metingen zijn samengevat in *staat XV*.

Staat XV

Plaats	Nos.	R in m	i	U in m/sec	C_{gem}
Carrollton	1 — 7	17,56 — 18,50	0,000 0097 — 0,000 0112	0,90 — 1,23	78,7
	8 — 14	17,43 — 20,00	0,000 0127 — 0,000 0143	1,19 — 1,62	87,7
	15 — 16	19,08 — 19,23	0,000 0165	1,60 — 1,80	95,2
Fulton	1 — 3	9,02 — 9,27	0,000 0144 — 0,000 0191	0,67 — 0,72	55,9
	4	10,03	0,000 0209	0,86	59,5
	5 — 7	11,98 — 12,53	0,000 0476 — 0,000 0513	1,23 — 1,37	52,6
	8 — 9	16,31 — 16,37	0,000 0617 — 0,000 0740	2,28 — 2,36	69,4

Ook deze metingen zijn niet van voldoende betrouwbaarheid gebleken om hieruit verstrekkende conclusies te mogen trekken. Zoo was b.v. bij Carrollton voor het bepalen van de gemiddelde snelheid en het gemiddelde waterspiegelverhang een strekking uitgekozen, waarin een scherpe bocht voorkwam.

Dat door verschillende onderzoekers zooveel aandacht is gewijd aan de meetresultaten van Humphreys en Abbot moet hieraan worden toegeschreven, dat vóór dien tijd nog geen metingen in groote rivieren hadden plaats gehad, zoodat zich eerst na de publicatie van de verkregen uitkomsten de gelegenheid voordeed de geldigheid van de bestaande formules ook voor groote waarden van R en kleine waarden van i te onderzoeken en zoonoodig met deze meetresultaten in overeenstemming te brengen.

Zooals reeds aan het begin van dit hoofdstuk werd vermeld, hebben vooral de 4 bij Carrollton verrichte metingen aanleiding gegeven tot vergaande conclusies.

Gaven deze metingen geen direct uitsluitsel betreffende het verband tusschen de gemiddelde snelheid en de grootheid R, wel echter omtrent het verband tusschen de gemiddelde snelheid en het gemiddelde waterspiegelverhang bij groote waterdiepte. Uitgaande van de algemeene formule:

$$U = K \cdot R^p \cdot i^q$$

kan bij onderlinge vergelijking van de uitkomsten dezer metingen de invloed van R worden geëlimineerd, aangezien R is te stellen op 22 m. De exponent q kan nu worden bepaald uit:

$$\frac{U_1}{U_2} = \left(\frac{i_1}{i_2}\right)^q \text{ of } q = \frac{\log U_1 - \log U_2}{\log i_1 - \log i_2}.$$

Door combineering worden dan voor q de volgende waarden gevonden:

	q		q
1 — 2	0,0618	2 — 3	0,2329
1 — 3	0,2157	2 — 4	0,2619
1 — 4	0,2404	3 — 4	—0,0142

De gemiddelde waarde van q is nu te stellen op 0,164; worden echter de eerste en de laatste waarde verwaarloosd, dan bedraagt het gemiddelde 0,238. Op grond van deze gemiddelden werden door Hagen en Grebenau formules opgesteld, waarin het verhang voorkomt onder den 6den resp. 4den machtswortel.

Andere onderzoekers trokken hieruit de conclusie, dat bij het toenemen van R de invloed van het waterspiegelverhang zou afnemen, omdat metingen verricht in waterloopen met $R \leq 2$ m reeds overtuigend hadden aangetoond, dat voor deze waterloopen de gemiddelde snelheid evenredig gesteld diende te worden met den 2den machtswortel van het waterspiegelverhang.

(Slot volgt).