2e JAARGANG
NUMMER 10

OCTOBER
1935

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: dr. ir. L. J. C. van Es,
ir. E. E. Hens.

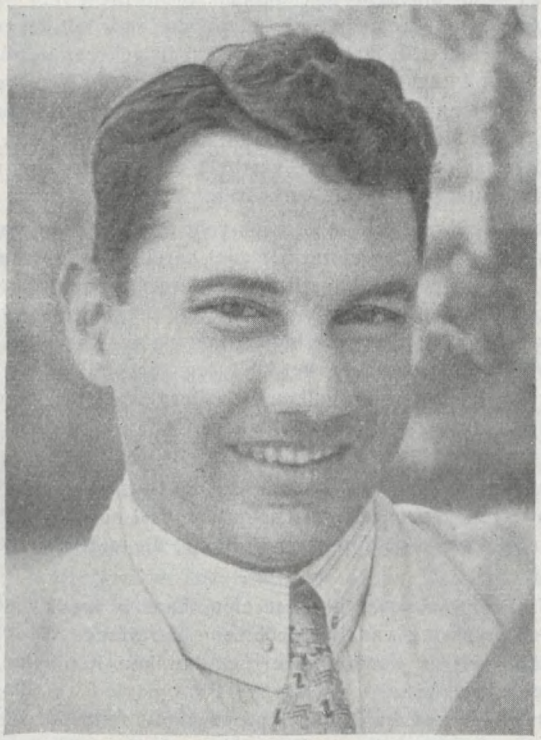
Prijs per jaargang: *f* 20,— Afzonderlijke nummers: *f* 2,—
Redactie-adres (zonder vermelding van persoonsnamen): Hoogeschoolweg 3, Bandoeng.
Adres voor administratie en abonnementen: Bragaweg 38, Bandoeng.
Adres voor advertenties: Firma G. Kolff & Co., Batavia-Centrum.

I. ALGEMEEN GEDEELTE.

INHOUD: Ter herdenking ir. R. Th. de Quant, door ir. mr. G. C. Hardenberg. — Enkele ervaringen op het gebied van onze bouwstoffen, opgedaan in N.-I., van belang voor den civiel-ingenieur, door prof. ir. W. J. Th. Amons. — De ingenieur en de stedebouw, door ir. Thomas Karsten. — Het zwaartekracht-onderzoek aan boord H. M. K XVIII (lezing prof. dr. ir. Vening Meinesz), door Vr. — Bepaling van invloedsstangenveelhoeken voor portaalsystemen, door prof. ir. C. G. J. Vreedenburgh. — Prof. dr. ir. F. A. Vening Meinesz. — *Berichten van allerlei aard:* Normalisatieraad. — Normalisatie. — Stichting voor Materiaalonderzoek. — *Personalia.* — *Kon. Instituut van Ingenieurs:* Bestuursmededeelingen.

Ter herdenking

† ir. R. TH. DE QUANT
1901 — 1935



Op 19 Juli j.l. stierf te Banjoewangi geheel onverwachts ir. R. Th. de Quant.

Geboren 15 Maart 1901 te Sintang, begon hij in 1922 zijn ingenieursstudie aan de T. H. te Bandoeng. Met belangstelling en opgewektheid nam hij aan het studentenleven deel. Met zijn opgeruimd en vroolijk karakter was hij voor velen, die hem kenden, een gewaardeerde studiemakker. Na in 1929 het ingenieursdiploma behaald te hebben, trad hij in militairen dienst om zijn militieplicht te vervullen. Als reserve luitenant bij de automobieldienst ging hij met groot verlof.

In hetzelfde jaar werd hij benoemd tot ingenieur bij den Waterstaat en 's Lands B. O. W. en toegevoegd aan het hoofd der irrigatiewerken in Bantam, Batavia en Buitenzorg met Batavia als standplaats.

In 1930 werd hij overgeplaatst naar Poerwakarta, waar hij te werk werd gesteld bij de Krawangwerken.

Twee jaren later zien we de Quant te Soerabaja terug als ingenieur bij de Solovalleiwerken, om onder meer te worden belast met het beheer over de ondersectie Soerabaja.

In 1933 vertrok hij naar Banjoewangi, waar hij toegevoegd werd aan den sectieingenieur van de irrigatieafdeeling Pekalen-Sampean.

Hier heeft hij zijn korte loopbaan moeten beëindigen.

Een aanvankelijk lichte malaria-aanval, waarvan hij spoedig herstelde, herhaalde zich in heviger mate en sleepte hem ten grave.

Op 22 Juli hebben zijn oud-hoogleeraren, collega's, officieren en ingenieurs hem te Bandoeng naar zijn laatste rustplaats gebracht.

De groote belangstelling op dezen laatsten tocht betoond, moge zijn vrouw tot eenigen troost strekken en tot steun in haar zware taak.

ir. mr. G. C. Hardenberg.

Enkele ervaringen op het gebied van onze bouwstoffen, opgedaan in Nederlandsch-Indië, van belang voor den civiel-ingenieur

door

prof. ir. W. J. TH. AMONS,

hoofd van het Laboratorium voor Materiaalonderzoek van het Departement van Economische Zaken.

Inaugureele rede, uitgesproken naar aanleiding van de aanvaarding van het ambt van buitengewoon-hoogleeraar in de Kennis en het Onderzoek van Bouwstoffen aan de Technische Hoogeschool te Bandoeng.

Mijne heeren Curatoren,
Mijne heeren Hoogleeraren, Lectoren en Assistenten,
Dames en heeren studenten,
En gij allen, die door Uwe aanwezigheid blijk geeft van Uwe belangstelling voor deze plechtigheid.
Zeer geachte toehoorderessen en toehoorders.

Wanneer men zich tot taak stelt een en ander mede te deelen uit de ondervindingen omtrent onze bouwstoffen, die men in den loop der jaren in Nederlandsch-Indië heeft opgedaan, dan ziet men zich genoodzaakt zich beperkingen op te leggen. Deze beperking heb ik heden hierin gezocht, dat ik een keuze heb gedaan uit de ondervindingen, die men opgedaan heeft op het gebied, hetwelk speciaal voor den civiel-ingenieur van belang is. En ook uit het aldus meer begrensd gebied heb ik, ten einde mij te kunnen houden aan den voor deze plechtigheid beschikbaren tijd, een serie onderwerpen in betrekkelijk los verband met elkander gekozen, die thans aan een nadere bespreking zullen worden onderworpen.

Vangen wij aan met het materiaal, dat voor den civiel-ingenieur wellicht wel het meest belangrijk is, het beton, waaronder achtereenvolgens kunnen vallen de samenstellingen, analysen en de degradatie-verschijnselen.

Betonsamenstellingen.

Voor den bouw van een sluizencomplex nabij Tanggerang moest een onderzoek worden ingesteld naar de meest gewenschte betonsamenstelling. De bedoeling was om met de aldaar beschikbare toeslagstoffen te komen tot een *waterdicht* beton. Mochten onverhoopt de ter plaatse aanwezige toeslagstoffen niet te gebruiken zijn, dan zou men er op aangewezen zijn, zand van Buitenzorg aan te voeren.

Bij het onderzoek werd allereerst uitgegaan van een mengverhouding van 1 : 5 toeslagstoffen, overeenkomende met 300 kg P. C. per m³, terwijl verder in verband met den aard van het werk, werd uitgegaan van een zetmaat van 12 à 14 cm. Reeds bij het vooronderzoek van het zand werd als opmerkelijk resultaat verkregen, dat de P. C.-zandmortel 1 : 3 bereid met het *uitgewasschen* zand een belangrijk lagere drukvastheid bezat dan de mortel bereid met het oorspronkelijke zand, waarschijnlijk als gevolg van den grooteren watercementfactor, die ter verkrijging van eenzelfde zetmaat noodig was.

Voor de vaststelling van de mengverhouding werd gebruik gemaakt van de drie bekende methoden:

1° de methode van de Duitsche Gewapend Beton Voorschriften 1930
2° de methode A b r a m s, waarbij dus essentieel is de ideale fijnheidsmodules van het zand en grind, en
3° de methode van de practische bepaling van de maximumdichtheid.

Het grind had practisch een maximum korrelgrootte van 38 mm. Voorts werd overeengekomen om eventueel ook de mengverhouding 1 : 4 te toetsen.

Het resultaat van onze ruim opgezette proeven was zeer merkwaardig. Zoo gaf de methode van de Gewapend Beton Voorschriften een kuben drukvastheid van 91 kg/cm², terwijl het beton in het geheel niet waterdicht te noemen was.

De methode A b r a m s vereischte voor het Tanggerangzand de zeer ongewone mengverhouding 1 : 0,8 : 4,2. Het zoo vervaardigde beton gaf wel is waar een uitstekende drukvastheid van 190 kg/cm², merkwaardig was echter, dat het beton volstrekt niet waterdicht was. Ten slotte gaf de derde methode van het grootste litergewicht een kuben drukvastheid van ongeveer 180 kg/cm², het beton was eveneens bij lange na niet waterdicht.

Het beschikbare zand en grind gaf dus voor het gegeven P. C.-gewicht van 300 kg per m³ en de gekozen zetmaat van 12 tot 14 cm volgens geen der drie genoemde werkwijzen een mengverhouding met een behoorlijke waterdichtheid. Eerst bij de verhouding 1 : 4, dat is met 370 kg P. C., werd naast een zeer goede vastheid van 180 kg/cm² een beslist waterdicht beton verkregen.

Toch werd met een kunstgreep voor de gevraagde mengverhouding 1 : 5 ten slotte het doel bereikt. Deze bestond n.l. in het afzeven van alle grindkorrels grooter dan 25 mm, een bewerking, die in de practijk zeer goed uitvoerbaar is. Met dit fijnere grind en met de verlangde P. C.-hoeveelheid en zetmaat werd bij een verhouding van 1 : 1,9 : 3,1 ten slotte een volkomen waterdicht beton verkregen met de behoorlijke vastheid van 137 kg/cm² en wel volgens de methode van de grootste dichtheid.

Opgemerkt kan nog worden, dat de lijn van de korrelgrootte-gradeering voor dit beton-mengsel nog aanmerkelijk afwijkt van de F u l l e r-kromme, die veel lager verloopt.

Vragen wij ons af hoe ver men thans is met de algemeene oplossing van het probleem betreffende de drukvastheid en de korrelgradeering, dan kan het volgende worden opgemerkt.

De thans nog in Duitschland gevolgde methode, zooals b.v. beschreven is in de Beton-Voorschriften van de Beton-Vereeniging te Amsterdam, bestaat in het aangeven van de bruikbare velden in de grafiek, waarbij op de eene as is afgezet de korrelgrootte en op de andere as de druk-

vastheid; het eene veld geeft aan de „goede" samenstellingen, het andere veld de „nog bruikbare" samenstellingen. De begrenzingslijnen van deze velden verloopen continu.

Tot deze gebogen lijnen is men gekomen op grond van beschouwingen van het minimum poriën-volume bij den ruimtelijken opbouw van het toeslagmateriaal (grind + zand). Men heeft hier vastgehouden aan de idee, dat de beste ruimte-opvulling wordt verkregen door:

1° een continue opeenvolging der korrelgrootten;

2° aan te nemen, dat bij het toevoegen van de eerstvolgende grootere korrelfractie deze niet willekeurig genomen mag worden, maar steeds in dezelfde verhouding moet staan tot de vorige.

De lijn, welke men door intergratie van de eenvoudige differentiaalvergelijking verkrijgt, is een machtsfunctie.

Merkwaardig is, dat de rationeele grondgedachte om de X-as af te zetten de log. van de korrelgrootte, bij de opstelling van bovengenoemde begrenzingslijnen verlaten is en gekozen is de korrelgrootte zelf als autovariant. Daardoor wordt het overzicht zeer geschaad, omdat men daardoor aan de groote fractie onwillekeurig een abnormaal groot gewicht gaat toekennen.

Verder is opmerkelijk, dat men de aanwezigheid van beslist *alle aaneensluitende* korrelgrootten noodig heeft gevonden, terwijl men bij de beschouwing van den ruimtelijken opbouw, beginnende met een gegeven korrelgrootte, er toch vanzelf toe komt, dat de diameter van de eerstvolgende grootere fractie sprongsgewijze moet veranderen. Hoe het ook zij, deze methode, die bedoeld is te geven de algemeene oplossing voor de grootste dichtheid (=minimum holle ruimte) geeft deze maximum dichtheid bij lange na niet altijd. Bovendien is deze werkwijze, uit een theoretisch oogpunt niet onaardig, voor de practijk vaak zeer misleidend, zooals straks zal blijken.

Hiermee niet tevreden heeft H u m m e l getracht om niet alleen de grootste dichtheid maar ook het gezamenlijk korreloppervlak in het vraagstuk te betrekken, aangezien met de gegeven hoeveelheid P. C. en dus ook met de hieruit door hydrolyse ontstane gel de oppervlakte ongetwijfeld een woordje zal mee spreken. Het bleek al spoedig, dat deze opzet niet zou leiden tot een doelmatige werkwijze, evenmin de door H u m m e l voorgestelde basis van de *waterbehoefte*. Het onderzoek toch naar de waterbehoefte is slechts uitvoerbaar na vermenging van het toeslagmateriaal met het P. C., en hangt bovendien af van de gradeering van het P. C. zelf.

Opmerkelijk is nu, dat eerst thans in Duitschland de groote waarde wordt erkend van de methode van A b r a m s, die reeds in 1918 in Amerika zijn methode heeft gepubliceerd. Ongetwijfeld heeft deze methode, als *algemeene* methode, groote verdiensten en het inzicht in deze werkwijze wordt aanmerkelijk vergroot indien men de korrelgrootte logarithmisch afzet, waardoor de zoo juist genoemde fijnheidsmodulus de meetkundige beteekenis van een *oppervlak* verkrijgt.

Gebleken is nu, dat de drukvastheid niet verandert, als men de korrelgrootte-gradeering wijzigt bij instandhouding van het bewuste oppervlak, iets wat uit de werkwijze van A b r a m s vanzelf volgt, en door H u m m e l nogmaals practisch is nagegaan. Typisch is dan ook dat men gerust *discontinue* gradeering kan toepassen. Dit is ook geheel overeenkomstig de ervaringen in het Laboratorium voor Materiaalonderzoek. De idee nu van de continuïteit, waar wij het zoo juist over hadden, kan ongetwijfeld leiden tot het streven naar een dergelijke aaneensluitende gradeering, hetgeen stellig onpractisch is.

Ongetwijfeld kan men nu dus groote waarde toekennen aan de methode A b r a m s; echter mag niet worden ontkend, dat zij, evenmin als de andere werkmethoden, geen antwoord weet te geven op ons probleem van het Tanggerangzand, waarbij met de gegevens: 300 kg P. C./m³ en zetmaat 12 — 14 cm, gevraagd werd een, bij behoorlijke drukvastheid, *waterdicht* beton. Eerst door een willekeurig, persoonlijk ingrijpen, n.l. het afzeven van de grindfractie $>$ 25 mm, hetgeen in de practijk gemakkelijk kan geschieden, was het mogelijk een beton samen te stellen, hetwelk aan bovengenoemde eischen tegelijk voldoet.

Voorshands behoeft men, m.i., ook niet verder te zoeken naar een algemeene methode, die dit probleem oplost. De zaak is inderdaad gecompliceerd. Moge dit al blijken uit de verrassende uitkomst bij weglating van de grootste fractie, ook de korrelgradeering van het te bezigen cement is hier een niet te verwaarloozen factor. Dit is duidelijk in te zien, als men bedenkt, dat het physicochemisch onderzoek heeft uitgewezen, dat de bij de binding optredende hydrolyse bij lange na niet over de heele doorsnede van de cementkorrel plaats heeft, waardoor dus de oorspronkelijke korrelgradeering van het cement blijft bestaan en aan de ruimte-opvulling deelneemt.

Dit voor oogen gesteld zou men nu geneigd zijn te verwachten, dat de F u l l e r-kromme, welke zooals bekend ook de allerfijnste fracties, inclusief het cement, in het vraagstuk betrekt, hier het gewenschte resultaat zal geven. Ook dit is niet het geval; men vergete niet, dat ook de F u l l e r-kromme bedoeld is voor groote *vastheid* en niet voor waterdichtheid, terwijl bovendien de F u l l e r-kromme van de cementfracties verlangt een elliptisch verloopende gradeering, waaraan het te gebruiken cement dus maar heeft te voldoen. Bij onze laboratoriumproef zijn dan ook groote afwijkingen gevonden tusschen de ordinaten van de experimenteel verkregen goede lijn en die van de F u l l e r-kromme.

Een zeer leerzaam geval is verder het volgende.

Het betreft hier zand benoodigd voor den bouw van een brug van gewapend beton in Tapanoeli.

Men had de beschikking over 3 zandsoorten, *A*, *B*, en *C*. Zand *A* en *C* hadden in hun uiterlijk veel overeenkomst, ze zagen er zeer onoogelijk uit, de kleur was bruinachtig en men kreeg den indruk van te maken te hebben met een sterk verweerd product; vooral zand *C* was op het oog beoordeeld al zeer slecht. De prijs was voor *A* en *C* respectievelijk *f* 5,— en *f* 2,— per m³.

Zand *B* zag er totaal anders uit, het was grijsachtig wit en bleek bij onderzoek enkel te bestaan uit kwarts en biotiet. De korrelgrootte was gering, kleiner dan 0,3 mm, hetgeen als een bezwaar werd gevoeld, overigens zag het zand er uitstekend uit; de prijs was echter hoog, n.l. *f* 7,— per m³.

Het onderzoek gaf het volgende resultaat.

De vergruizing van de beide bruinachtige monsters zand was toelaatbaar; van het dure kwarts-biotiet zand werd de vergruizing, gegeven de geringe korrelgrootte, niet bepaald. Het slibgehalte was van alle drie soorten redelijk. Duidelijk verschillend was echter de drukvastheid van de mortels 1 : 3. Deze was voor het zand van *f* 5,— en *f* 7,— respectievelijk rond 50 en 40% van de vastheid van een

mortel, bereid met Duitsch normaalzand, terwijl de vastheid van het goedkoopste zand (dus dat van *f* 2,—) tot 80% van norm. vastheid ging. Van dit laatste zand werd voorts de drukvastheid van het daarmee vervaardigde beton bepaald; de gevonden waarde (90 kg/cm²) was voldoende.

Frappant is dus voor dit geval, dat het goedkoopste zand (dat van *f* 2,—) het eenig bruikbare bleek te zijn, terwijl de duurdere (*f* 5,— en *f* 7,—) voor het doel moesten worden afgekeurd!

Het bovenstaande toont voldoende aan dat, hoewel men thans beschikt over een geschikte methode om tot een passende betonsamenstelling te komen, het laboratoriumonderzoek speciaal voor werken, waarbij het aankomt op hetzij groote drukvastheid, hetzij waterdichtheid, volstrekt niet kan worden gemist.

Waar de kosten van uitgebreid opgezette proeven zelden hooger komen dan *f* 100,— zal het in de meeste gevallen wel geheel verantwoord zijn de beschikbare materialen in te zenden ten einde empirisch tot een voor het doel geschikte samenstelling te komen. Vaak zal men b.v. door persoonlijke visie bij het uitvoeren der proeven kunnen komen tot een waterdichte samenstelling bij een relatief mager beton, waarvan zoo juist een voorbeeld is gegeven.

Beton-analysen.

Zoodra een betonwerk, eerder dan men het verwacht, in verval komt, begint men in de eerste plaats te twijfelen aan de juiste *samenstelling van het beton*. Talrijke malen reeds is een onderzoek in deze richting aangevraagd. Had men in Nederlandsch-Indië evenals in Europa te doen met zuiver onverweerd zand, dan zou zulk een onderzoek eenvoudig verloopen, aangezien men voor cement een tamelijk vaste samenstelling kan aannemen met betrekking tot kalk, oplosbaar kiezelzuur en ijzer-aluminium-oxyde. Het probleem wordt hier in Indië, waar men practisch altijd met verweerd zand te doen heeft, reeds veel gecompliceerder, vooral ook omdat de analyse met zich meebrengt op een bepaald moment uit te gaan van het uitgegloeide product, omdat men zich vrij moet maken van door het cement mettertijd opgenomen koolzuur. Deze moeilijkheid van de wisselende samenstelling van verschillende zandsoorten is tot oplossing gebracht door zandsoorten van verschillende vindplaatsen te onderzoeken op oplosbaar kiezelzuur en gloeiverlies, waarbij tusschen deze beide een wel is waar grof, doch een niet te miskennen verband werd ontdekt, waarmee in de analyse en de berekening der samenstelling te rekenen valt.

Echter moest ook aan deze reeds vrij ingewikkelde analyse-methode een tweetal jaren geleden nog een uitbreiding worden gegeven en wel toen eenige stukken, genomen uit een gewapend betonschoorsteen, ter beoordeeling werden ingezonden. De tot dusver uitgewerkte analyse-methode toch was toen niet zonder meer van toepassing, aangezien de schoorsteenwand op verschillende plaatsen gedurende het bedrijf een verschillende temperatuur bezat. Allereerst werd onderzocht, welke bij een gegeven temperatuur der rookgassen de binnenoppervlakte-temperatuur van den schoorsteen was (hier kon n.l. een temperatuursprong tusschen rookgas-temperatuur en wand-temperatuur niet verwaarloosd worden). Daarna werd in den wand zelf het temperatuurverval nagegaan.

Nadat dit vraagstuk was opgelost, diende men nog te kennen het percentage van het door het cement bij een gegeven temperatuur gebonden water. Bedraagt n.l. bij gewone temperatuur het door cement gebonden water, nadat de mortel met de omgeving in evenwicht is gekomen, ongeveer 20%, gerekend op verhard cement, bij onderzoek bleek spoedig dat bij een temperatuur van 200° C dit watergehalte daalde tot 8%.

Nadat op deze wijze alle noodige gegevens deels langs theoretischen en deels langs experimenteelen weg waren verkregen, kon verder uit eenige, uit de analyse voortkomende, vergelijkingen de oorspronkelijke verhouding van de hoeveelheden van het gebezigde cement, zand en grind worden berekend.

Het zou hier te ver voeren op dit specialistisch, doch zeer interessante gebied in te gaan. Vermeld dient nog te worden, dat deze analyse eerst dan voor de practijk van groote beteekenis is geworden, zoodra wij er ons rekenschap van hadden gegeven, hoe de te bepalen betonsamenstelling afhing van de mogelijke variaties in de voor de vergelijkingen bestemde constanten betreffende cement, zand, gloeiverlies en hydraat-watergehalte.

In ieder geval kan thans worden medegedeeld dat de analyse-methode ten volle is uitgewerkt, zoodat onderzoekingsaanvragen van deze soort gereedelijk kunnen worden uitgevoerd.

Degradatie van betonwerken.

Een ander voor de bouwwereld interressant geval leverde het onderzoek naar de degradatie van beton-kolommen.

Van het bouwwerk werden ingezonden stukken van niet dragende holle sierkolommen van 8 m hoogte, voorts het materiaal van de vulling aangebracht rondom een dragende gewapend beton-kolom (deze vulling had slechts ten doel de slanke gewapend beton-kolom het uiterlijk van een klassieke kolom te geven en had zelf geen dragende functies), ten derde de vulling van het gewapend beton skelet; deze wand was aan de binnenzijde bij regenwateraandrang van buiten vochtig en bij de bemonstering bleek dit heele stuk beton door en door vochtig te zijn. Ten slotte werd ingezonden een stuk van de dragende gewapend beton-kolom zelf.

Het materiaal der niet-dragende vullingen vertoonde vrijwel overal horizontale of verticale scheuren en ook die plekken, welke oogenschijnlijk niet gescheurd waren, waren lang niet onberispelijk doordat ze sterk poreus bleken te zijn.

Bij het onderzoek kon toen het volgende worden vastgesteld:

1° Alle monsters welke niet-dragende functies hadden waren gemaakt van sintel-beton en vertoonden alle typische degradatie-verschijnselen.

2° Het materiaal van de dragende betonzuil was vervaardigd van steenslag-beton van goede samenstelling. Deze kolommen hadden zich goed gehouden.

3° Uiteraard bleken de sintels nog veel onverbrande kooldeelen te bevatten.

Dit resultaat leidt wel direct tot de conclusie, dat het gebruik van de sintels in het beton aanleiding is geweest tot de ondervonden sterke degradatie-verschijnselen. Ook K l e i n l o g e l heeft in zijn boek: „Einflüsse auf Beton" medegedeeld, dat uit zijn enquête gebleken is, dat sintels in beton vaak leiden tot snel verval van het bouwwerk,

vooral wanneer deze sintels afkomstig zijn van geologisch jonge steenkolen. Uiteraard is zulk een materiaal nog onderhevig aan veranderingen. Het is mij niet bekend van welke steenkool deze sintels afkomstig zijn, zoodat over den geologischen ouderdom niets verder is mede te deelen. In dit verband kan echter nog opgemerkt worden dat Poeloe Laoet-kolen recente kolen zijn, zoodat dus de sintels van deze kolen als volkomen onbruikbaar moeten worden beschouwd. Met het oog op de onzekerheid van de herkomst van sintels in het algemeen is het ongetwijfeld het veiligst geheel af te zien van de verwerking van sintels in beton.

Heeft in het hier beschreven geval de met den tijd voortschrijdende verandering van kolen-sintels de verbrokkeling van het bouwwerk ten gevolge gehad en konden de daarin aanwezige sulfaten door hun gering gehalte voor de degradatie niet aansprakelijk worden gesteld, de ondervinding die men hier te lande een tweetal jaren geleden heeft opgedaan met gewapend betonschoorsteenen heeft wel geleerd dat aan den bouw hiervan mede in verband met het sulfaatgehalte van de vliegstof speciale eischen zijn gesteld, die men niet ongestraft kan veronachtzamen.

Reeds enkele jaren na den bouw bleek de schoorsteen, vooral aan den binnenkant van de schacht, sterke degradatie te vertoonen; de vastheid van het beton bleek zeer gering (het brokkelde tusschen het bewapeningsijzer af). Bij het onderzoek is nu komen vast te staan, dat de degradatie in de eerste plaats toegeschreven moet worden aan een ondoelmatige betonsamenstelling, wellicht versterkt door de slechte kwaliteit van het gebezigde zand. Het beton was in ieder geval los van structuur; de aanwezige sulfaten, voornamelijk afkomstig van de vliegstof welke daarvan normaal 9% bevat, zijn in het beton kunnen indringen en hebben daar de gevreesde dubbelverbinding van calciumsulfaat-aluminaat in belangrijke hoeveelheid gevormd. Dit dubbelzout is daarop, gesteund door wisselend vochtgehalte (droogte en regen), met geweld uitgekristalliseerd, hetgeen met groote volume-vermeerdering gepaard gaat. Ziedaar de oorzaak van de degradatie.

Toch zou de degradatie, zelfs met dezelfde ongunstige betonsamenstelling, die afmetingen niet hebben aangenomen, indien van *speciaal* cement was gebruik gemaakt. Ik denk hier aan hoogovencement, ijzerportland cement of erts-cement. De verklaring ligt chemisch voor de hand; voor het hoogoven- en ijzerportland cement is n.l. door de bijmenging van hoogovenslakken de concentratie van het *calciumoxyde* (een bestanddeel van P. C.) zeer belangrijk verminderd, het erts-cement bevat practisch geen aluminiumoxyde meer, maar daarvoor in de plaats ijzeroxyde. Dit maakt, dat de drie genoemde cementen zeer bestand zijn tegen sulfaat-afzettingen en zelfs — en dit is nog niet geheel verklaard — tegen chemische invloeden in het algemeen.

Veel ervaring omtrent deze speciaal cementen in Nederlandsch-Indië, in de tropen in het algemeen, heeft men nog niet. In 1929 is op instigatie van mijn ambtsvoorganger v a n A l p h e n d e V e e r een groote proef opgezet met betonplaten, welke met verschillende cementsoorten waren vervaardigd of een speciale nabehandeling hadden ondergaan. Deze platen werden geplaatst in de haven van Tandjong-Priok en op geregelde tijden geïnspecteerd. Hoewel de proef thans dus reeds 6 jaar loopt, blijkt deze tijd voor een definitief oordeel nog te kort, zoodat momenteel met deze mededeeling betreffende de proef moet worden volstaan. Met alum. cement (ciment fondu of smeltcement) zijn verder door de S. S. indertijd proeven genomen, die vreemd genoeg, vrijwel mislukt zijn. Dit is echter geen reden om dit cement thans voorgoed te veroordeelen. Het is zeer gewenscht deze speciaal cementen in hun gedrag in de tropen beter te leeren kennen ten einde in daarvoor bestemde gevallen van de voordeelen dezer cementen ook hier te lande te kunnen profiteeren; ik heb mij daarom ook voorgenomen in de naaste toekomst hiermee eenige proeven in niet te kleinen opzet uit te voeren; voorts eenige proeven met het zgn. Tricosal, dat de eigenschap moet bezitten om, verwerkt in mortels, de benoodigde hoeveelheid aanmaakwater te verminderen en daardoor een voor hooge drukvastheid geschikten watercementfactor op te leveren.

Ook betreffende *tras* en *roode cement* kunnen hier nog eenige opmerkingen worden gemaakt.

Door M o h r is reeds uitgesproken, dat tras hier te lande op andere manier ontstaat dan in de Eiffel.

Geschiedt aldaar de trasvorming door verweering van de in het gesteente aanwezige speciale mineralen (zooals Sodalieth, Hauïn enz.) tot zgn. Zeoliethen, welke ten slotte met de toegevoegde kalk verharden doordat een ionen-omwisseling plaats grijpt, hier te lande geschiedt de trasvorming door verweering van b.v. andesietische en leucietische gesteenten, terwijl bovendien voor goed bruikbaar tras de verweeringsgraad niet willekeurig kan zijn, maar practisch gelegen moet zijn in een stadium, waarin het calcium bijna is uitgespoeld en het kalium in kleine hoeveelheid nog aanwezig is.

Moge dit in het algemeen het geval zijn, in de afgeloopen jaren is in het Laboratorium gebleken, dat een tras, dat met bovenomschreven verweeringsgraad overeenstemt, nog niet altijd goed tras behoeft te zijn. Onder toezicht n.l. van het Laboratorium werden op twee vlak bij elkander gelegen vindplaatsen trasmonsters genomen, welke beide op het oog beoordeeld van dezelfde kwaliteit moesten zijn. Uit een serie proeven is nu gebleken, dat het eene monster een flinke drukvastheid gaf van ongeveer 140 kg/cm^2, terwijl het andere de zeer lage vastheid van 22 kg/cm^2 bezat. Hiermede in overeenstemming was de zgn. rationeele silicaat-analyse, waarbij de mate, waarin het tras door beurtelingsche behandeling met KOH en zwavelzuur werd aangegrepen, een inzicht geeft in de hoedanigheid van het tras.

Het hier beschouwde geval is dus een waarschuwing dat men met tras over het algemeen zeer voorzichtig moet zijn. Om dezelfde reden behoeft een gunstig laboratoriumattest voor een bepaald trasmonster volstrekt niet altijd een uniform goede kwalieit van het product bij verder graven te waarborgen.

Een meer wetenschappelijk inzicht in de kwaliteit van *roode cement* bestaat, voor zoover mij bekend, thans nog niet. De onlangs in het Laboratorium ingestelde onderzoekingen, met het doel een mogelijk verband ook bij dit product te vinden tusschen de rationeele analyse en de kuben drukvastheid, hebben voor deze beide series van resultaten geen bevredigende correlatie gegeven. Een enkele daarbij geconstateerde ernstige uitzondering is momenteel nog niet te verklaren.

Dakpannen.

Tot voor kort waren geen cijfers bekend, die zouden

kunnen aangeven hoe pannen, op het dak gelegd, zich in den loop van de jaren onder invloed van weer en wind gedragen. Uiteraard moeten deze proeven zich over verscheidene jaren uitstrekken, zoodat men in zulke gevallen jaren zal moeten wachten voordat men over de gegevens kan beschikken. De omstandigheid echter, dat in het Laboratorium voor Materiaalonderzoek alle tot nu toe uitgebrachte rapporten in het archief bewaard zijn gebleven, heeft het mogelijk gemaakt, dat men thans direct omtrent de duurzaamheid van dakpannen een inzicht kan verkrijgen.

In 1922 n.l. zijn door het Gemeentelijk Bouwbedrijf te Bandoeng pannen vervaardigd, welke gelegd werden op eenige Gouvernementswoningen hier ter stede en welke destijds door het Laboratorium voor Materiaalonderzoek werden onderzocht op gewicht, poreusheid, waterabsorbtie en weerstand tegen doorbuiging.

In April van dit jaar, dus nadat de pannen ongeveer 13 jaar op het dak hadden gelegen, werd een twintigtal van deze Vlaamsche pannen op precies dezelfde wijze als vroeger geschied is nogmaals onderzocht.

Het resultaat dezer proefnemingen is inderdaad hoogst interessant. Ik laat hier de cijfers respectievelijk van 1922 en van thans volgen; men vergete hierbij echter niet rekening te houden met een bepaalde spreiding in de gegevens, welke niet nauwkeurig bekend is. Als *globale* cijfers hebben ze echter groote waarde.

Aldus bedraagt:	in 1922	thans
het gemiddeld gewicht van de pan	1,54 en	1,68 kg
de poreusheid	35% en	29%
de waterabsorbtie	21% en	17%
de weerstand tegen buiging	143 kg en	210 kg

terwijl ook de waterdoorlaatbaarheid in het voordeel van de oude pannen is uitgevallen!

Wij hebben dus in het hier medegedeelde eenige merkwaardige cijfers en al moet men met het oog op de vergelijkbaarheid der objecten eenige reserve in acht nemen, de conclusie, dat deze dakpannen na 13 jaren lang liggen op de daken niet zijn achteruitgegaan, is stellig niet al te gewaagd.

Bedenkt men, dat de pannen een duidelijke verweering hebben ondergaan — de pannen zagen er donkerkleurig uit als gevolg van de begroeiïng met mos en andere lagere organismen — dan is een plausibele verklaring voor de bestendigheid niet zoo gemakkelijk te geven, vooral ook, omdat verwacht kan worden, dat pannen, in 1922 hier te lande vervaardigd, zeker niet extra doorbakken zullen zijn geweest.

Stappen wij thans af van de onderwerpen beton en cement om het gebied der metalen te betreden, dan kunnen de volgende onderwerpen in onze belangstelling een plaats vinden.

Verzinkt ijzer.

Speciale moeilijkheden werden ondervonden bij de keuring van verzinkt ijzeren platen.

Tot voor eenige jaren heeft men zich ter beoordeeling der kwaliteit tevreden gesteld met de bepaling van de zinkdikte zonder meer. Uitstekende methoden hiervoor zijn uitgewerkt, waarbij door behandeling met zoutzuur of zwavelzuur met toevoeging van slechts geringe hoeveelheden formaldehyd, arseentrioxyde of antimoontrichloride uitsluitend de zinklaag werd opgelost, terwijl het onderliggende ijzer en zelfs de zeer dunne tusschenlaag van de ijzer-zink-legeering practisch volmaakt onaangetast blijft. Door bepaling van het gewichtsverlies vóór en na de proef kon dan de zinkdikte op eenvoudige wijze worden bepaald. Men dacht toen dat men met een voorschrijven van een gegeven dikte zonder meer ervan verzekerd kon zijn, dat het materiaal voor het beoogde doel geschikt zou zijn.

In de practijk bleek echter al spoedig, dat men voorbarig is geweest; de zinkdikte was stellig niet de eenige factor die de hoedanigheid van het dakzink bepaalde; ook de *aard* van de zinklaag bleek hierbij een zeer belangrijke rol te spelen. Nu wordt in de verzinkerijen om verschillende redenen nooit zuiver zink gebezigd; toevoeging van cadmium en aluminium schijnt practisch regel te zijn. De gedachte, dat deze toevoegingen oorzaak zouden zijn, dat de laag in het gebruik min of meer snel corrodeerde, bleek niet juist te zijn; een correlatie tusschen aantastingssnelheid van het zink en de aanwezigheid van deze nevenbestanddeelen is niet te constateeren.

Er bleef toen niets anders over dan te zoeken naar meer directe methoden, waarmee de kwaliteit van de zinklaag kon worden beoordeeld. Zoo werd dan op instigatie van mijn ambtsvoorganger een paar jaren geleden in het Laboratorium voor Materiaalonderzoek de *oplossingssnelheid* bepaald van de zinklaag in een zuur van gegeven concentratie; het ontwikkelde waterstofgas werd gemeten, terwijl door een roerwerktuig de oppervlakte van het metaal steeds in contact met versch zuur bleef. Talrijke proeven werden genomen en inderdaad kon een typisch verband worden gelegd tusschen deze oplossingssnelheid en de corrosiesnelheid in de practijk. Waar bij deze methode de factor dikte, die in de duurzaamheid van het dakzink toch ook een rol speelt, niet in rekening werd gebracht, was zij niet afdoende. In de laatste maanden is nu deze methode zoodanig gewijzigd, dat thans wordt bepaald *de tijd van aantasten tot het moment, dat de zinkijzer tusschen-laag bloot komt.*

Zoodoende heeft men op practische wijze rekening gehouden met alle factoren, die de duurzaamheid der platen bepalen, al heeft men nog geen *inzicht* verkregen in het proces der corrosie. Door verder de proef uit te voeren op verschillende plaatsen heeft men tevens een overzicht op de gelijkmatigheid der verzinking over de heele plaat. Zoo is nu ook gebleken, dat de in de practijk erkende goede verzinking van bepaalde merken zich geheel dekt met het resultaat dezer beproevingsmethode. Het is thans zeker niet te gewaagd om te zeggen, dat dit probleem is opgelost althans voor zoover het gaat om de beoordeeling van de kwaliteit zonder meer; de reden waarom de eene verzinking superieur is aan de andere blijft vooralsnog onbekend.

In dit verband kan nog een opmerking gemaakt worden omtrent de zgn. indompelproef, welke ter keuring van gegalvaniseerd ijzerdraad (b.v. voor telefoon-leidingen), wordt uitgevoerd. Zooals bekend, wordt hierbij het aantal indompelingen bepaald, dat het verzinkte draad in een kopersulfaatoplossing van bepaalde sterkte en temperatuur kan ondergaan, totdat koper zich vast gaat zetten aan de bloot gekomen ijzer-onderlaag. Bedenkt men nu, dat door de losse afzetting van het koper op het zink locale galvanische elementen gevormd worden, dan beteekent dit, dat bij de proef de oplossingssnelheid van het zink tot het maximum is opgevoerd, zoodat de oorspronkelijke kwaliteitsverschillen van de verzinkte platen practisch zullen wegvallen en de proef feitelijk dus neerkomt op

een bepaling van de dikte zonder meer. Nadere proeven zullen worden genomen om dit te bevestigen.

Parkerproces.

Waar dit procédé eenige jaren geleden in het middelpunt van de algemeene belangstelling heeft gestaan, is het niet ondienstig daarover een en ander mede te deelen.

Het parkeriseeren heeft ten doel ijzer en staal te beschermen tegen roest en wel op een andere wijze dan door aanbrengen van een verf- of vernislaag.

Het P a r k e r-poeder is een zout, dat tot een bepaald percentage in water wordt opgelost. De oplossing wordt daarna gebracht op ongeveer 90° C, waarna de ijzeren voorwerpen gedurende eenigen tijd daarin worden gelegd. Door den dienst der S. S. werden daarmee eenige oriënteerende proeven genomen, terwijl het zout door het Laboratorium voor Materiaalonderzoek werd onderzocht. Het bleek te zijn een mengsel van ferro- en mangaanfosfaat met een bepaalde overmaat aan vrij fosforzuur. Een laboratoriumproef werd genomen om het zout volgens de analyse te bereiden. Men kreeg inderdaad een met het origineele gelijkwaardig product, indien men ten minste voor de juiste overmaat fosforzuur zorgdraagt; deze laatste bleek inderdaad zeer critisch.

Na behandeling nu in de oplossing overtrok zich het ingedompelde ijzer met een fraaie gelijkmatige fosfaatlaag, die goed op het onderliggende ijzer vasthechtte en een donkergrijze kleur bezat.

Vermoedelijk is ook door den uitvinder van het procédé verwacht, dat met deze laag zonder meer zou kunnen worden volstaan. Hoe het zij, bij nader onderzoek is gebleken, dat dit in het geheel niet het geval was.

De laag was n.l. fijn poreus, zoodat week ijzeren platen, op deze wijze behandeld en daarna in de buitenlucht geplaatst, al vrij spoedig op de plaatsen, waar de poriën waren, gingen roesten. Voor de helft in water geplaatst was de oxydatie belangrijk, zooals te verwachten was.

Het is daarom wel te begrijpen, dat door den uitvinder wordt aanbevolen, het aldus behandelde ijzer nog te voorzien van een laag verf. Dat de waarde van het procédé hierdoor vrij twijfelachtig wordt, is duidelijk. De fosfaatlaag dient dan feitelijk als een grondlaag, die echter op veel eenvoudiger wijze door een gewone grondverf kan worden verkregen. Voor de toepassing op spoorwegbruggen is het wel als totaal waardeloos te beschouwen; men stelle zich een oogenblik voor wat gedaan zou moeten worden om een vakwerkbrug te behandelen met een tot 90° C verwarmde zoutoplossing!

In aansluiting op dit corrosieprobleem kan nog iets worden medegedeeld omtrent de *neiging tot corrosie van eenige handelsstalen.*

De proeven werden genomen met een vloeistalen ketelplaat met 0,09% S, verder Union Baustahl en Resistastahl (deze beide zijn staalsoorten die ongeveer 0,3% koper en eveneens 0,3% chroom bevatten), benevens Armco-ijzer dat, zooals bekend is, een weekijzer is en speciaal bevrijd van alle meer edele metalen dan ijzer, met de bedoeling een materiaal te verkrijgen, dat meer dan het gewone constructie-ijzer bestand is tegen corrosie.

De plaatjes werden op ons proefveld aan weer en wind blootgesteld. Bij bezichtiging na 7 maanden waren alle plaatjes op een na reeds geheel met roest overdekt; slechts het stuk Armco bevatte nog eenige niet geroeste plekken.

Na ruim 2 jaren waren alle stukjes flink verroest.

Ten einde een maat voor de aantasting te hebben werden de plaatjes, welke voor den aanvang van de proef gewogen waren, volgens een bepaalde methode zorgvuldig van roest bevrijd en wederom gewogen.

Het gewichtsverschil vóór en na de proef kan nu als maat voor de corrosie worden aangenomen.

Stelt men nu de gewichtsafname van de vloeistalen ketelplaat = 100, dan vindt men voor

het Armco-ijzer	69
Union Baustahl gemiddeld	52
Resista staal	61

Het spreekt vanzelf dat deze proeven, gezien den beperkten opzet, slechts van oriënteerenden aard kunnen zijn. Intusschen is wel gebleken, dat de genoemde drie speciale soorten van constructie-ijzer in het voordeel zijn tegenover het gangbare constructie-ijzer. Van deze drie speciale soorten is volgens bovenstaande proef het Armco, waarvoor door de fabrikanten zooveel moeite is genomen om het geheel vrij te maken van vreemde metalen, relatief het minst en het Union Baustahl het meest corrosiebestendig.

Draadwindingen.

Zeer leerzaam was het resultaat bij trekproeven genomen op boorbuizen.

Deze boorbuizen waren van zacht staal en bezaten een diameter van ongeveer 6″ en een wanddikte van ± 8 mm. Op de uiteinden dezer buizen was een driehoekige draadwinding gesneden, terwijl door middel van een mof van ongeveer dezelfde wanddikte de pijpen aan elkaar waren verbonden. Door een gering conisch verloop der draadwindingen werd bereikt, dat de boorbuizen bij het indraaien in de mof onberispelijk in den draad en zonder vrije ruimte sloten.

Gevraagd werd de kracht te bepalen, die vereischt wordt om de buizen van elkander los te trekken.

Zooals bij het nemen van dergelijke proeven gebeurt, maakte men zich vooraf een voorstelling van de wijze, waarop de breuk straks tot stand zal komen. In dit geval had men blijkbaar de keuze tusschen:

1° òf een bezwijken van de buizen of de mof zelf;
2° òf het bezwijken van den schroefdraad als gevolg van de optredende schuifspanningen.

Hoogst merkwaardig was echter, dat nòch het eene nòch het andere plaats vond. Een der buizen sprong n.l. met een flinke slag uit de mof, terwijl de draadwinding practisch geheel gaaf was gebleven (behoudens een geringe afstomping der driehoekige draaddoorsneden).

Bij nadere beschouwing is daarop gebleken, dat het losschieten tot stand was gekomen, doordat een wigwerking op het schuine draadprofiel plaats had gevonden. De optredende trekkracht in de buisrichting gaf n.l. aanleiding tot een radiale krachtsverdeeling op buis en mof, zoodanig dat deze op de pijp middelpunt-gericht was en op de mof middelpunt-vliedend was. Door de aldus ontstane vermindering van den buisdiameter en vermeerdering van den mofdiameter was het losschieten mogelijk geworden.

Voor de werktuigbouwkunde moge dit een voorbeeld zijn, dat met het kiezen van een schroefdraad voor een bepaald doel niet steeds kan worden volstaan enkel met een beschouwing van de materiaaldoorsnede en de grootte van het vlak, dat in den draad de schuifspanningen moet

opnemen, doch dat tevens aandacht dient te worden gevestigd op de elastische eigenschappen van het materiaal in verband met de afmetingen en het draadprofiel, al is de doorrekening van dit vraagstuk lang niet eenvoudig.

Insmelten van staaldraadkabels in de kabelschoenen.

Dat een goede kennis van structuur en de daarbij gepaard gaande eigenschappen van ons constructiestaal van groot belang is voor den ingenieur bewijst wel het ongeluk dat ruim 10 jaar geleden plaats vond bij het spannen van een stalen antennekabel bij het Radiostation Malabar. Velen zullen zich nog herinneren, dat dat ongeluk eenige menschenlevens heeft gekost.

Bedoelde staaldraadkabel werd in het Laboratorium beproefd, waarbij bleek, dat hij de verwachte treksterkte van 16 — 20 ton inderdaad bezat.

Hierop vertrouwend werd begonnen met het ingieten der uiteinden in de kabelschoenen en het spannen van den kabel over de bergkloof met behulp van lieren. Gerekend was dat de kabel een rustende belasting van 8 ton had te houden.

Juist op het moment dat deze spankracht bereikt was gebeurde het ongeluk; de kabel brak vlak bij een der kabelschoenen en vloog met groote snelheid over de bergkloof met het bovenvermelde noodlottige gevolg. Waar de oorzaak van deze breuk bij een trekkracht van nog niet de helft der breukbelasting niet direct werd begrepen, werden de kabelschoenen en het gebroken uiteinde van den kabel aan een metallografisch onderzoek onderworpen. Hierbij was komen vast te staan, dat de staaldraden op de contactplaatsen met het witmetaal, waarmede de kabel in de kabelschoen was ingesmolten, een veel lagere breeksterkte bezaten dan normaal, terwijl bovendien de microscopische structuur der draden in de schoenen geheel was gewijzigd. De oorspronkelijk door de koudbewerking der draden lang gerekte kristallen waren n.l. gerekristalliseerd in normale polygonen.

De conclusie lag nu wel voor de hand: het ingieten der kabeluiteinden had plaats gehad bij een te hooge temperatuur van het ingietmetaal.

Bij deskundige werklieden behoeft dit absoluut niet voor te komen, het smeltpunt van het ingietmetaal ligt bij ongeveer 200° C., terwijl bij een temperatuur even hierboven nog geen gevaar bestaat voor rekristallisatie van het staal. Dit wordt overtuigend bewezen door het feit, dat in het Laboratorium staaldraadkabels voor de beproeving steeds op bovenvermelde wijze worden ingegoten en dat deze kabels bij de belasting nimmer in de kabelschoenen, doch steeds op het vrije kabelstuk zijn gebroken, ook bij de zwaarste kabels met een treksterkte van 150 ton.

Mijne heeren Curatoren! Aan het einde van mijn rede gekomen voel ik mij gedrongen U bij deze gelegenheid mijn bijzondere erkentelijkheid te betuigen voor het vertrouwen, dat U in mij gesteld hebt, waardoor U hebt kunnen besluiten mij voor dit ambt voor te dragen.

Naast het technisch-experimenteele werk, dat mij tot voor kort voornamelijk heeft bezig gehouden, heeft ook het doceeren mij steeds aangetrokken. Indien men in het doceeren niet alleen ziet het louter mededeelen van zijn kennis aan de toehoorders, maar in de eerste plaats daarin ook een speciale gelegenheid ziet de talrijke begrippen uit de onderwerpen zijner studie duidelijk te doen uitkomen, de hoofdzaken van de bijzaken streng te onderscheiden, dan ligt in het doceeren ongetwijfeld een groote bekoring. Onnoodig zal het wel zijn U de verzekering te geven, dat ik al wat in mijn vermogen ligt zal verrichten om aan Uw verwachtingen te kunnen voldoen.

Mijne heeren Ambtgenooten,

Het is ongeveer een jaar geleden, dat ik geroepen werd om tijdens het verlof van Uwen ambtgenoot v a n A l p h e n d e V e e r de lessen in de Kennis en Onderzoek van Bouwstoffen op mij te nemen. De groote welwillendheid, waarmede U mij toen reeds tegemoet kwam, heeft mij bijzonder getroffen en deze heb ik ten zeerste op prijs gesteld; en thans nu ik in Uw kring ben opgenomen hoop ik in het bijzonder, dat ik steeds op Uw gewaardeerden steun mag blijven rekenen.

Ook mijn ambtsvoorganger v a n A l p h e n d e V e e r, met wien ik het bijzondere voorrecht heb gehad vele jaren samen te werken en die mij steeds op gulle wijze zoo veel heeft medegedeeld uit zijn groote veelzijdige ervaring, ben ik bijzonderen dank verschuldigd. Zeer veel heeft hij bijgedragen in het belang van onze industrie en nijverheid; zijn arbeid strekt mij tot voorbeeld.

Nu het onderwijs in de Kennis van Bouwstoffen bij zijn aftreden aan mij is overgedragen, is wederom een nauw verband gelegd tusschen dit onderwijs en het werk aan het Laboratorium voor Materiaalonderzoek en zullen wederom zoowel de Technische Hoogeschool als genoemd Laboratorium met deze gelukkige samenvoeging hun voordeel doen. Waar mijn onderwijs aan deze hoogeschool gedragen wordt door het werk aan het laboratorium, memoreer ik thans met groote waardeering en dank den steun, dien ik van de medewerkers van dit laboratorium steeds heb mogen ondervinden. Mogen zij hun arbeid met dezelfde frischheid en opgewektheid voortzetten!

Voor U, studenten aan deze hoogeschool, ben ik geen onbekende, aangezien ik reeds een jaar het voorrecht heb gehad U te mogen leiden. In dat jaar heb ik getracht U te voeren door een serie van voor U nieuwe onderwerpen. Het vak Kennis van Bouwstoffen is om te beginnen een practisch vak; het is daarom echter volstrekt niet uitsluitend van beschrijvenden aard. Het hooger onderwijs, dat U thans volgt, eischt meer dan een beschrijving, het eischt een verband leggen tusschen het practijk-gegeven en de fundamenteele natuurwetenschappen.

Eerst door de invoering dezer wetenschappen wordt een vak opgeheven uit zijn eerste ontwikkelingsstadium en leert men op grond van theoretische overwegingen beoordeelen of een voorgestelde wijziging in de behandeling van het materiaal voor ons een practisch voordeel kan opleveren. Men bedenke wel, dat men in de zgn. practische vakken vaak onpractisch is, omdat men niet voldoende... ..... theoretisch is! Aan de andere zijde wachte men zich eveneens de theorie uit te vieren zonder daarvan de draagwijdte in beschouwing te nemen. U in deze wisselwerking van theorie en practijk den weg te wijzen is de taak, die thans op mij rust.

Ik heb gezegd.

De ingenieur en de stedebouw[1])

door

ir. THOMAS KARSTEN b.i.

De stedebouwkunde vraagt, na verwaarlozing in de 19e eeuw, thans wederom erkenning als ingenieursvak. — De Europese ontwikkeling toont de onmiddellijke samenhang van de stedebouw met de materiële en ideële kenmerken der opeenvolgende sociale perioden; typisch is de verhouding tussen de tendenzen naar natuurlijke groei en opzettelijke aanleg. De achterafstelling van de stedebouw in de 19e eeuw is een uitvloeisel van de triomf van het Westerse individualisme, de wederopkomst een deel der grote wereldbeweging tot kollektieve ordening. In Azië is laatstgenoemd beginsel nog immer levend. — De stedebouw als deel ener Planwirtschaft; de „planologie". — De huidige betekenis van de stedebouw voor Indië i.v.m. de snelle uitbreiding en intensivering der stadsbebouwing, en met de samengesteldheid der koloniale samenleving. — De taak van de ingenieurs in de stedebouw, en wel van de stedebouwkundige, en van de overige, vooral c.i.'s en b.i.'s, uiteengezet aan de hand van het werk in Indië (stadsplan, detailplannen, bouwvoorschriften, enz.); het teamwork. De niet-technische elementen van het vak: het sociaal-ekonomische, juridisch-administratieve, hygiënische en esthetische. De scheppend-koördinerende taak van de stedebouw.

Het is voor de huidige situatie der stedebouwkunde karakteristiek, dat, wanneer hare verhouding tot den ingenieur behandeld wordt, het vooropgezette doel zulk ener bespreking moet wezen: meer aandacht te vragen voor de stedebouw, en aan te tonen, hoezeer uit maatschappelijke overwegingen deze kunde een belangrijker plaats dan thans in de kring der ingenieursvakken behoort in te nemen.

Welke situatie daaruit voortvloeit, dat de stedebouwkunde in onze samenleving een nieuw vak is, — juister: na een langdurige achterafstelling nadrukkelijk weder om erkenning vraagt.

De stedebouwkunde, d.i. de kunde van de planmatige stadsaanleg, moge dan thàns een nieuw vak lijken, zo is zij in werkelijkheid zeer oud; en, merkt men ten rechte niet slechts de „stad", maar behalve elk groter komplex ook 't kleiner centrum van vestiging als onderwerp van haar studie en techniek aan, dan is zij zelfs ouder dan de stad, want reeds de primitieve nederzetting was veelal geordend. Doch zeer bepaald vinden wij steeds een meer of minder ver doorgevoerde planmatigheid terug in de dorps- en stadsaanleg van vele ook oude kulturen, voor zover die ons nog bekend zijn uit verlaten overblijfselen, uit nog funktionerende oude vestigingen, of door traditionele voortzetting in nieuwe: als voorbeelden mogen worden aangehaald de Griekse en Romeinse stadsaanleg (met b.v. Priëne, resp. meerdere Noord-Afrikaanse steden, Pompeji en Aosta), de Chinese (met Peking!), en hier te lande zowel de oud-Indonesische dorpsbouw (b.v. bewaard in zeer enkele Preangerdesa's, in Nias, de Bataklanden enz.) als de oud-Javaanse stadsaanleg (met Modjopahit, Jogja en vele kleinere steden en dorpen op Java).

Toch vallen in wat verder kortweg stedebouw of stadsaanleg genoemd worde — en wat dus de dorpsaanleg insluit — van ouds twee richtingen te onderscheiden, beter: *twee tendenzen;* en wel die waarbij het „natuurlijke" in de groei, en die waarbij de opzettelijke aanleg overweegt. Geheel zuivere uitingen van een van beide komen niet of uiterst zelden voor: want in de natuurlijk gegroeide vestiging is, zodra zij enige omvang heeft, een zekere vooropgezette regelmaat reeds om praktische redenen onmisbaar, — en daartegenover kan de opzettelijke aanleg ook slechts werken met de elementen, die de min of meer natuurlijke groei van het maatschappelijk leven ter beschikking stelt.

De verhouding tussen de twee genoemde tendenzen, van de natuurlijke groei en de opzettelijke aanleg, is nu voor elke periode van de stedebouw van kenmerkend belang, en wordt bijna onmiddellijk bepaald door het algemene karakter der betreffende samenleving; zeer leerzaam is dit waar te nemen aan de opeenvolgende stadia van de Europese stedebouw, de enige die trouwens historisch goed bekend is. Soms overheerst de ene, dan de andere; doch het spreekt wel vanzelf dat een bijzonder schone en harmonische stedebouw opbloeit, wanneer beide in evenwicht, beter nog: volkomen één geworden zijn, wanneer dus natuur en opzet samenvallen, en de ordening niet verschijnt als van buiten af opgelegd, maar als van binnen uit gegroeid. Maar dit is slechts mogelijk wanneer het maatschappelijk leven, dat zich in die stadsaanleg uit, ook zelve als geheel geordend is, niet zozeer politiek, niet alleen ekonomisch, doch vooral ideëel, en dus gericht is op algemeen erkende doelstellingen, doortrokken is van één geest.

Het is deze zeer gelukkige vorm van stedebouw, die wij nu herkennen in de Westerse middeleeuwse steden: waarvan vele dan ook nu nog bekend zijn, en enkele beroemd, om hun harmonische schoonheid, al mogen zij dan thans veelal aan de sedert dien zo veranderde praktische eisen niet meer voldoen. Een schoonheid, die door de levendige afwisseling en onregelmatigheid in plan en opbouw wel geheel natuurlijk schijnt gegroeid, — en die toch eensdeels

1) Bewerking der (in onderdelen verschillende) voordrachten, gehouden voor de Kring Bandoeng van het Kon. Instituut op 2/IV/'35 en voor de Kring Batavia op 27/VI/'35. Van de Bandoengse verscheen een kort verslag in *De Ingenieur in N.-I.* van Juni 1935.

mede door weloverwogen en strenge voorschriften werd teweeggebracht (wat o.a. voor Nederland door de onderzoekingen van dr. P e t e r i bewezen is), anderdeels slechts kon opbloeien, doordat alle bouw- en aanlegwerken doortrokken waren van dezelfde langzaam gegroeide en hoogontwikkelde geestelijke, sociale en artistieke tradities, doordat zij immers de uitingen waren ener samenleving, die door en door *kollektief*, d.i. één van zin, immers volledig katholiek was [2]).

De wel zeer vitale, maar daardoor ook onrustige en bewegelijke Europese mentaliteit heeft deze schone harmonie slechts weinige eeuwen kunnen handhaven, en, na een aantal min of meer op zichzelf staande oppositiepogingen, verschenen de Hervorming en de Renaissance als de volledige uitingen ener nieuwe gezindheid: die voor alles zocht de bevrijding der persoonlijkheid uit die kollektieve geestelijke en sociale orde.

En dan krijgen wij de merkwaardige, en ook op haar wijze schone periode van enige eeuwen, waarin die individuele vrijmaking zich langzaam van boven af voltrok; van boven af in dubbele zin (parallel trouwens aan de begeerten waarvan zij de verwezenlijking was), en wel in maatschappelijke zin: in zooverre de hogere lagen der samenleving daarvan het eerst profiteerden, en, als immer, de emancipatie van middenstand en massa eerder tegenhielden dan bevorderden, — maar ook in overdrachtelijke zin: in zooverre de vrijheid van gedachte en godsdienst voorop ging bij de meer maatschappelijke. Zo ontstond er in die eeuwen een samenleving, waarin de sociaal, geestelijk of artistiek vooraanstaanden een grote mate van individuele vrijheid genoten, doch voor de maatschappij als geheel nog sterke traditionele bindingen bleven bestaan, welke door die individueel-vrije beheersers voor hunne doeleinden werden aangewend.

Ook deze situatie bleek dan voor de stedebouw een gunstige, ten minste voor de fraaie en ordelijke aanleg van de meer representatieve gedeelten der steden (minder voor hunne sociale funkties t.o. der massa, en voor de nevenwijken). Doch thans overheerste bepaaldelijk de opzettelijke aanleg, tot stand gebracht door den heersenden kerkelijken of wereldlijken vorst (b.v. voor belangrijke delen van Rome, Parijs, Dresden, Berlijn enz., kompleet in Karlsruhe) of de heersende klasse (b.v. in Amsterdam); dezen verzekerden zich daartoe van de diensten van den min of meer individueel scheppenden kunstenaar-technikus, doch bleven ter bereiking der daarbij gestelde, veelal artistieke doeleinden met nadruk waar nodig kollektieve en bindende, de vrijheid dus sterk beperkende voorschriften hanteren.

Doch maatschappelijk was deze periode van halfvoltrokken bevrijding reeds uit haar aard onstabiel, en de Franse revolutie wordt het meest sprekende teken der verdere voortschrijding; waarbij die bevrijding zich dan naar onderen uitbreidde, wederom in dubbele zin: in zooverre zich ook de middenstand emancipeerde, en in zoverre de emancipatie thans voor alles een politieke en ekonomische werd. Dan eerst is het beginsel der vrijheid van het individu zover doorgedrongen, dat het de vorm der samenleving bepáált; en voor West-Europa is ongeveer in het midden der 19de eeuw de enige honderden jaren eerder begonnen omzetting van de hiërarchische en kollektieve middeleeuwse maatschappij in een liberale en individualistische in wezen, zij het nog niet volledig — immers de vierde stand bleef vooralsnog gebonden — voltrokken.

Voor de stedebouw heeft deze ontwikkeling nu zeer belangrijke gevolgen gehad. Want enerzijds veroorzaakte de bevrijding van de middenklas een krachtige opbloei van bedrijf en handel, en daarmede van de stad, die immers daarvoor de aangewezen vestigingsplaats is; zodat dan ook in de 19de eeuw overal in West-Europa enorme stadsuitbreidingen nodig waren en de bestaande bebouwingen ingrijpend werden veranderd. Doch aan de andere kant hief diezelfde sociale en politieke bevrijding de ideële en feitelijke bindingen op, waardoor tot dien de stadsaanleg en de bebouwing waren beheerst. Vooral leidde de erkenning van de „heiligheid" van de individuele eigendom, i.c. dan die van grond en bouwwerk, tot de vrijheid van elken eigenaar om met zijn bezit te doen en te laten wat hij wilde, en vrijelijk alle voordelen daaruit te putten, ja te persen, die maar mogelijk waren. Uit principiële overwegingen werd de bevrediging van dit individuele belang van groter gewicht geoordeeld dan die van het algemene — liever: men achtte het eerste de voorwaarde voor het laatste, en verwachtte aldus het algemeen belang 't beste te dienen.

Van een nadrukkelijk en krachtig door de overheid geleide aanleg en bouw kon aldus geen sprake meer zijn, behalve op enkele representatieve punten, waar zij die met grote geldmiddelen forceerde; verder schrompelde de „stedebouw" samen, zich beperkende tot het geven van summiere bouwvoorschriften, die slechts excessen wilden voorkomen (zodat men dan ook sprak van de bouw-„politie"), en tot het stellen van de technisch-onvermijdelijke regelen voor straataanleg en dg., — zo, dat van een samenhangende kunde eigenlijk geen spoor meer overbleef. Aldus triomfeerde dan ook in deze periode, geheel in overeenstemming trouwens met hare ideologie, de tendenz naar de „natuurlijke" groei, thans echter niet (als in de middeleeuwen) ingespannen in het stevige gareel ener alomvattende traditie, doch ongebreideld.

De gevolgen van deze ontwikkeling bleven niet uit, noch de begeerde, noch de onverwachte. Zeker niet de begeerde: want groot, veelal grof waren de winsten, die bij de enorme stadsuitbreidingen en intensiveringen met de uitbuiting van gronden en gebouwen werden gemaakt, en een belangrijk deel van de rijkdom van Europa's (en Amerika's) heersende klassen vindt daarin zijn oorsprong. Maar ook niet de onverwachte gevolgen: want die dus geslaagde behar-

2) Een analoog evenwicht, op een geheel andere, doch eveneens het leven kompleet omvattende traditionele basis, herkent men in de aanleg van de Javaanse stad tot in de 19de eeuw.

tiging van het individuele bezittersbelang bleek géén afdoend middel om het algemene welzijn goed te dienen, integendeel; buiten de wijken der rijken (die hun eigen omgeving wel verzorgden) en enkele representatieve stadsdelen, werden de zo „natuurlijk" gegroeide en bewoonde steden: ordeloos, overbevolkt, onhygiënisch, onjuist van samenstelling, vol verkeersmoeilijkheden en zeer lelijk. Het allerergste blijkt dit in vele Engelse industriesteden; doch ook nog zeer erg in vrijwel alle grootsteedse West-Europese 19d-eeuwse volks- en vele middenstandsbuurten, in de gebrekkige verzorging van de hoofdwegennetten, in de slechte aansluiting van uitbreidingen (beide b.v. zeer sprekend in Amsterdam buiten de singels en in Den Haag), in de gebrekkige situering van en verbindingen naar belangrijke nieuwe verkeersbronnen, bv. openbare gebouwen, enz. (Waarbij reeds hier zij opgemerkt, dat wij thans in Indië ongeveer in een analoge periode verkeren als die vorige Europese).

Natuurlijk kon een reaktie hierop niet uitblijven; doch ook deze, die wij kunnen waarnemen vanaf ongeveer 't midden der 19de eeuw, bleef typisch in het liberale kader dier periode. Want tegenover de overal als uitvloeisel der vrijheid opkomende wanorde en stelselloosheid werd niet principieel de eis van weloverwogen samenhang en planmatigheid in aanleg en bebouwing gesteld — de stedebouw, die dit had kunnen poneren, was immers verschrompeld —, doch het waren bijzonder schadelijke of aanstoot gevende uitwassen op verschillend gebied afzónderlijk, waartegen men zich keerde: de hinder, het gevaar en de schade, door de overal tussen woonbebouwing gevestigde fabrieken, — de grote nadelen voor de volksgezondheid, voortvloeiend uit de overbevolking en de zeer slechte woningtoestanden, — de troosteloosheid van het stadsleven zonder gezonde ontspanning en zonder groen, — de verkeersbezwaren, — de hopeloze door geen opgedirkte versiering te verdrijven lelijkheid, en zo meer. En zo zien wij dan achtereenvolgens verschillende wetgevingen en akties verschijnen voor aanvankelijk vrijwel los van elkaar staande doeleinden; waarbij vaak Engeland, waar veel toestanden het ergst waren, vooraan ging, doch die ook in Holland en elders weerklank of oorsprong vonden: b.v. de hinderwetgeving (in Nederland vanaf 1876), de woningwetgeving (in Engeland meer ingrijpend vanaf 1890, in Nederland vanaf 1901), de beweging tot opruiming van krotten (Engels en Nederlands), de tuinstadbeweging (de Garden City movement ontstond door een boek van H o w a r d in 1899, en sloeg spoedig over naar Duitsland), de incidentele akties voor bepaalde doorbraken, de propaganda voor het mooiere, en vooral voor het z.g. „gesloten" stadsbeeld (Duits en Hollands), en de typisch ethisch-esthetische beweging onder de intellektuelen tegen de lelijkheid, waarvan B e r l a g e de Europese voorvechter was, en die het eerst en het duidelijkst algeméne doelstellingen nastreefde. Tegen het einde der vorige eeuw en het begin der huidige werd dan tevens de studie van de stedebouw in zijn typisch samenvattende omvang weer opgevat, aanvankelijk vooral op historische basis en met aansluiting aan de middeleeuwen, speciaal in Duitsland (S t ü b b e n), waar dan ook de theoretische vragen over de wijze van de beteugeling van de vrijheid des bezitters het eerst grondig behandeld werden (E b e r s t a d t).

Voor Nederland heeft dan de Woningwet van 1901 in dit verband een bijzondere betekenis, omdat daarin de eerste Hollandse pogingen werden gedaan om te komen tot een stedebouwwetgeving, en wel door enkele artikelen over uitbreidingsplannen, inkl. de bijbehorende wijziging der Onteigeningswet. Voor de toenmalige opvattingen is het echter karakteristiek dat men deze regeling slechts zag als vereist en gerechtvaardigd vanwege de woninghygiëne; van een principiële en algemene regeling van de stedebouw als zodanig was nog geen sprake.

Doch langzamerhand ontwikkelen zich dan, men kan zeggen vanaf het eerste decennium onzer eeuw, de denkbeelden in de laatstgenoemde richting: niet het voorkómen van uitwassen, doch een volledige organische ordening wordt het doel van de stedebouw, waarbij tevens het alomvattende stadsplan zelfs voor de wereldsteden als primair werkstuk naar voren komt. Tijdschriften en organisaties komen allerwege op (in Nederland b.v. voegt het werkzame „Nederlandsch Instituut voor Volkshuisvesting" aan zijn naam, en werkkring, toe „en Stedebouw"), tentoonstellingen werden gehouden, prijsvragen uitgeschreven (b.v. voor Groot-Berlijn in 1910); in Holland volgt op het baanbrekende uitbreidingsplan „Amsterdam-Zuid" (waarvan thans het partiële als onjuist, d.w.z. als oorzaak van fouten wordt erkend) als eerste grote algeméne stadsplán dat voor Den Haag (verbeterings- tevens uitbreidingsplan), eveneens van B e r l a g e. In Frankrijk, dat lang geteerd had op zijn 18d-eeuwse tradities, in Amerika, met groot-opgezette, van partikuliere werkkomité's stammende totaalplannen voor New-York, Chicago en elders, waarvan veel in snel tempo wordt uitgevoerd, en in vele landen rijpen ongeveer tegelijkertijd de nieuwere inzichten; Japan b.v. past ze bij de herbouw van Tokyo na de aardbeving van '23 op grote schaal toe. Naast het stadsplan verschijnt, ter bevrediging van de behoefte aan ordening van grotere gebieden, vooral die met industrieën en bedreigd natuurschoon, het streekplan. En meer en meer komt dan bij alle plannen het vastleggen der *bestemming* van bepaalde wijken, kringen of zônes, het „zoneren", als essentieel middel naar voren.

Maar dan blijkt ook overal de wetgeving, in het algemeen nog doortrokken van vroeg-19d-eeuwse beginselen, te kort te schieten, en volgt de langdurige worsteling om daarin verbetering te brengen: een worsteling naar binnen, om de juiste juridische en financiële regelingen te vinden, een worsteling ook naar buiten tegen de grond- en bouwersbelangen, de vrijheidsopvattingen en de konservatieve juristen en regeerders, die tegenover de opkomende behoefte aan principiële planmatigheid en onderschikking van het individuele aan het algemene belang vijandig staan. Toch dringt de juiste opvatting langzaam door: de Hollandse Woningwet-wijzigingen van '21 en '31 gaan telkens een stap verder, dito de Engelse Townplanning acts van '09, '19, '26 en '33; in Frankrijk gaat de Loi Loucheur van omstreeks '26 reeds vrij ver, in Duitsland blijft de regeling versnipperd, hoewel zij hier en daar reeds straf is, tot in '34 het zeer in-

grijpende, zij het niet komplete Wohnsiedelungsgesetz verschijnt.

En ook het onderwijs volgt, zij het merendeels op enige afstand, en moet wel volgen. Een meer ingaande stedebouwkundige studie is echter nog slechts op weinige universiteiten mogelijk, en ook op de Nederlandse niet; eveneens staat v.z.v. bekend, het middelbaar technisch onderwijs hier nog in het algemeen vreemd tegenover.

Inderdaad is de verandering, die thans ten aanzien van de stedebouw bezig is — het voorgaande toont het wel aan — zich te voltrekken, van groot belang.

Voor de stedebouw zelve betekent zij allereerst, dat de periode der overheersing van de „natuurlijke" groei voorbij is, en dat de welbewuste aanleg, de planmatigheid op grote schaal, die de natuurlijke groei in zich opneemt, weer de overhand krijgt.

Doch er is meer: want deze kunde, die ook een kunst is, kan noch wil de verlangde plaats innemen tussen de technische vakken, wanneer hare beoefening zou blijven geschieden op de vóór-19d-eeuwse min of meer intuïtieve wijze, wanneer die niet doortrokken wordt van die veelzijdige wetenschappelijkheid en die grondigheid, welke haar tegelijk oudere en jongere zusteren kenmerken, — al kan zij er thans nog niet op bogen die reeds volledig te hebben verworven, want juist déze zijde is nieuw en moeilijk.

Doch een veel groter betekenis heeft de rehabilitatie van de stedebouw in sociaal-ideële zin: want onderdrukt als zij werd ter wille der volledigste ontplooïing van individuele vrijheid, is hare technische en maatschappelijke wedererkenning een typische faze in de huidige grote strijd tussen individu of groep ener- en algemeen belang of kollektiviteit anderzijds, — in die strijd (een waarlijke *perang kembang* in de wereldlakon!), die wij in bijna alle landen en op allerlei levensgebieden: in de bedrijfswereld, in de politiek, in de kunst, in het geestesleven, kunnen waarnemen, ja, waarin wij telkens moeten meeleven en partij kiezen. Want wat de stedebouw wil, en wel móet willen, omdat dat de enige wijze is waarop zij de haar ter behandeling gegeven materie — het dorp, de stad, de streek — zo kan beheersen, dat zij de verantwoordelijkheid ervoor kan dragen: dat is de onderschikking van het detail aan het geheel, van het individu aan de algemeenheid, van het bijkomstige aan het fundamentele, ter wille van een welbewuste, doch overigens levende en groeiende kollektieve ordening.

En waar wij hier *in Azië* werken, is het dan van groot belang dat de tegenstelling tot een vorige periode, boven geschetst, uitsluitend voor Europa en Amerika geldt, doch dat de Aziatische geest, doortrokken als zij is met besef van eenheid, van hiërarchie en van kollektiviteit, voor deze, slechts voor den Westerling nieuwe, ideën in beginsel open staat, — al stelt hunne aanpassing aan het Oosterse leven natuurlijk zijn bijzondere eisen. De wijze, waarop de herbouw van Tokyo is geschied, met een her- of ruilverkaveling van ongekende, inderdaad enórme omvang, bewijst wel dat het voorgaande geen ijdele bewering is.

Doch thans zij voor een ogenblik nog een hoger uitzichtspunt gekozen.

De in sommige landen (o.a. Engeland) reeds veelvuldig ondernomen verruiming van het stadsplan tot een streekplan is niet de laatste stap. In feite bestaat ook over veel uitgebreider gebieden de behoefte aan een planmatige aanleg, immers aan beschouwing en behandeling van hun verkeer, hun kracht-, bedrijfs- en wooncentra, natuurreservaten enz. in groot verband; een studie, die in beginsel dezelfde doeleinden en gezichtspunten heeft als de stedebouw in engere zin, en voor welke beide de Hollandse deskundige de Casseres de gelukkige naam *planologie* heeft voorgesteld. De wijze, waarop b.v. Rusland zijn nieuwe industrieën, steden en spoorwegen situeert, — de ontwerpen voor een samenhangend net van autobanen over hele landen als reeds voor Nederland en Duitsland gepubliceerd, — de analoge projekten voor nationale hoogspanningsnetten, — de instelling in Duitsland van de „Reichsakademie für Städtebau, Landes- und Reichsplanung", — de publikaties over een „National Plan" in de U.S.A.: zij alle bewijzen, dat, in onze door snelverkeer en grootbedrijf zo kennelijk over grote gebieden innig samenhangende maatschappij, hunne planologische behandeling zich als een noodwendig onderdeel der bestmogelijke organisatie, als een stuk zeer nuttige *Planwirtschaft* opdringt.

En voor ons land moge dan als voorbeeld worden gewezen op een gebied als Sumatra (of Borneo), met zijn nog zo enorme ontwikkelingsmogelijkheden, waarvoor eveneens een grondig-voorbereide, wetenschappelijke planologische studie van zeer groot belang zou lijken; een studie die welbewust alle in die toekomstige ontwikkeling begrepen hoofd-elementen vooruitziend, in onderlinge samenhang en in verband met geheel Indië zou beschouwen: de inheemse en de grootkultures met bebossing, immigratie, grondgesteldheid, irrigatie- en bedijkingsmogelijkheden, — alle verkeerskwesties: wegen, spoorwegen, water- en luchtverkeer, met hunne knooppunten en havens, — de elektriciteitsvoorziening, de mijnbouw en de grote bedrijfsvestigingen, — de stedelijke en kulturele centra, de administratieve indeling (met de hoofdstad!), de plaatskeuze voor de meer belangrijke scholen, hoofdkantoren voor diensten enz.

Doch na deze kleine omweg naar een uitzichtspunt op een aansluitend, zeer belangwekkend gebied met verre perspektieven, moge worden teruggekeerd naar de planologie op beperkter gebied, naar wat ook verder als stedebouw moge worden aangeduid, doch waarin dan steeds zowel het dorpsplan als het streekplan mede zijn begrepen.

Dan worde thans, na de voorgaande uiteenzetting van de algeméne betekenis van de stedebouwkunde, nagegaan hare bijzondere en huidige *waarde voor Indië*.

Ook die waarde blijkt dan groot, door meerdere sprekende redenen.

In de eerste plaats bevinden wij ons hier thans in een periode van algemene sterke stadsgroei [3]), een stadsgroei, waarvan bepaald moet worden aangenomen, dat zij eerst in haar beginstadium verkeert. De bekende buitengewoon grote bevolkingsdichtheid op het platteland, de toch nog steeds belangrijke toename in zielental, de noodzaak der ontwikkeling van het eigen-Indische bedrijfs- en handelsleven, dat uiteraard bijna geheel op vestiging in de centra is aangewezen, de voortzetting van de uitbreiding van de meeste steden ook in de malaisejaren, en niet te vergeten het nu nog maar betrekkelijk zeer geringe percentage der bevolking dat in de centra is samengetrokken: het zijn alle positieve aanwijzingen, dat van die stadsgroei het einde nog niet is te zien.

Doch niet minder belangrijk is, dat onze steden verkeren in een overgangsperiode, die voor hunne verdere ontwikkeling van beslissende betekenis is: vroeger half-agrarisch en zeer extensief bebouwd, zijn zij bezig meer en meer dicht te groeien en typisch steeds te worden, met een veel meer intensieve bebouwing (deels zelfs al een te dichte!). Het is duidelijk, dat in deze overgangstijd de gelegenheid om in de bestaande, zich aldus ontwikkelende stadsdelen in te grijpen, hetzij om direkt te verbeteren, hetzij om de groei naar een bepaald schema te verzekeren, véél gunstiger is, en dat dit *tijdige* ingrijpen véél minder moeite, overlast en kosten meebrengt, dan wanneer de intensivering reeds eenmaal vrijwel voltrokken is. Trouwens ook thans zijn reeds meerdere stadscentra zodanig volgroeid, dat deze periode voorbij is, — doch juist de daarmede opgedane ervaringen bewijzen, hoe foutief het is geweest die gelegenheid te hebben laten voorbijgaan [4]).

Maar bovendien is er hier te lande een speciale reden, waarom een van bovenaf krachtig geleide stedebouw, het predomineren dus van de opzettelijke aanleg boven de natuurlijke groei, zo bijzonder nodig is: en dat is de koloniale samengesteldheid en gelaagdheid onzer Indische samenleving. Wanneer de „natuurlijke" groei reeds in Europa, in een in beginsel enkelvoudige maatschappij, leidde tot rommeligheid en wantoestanden in allerlei opzicht, dan geldt dat nog veel sterker hier: waar in de steden minstens drie bevolkingsgroepen naast en dóór elkaar huizen, elk niet alleen met eigen belangen, levenseisen en woonzeden, maar ook van geheel verschillend economisch vermogen. Elke groep en elk individu poogt in dat verwarde samenstel de éigen wensen te bevredigen, iedere mogelijkheid die zich daartoe voordoet wordt met graagte benut, vaak zonder enige inachtname van het algemeen belang, zonder enige breideling van het individuele of groepsegoïsme. Niet alleen ter voorkoming van wanorde, doch ook ter bescherming van allerlei algemene belangen en van de ekonomisch zwakkeren, is krachtige overheidsleiding onmisbaar.

Drie redenen zijn er dus: de snelle stadsgroei, de overgang van extensieve naar intensieve bebouwing en de koloniale verdeeldheid der samenleving, die hier thans krachtig pleiten voor een doelbewust en positief stedebouwkundig beleid. Een beleid, dat dan een toestand vindt, die, het werd boven al opgemerkt, sommige opvallende overeenkomsten heeft met de zeer ongunstige Europese in een vorig periode. Ook hier bij de stadsaanleg een overheidsverzorging, die in hoofdzaak gericht is op of rekening houdt met de behoeften der beter gesitueerden en met de meer representatieve stadsgedeelten, — ook hier vaak een groter eerbied voor de winst van den bezitter dan voor de eisen van het openbaar belang, — ook hier nog al te veel de stuksgewijze behandeling van incidentele verbeteringen zonder beschouwing in algemeen verband, — ook hier bijna overal het ontbreken ener doelbewuste zonering, met als gevolg onder meer de ontwikkeling van industrieën (juist in deze tijd van industrialisatie!) daar waar zij niet thuis behoren, — ook hier het gebrek aan inzicht, dat nieuwe toestanden laat opkomen, waarvan de latere onhoudbaarheid thans reeds zeker is, — ook hier ten slotte het ontbreken van een centrale, leiding-gevende wetgeving.

Leiding en ordening door de overheid zijn dan ook in de Indische stedebouw dringend nodig, wil zij de bestuurstaak die op haar rust naar behoren volbrengen.

En ook dit deel van haar taak moge moeilijk zijn, zo is te bedenken, dat de ordening in materiële zin, die daarbij voor alles nagestreefd moet worden, mede een voorwaarde is voor sociale en innerlijke orde. Zo min als in een wanordelijke, lelijke en onverzorgde woning een geestelijk evenwichtig en gezond gezin kan opgroeien, zo min zal zich in de rommelige en slecht georganiseerde stad of de troostelooze stadswijk een krachtig en tevreden volk kunnen ontwikkelen. De invloed van de sfeer, de schoonheid en de harmonische aanleg van de stad of het dorp op het leven der inwoners moge imponderabel zijn, zij is er niet minder reëel noch minder groot om.

Er schijnt aanleiding voor de vraag, waarom het voorgaande, dat niet den ingenieur en nauwelijks de techniek, doch meer de samenleving als geheel betreft, wordt uiteengezet in een verhandeling, die de verhouding wil schetsen van *de stedebouw en den ingenieur*.

Toch is daarvoor een goede reden.

Immers opdat de ingenieur beseffe het belang van de stedebouw voor hem als technikus, hier en nu, en begrijpe, wat daarin zijn taak zal zijn, moet hij vóór alles inzicht hebben in de betekenis van deze kunde en van dit werk voor de samenleving, die ook hij heeft te dienen.

Doch thans moet die zijn taak dan ook nader in beschouwing worden genomen; waarbij dan dadelijk een onderscheid is te maken tussen die van den stedebouwkundige en die van den ingenieur der aan-

---

3) Zie ook „Verkeerseischen en Stadsaanleg", Publikatie No. 95 der N. I. Wegenvereeniging.

4) O.a. zijn de thans welhaast onherstelbare, en zeker nooit meer goed herstelbare mankementen in het hoofdverkeersnet van Bandoengs centrum hiervoor een sterk en zeer leerzaam voorbeeld.

verwante vakken. Want het is juist eigen aan de stedebouw, dat zij niet alleen door den eigenlijken vakman wordt en moet worden beoefend, doch ook door en in samenwerking met andere technici en — wat hier dan verder buiten beschouwing blijve — niet-technici, in *teamwork*.

Zeker is daarvoor een der redenen, dat het stedebouwkundig werk, zelfs reeds aan een middelbare maar zeker aan een grote stad, zó veelomwattend en veelzijdig is, dat noch alle technische en sociale plaatselijke details, noch alle bij de eigenlijke aanleg te pas komende technieken door één persoon kunnen worden beheerst; dit manko echter kan eventueel door speciale voorlichtingen of hulp van neven- of ondergeschikten worden gekompenseerd.

Doch daarnaast, en in grote omvang, is de medewerking van de niet-stedebouwkundige ingenieurs nodig in die vele gevallen, dat hun eigen arbeid raakt aan, of een deel vormt van de stedebouwkundige. Het meeste werk van den civiel-ingenieur, bijna alles van den bouwkundige, een deel van dat van den elektrotechnikus vormt, voor zoover het in of bij het dorp of de stad ligt, als regel een onderdeel van een stedebouwkundige hoofdopzet, al heeft het natuurlijk daarnaast een, in verhouding tot de voornoemde soms primaire, soms sekundaire, éigen funktie. Daarbij is het dan de taak van den stedebouwkundige te verzorgen het verband van die werken met het stadsgeheel en onderling, hun koördinatie; doch dit kan alléén door direkte samenwerking met die technische deskundigen, welke samenwerking dan ook weer alléén vruchtbaar kan zijn, als elk hunner voldoende begrip heeft van het geheel en het belang daarvan om daartoe gevend-ennemend mee te werken.

Aan de hand van het stedebouwkundige werk, zoals dat hier te lande in de praktijk voorkomt, moge nu nader uiteengezet worden, zowel wat de arbeid is van den stedebouwkundige, als welke relaties bestaan met de overige ingenieursvakken.

Ter zijde latende de wetgevende taak van hogere of centrale instanties, omvat nu dat stedebouwkundig werk, dat bij ons — gelukkig! — bijna geheel plaatselijk gedaan wordt, in grote trekken het volgende:

stadsplannen	tot stand gebracht middels	plannen
detailplannen		
openleggen van bouwterrein		verordeningen en dg.
regeling der bebouwing		projekten voor werken
overheidswerken		
verzameling van gegevens		overheidsbedrijven
financiering		opmetingen en onderzoekingen.

De werkzaamheden genoemd in de eerste kolom mogen nu, behalve de verzameling van statistische gegevens en de financiering, die wel natuurlijk zeer belangrijk, doch niet in engere zin technisch zijn, nader beschouwd worden.

Het *stadsplan* (of ontwikkelingsplan), in deze reeks het eerst genoemd, is inderdaad, juister: behoort te zijn, de grondslag voor elke stedebouwkundige behandeling ener stad; van de andere maatregelen bevat het de kiem of is het de richtlijn. En het is dan ook niet overdreven te zeggen, dat de moderne ontwikkeling van de stedebouw eigenlijk is die van het stadsplan. Doch dan niet van een partieel plan of van een, dat slechts enkele elementen bevat, — maar van het àlomvattende stadsplan, dat alle gebouwde en aangelegde elementen der stad onderling in verband ziet en zet, en dat de stad begrijpt als een groeiende *organische eenheid*.

Natuurlijk is zulk een plan geen vrije schepping, maar moet het vast geworteld zijn in de gegeven omstandigheden, in de geografie van het geval, in de relaties met de omgeving, in wat historisch groeide. Ook mag het, daar 't in een zich uitbreidende stad vrij ver vooruit moet zien om zijn richtinggevende taak goed te vervullen, geen wet van Meden en Perzen wezen; het moet levend blijven, en zo nodig worden aangepast — zonder het uit zijn verband te rukken, tenzij om een béter verband te bereiken — aan gewijzigde omstandigheden en inzichten. En zeker moet het stadsplan, om overzichtelijk en hanteerbaar te blijven, niet te groot zijn en dus min of meer globaal; hier te lande lijkt een schaal van 1 : 5000 de juiste. Maar deze beperkingen van zijn vrijheid, geldigheid en omvang maken het niet minder nodig: want alleen door en in zulk een vrij kompleet expliciet getekend (en niet slechts impliciet gedacht) plan kunnen het stedelijk organisme en de funktionele samenhang der onderdelen door de deskundigen bestudeerd, aan de overheid en belanghebbenden duidelijk gemaakt, en ter verdere uit- en doorwerking vastgelegd worden.

Doch op welke wijze wordt nu door zulk een plan, dat niet alleen inzicht wil geven doch ook effekt wil sorteren, dat effekt t.o. van aanleg en bouw bereikt? — : door de vaststelling van de *bestemming van de grond;* vandaar dat het ook bestemmingsplan heet. Voor de overheid zelve, voor de door haar te maken werken, is het nu voldoende dat een bestemming voor een bepaalde zone in zulk een plan is aangegeven; vanzelf dient zij zich aan die, haar eigen vaststelling te houden. Doch tegenover derden behoeft het plan een rechtswerking, die dan te onzent thans nog slechts berust op het bekende artikel 570 van het (Indische) Burgelijk Wetboek; daardoor immers heeft de plaatselijke overheid de bevoegdheid om voor het gebruik, dat elk eigenaar van zijn bezit, i.c. van zijn grond (of gebouw) mag maken, bij lokale verordening voorschriften te geven (de zeer wenselijke nadere wettelijke regeling dezer materie ligt v.z.v. bekend in het voornemen der Regeering).

Het volgende overzicht der bestemmingen, die aan de grond hierbij kunnen worden gegeven, geeft nu niet slechts een principieel beeld van zulk een plan, doch toont ook direkt de punten waar het technische *teamwork* nodig is:

Overzicht der Bestemmingskringen

- 4 stedebk.-positieve
  - 2 statische [5])
    - *bebouwing*, verdeeld in *bouwkringen* b.v.:
      - open woonbebouwing (villa-, kleinwoning- en kampoengbouw)
      - gesloten bebouwing
      - bedrijf
      - bijzondere gebouwen
      - landelijke bebouwing
      - enz.
    - *groen*
      - onafgesloten: plantsoen en dg.
      - afgesloten:
        - begraafplaats
        - sportterrein
        - enz.
  - 2 dynamische [5])
    - *verbindingen te land:*
      - weg
      - spoorweg
      - vliegveld
      - haveninrichtingen
      - elektr. hoogspanning
    - *water*
- 1 stedebouwkundig-negatieve
  - agrarische doeleinden en dg., event. te differentiëren [6])
  - natuurreservaten [6])
  - onbruikbare terreinen, b.v. moerassen, zware hellingen enz.

Uiteraard zullen de 4 positieve bestemmingskringen grotendeels gevonden worden in de stad (het dorp) en zijn uitbreidingsgebied, dus in het „stadsareaal"; daarbuiten vallen, behalve de landelijke bouwkringen, verafgelegen begraafplaatsen enz., ook die voor de interlokale verbindingen, te water en te land, welke uit dien hoofde grotendeels bepaald zullen moeten worden door een hogere overheid, en door de betreffende lokale slechts worden beïnvloed.

Als gezegd, toont dit overzicht nu ook duidelijk de noodzakelijke bemoeienissen der verschillende technici met het stadsplan aan. Natuurlijk zijn het de stedebouwkundigen, die het als geheel samenstellen en bewerken; doch overleg is met de bouwkundigen veelal reeds nodig over de bouwkringen (doch alleen voor zeer belangrijke bouwwerken, de andere volgen bij de detailplannen), maar vooral met de weg- en waterbouwkundigen en soms met den elektrotechnikus, over wat genoemd zijn de verbindende kringen, en met den geoloog over enkele algemene vragen. Weliswaar hebben wij voor de huidige steden, doordat het stedebouwkundig gezichtspunt in de afgelopen perioden steeds op de achtergrond is gebleven, in belangrijke mate te doen met bestaande en veelal praktisch niet meer veranderbare dynamische kringen; doch hunne uitbreidingen en veranderingen, en de nieuwe elementen (b.v. vliegvelden), behoren ontworpen te worden èn op grond hunner eigen technische en ekonomische eisen èn als onderdeel van het stadsplan; waarbij dan natuurlijk is te zoeken naar oplossingen, die uit *beide* oogpunten bevredigend zijn. Hier vooral is nu het *teamwork* nodig.

Hiermede wil nu, het spreekt vanzelf, niet gezegd worden, dat bij vroegere aanleg van zulke werken de samenhang met die andere elementen over het hoofd zou zijn gezien, geenszins. Doch het is heel wat anders, of bij zulk een ontwerp (b.v. voor een haven, een afwateringskanaal, een spoorweg enz.) die samenhang onderzocht wordt door de betreffende technische diensttak speciaal in verband met die bepaalde aanleg, dan of dit door een besturende overheid geschiedt, waarbij het goede gehéél en de algemene samenhang van *alle* funktionele elementen op de voorgrond worden gesteld [7]).

Zeker kunnen bij zulk een behandeling ernstige tegenstellingen blijken tussen de lokale stedebouwkundige desiderata en die van het betreffende werk; doch — aannemende dat beide partijen van hun standpunt uit aanvankelijk redelijk gelijk schijnen te hebben —, zo zij het juist de kunst der technici samen die andere oplossing te vinden, welke allerzijds voldoet; en anders beslisse het hogere gezag. Wenselijk ware het overigens, wanneer die samenwerking, bij de opstelling en geleidelijke ontwikke-

5) Als „statisch" zijn aangeduid de bestemmingskringen voor een maatschappelijk gebruik, dat zijn (eerste) doel in zichzelf vindt (b.v. wonen, arbeiden enz.), als „dynamisch" (of verbindend) die, welker typische funktie het is de statische te verbinden; door deze onderscheiding blijkt, dat de statische kringen een meer primaire funktie hebben dan de dynamische.

6) Van een algemener standpunt beschouwd, bv. in een streekplan of landsplan, zijn deze bestemmingen natuurlijk positief (en statisch), en is de agrarische zéker te differentiëren, bv. in terreinen voor verschillende kultures of bevolkingsgroepen, voor bossen enz.

7) Bij de in de voordrachten gegeven toelichting aan de hand van enige stadsplannen werd er b.v. op gewezen, hoe het bandjirkanaal c.a., dat voor Batavia is aangelegd, thans reeds omvangrijke stedebouwkundige bezwaren oplevert, en hoogstwaarschijnlijk anders zou zijn ontworpen, indien een stedebouwkundige bestudering van het betr. projekt had plaats gehad. Een analoge opmerking werd gemaakt t.o. van de hoogspanningslijn naar Batavia.

ling van een stadsplan nodig tussen lokale overheid en diverse technische en andere diensten, koncessionarissen enz., van hoger hand zou worden georganiseerd, en niet aan de meerdere of mindere bereidwilligheid der diverse instanties blijft overgelaten.

Is over het stadsplan iets meer uitgeweid om de fundamentele betekenis van dit werkstuk, zo kan de bespreking van de andere stedebouwkundige arbeid, als in het hier boven gelegen lijstje genoemd, korter zijn.

In de eerste plaats vindt het stadsplan, dat immers door zijn schaal enigszins globaal moet wezen, zijn uitwerking in de *detailplannen,* als regel op 1 : 1000, soms op 1 : 500 of 1 : 2000. Doch deze uitwerking mag allerminst een min of meer mechanische vergroting zijn: want ten eerste omvat zij, juist wegens het globale karakter van het stadsplan, een groot aantal nadere vaststellingen (de typische „detaillering", als bij het projekt voor een gebouw), die sociaal, technisch, esthetisch en financieel van groot en vaak beslissend belang zijn voor kwaliteit en uitvoerbaarheid van 't projekt. Doch tevens kan ten rechte eerst op deze schaal plaats hebben de juridisch-bindende fixering (b.v. van rooilijnen, kringgrenzen enz.), die immers om rechtszekerheid te scheppen niet globaal, doch redelijk nauwkeurig moet geschieden. Uit welke laatste omstandigheid ook volgt, dat deze detailplannen zo veel mogelijk als definitief moeten worden beschouwd en behandeld (tegen een vrij algemene gewoonte van vele ressorten in!), èn dus aan vrij hoge eisen van doordachtheid en doorwerktheid dienen te voldoen.

Zonder een behoorlijke stedebouwkundige — ook esthetische! — scholing is dit werk dan ook niet in de vereiste kwaliteit te verrichten, en waar deze bij de medewerkende lagere technici — vooral door het tekort schieten van het onderwijs — bijna immer ontbreekt, vindt de stedebouwkundige hier een niet alleen belangrijk, doch tevens zeer omvangrijk arbeidsveld.

Doch ook dit bewerkt hij niet alleen. Want de verschillende bestemmingskringen mogen in beginsel reeds door samenwerking met anderen in het stadsplan bepaald zijn, zo omvat de detaillering zoveel nadere beslissingen op punten, die ook voor die bestemmingen in allerlei opzicht van veel belang zijn, dat daarbij wederom overleg geboden is. Overleg, dat t.o. van die werken natuurlijk niet immer behoeft te leiden tot een vastlegging, die immers nog voorbarig kan zijn, doch dan tot een, evenwel begrensde, niet-vastlegging.

Bij deze plannen, hetzij bij hun eerste bewerking, hetzij bij nader nodig blijkende wijzigingen, gaat nu het kontakt met de architekten en hun bouwheren een grotere rol spelen; daarbij toch komen de „bouwbeperkingen" in engere zin, de rooilijn- en bouwkringbepaling en de bijbehorende bouwvoorschriften, in het spel. En ook dan blijkt het steeds van veel belang als die bouwkundigen stedebouwkundig begrip tonen, d.i. begrip voor het gehéél, voor de situatie van het gebouw in verband met de nabije en verdere huidige en ontworpen omgeving, — een begrip, dat in de praktijk maar al te vaak blijkt te ontbreken, of volkomen ter zijde geschoven wordt voor meer direkte belangen van lager orde. Vooral bij de overheidsgebouwen, die meestal door situatie, aard en omvang een zo belangrijke plaats in funktionele en esthetische zin in elke stad (en elk dorp!) innemen, is dit overleg en de aanwezigheid van genoemd begrip, van bijzónder grote waarde, — en vele gerealiseerde situaties bewijzen jammer genoeg, dat de zoeven geuite klacht ook daarvoor moet gelden.

Vanzelf zijn wij nu hiermede gekomen op de andere bovengenoemde stedebouwkundige bemoeiïngen: de *gronduitgifte, de bouwvoorschriften* en de lokale *overheidswerken.* En deze ineenvloeiïng is geen tekstkonstruktie doch de weerspiegeling van een werkelijke; want ook in de realiteit behoren, op de grondslag van het stadsplan, deze werkonderdelen en de detailplannen volkomen in elkaar te grijpen, en als de verschillende uitingen van een *einheitliche* lokale stedebouwkundige behandeling niet alleen te worden beschouwd doch bewerkstelligd, — een samenhang, die in de praktijk, reeds veelal door een onjuist opgezette dienstorganisatie, vaak ontbreekt. Toch wil deze samenhang niet meer zeggen, dat de uitvoering al dezer onderdelen onder den stedebouwkundige moet staan; zij worden daarvoor, vooral bij de grote steden, naar de technische of administratieve richting te speciaal. Doch enerzijds is wel hij de aangewezen man om hun koördinatie te konstrueren en te bewaken, anderzijds is het door die arbeidsverdeling dubbel nodig, dat de bij die bemoeïngen betrokkenen, waartoe behalve administratieve en hygiënische krachten ook weer technici zullen behoren, van de stedebouwkundige gezichtspunten behoorlijk doordrongen zijn.

Als bijzonder gewichtig moet hierbij dan worden genoemd de bouwverordening, die niet alleen dient te bevatten de bouwvoorschriften in engere zin, doch mede de betekenis der zonerings- of kringvoorschriften, en — zolang daarvoor nog geen algemene wettelijke basis bestaat — mede de regeling voor de rechtswerking der plannen. Tezamen met het stadsplan en een juiste dienstorganisatie vormt zij de fundering voor de lokale stedebouwkundige stadsbehandeling. Haar samenstelling, resp. haar aanpassing aan een voortschrijdende ontwikkeling, is dan ook een der hoofdwerkzaamheden van den stedebouwkundige, doch ook hierbij zal hij grote, ja onmisbare steun moeten vinden in de samenwerking met andere technici met begrip voor deze vraagstukken, zowel in als buiten de lokale technische dienst.

Ook moge er nog op gewezen worden, dat tot de overheidswerken, die hier als stedebouwkundig essentieel zijn genoemd, niet alleen behoren de gewone aanlegwerken in de beide bovengenoemde dynamische bestemmingskringen (b.v. wegen, afwateringen, bruggen enz.) en de openbare gebouwen en dg. in de statische (bestuurskantoren, scholen, pasars, begraafplaatsen enz.). Eveneens moeten als zodanig worden aangemerkt bijzondere assaineringswerken (b.v. reeds de gewone kampoengverbetering), volkshuisvestingskomplexen enz.

Ueberhaupt trouwens is de grens, wàar de stedebouwkundige werken ophouden, niet te trekken, — en màg zij ook niet getrokken worden. Het is integendeel juist noodzakelijk het samenvattende en koördinerende stedebouwkundige gezichtspunt — even goed als andere fundamentele, b.v. het welvaartsgezichtpunt — mee te laten gelden bij alle maatregelen,

die de funktionering van de stadsaanleg als geheel of bepaalde onderdelen betreffen of beïnvloeden, en het meer of minder zwaar te laten wegen al naar het daarbij betrokken stedebouwkundige belang. Het meest sprekend betreft dit b.v.: alle verkeersvoorschriften, ook de politionele, de administratieve indeling ener stad, en de organisatie vooral harer technische diensten; voorts de verzameling van bijna alle statistische gegevens, de aanleg van elektrische en waterleidingen, de vuilnisverwerking, de meeste agrarische maatregelen, verschillende belastingen enz. Mede hierom is het nodig, dat elk leidend technikus — hetzelfde geldt trouwens voor den hygiënist en voor den besturenden jurist — het stedebouwkundig gezichtspunt van huis uit voldoende begrijpt om daarbij te kunnen meewerken.

Het stedebouwkundig werk aldus overziende, blijkt er voor den *stedebouwkundigen ingenieur* ook hier te lande belangrijk werk te liggen wachten, — zeker bij elke grote stad en elke snel-groeiende middelbare zóveel, dat de beschikking over zulk een kracht voor de lokale overheid onder normale omstandigheden in hoge mate gewenst is, eerder nog dan die over een eigen bouwkundig ingenieur. Terwijl de kleinere ressorten, waarbij de Regentschappen met een kota van enig belang of enige groeikracht, analoge behoeften hebben in de middelbare sfeer [8]). Daarnaast is er dan een veel grotere groep technici, die het stedebouwkundig werk niet in engere zin behoeven te doen, doch er wel telkens op eigen gebied aan moeten meewerken, en er dus mede enig inzicht in behoren te hebben.

Wanneer nu hier en te voren onderscheid is tussen de „stedebouwkundige" ingenieurs en de civiele en bouwkundige, dan vereist dit nog enige toelichting. Want aan de ene kant verlangt — zoals wel uit het voorgaande blijkt — de stedebouw zeker zo zeer een bepaalde en omvangrijke studie, vaardigheid en scholing voor een goede uitoefening, dat een afzonderlijke opleiding daarvoor, gezien het grote sociale belang van zulk een uitoefening, zeker zeer gewenst ware. Maar aan de andere kant is, door de oorzaken die boven eveneens zijn uiteengezet, ons onderwijs daarop nog lang niet ingericht, en dienen wij dus voorlopig te roeien met de riemen die wij hebben, en onze stedebouwkundigen te rekruteren uit de c.i.'s en b.i.'s; zoals trouwens ook schrijver dezes stedebouwkundig slechts door de praktijk gevormd is, gekomen van de bouwkundige zijde. Doch dat geeft hem te meer recht om uit ervaring mede te delen, dat zulk een scholing toch bepaald onvoldoende is, èn omdat er een systematische, voldoend brede theoretische grondslag aan ontbreekt, èn omdat zij ook in haar bovenbouw lakuneus blijft. Het schijnt dan ook een natuurlijke konsekwentie van de grotere plaats, die de „planologie" weder in 't maatschappelijk leven is en moet gaan innemen, en van hare evidente konkordantie met de ontwikkelingsrichting onzer samenleving, dat haar ook in de akademische opleidingen een grotere plaats worde ingeruimd, en dan vóór alles bij die voor c.i. en b.i. Want evenals een zelfstandige stedebouwkundige studie deels uit een samenstelling van civiele en bouwkundige vakken zou moeten bestaan — doch van beide vooral de hoofdzaken zou moeten geven, en minder konstruktieve details —, is, zolang die studie nog niet bestaat, de beste voorbereiding voor den stedebouwkundige de kombinatie dier beide, dan wel de civiele weg mits gepaard aan enige architektonische scholing en voldoend artistiek vermogen, in beide gevallen aangevuld met een goed inzicht in de stedebouwkundige hoofdzaken en werkmethoden.

Doch dan moge hier ten slotte nog worden gewezen op enige bijzondere elementen in dat vak, die deels, zolang het nog niet zelfstandig wordt gegeven, niet zonder moeite daarin zijn op te nemen.

In de eerste plaats dan op het *sociaal-ekonomische element*. In het voorgaande betoog is reeds meermalen op de vóór alles sociale betekenis van de stedebouw de nadruk gevallen. Geldt dit in algemene zin ook voor andere technieken, zo neemt in dit vak de sociale faktor toch inderdaad een grótere plaats in: want terwijl bij de meeste andere technische werken de maatschappelijke behoefte in elk geval afzonderlijk leidt tot een betrekkelijk nauw omschreven programma, en de sociale eisen dan verder eigenlijk meer de vorm aannemen van die der grootst mogelijke ekonomie in technische zin, ligt het bij de stedebouw juist op de weg van den stedebouwkundige om zèlve dit programma uit het maatschappelijk leven af te leiden. En daarvoor is nodig zowel enige kennis der staatshuishoudkunde en hare methoden, speciaal de statistische, en een goed inzicht in de samenstelling der maatschappij in leven en levenshouding der verschillende bevolkingsgroepen, als bovenal: een levendige en alzijdige sociale belángstelling. Vooral in ons land, waar de statistische gegevens nog zo schaars zijn, en waar van de zeer vèrgaande onderzoekingen, die tegenwoordig in Europa en Amerika aan een stadsplan ten grondslag worden gelegd, geen sprake kan zijn, omdat èn de financiële èn de personele krachten daartoe ten enenmale ontbreken (en gedurende een vrij lange periode nog wel zullen blijven ontbreken), terwijl juist de koloniale samenleving bijzonder gekompliceerd en voor den Westers geschoolden technikus moeilijk kenbaar is, vooral dus hier moeten een welbewuste sociale instelling en een kritisch gehanteerde intuïtie vaak aanvullen wat aan exakte gegevens te kort komt.

Een tweede, voor den ingenieur in de mate waarin het vereist wordt enigszins vreemd element, is het *juridische en administratieve*. Het is mogelijk dat in een veel latere periode, wanneer wij over een beproefde wetgeving op dit gebied beschikken — doch de Hollandse en andere buitenlandse voorbeelden leren hoe vele decenniën nodig zijn om dat te bereiken! —, de juridische faktor voor den stedebouwkundige een kleinere rol kan gaan spelen; al zal hij ook dan toch nog telkens te maken krijgen met de kwesties van verhaal en schadeloosstelling en de andere rechtsgevolgen, die uit zijn plannen voortvloeien, en

8) In het uit de behoeften der praktijk voortgekomen examen voor „Locaal Architect" (van de Vereen. voor Loc. Belangen), dat op gelijke hoogte staat als het examen „Architect V. & W.", is de stedebouw dan ook als hoofdvak opgenomen.

al zal zijn werk ook dan nog voor een deel uit het ontwerpen van verordeningen moeten bestaan. Doch voorlopig wordt, door het geheel ontbreken ener wetgeving en door de onwennigheid van de grote meerderheid der juristen en bestuurderen t.o. van de stedebouwkundige arbeidsmethoden, meer van hem verlangd. Want zonder rechtswerking en mogelijkheid van financiering zijn zijn plannen waardeloos, en, al zal de uiteindelijke vorm daarvan als regel door den specialist der andere zijde kunnen worden vastgesteld, zo is hij toch veelal degeen, die de daarvoor nodige juridische en administratieve maatregelen in beginsel moet voorstellen en verdedigen. Hij moet dus niet alleen een zekere administratieve kennis hebben, doch met den jurist en den bestuurder kunnen meedenken, — iets wat voor den technikus in het algemeen niet zo eenvoudig is: omdat zijn denken typisch ànders is dan het juridische.

Veel minder vreemd staat de technikus t.o. van het *hygiënische element,* dat eveneens in de stedebouw een zo grote plaats moet innemen; aard en omvang van de vereiste kennis op dit gebied zijn voor den stedebouwkundige bovendien analoog aan die van verschillende technische vakken: hij moet er genoeg van weten en begrijpen, om bij de eerste opzet zijner plannen met alle belangrijke hygiënische werken en eisen rekening te houden, later met den gespecialiseerden hygiënist vruchtbaar te kunnen samenwerken, en, in verband met zijn maatschappelijk en algemeen inzicht, te kunnen beoordelen wat moet zijn; speciaal moet hij het Indische materiaal voor weg- en plantsoenbeplantingen kennen, en het passend en mooi weten te gebruiken.

In onze tropische steden speelt voorts de beplanting een zo overwegende rol, dat de stedebouwkundige ook op dit gebied, oneigenlijk aangeduid als *landschapsarchitektuur* of tuinkunst, enigszins thuis moet zijn; speciaal moet hij het Indische materiaal voor weg- en plantsoenbeplantingen kennen, en het passend en mooi weten te gebruiken.

Wanneer dan het *esthetische element* het laatst genoemd wordt, geldt in dit geval zeker het *last not least,* doch is er toch voor die volgorde een goede reden. Want wel foutief is de opvatting, die veelal nog bij leek en technikus bestaat, dat de eigenlijke taak van den stedebouwkundige is de „verfraaïing" der steden in oppervlakkige of speciaal-artistieke zin, als een soort luxe naast het meer serieuse technische werk; haar onjuistheid volgt uit al het voorgaande wel evident. Maar toch heeft het esthetische element ook in deze kunde, die tevens een kunst kan en moet zijn, een zeer bijzóndere funktie: het mag niet wezen één der elementen naast de vele andere, zelfs niet een losstaande kroon op het werk, een uitwendige versiering, doch het moet àlle werk als een *intensieve veredeling* doordringen. Wat de stedebouw voor alles nastreeft, is de innerlijk en uiterlijk júiste aanleg en opbouw van de stad of het dorp als geheel en van al hun in zo rijke verscheidenheid funktionerende delen; doch tegelijkertijd moet deze opbouw en moeten al die delen dan zo gevórmd worden, elk naar eigen aard en behoefte, dat zij aan hun innerlijk wezen en aan hun materiële en ideële funkties zichtbare en voelbare *uitdrukking* geven. Mooi is niet de opgesierde stad, doch de stad of het stadsdeel met een sterke expressie. Een expressie, die schoner kan zijn naarmate het inwezen van de aanleg, die haar draagt, harmonischer is of zijn funktie grootser of edeler; maar ook de bescheiden wijk heeft zijn eigen aard, al is die nederig, en die tot harmonische uitdrukking te brengen met de passende eenvoudige middelen schept evenzeer ideële bevrediging.

Innig en onverbrekelijk zij dus de band tussen wezen en goede vorm; en zeker is het daarom gevaarlijk om den Jan Artist op stedebouwkundig werk los te laten. Maar even onbevredigend, want troosteloos en leeg, worden stad en dorp, wanneer het den stedebouwkundige aan esthetische vormkracht heeft ontbroken, wanneer hij met het materiaal, dat hem ten dienste stond: bebouwing, weg- en pleinaanleg en beplanting, geen suggestieve vorm, geen expressie heeft weten te bereiken.

Voldoende esthetische begaafdheid en oefening mogen dus bij hem, die stedebouwkundig leidend werk wil doen, niet ontbreken; en zij schijnen, omdat de goede vorm alle werk van den beginne af moet doordringen en veredelen, in een samenleving die op dit gebied geen traditie kent, niet door enig teamwork te vervangen. Vanzelf is dan de architektonische scholing, als de meeste verwante, ook de meest aangewezene, — wat den b.i. dus essentieel een voorsprong geeft voor den normalen c.i., al is de laatste voor dit werk beter téchnisch onderlegd.

Belangrijk is ook dat slechts het esthetische gezichtspunt den technikus leert, een werk niet alleen als een uiterlijk middel-tot-een-doel, maar vóór alles als een innerlijke eenheid te zien, een mentaliteit, welke juist in de stedebouw waardevol is.

Zo blijkt dus ook uit de aanduiding der materie, die de geschoolde vakman zou dienen te beheersen, — doch hoe ver zijn wij daar in de praktijk nog van daan! —, hoezeer de stedebouwkunde als technisch vak een eigen karakter heeft, hoezeer zij niet alleen „bouwt", doch voor alles samenvat, organiseert en koördineert, en daardoor tot op zekere hoogte tussen de bouwtechnieken een centrale plaats inneemt.

De gehouden voordrachten werden besloten met een korte beschouwing over de stadsplannen der Gemeente *Palembang* (koncept) en der voormalige Gemeente *Meester-Cornelis,* waarbij op een aantal elementen werd gewezen, die typisch onderwerp voor belangrijk technisch *teamwork* vormen, resp. vroeger hadden behoren te vormen. Voor Palembang werden o.a. genoemd de toekomstige betere aansluiting van de spoor aan het stadscentrum en de handelsbuurt, en die van spoor en schip, de overbrugging der rivieren, en de zeer moeilijke verbetering van de inundering der stad, — voor Meester-Cornelis-Batavia eveneens de spoorwegtoestanden, verder de hoogspanningslijnen, de bandjirvrijmaking enz.

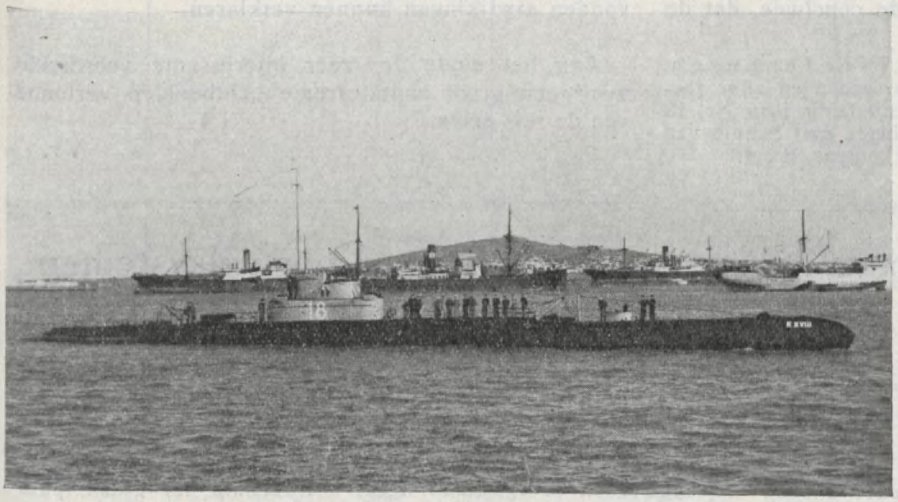
Het zwaartekrachtonderzoek aan boord van H.M. K XVIII.

Voordracht, gehouden door prof. dr. ir. F. A. Vening Meinesz voor de Afdeeling Bandoeng der Koninklijke Natuurkundige Vereeniging op Vrijdag 9 Augustus 1935.

Aan deze voordracht, tot de bijwoning waarvan ook de leden van den Kring Bandoeng van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs waren uitgenoodigd, moge het volgende worden ontleend.

De onderzoekingen verricht aan boord van de duikboot K XVIII (zie *foto*) waren van tweeërlei aard en wel het doen van *diepzeeloodingen* en de uitvoering van nauwkeurige *slingerwaarnemingen* voor de meting der versnelling van de zwaartekracht. Beide geschiedden voor de *Rijkscommissie voor Graadmeting* in Nederland.

De reis, welke ongeveer acht maanden duurde en



waarbij rond 23 000 zeemijlen werden afgelegd, ging van uit *Den Helder* langs *Madeira* en de *Kanarische eilanden* naar *St. Vincent,* waarna een westelijke afbuiging heen en terug volgde langs de Kerstvluchtroute van „de Snip" om dan *Dakar* aan te doen, gelegen aan de Westkust van *Afrika* [1]). Toen werd de *Atlantische Oceaan* overgestoken naar *Pernambuco* en langs de Oostkust van *Zuid-Amerika* gevaren naar *Rio de Janeiro* en *Buenos Aires.* Vervolgens kwam een oversteek van bijna 4 400 mijl over den *Zuid-Atlantischen Oceaan* naar *Kaapstad* met alleen het eilandje *Tristan da Cunha* als rustpunt. Over *Durban* ging het verder naar *Mauritius,* waarna wederom een groote oversteek volgde, thans van niet minder dan 3 500 mijl *zonder* rustpunt, over den *Indischen Oceaan* naar *Fremantle,* gelegen aan de Westkust van *Australië.* Tenslotte ging de reis in noordelijke richting naar *Soerabaia* als eindpunt.

De diepzee-loodingen hadden plaats door middel van een *echo-loodingstoestel,* dat door de Marine met dat doel in de K XVIII was gemonteerd. Het principe berust hierop, dat een geluidssignaal van uit het toestel naar den oceaanbodem wordt uitgezonden, dat na aldaar te zijn gereflecteerd weder door het apparaat wordt opgevangen. Uit het waargenomen tijdsverschil en de bekende voortplantingssnelheid van de geluidsgolf in zeewater, is dan de diepte van den oceaan te berekenen. Het groote voordeel van deze methode is hierin gelegen, dat zij een vrijwel continue reeks van dieptemetingen langs de geheele route mogelijk maakt.

De loodingen leverden belangrijke resultaten op, zoowel in den *Atlantischen Oceaan* als welkome aanvulling der reeds bekende waarnemingen, als in den *Indischen Oceaan,* waar in het doorkruiste gebied zoo goed als geen dieptemetingen bekend waren. Tal van nieuwe bodemformaties werden ontdekt, zooals b.v. een onderzeesch hoogland met diepten van 1 300 tot 2 000 m over een uitgestrektheid van 1 000 mijl. Een doorsnede over den *Atlantischen Oceaan* levert, in grove trekken, vlakke diepe gedeelten in het Westen en het Oosten aansluitende aan de continenten, met een grillig gevormd onderzeesch bergland in het midden, dat vermoedelijk van vulkanischen oorsprong is. Verder is gebleken dat de grootste Europeesche plooiïngsgebergten zich niet voortzetten op den oceaanbodem.

Het doel der *zwaartekrachtmetingen* is tweeërlei. Ten eerste dienen zij voor de vormbepaling der aarde en ten tweede voor het onderzoek naar de massaverdeeling in het inwendige der aarde, waaruit conclusies over de nog steeds in de aardkorst optredende processen kunnen worden getrokken. De bepaling der versnelling van de zwaartekracht geschiedt volgens de aloude methode n.l. door meting van den slingertijd van een physischen slinger. Om echter de hoofdstoring tengevolge der horizontale versnellingen van de boot op te heffen, worden twee slingers gebruikt op een zelfde toestel gemonteerd.

Vooral merkwaardig is de storing, die optreedt ten gevolge van de vaarsnelheid van de duikboot in de richting Oost-West. Hierdoor wordt n.l. de middelpuntvliedende kracht der aardrotatie beïnvloed, welke kracht, zooals bekend is, op de aantrekkingskracht moet worden gesuperponeerd om de zwaartekracht te verkrijgen. Deze storing is vrij aanzienlijk, een snelheid van een mijl per uur ten opzichte van de aarde, geeft reeds een afwijking van 1/120 000. Nu is in verband met de aanwezigheid van zeestroomingen slechts een *gemiddelde* waarde van deze snelheid te meten n.l. gedurende twee opvolgende plaatsbepa-

[1]) Zie ook de gepubliceerde kaart in *De Ingenieur* No. 52 — 1934, blz. A 464. Red.

lingen op zee [2]). In de op deze wijze gevonden snelheid kan echter ten opzichte van de werkelijke een fout schuilen van ¼ mijl en meer. De te bereiken nauwkeurigheid der zwaartekrachtmetingen wordt zelfs vnl. hierdoor bepaald en bedraagt alzoo ongeveer 1/300 000 tot 1/500 000 tegen een dubbele nauwkeurigheid, die op het land te bereiken is.

Men meet niet de absolute slingertijden der slingers maar de opeenvolgende verschillen. Het uitgangspunt is de nauwkeurig bekende slingertijd gevonden in het Meteorologisch Observatorium te *De Bilt* in Nederland. De gevonden versnellingen der zwaartekracht worden tenslotte gereduceerd op zeeniveau.

De duikboot is het aangewezen hulpmiddel voor zwaartekrachtwaarnemingen op zee. Op eenige tientallen meters onder het wateroppervlak is van de golfbeweging zoo goed als niets meer te bespeuren. Op een varend schip heeft men zelfs bij kalme zee nog het bezwaar van de trillingen ten gevolge van het breken der golven tegen de boeg.

De resultaten van het zwaartekrachtonderzoek op deze en vorige reizen wettigen de conclusie, dat de aarde nog niet geheel haar evenwichtsvorm heeft bereikt, overeenkomende met de aswenteling en de onderlinge aantrekking der massa's. De aequator is geen cirkel maar een ellips, zij het ook met een zeer geringe excentriciteit.

De hypothese der *isostasie,* waarbij wordt verondersteld, dat de continenten als het ware drijven op een taaie plastische stof daaronder, het *substratum,* dat vloei-eigenschappen bezit onder invloed van krachtwerkingen van zeer langen duur, schijnt ook voor de oceanen aannemelijk te zijn, doch er vertoonen zich nog merkwaardige afwijkingen, die duiden op een systematische verandering in den opbouw der aarde.

Het is niet onmogelijk dat in het plastische *substratum* langzame convectiestroomingen optreden tengevolge van temperatuursverschillen, die veroorzaakt worden door de verschillen in radioactiviteit van de aardkorst ter plaatse van de continenten en onder de oceanen. Deze stroomingen, rijzende onder de continenten en dalende onder de oceanen, zouden de gevonden afwijkingen kunnen verklaren.

Aan het einde der zeer interessante voordracht werd een groot aantal fraaie lichtbeelden vertoond van de reis zelve.

Vr.

2) Zie in verband hiermede ook: V r e e d e n b u r g h. Eenige beschouwingen over den gyroscoop en zijne toepassingen in de techniek. *De Waterstaatsingenieur* No. 12 — 1927, Hoofdstuk 7, Snelheidsmetingen met behulp van den slingertijd van een gyroscopisch kompas. R e d.

Bepaling van invloeds-stangenveelhoeken voor portaalsystemen

door

prof. ir. C. G. J. VREEDENBURGH.

De constructie van ir. A l t i n g M e e s voor de bepaling der invloedslijnen voor het moment en de dwarskracht in een willekeurige doorsnede van een vrij opgelegden doorgaanden ligger met behulp der „vaste punten", gegeven in *De Ingenieur in Ned.-Indië* No. 2 — 1935, geldt *algemeen* voor een willekeurig portaalsysteem. Het een en ander wordt bewezen en met voorbeelden toegelicht, terwijl ook invloedslijnen voor oplegreacties van portaalsystemen in beschouwing worden genomen.

1. Inleiding.

In *De Ingenieur in Ned.-Indië* No. 2 — 1935 werd door ir. L. A. A l t i n g M e e s uiteengezet, hoe bij een vrij opgelegden doorgaanden ligger, grafisch de invloedslijnen kunnen worden bepaald voor het moment en de dwarskracht in een willekeurige doorsnede van een veld en voor de oplegreacties, waarbij wordt gebruik gemaakt van de zgn. vaste punten van den ligger (lit. 3) [1]). In het bijzonder is vermeldenswaard, de eenvoudige constructie door den schrijver gegeven voor het vinden van de verhouding der momenten links en rechts van het veld, waarin de zgn. fictieve *moment-* c.q. *dwarskracht*verbinding is aangebracht (lit. 2). Het bewijs voor de juistheid dezer constructie werd wel is waar aan de Redactie van dit tijdschrift toegezonden, doch in verband met de plaatsruimte door den schrijver in zijn artikel achterwege gelaten. Bedoeld bewijs was echter niet algemeen en beperkte zich tot een vrij opgelegden ligger op 6 steunpunten, zij het ook met willekeurige veldlengten, terwijl de E·I's der velden constant werden aangenomen. Verder moet worden opgemerkt, dat door de gevolgde analytische methode met behulp van determinanten, de berekening reeds voor dit eenvoudig geval, tamelijk bewerkelijk werd.

Steller dezes is er thans in geslaagd om, zich losmakende van determinanten, het bewijs te leveren, dat de eenvoudige constructie *algemeen* geldt en wel niet alleen voor vrij opgelegde doorgaande liggers, maar ook voor liggers, die veerend draaibaar zijn ondersteund, aan de uiteinden al dan niet volkomen of veerend zijn ingeklemd, de lengten en stijfheidsfactoren der velden verschillend zijn; kortom *algemeen geldt voor willekeurige portaalsystemen.*

Voor een goed begrip van dit bewijs lijkt het echter gewenscht eerst in beschouwing te nemen, het teekenen van elastische stangenveelhoeken voor portaalsystemen, waarbij één der steunpunten — al dan niet veerend of volkomen ingeklemd — een bedrag δ te laag of te hoog is gelegen. Daar hiermede onmiddellijk samenhangt het teekenen van *invloeds-stan-*

1) Beteekent literatuuropgave No. 3 van de literatuurlijst achterin.

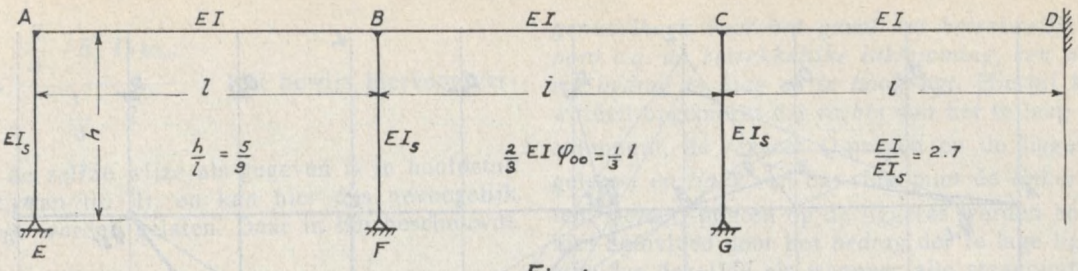


Fig. 1.

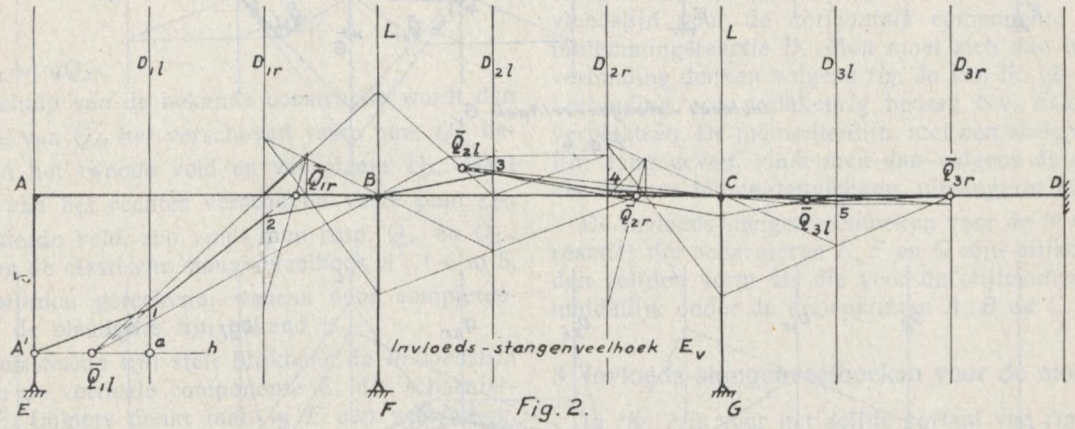


Fig. 2.

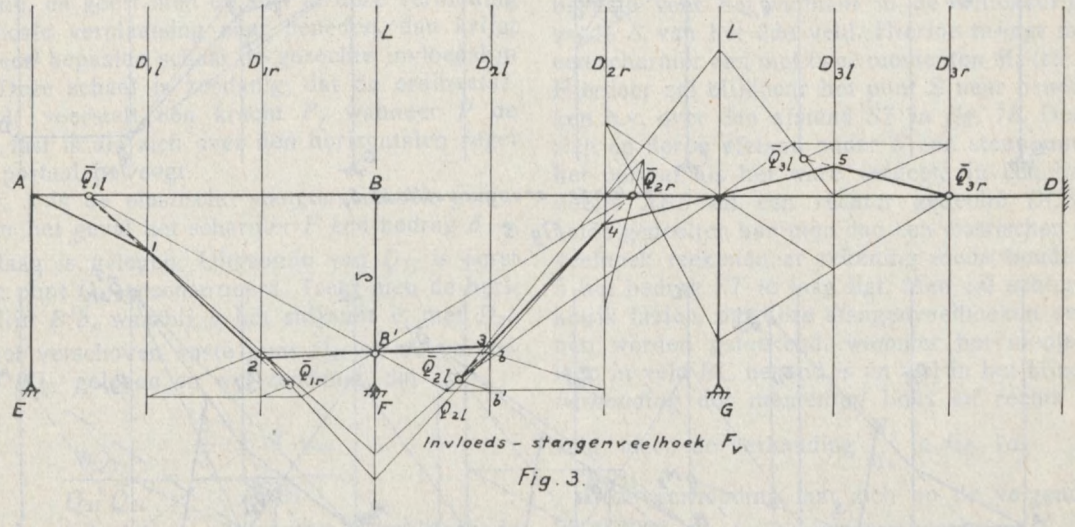


Fig. 3.

genveelhoeken [2]) *voor oplegreacties,* zullen eerst hierna die voor *momenten* en *dwarskrachten* worden beschouwd.

2. Invloeds-stangenveelhoeken voor oplegreacties.

In *fig. 1* is een portaalsysteem voorgesteld met gelijke velden en gelijke stijllengten. De stijfheidsfactor tegen buiging der velden zij $E \cdot I$, die der stijlen $E \cdot I_s$, terwijl $\frac{E \cdot I}{E \cdot I_s} = 2{,}7$.

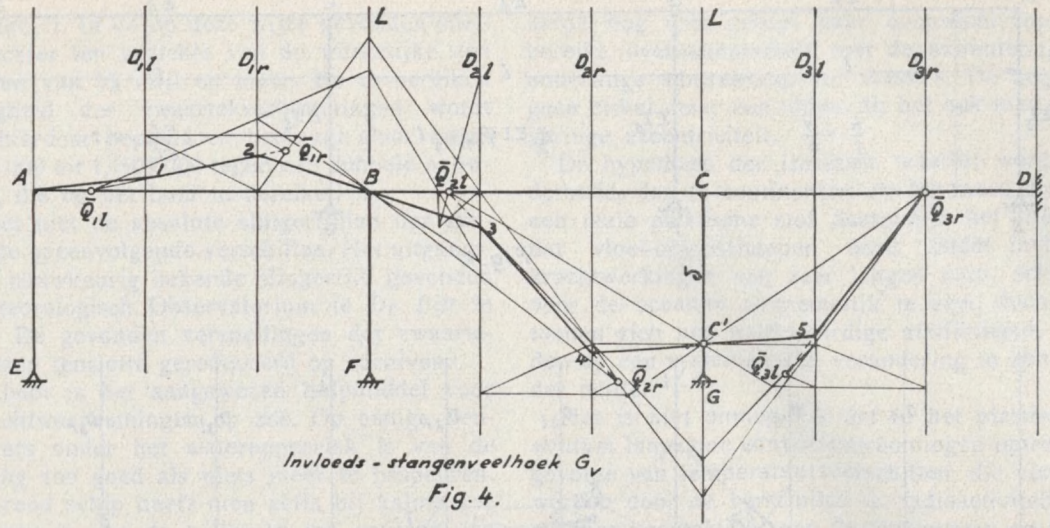
Verder zij de stijllengte $h = \frac{5}{9}$ der veldlengte l.

Alle stijlen zijn beneden scharnierend ondersteund, zoodat voor iedere stijl $\varphi_{oo} = \frac{h}{3 \cdot E \cdot I_s}$ (lit. 1).

In *fig. 2* is de elastische stangenveelhoek geteekend, wanneer het scharnier E een bedrag $\delta = AA'$ naar beneden is gezakt. D_{1l} t/m D_{3r} zijn de derdedeellijnen der velden, de lijnen L de richtlijnen, die in het onderhavig geval blijkbaar samenvallen met de verticalen door B en C.

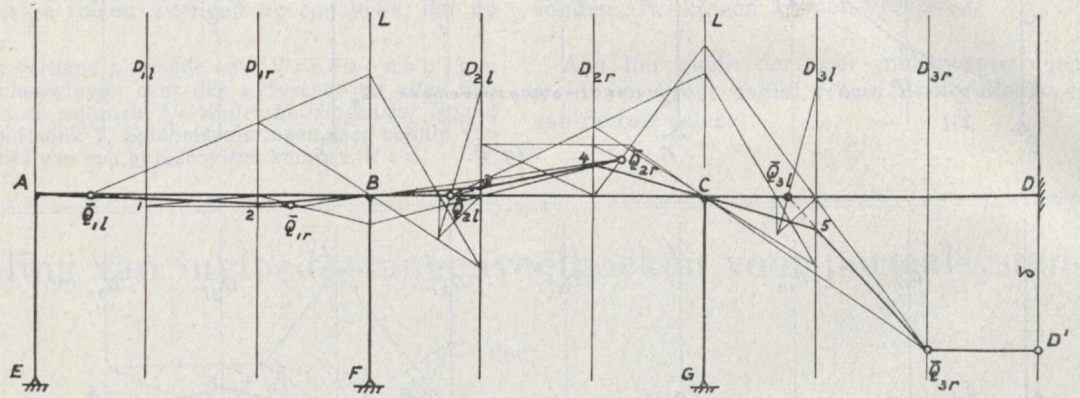
Trekt men door A' de horizontale lijn $A'h$, die met D_{1l} het snijpunt a oplevert, zoo vindt men het linker verschoven vaste punt $\bar{Q}_{1l}$ van het eerste veld, waardoor de stang 1-2 moet gaan, uit de verhouding

2) Onder invloeds-stangenveelhoek wordt verstaan een elastische stangenveelhoek, die door verdere completeering de invloedslijn oplevert. Zie voor de daartoe te volgen werkwijze b.v. *fig. 13* van dit opstel en lit. (3).



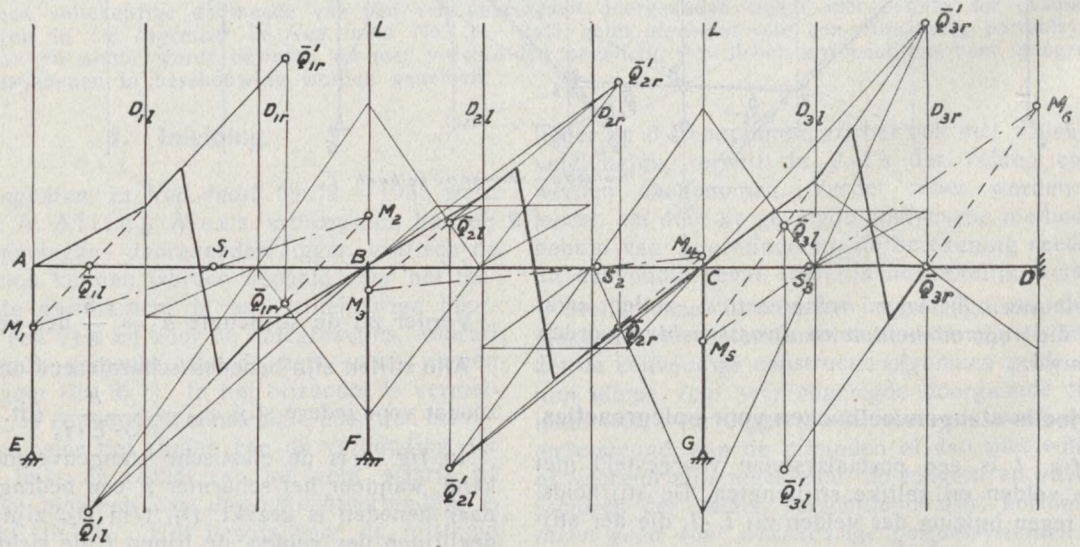
Invloeds - stangenveelhoek G_v

Fig. 4.



Invloeds - stangenveelhoek D_v

Fig. 5.



Elastische stangenveelhoek voor $\vec{D_h}$ met momentenlijn.

Fig. 6.

$$\frac{a\bar{Q}_{1l}}{A'\bar{Q}_{1l}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot E \cdot I \cdot \varphi_{oo}}{\frac{1}{3} \cdot l}$$

. Het bewijs hiervoor verloopt op de zelfde wijze als gegeven is in hoofdstuk 6, sub *e*, van lit. (1), en kan hier dus gevoegelijk achterwege worden gelaten. Daar in het beschouwde geval

$$\frac{2}{3} \cdot E \cdot I \cdot \varphi_{oo} = \frac{2}{3} \cdot E \cdot I \cdot \frac{\frac{5}{9} \cdot l}{3 \cdot \frac{E \cdot I}{2{,}7}} = \frac{1}{3} \cdot l ,$$

is $A'\bar{Q}_{1l} = a\bar{Q}_{1l}$.

Met behulp van de bekende constructie wordt dan uitgaande van $\bar{Q}_{1l}$ het verschoven vaste punt $\bar{Q}_{2l}$ bepaald van het tweede veld en vervolgens $\bar{Q}_{3l}$. Gaat men uit van het rechter verschoven vaste punt $\bar{Q}_{3r}$ van het derde veld, zoo vindt men resp. $\bar{Q}_{2r}$ en $\bar{Q}_{1r}$. Thans kan de elastische stangenveelhoek A', 1 t/m 5, $\bar{Q}_{3r}$, D worden geteekend, waarna door completeering ook de elastische lijn bekend is.

Deze elastische lijn stelt blijkbaar de *invloedslijn* voor, van de verticale componente E_v der scharnierreactie E. Immers denkt men in E een verbinding, die geen verticale kracht kan opnemen, maar wel een horizontale, en geeft men de stijl in deze verbinding een verticale verplaatsing naar beneden, dan krijgt men op een bepaalde schaal de gezochte invloedslijn (lit. 2). Deze schaal is zoodanig, dat de ordinaatafstand AA' voorstelt een kracht P, wanneer P de verticale last is die zich over den horizontalen regel van het portaal beweegt.

In *fig. 3* is de elastische stangenveelhoek geteekend voor het geval het scharnier F een bedrag $\delta = BB'$ te laag is gelegen. Uitgaande van $\bar{Q}_{1l}$ is eerst het vaste punt Q_{2l} geconstrueerd. Trekt men de horizontale lijn $B'b$, waarbij b het snijpunt is met D_{2l}, dan is het verschoven vaste punt $\bar{Q}_{2l}$ op de verbindingslijn bQ_{2l} gelegen en wel zoodanig, dat

$$\frac{b\bar{Q}_{2l}}{Q_{2l}\bar{Q}_{2l}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot E \cdot I \cdot \varphi_{oo}}{b'Q_{2l}} .$$

Op soortgelijke wijze vindt men $\bar{Q}_{3l}$. Uitgaande van $\bar{Q}_{3r}$ vindt men achtereenvolgens $\bar{Q}_{2r}$ en $\bar{Q}_{1r}$. Ook hier stelt de elastische stangenveelhoek een invloedsstangenveelhoek voor en wel voor de verticale componente F_v der scharnierreactie F, waarbij de ordinaatlengte BB' een kracht P voorstelt.

Tenslotte zijn in de *figuren 4* en *5* resp. geteekend de invloeds-stangenveelhoeken voor de verticale componente G_v der scharnierreactie G en de verticale componente D_v der inklemmingsreactie D. Wat de laatste betreft moet men zich in D een dwarskrachtverbinding denken volgens *fig. 2a* van lit. (2) en deze een bedrag $\delta = DD'$ naar beneden verplaatsen.

Uit de gegeven voorbeelden der *fig. 2* t/m *5* ziet men duidelijk, dat de bepaling van een *invloeds*-stangenveelhoek voor een *verticale reactie* eenvoudig neerkomt op het teekenen van een *elastischen stangenveelhoek voor het geval het betrekkelijk knooppunt c.q. de betrekkelijke inklemming, een willekeurig bedrag te laag of te hoog ligt.* Hierbij kan nog worden opgemerkt dat *rechts* van het te laag gelegen steunpunt, de *rechter* $\bar{Q}$-punten op de liggeras zijn gelegen en *links* van dat steunpunt de *linker* $\bar{Q}$-punten. Deze $\bar{Q}$-punten op de liggeras worden bovendien niet beïnvloed door het *bedrag* der te lage ligging en zijn dus dezelfde als wanneer alle steunpunten even hoog waren gelegen.

Volledigheidshalve is in *fig. 6* nog de elastische stangenveelhoek geteekend, ter bepaling van de invloedslijn voor de *horizontale* componente D_h der inklemmingsreactie D. Men moet zich dan in D een verbinding denken volgens *fig. 3a* van lit. (2) en deze verbinding een willekeurig bedrag b.v. naar rechts verplaatsen. De momentenlijn, met een streep-stippellijn aangegeven, vindt men dan volgens de methode der fictieve momentenvlakken, uiteengezet in lit. (4).

De invloeds-stangenveelhoeken voor de *horizontale* reacties der scharnieren E, F en G zijn blijkbaar van den zelfden vorm als die voor de stijlmomenten onmiddellijk onder de knooppunten A, B en C.

3. Invloeds-stangenveelhoeken voor de momenten.

In *fig. 7* is voor het zelfde portaal van *fig. 1* aangegeven, hoe de invloeds-stangenveelhoek kan worden bepaald voor het *moment* in de willekeurige doorsnede S van het 2de veld. Hiertoe brengt men in S een scharnier aan met twee momenten M_o (zie *fig. 7a*). Hierdoor zal blijkbaar het punt S naar beneden zakken b.v. over den afstand ST in *fig. 7b*. Denkt men zich op dezen afstand onder S een steunpunt, dan is het portaal als het ware verdeeld in een linker gedeelte ABS en een rechter gedeelte DCS. Voor beide gedeelten kan men dan een elastischen stangenveelhoek teekenen er rekening mede houdende, dat S het bedrag ST te laag ligt. Men zal echter gemakkelijk inzien, dat deze stangenveelhoeken eerst kunnen worden geteekend, wanneer het momentenverloop in veld BC bekend is en wel in het bijzonder de *verhouding* der momenten links en rechts van het veld, alzoo de verhouding $\frac{M_l}{M_r}$ in *fig. 7a*.

Deze verhouding laat zich op de volgende wijze berekenen.

$\bar{Q}_{2l}$ en $\bar{Q}_{2r}$ zijn de verschoven vaste punten van veld BC als één geheel beschouwd, dus zonder het scharnier in S. $\bar{V}_l$ en $\bar{V}_r$ zijn respectievelijk het linker verschoven vast punt van het gedeelte BS en het rechter verschoven vast punt van het veld CS.

De bepaling dezer vaste punten geschiedt op de gewone wijze waarbij R_l en R_r de richtlijnen zijn voor de bepaling van $\bar{V}_l$ en $\bar{V}_r$ (zie *fig. 7b*). Men stelle verder:

$$BS = l_1,\ CS = l_2;\ B\bar{V}_l = b_1,\ C\bar{V}_r = b_2;\ \mu_1 = \frac{l_1 - b_1}{b_1},$$

$$\mu_2 = \frac{l_2 - b_2}{b_2}\ ;\ Bb = m_1 \text{ en } Cc = m_2.$$

De poolsafstand, die bij den elastischen stangenveelhoek behoort, zij H'.

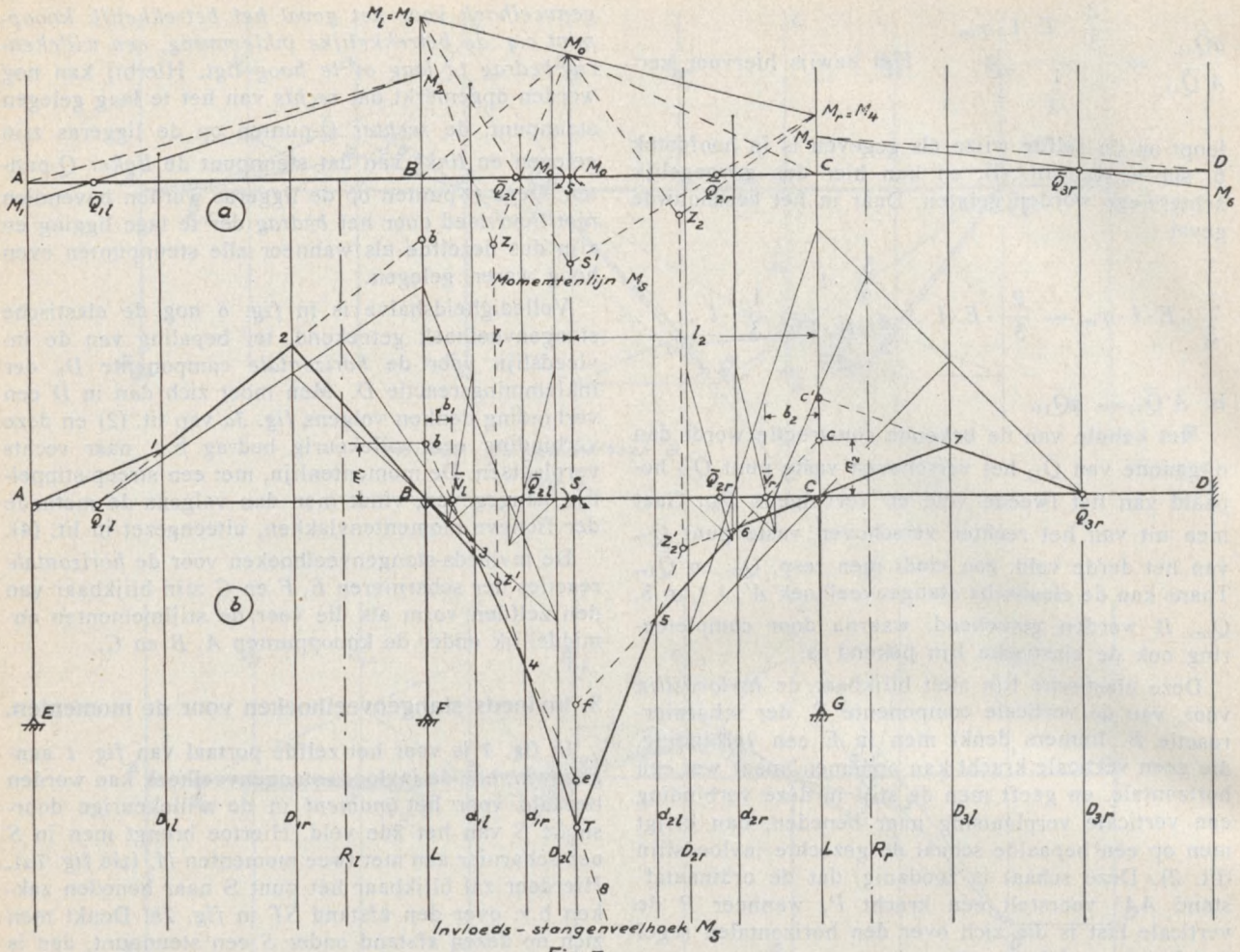


Fig. 7.

Men heeft dan achtereenvolgens (zie *fig. 7b*):

$$Se + eT = Sf + fT$$

$$\mu_1 \cdot m_1 + eT = \mu_2 \cdot m_2 + fT$$

$$\mu_1 \cdot \frac{M_l \cdot l_1^2}{6 \cdot H'} + \frac{M_o \cdot l_1^2}{6 \cdot H'} = \mu_2 \cdot \frac{M_r \cdot l_2^2}{6 \cdot H'} + \frac{M_o \cdot l_2^2}{6 \cdot H'}$$

en na eenige uitwerking, bedenkende dat:

$$M_o = \frac{l_1}{l} \cdot M_r + \frac{l_2}{l} \cdot M_l :$$

$$\frac{M_l}{M_r} = \frac{\mu_2 \cdot l_2^2 + l_1 \cdot (l_2 - l_1)}{\mu_1 \cdot l_1^2 + l_2 \cdot (l_1 - l_2)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Deze formule geldt blijkbaar *algemeen*, dus ook voor ongelijke veldlengten en verschillende $E \cdot I$'s der velden van het portaal.

Nu kan de verhouding (**1**) op eenvoudige wijze worden bepaald met behulp van de vaste punten $\overline{Q}_{2l}$ en $\overline{Q}_{2r}$ van het *geheele* veld *BC*, zooals hieronder moge blijken.

De ligging van een verschoven vast punt, bepaald door den afstand *a* (zie *fig.* 8), kan *in het algemeen* als volgt worden berekend. Men beschouwe twee naast elkaar gelegen velden *AB* en *BC* van een willekeurig portaalsysteem. De veldlengten zijn resp. λ en l, de stijfheidsfactoren tegen buiging $E \cdot I'$ en $E \cdot I$. De stijfheid van den stijl bij *B* zij bepaald door φ_{oo}.

De ligging der richtlijn *L* zij verder gegeven door den afstand *r*, de ligging van het verschoven linker vast punt van veld *AB*, door den afstand *u*.

Men heeft dan:

$$\frac{FG}{DH} = \frac{u + \frac{1}{3} \cdot (l + \lambda) - r}{u} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

$$\frac{KE}{FG} = \frac{QK}{r - QK} \quad \text{of uitgewerkt:}$$

$$r \cdot KE = QK \cdot (KE + FG) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Bedenkt men dat $\frac{KE}{DH} = \frac{l}{\lambda}$, dan wordt (**3**) met (**2**)

$$r \cdot \frac{l}{\lambda} = QK \cdot \left(\frac{l}{\lambda} + 1 + \frac{l + \lambda}{3 \cdot u} - \frac{r}{u} \right) \text{ of}$$

$$QK = \frac{l \cdot r}{l + \lambda + \frac{l + \lambda - 3 \cdot r}{3 \cdot u} \cdot \lambda} \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

Nu is overeenkomstig hoofdstuk 6, sub b, van lit. (1) de afstand r te vinden, door te bedenken, dat de richtlijn L de zwaartepuntsverticaal is van de rechthoekige driehoeken ABM en CBM tezamen, waarbij aan den eersten driehoek een gewicht $\frac{1}{E \cdot I'}$ wordt toegekend en aan den tweeden driehoek een gewicht $\frac{1}{E \cdot I}$.

Het statisch moment ten opzichte van de derdedeellijn D_3 toepassende geeft:

$$\frac{M \cdot \lambda}{2 \cdot E \cdot I'} \cdot \frac{l + \lambda}{3} = M \cdot \left(\frac{\lambda}{2 \cdot E \cdot I'} + \frac{l}{2 \cdot E \cdot I} \right) \cdot r$$

waaruit volgt:

$$r = \frac{\frac{1}{3} \cdot (l + \lambda) \cdot \lambda}{\lambda + \frac{E \cdot I'}{E \cdot I} \cdot l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Deze waarde in (4) gesubstitueerd geeft:

$$QK = \frac{l}{3 + \left(\frac{3}{\lambda} + \frac{1}{u} \right) \cdot \frac{E \cdot I'}{E \cdot I} \cdot l} \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

Voorts is $\frac{K\bar{Q}}{Q\bar{Q}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot E \cdot I \cdot \varphi_{oo}}{QK}$ of

$$K\bar{Q} = \frac{\frac{2}{3} \cdot E \cdot I \cdot \varphi_{oo}}{\frac{2}{3} \cdot E \cdot I \cdot \varphi_{oo} + KQ} \cdot KQ =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{\frac{2}{3} \cdot E \cdot I \cdot \varphi_{oo}} + \frac{1}{KQ}},$$

hetgeen met (6) wordt:

$$K\bar{Q} = \frac{l}{3 + \left[\left(\frac{3}{\lambda} + \frac{1}{u} \right) \cdot \frac{E \cdot I'}{E \cdot I} + \frac{3}{2 \cdot E \cdot I \cdot \varphi_{oo}} \right] \cdot l} \quad (7)$$

Tenslotte is:

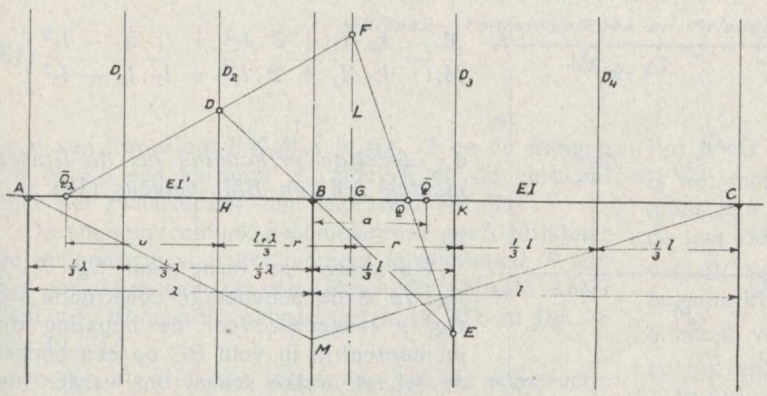
$$B\bar{Q} = a = \frac{1}{3} \cdot l - K\bar{Q} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

Stelt men:

$$k = \frac{9}{\left(\frac{3}{\lambda} + \frac{1}{u} \right) \cdot \frac{E \cdot I'}{E \cdot I} + \frac{3}{2 \cdot E \cdot I \cdot \varphi_{oo}}} \quad \ldots \quad (9)$$

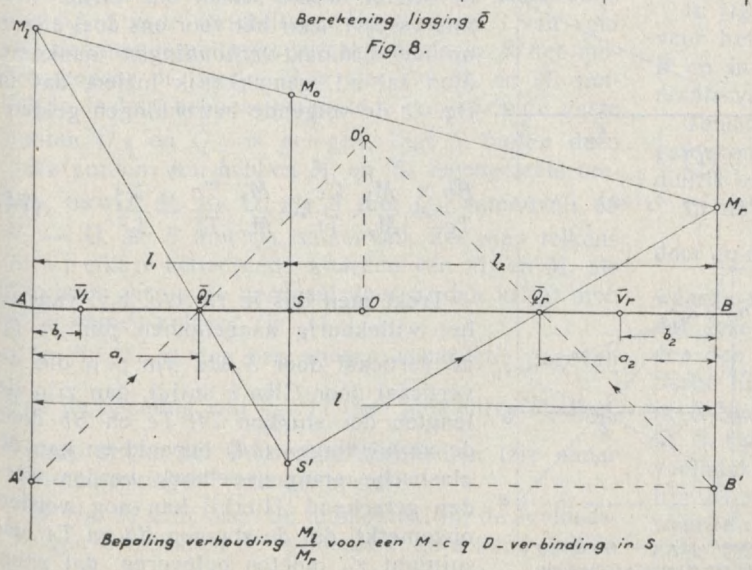
dan wordt (8):

$$a = \frac{l^2}{k + 3 \cdot l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$



Berekening ligging $\bar{Q}$

Fig. 8.



Bepaling verhouding $\frac{M_l}{M_r}$ voor een M.c.q. D-verbinding in S

Fig. 9.

Formule (10) stelt ons in staat de ligging van het *linker* verschoven vast punt van een veld te berekenen, wanneer de k-waarde volgens (9) van het *linker* aanliggende veld bekend is.

Evenzoo wordt de ligging van het *rechter* verschoven vast punt van een veld bepaald door de k-waarde van het *rechter* aanliggende veld.

Men beschouwe nu *fig. 9*, waarin AB een veld voorstelt van een portaalsysteem met in S een momentverbinding (scharnier).

De k-waarde van het linker aangrenzende veld zij k_1 en die van het rechter aangrenzende veld k_2.

$\bar{Q}_l$ en $\bar{Q}_r$ zijn de verschoven vaste punten van veld AB (lengte $= l$) in zijn *geheel*, $\bar{V}_l$ is het linker verschoven vast punt van AS (lengte $= l_1$) en $\bar{V}_r$ het rechter verschoven vast punt van BS (lengte $= l_2$). Men zal gemakkelijk inzien, dat de punten Q_l en $\bar{V}_l$ worden bepaald door de*zelfde* k-waarde k_1, en de punten $\bar{Q}_r$ en $\bar{V}_r$ door *dezelfde* k-waarde k_2 (verg. *fig. 7b*).

Men heeft dan volgens (10):

$$\left.\begin{aligned} a_1 &= \frac{l^2}{k_1 + 3\cdot l};\quad b_1 = \frac{l_1^2}{k_1 + 3\cdot l_1} \\ a_2 &= \frac{l^2}{k_2 + 3\cdot l};\quad b_2 = \frac{l_2^2}{k_2 + 3\cdot l_2} \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

Door S trekke men een verticale lijn en neme daarop een *willekeurig* punt S'. Men trekke de lijnen $S'\bar{Q}_l$ en $S'\bar{Q}_r$, die met de verticalen door A en B resp. de snijpunten M_l en M_r opleveren. Dan is:

$$\frac{AM_l}{BM_r} = \frac{\dfrac{a_1}{l_1 - a_1}}{\dfrac{a_2}{l_2 - a_2}}.$$ Substitueert men hierin de a-waarden volgens (**11**), dan vindt men na eenige uitwerking:

$$\frac{AM_l}{BM_r} = \frac{k_2\cdot l_2 + 2\cdot l_2^2 + l_1\cdot l_2 - l_1^2}{k_1\cdot l_1 + 2\cdot l_1^2 + l_1 . l_2 - l_2^2}. \qquad (12)$$

Men beschouwe nu form. (**1**), die de verhouding geeft der momenten links en rechts van het veld, uitgedrukt in de afstanden der vaste punten $\bar{V}_l$ en $\bar{V}_r$, behoorende bij de lengten l_1 en l_2, wanneer in S de momenten M_o werken.

In verband met (**11**) wordt:

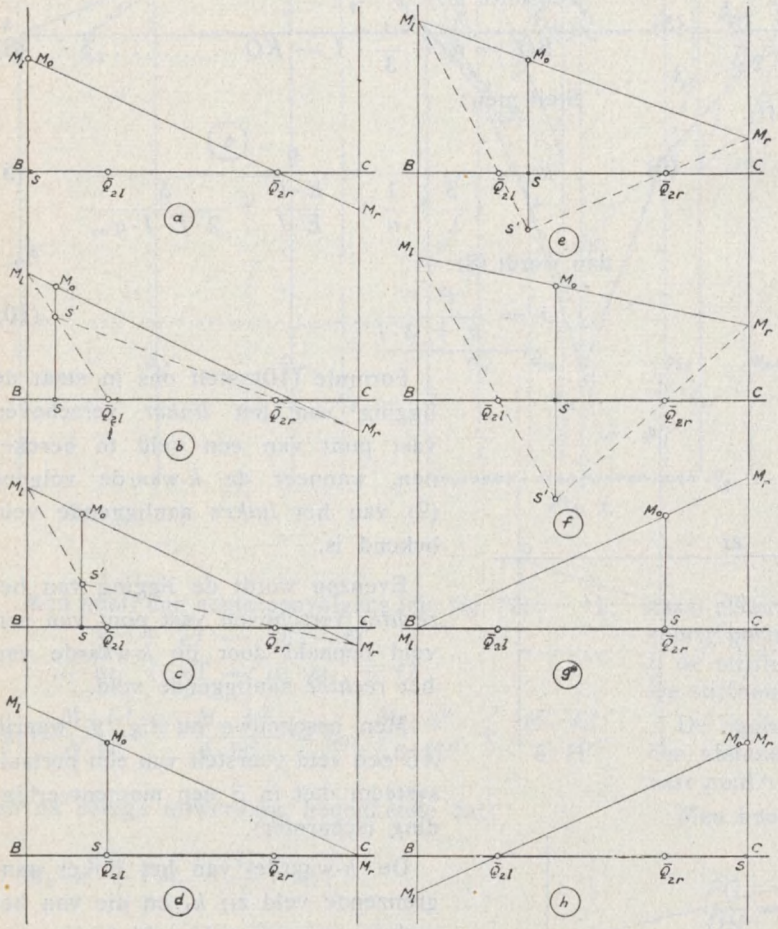
$$\mu_1 = \frac{l_1 - b_1}{b_1} = \frac{k_1\cdot l_1 + 2\cdot l_1^2}{l_1^2}$$

$$\mu_2 = \frac{l_2 - b_2}{b_2} = \frac{k_2\cdot l_2 + 2 . l_2^2}{l_2^2}$$

Deze waarden, gesubstitueerd in form. (**1**), geeft:

$$\frac{M_l}{M_r} = \frac{k_2\cdot l_2 + 2 . l_2^2 + l_1\cdot l_2 - l_1^2}{k_1\cdot l_1 + 2 . l_1^2 + l_1 . l_2 - l_2^2} \qquad (13)$$

d.i. *dezelfde verhouding als de lijnsegmenten AM_l en BM_r volgens* (**12**).



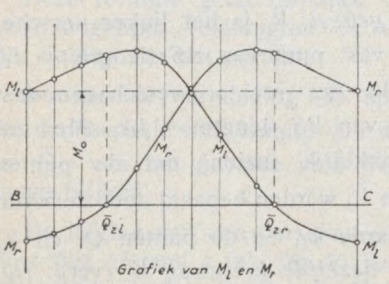
Momentenlijnen door M_o in verschillende doorsneden S (zie ook Fig. 12)

Fig. 10.

We keeren nu terug naar *fig. 7*. In *fig. 7a* is de eenvoudige constructie van *fig. 9* toegepast voor de bepaling der momentenlijn in veld BC op een bepaalde schaal, welke schaal ons verder niet interesseert, daar het voor ons doel alleen op de ordinaat-*verhoudingen* aankomt. Men zal n.l. gemakkelijk inzien, dat in *fig. 7b* de volgende betrekkingen gelden:

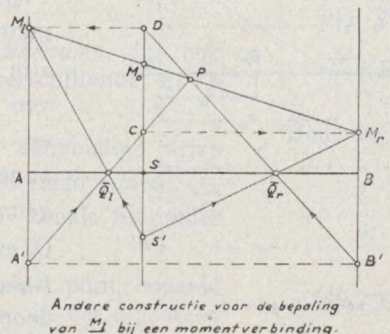
$$\frac{Bb}{Te} = \frac{M_l}{M_o}, \frac{Cc}{Tf} = \frac{M_r}{M_o}, \frac{Te}{Tf} = \frac{l_1^2}{l_2^2} \qquad (14)$$

Trekt men dus in *fig. 7b*, b.v. van uit het willekeurig aangenomen punt f op de verticaal door S, de lijn $f\bar{V}_r$, die de verticaal door C in c snijdt, dan zijn de lengten der stukken Tf, Te en Bb door de verhoudingen (**14**) bepaald en kan de elastische stangenveelhoek verder worden geteekend. Hierbij kan nog worden opgemerkt, dat de stangen $B3$ en $T4$ een snijpunt z'_1 moeten opleveren, dat gelegen is op de verticaal door het zwaarte-



Grafiek van M_l en M_r

Fig. 11.



Andere constructie voor de bepaling van $\frac{M_l}{M_r}$ bij een momentverbinding.

Fig. 12.

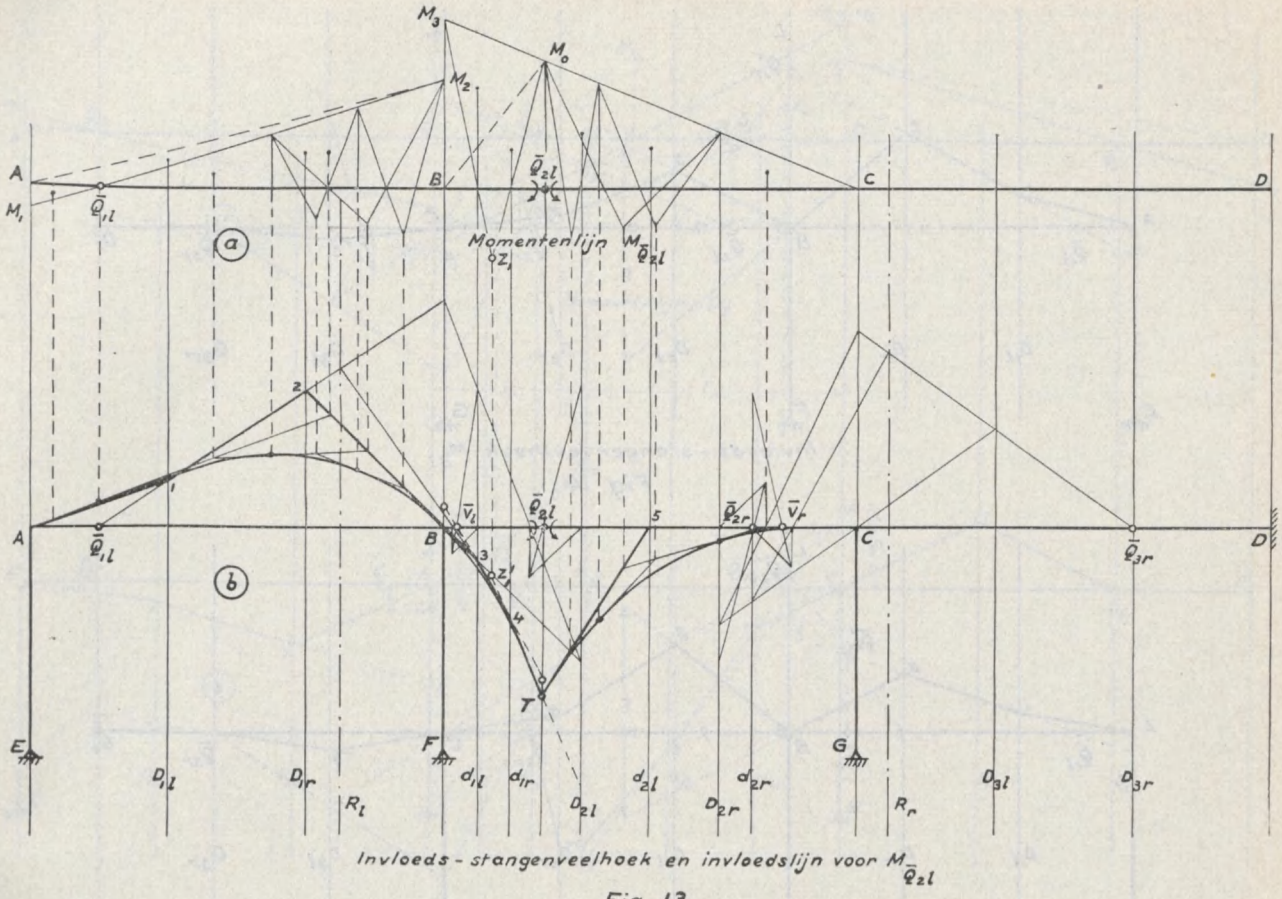


Fig. 13.

punt van trapezium BM_3M_oS in *fig. 7b* en de stangen $C6$ en $T5$ een snijpunt z'_2 gelegen op de verticaal door het zwaartepunt van trapezium SM_oM_4C.

De stangenveelhoek gecompleteerd geeft blijkbaar de invloedslijn voor het moment in doorsnede S van het portaalsysteem op een schaal, die bepaald wordt door de *orthogonale* waarde van hoek $5T8$ in *fig. 7b* (zie lit. 2).

In *fig. 10* zijn met toepassing van de constructie van *fig. 9* voor verschillende doorsneden S van veld BC de momentenlijnen geteekend als in S het momentenpaar M_o werkt. Men ziet dat M_l en M_r hetzelfde teeken hebben, wanneer S *tusschen* de vaste punten $\bar{Q}_{2l}$ en $\bar{Q}_{2r}$ is gelegen. Ligt S *buiten* deze vaste punten, dan hebben M_l en M_r tegengesteld teeken, terwijl $M_r = 0$, als S met $\bar{Q}_{2l}$ samenvalt en $M_l = 0$, als S met $\bar{Q}_{2r}$ samenvalt. Zet men telkens de bij elkaar behoorende waarden van M_l en M_r als ordinaten uit op de verticaal door S, dan krijgt men de krommen volgens *fig. 11*.

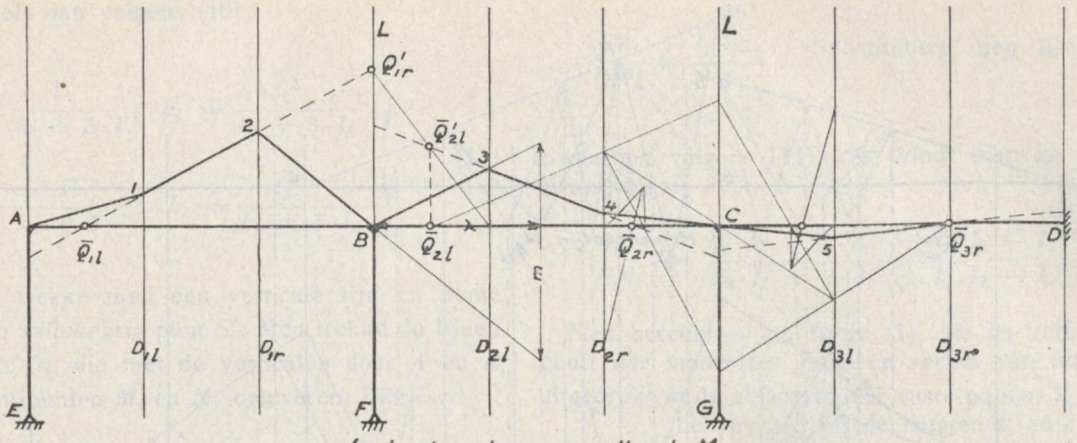
In *fig. 12* is nog een andere constructie gegeven voor de bepaling van $\frac{M_l}{M_r}$ bij een momentverbinding, waarop straks zal worden teruggekomen (zie onder „Slotopmerkingen" van dit opstel).

In *fig. 13* zijn resp. de momentenlijn, de invloedsstangenveelhoek en de invloedslijn geteekend, indien S met $\bar{Q}_{2l}$ samenvalt. Men ziet dat de rechter tak der invloedslijn van veld BC in C een horizontale raaklijn heeft m.a.w. wanneer de last in veld CD staat, is het moment in doorsnede $\bar{Q}_{2l} = 0$. Dat dit zoo moet zijn is duidelijk, als men bedenkt, dat indien de last zich in veld CD bevindt, de momentenlijn in veld BC steeds door $\bar{Q}_{2l}$ zal gaan. Verder kan worden opgemerkt, dat blijkbaar het maximale positieve moment voor alle doorsneden gelegen tusschen $\bar{Q}_{2l}$ en $\bar{Q}_{2r}$ optreedt, wanneer veld BC volbelast is.

In *fig. 14* is de invloedstangenveelhoek geteekend voor het moment onmiddellijk *links* van knooppunt B en in *fig. 15*, die voor het moment onmiddellijk *rechts* van knooppunt B (Verg. lit. 1 plaat V).

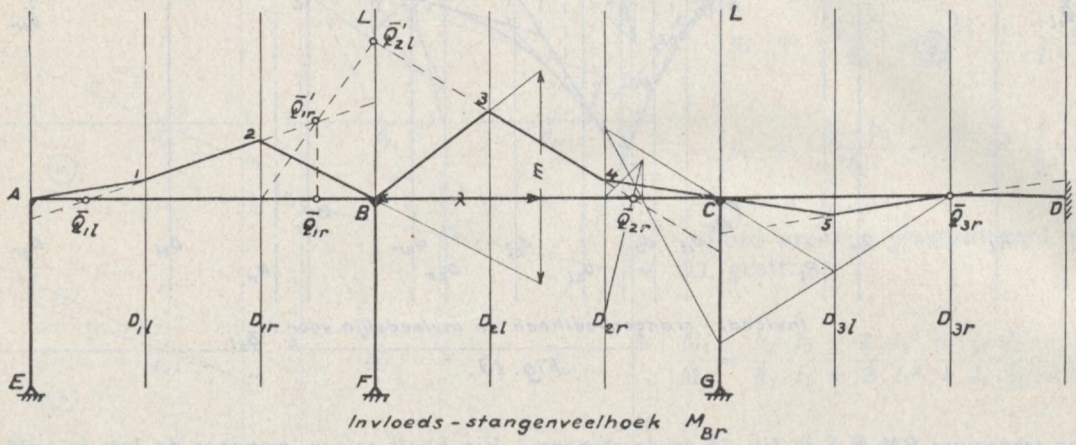
Tenslotte is in *fig. 16* de invloedsstangenveelhoek geteekend voor het moment in den stijl BF onmiddellijk *onder* het knooppunt B.

In de *figuren 14* en *15* wordt de schaal bepaald door de orthogonale verhoudingen $\frac{m}{\lambda}$. Wat de schaalwaarde van *fig. 16* betreft, moet worden opgemerkt, dat deze wordt bepaald door de orthogonale waarde van den hoek tusschen de raaklijn in B aan de elastische lijn van den horizontalen *regel* en de raaklijn in B aan de elastische lijn van den *stijl* BF (verg. lit. 2, fig. 11d). Hiertoe is ook de elastische stangenveelhoek van den stijl $B6F$ geteekend. Trekt men lijn $B7$ *loodrecht* op stang $B6$, dan wordt de schaalwaarde dus bepaald door de orthogonale waarde van hoek $2B7$. Blijkbaar kan de invloedslijn voor M_{Bo} ook worden opgevat, als die voor de *horizontale* componente F_h der scharnierreactie F, daar $F_h \cdot h = M_{Bo}$.



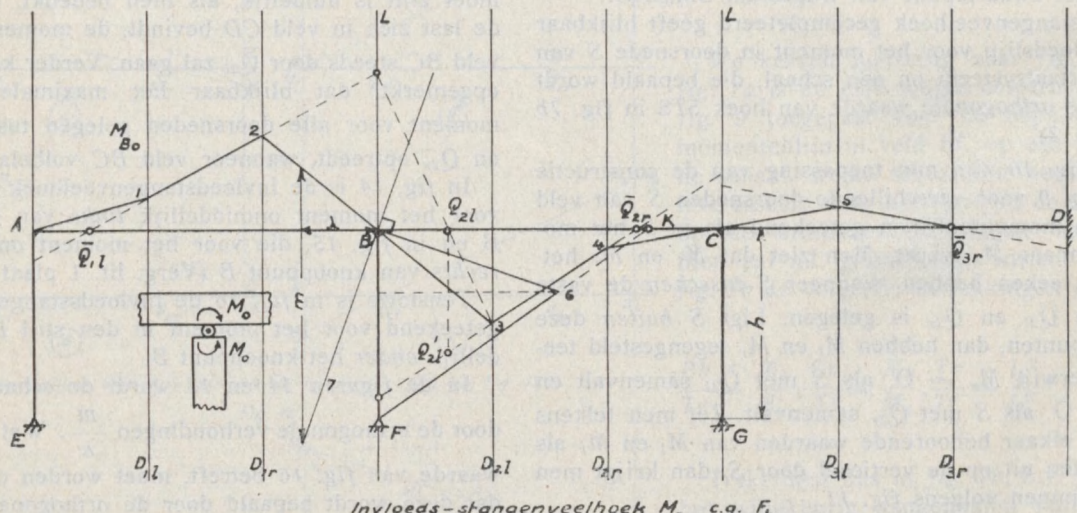
Invloeds-stangenveelhoek M_{Bl}

Fig. 14.



Invloeds-stangenveelhoek M_{Br}

Fig. 15.



Invloeds-stangenveelhoek M_{Bo} c.q. F_h

Fig. 16.

Terloops kan nog worden aangeteekend, dat wanneer de vaste punten $\bar{Q}_{2l}$ en $\bar{Q}_{2r}$ bekend zijn door de lengten a_1 en a_2, de ligging der vaste punten $\bar{V}_l$ en $\bar{V}_r$ bepaald door de lengten b_1 en b_2 (zie *fig. 9*) daaruit kunnen worden berekend met behulp van de betrekkingen (**11**). Immers vindt men door eliminatie van k_1 en k_2

$$\left.\begin{aligned} b_1 &= \frac{a_1 \cdot l_1^2}{l^2 - 3 \cdot a_1 \cdot l_2} \\ b_2 &= \frac{a_2 \cdot l_2^2}{l^2 - 3 \cdot a_2 \cdot l_1} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

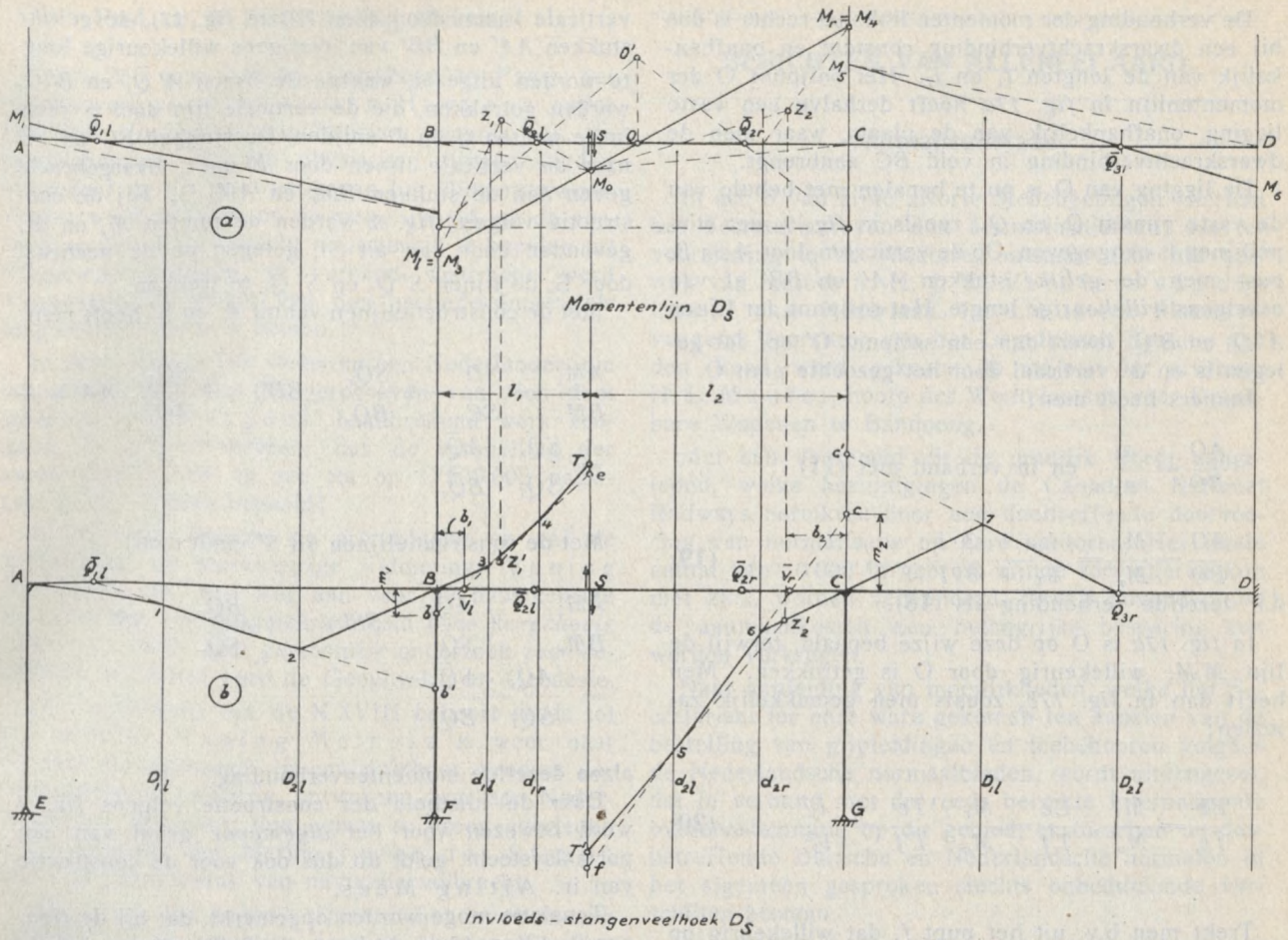


Fig. 17.

4. Invloeds-stangenveelhoeken voor dwarskrachten.

In *fig. 17* is aangegeven, hoe de invloedsstangenveelhoek kan worden bepaald voor de *dwarskracht* in een willekeurige doorsnede S van veld BC van het portaalsysteem volgens *fig. 1*. Men denke dan in S een dwarskrachtverbinding volgens fig. 2b van lit. 2 en deze over een willekeurigen afstand TT' (*fig. 17b*) door twee gelijke tegengestelde krachten uit elkaar getrokken. Ook hier is het voor het teekenen van den elastischen stangenveelhoek noodig de verhouding $\frac{M_l}{M_r}$ der momenten links en rechts van veld BC te kennen.

Deze verhouding is echter weer door een eenvoudige constructie met behulp der vaste punten van het *geheele* veld BC te bepalen, zooals uit het volgende moge blijken.

Uit den aard der dwarskrachtverbinding volgt, dat in *fig. 17b* de stangen $T4$ en $T'5$ evenwijdig aan elkaar moeten loopen. Men heeft dus:

$$\frac{Se + m_1 + 3 \cdot Te}{l_1} = \frac{Sf + m_2 - 3 \cdot T'f}{l_2} \quad \ldots\ldots \quad (16)$$

Is de poolsafstand die bij den elastischen stangenveelhoek behoort $= H'$, dan is

$$Te = \frac{M_o \cdot l_1^2}{6 \cdot H'}, \quad m_1 = \frac{M_l \cdot l_1^2}{6 \cdot H'}, \quad T'f = \frac{M_o \cdot l_2^2}{6 \cdot H'}$$

en $m_2 = \frac{M_r \cdot l_2^2}{6 \cdot H'}$.

Verder is met $\mu_1 = \frac{l_1 - b_1}{b_1}$ en $\mu_2 = \frac{l_2 - b_2}{b_2}$:

$Se = \mu_1 \cdot m_1$ en $Sf = \mu_2 \cdot m_2$

Deze waarden in (16) gesubstitueerd geven:

$$\frac{(\mu_1 + 1) \cdot M_l \, l_1^2 + 3 \cdot M_o \cdot l_1^2}{6 \cdot H' \cdot l_1} =$$

$$\frac{(\mu_2 + 1) \cdot M_r \cdot l_2^2 - 3 \cdot M_o \cdot l_2^2}{6 \cdot H' \cdot l_2}$$

en na eenige uitwerking, bedenkende dat $M_o = \frac{l_2}{l} \cdot M_l - \frac{l_1}{l} \cdot M_r$:

$$\frac{M_l}{M_r} = \frac{(\mu_2 + 1) \cdot l_2 + 3 \cdot l_1}{(\mu_1 + 1) \cdot l_1 + 3 \cdot l_2} \quad \ldots\ldots \quad (17)$$

Gebruik makende van de waarden k_1 en k_2 volgens (11), wordt (17) met $l_1 + l_2 = l$:

$$\frac{M_l}{M_r} = \frac{k_2 + 3 \cdot l}{k_1 + 3 \cdot l} \quad \ldots\ldots \quad (18)$$

De verhouding der momenten links en rechts is dus bij een dwarskrachtverbinding *constant* en onafhankelijk van de lengten l_1 en l_2. Het snijpunt O der momentenlijn in *fig. 17a* heeft derhalve een vaste ligging, onafhankelijk van de plaats, waar men de dwarskrachtverbinding in veld *BC* aanbrengt.

De ligging van O is nu te bepalen met behulp van de vaste punten $\bar{Q}_l$ en $\bar{Q}_r$, zooals in *fig. 9* met stippellijnen is aangegeven. Op de verticalen door *A* en *B*, past men de *gelijke* stukken *AA'* en *BB'* af van overigens *willekeurige* lengte. Het snijpunt der lijnen $A'\bar{Q}_l$ en $B'\bar{Q}_r$ levert dan een snijpunt O' op, dat gelegen is op de verticaal door het gezochte punt O.

Immers heeft men:

$$\frac{AO}{BO} = \frac{a_1}{a_2} \quad \text{en in verband met (11)}$$

$$\frac{AO}{BO} = \frac{M_l}{M_r} = \frac{k_2 + 3 \cdot l}{k_1 + 3 \cdot l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (19)$$

d.i. dezelfde verhouding als (18).

In *fig. 17a* is O op deze wijze bepaald, terwijl de lijn $M_l M_r$ willekeurig door O is getrokken. Men heeft dan in *fig. 17b*, zooals men gemakkelijk zal inzien:

$$\frac{Bb}{Te} = \frac{M_l}{M_o}, \quad \frac{Cc}{T'f} = \frac{M_r}{M_o}, \quad \frac{Te}{T'f} = \frac{l_1^2}{l_2^2} \quad \ldots \quad (20)$$

Trekt men b.v. uit het punt *f*, dat willekeurig op de verticaal door *S* is aangenomen, de lijn $f\bar{V}_r$ met het snijpunt *c* gelegen op de verticaal door *C*, dan kan dus met behulp van de verhoudingen (19) de stangenveelhoek volgens *fig. 17b* worden geteekend. Verder moeten natuurlijk de stangen *B*3 en *T*4 elkaar snijden in een punt z'_1, gelegen op de verticaal door het zwaartepunt van trapezium BM_3M_oS in *fig. 17a*, en de stangen *C*6 en *T'*5 in een punt z'_2, gelegen op de zwaartepuntsverticaal van trapezium M_4CSM_o.

De schaalwaarde van de invloedslijn is zoodanig, dat de afstand *TT'* voorstelt een dwarskracht *P*, wanneer een verticale kracht *P* zich over den horizontalen ligger beweegt (lit. 2). De beide takken der invloedslijn links en rechts van *S* kan men nog in elkaar doen overgaan door b.v. de linker tak *AT* over den afstand *TT'* naar beneden te verplaatsen (verg. lit. 3 fig. 6).

5. Slotopmerkingen.

Vergelijkt men de constructie der momentenverhouding van een veld voor een *dwarskracht*verbinding volgens *fig. 9*, met die van ir. Alting Mees met behulp van kruislijnen in *fig. 5* van lit. 3, dan ziet men dat beide constructies op het zelfde neerkomen, daar in laatstgenoemde figuur $B \triangle_{21} = C \triangle_{12}$.

Voor een *moment*verbinding is de constructie van ir. Alting Mees volgens fig. 2 van lit. 3 wel is waar anders dan die van *fig. 9*, doch het resultaat is het zelfde, zooals uit *fig. 12* kan blijken. Eerstbedoelde constructie komt n.l. hierop neer, dat op de verticale lijnen door *A* en *B* (zie *fig. 12*), de *gelijke* stukken *AA'* en *BB'* van overigens willekeurige lengte worden uitgezet, waarna de lijnen $A'\bar{Q}_l$ en $B'\bar{Q}_r$ worden getrokken, die de verticale lijn door *S* resp. in de punten *C* en *D* snijden. De stukken *SC* en *SD* naar de verticale lijnen door *B* en *C* overgebracht geven dan de stukken BM_r en AM_l [3]). Bij de constructie volgens *fig. 9* worden de punten M_l en M_r gevonden door van uit *S'*, gelegen op de verticaal door S, de lijnen $S'\bar{Q}_l$ en $S'\bar{Q}_r$ te trekken.

Met de constructielijnen vanuit *A'* en *B'* heeft men:

$$\frac{AM_l}{BM_r} = \frac{SD}{SC} = \left(\frac{S\bar{Q}_r}{B\bar{Q}_r} \cdot BB'\right) : \left(\frac{S\bar{Q}_l}{A\bar{Q}_l} \cdot AA'\right) = \frac{S\bar{Q}_r \cdot A\bar{Q}_l}{S\bar{Q}_l \cdot B\bar{Q}_r}.$$

Met de constructielijnen uit *S'* vindt men:

$$\frac{AM_l}{BM_r} = \left(\frac{A\bar{Q}_l}{S\bar{Q}_l} \cdot SS'\right) : \left(\frac{B\bar{Q}_r}{S\bar{Q}_r} \cdot SS'\right) = \frac{A\bar{Q}_l \cdot S\bar{Q}_r}{S\bar{Q}_l \cdot B\bar{Q}_r}$$

alzoo dezelfde momentenverhouding.

Daar de juistheid der constructie volgens *fig. 9* werd bewezen voor het *algemeene* geval van een portaalsysteem, geldt dit dus ook voor de constructie van ir. Alting Mees.

Tenslotte moge worden opgemerkt, dat bij de *figuren 7, 13* en *17* in de bovenste helft telkens de momentenlijn is geteekend voor de drie velden, waarbij in iedere figuur de schaalwaarde voor *alle* velden *dezelfde* is. Het is duidelijk dat voor de completeering der invloedsstangenveelhoeken tot invloedslijnen, slechts de moment*verhoudingen* bekend moeten zijn in ieder der velden, zoodat het momentenverloop in *ieder* veld op *willekeurige* schaal kan worden geteekend. De bepaling der momentensprongen ter plaatse van de veerend draaibare ondersteuningen *B* en *C* uit den elastischen stangenveelhoek, kan dus desgewenscht achterwege worden gelaten.

LITERATUURLIJST.

1. Vreedenburgh en Gerrits, „Over de grafische berekening van statisch onbepaalde liggers en portaalsystemen met niet verschuifbare knooppunten, met behulp van den elastischen stangenveelhoek", *De Waterstaats-Ingenieur* No. 3 — 1929.
2. Vreedenburgh, „Bepaling van invloedslijnen met behulp van de methode der fictieve verbindingen", *De Ingenieur in Ned.-Indië*, No. 6 — 1934.
3. Alting Mees, „Invloedslijnen voor liggers op meerdere steunpunten", *De Ingenieur in Ned.-Indië*, No. 2 — 1935.
4. Vreedenburgh, „Toepassing van den elastischen stangenveelhoek voor de berekening van portaalsystemen bij horizontale belasting", *De Ingenieur in Ned.-Indië*, No. 9 — 1935.

3) Zooals men gemakkelijk kan bewijzen komt hierbij het snijpunt *P* van $A'\bar{Q}_l$ en $B'\bar{Q}_r$ op de verbindingslijn $M_l M_r$ te liggen.

Prof. dr. ir. F. A. Vening Meinesz.

Ruim 250 jaar geleden verscheen te *Parijs* het meesterwerk van Christiaan Huygens onder den titel *Horologium oscillatorium*, waarin o.m. de eigenschappen van den physischen slinger werden behandeld en de constructie van het slingeruurwerk. Verder werd gewezen op de mogelijkheid om de versnelling der zwaartekracht nauwkeurig te bepalen uit slingerwaarnemingen, in verband waarmede werd voorgesteld de lengte van den secunde-slinger als lengteëenheid aan te nemen.

In deze eeuw is het wederom een Nederlander, die de wereld door zijn slingerproeven van zich doet spreken, door Huygens' baanbrekend werk zoodanig te perfectioneeren, dat de versnelling der zwaartekracht ook op zee tot op 1/500 000 nauwkeurig kan worden bepaald!

Huygens leverde de grondslagen en gaf de Wetenschap de nauwkeurige tijdmeting, Vening Meinesz gaf den weg aan voor de nauwkeurige bepaling van het zwaartekrachtveld over de *geheele* aarde en leverde door persoonlijk onderzoek zeer belangrijk materiaal voor de Geophysica en Geodesie.

De wereldtocht van de K XVIII behoort reeds tot het verleden, Vening Meinesz is weer naar Holland teruggekeerd. In een duikboot, product der Nederlandsche industrie, ontworpen door een Nederlandschen ingenieur, den helaas te vroeg overleden hoofdingenieur der Marine J. van der Struyf, werd dit meesterstuk van navigatie volbracht.

Alleen zij, die bekend zijn met het leven in een duikboot en de inrichting daarvan, kunnen beseffen welk zelfvertrouwen, welke volharding en wilskracht, welke stalen zenuwen noodig moeten zijn geweest om een dergelijke prestatie tot een goed einde te brengen. Meer dan 20 000 mijlen zijn afgelegd, meer dan 200 keer werd in den oceaan ondergedoken, dikwijls bij nacht en ontij en honderden mijlen van het vaste land verwijderd. Eén verkeerde manoeuvre, één ongelukkige storing aan het zeer ingewikkelde duikmechanisme en de duikboot kan verloren zijn, tientallen menschenlevens medevoerende naar een onbekende plek in de donkere diepten van den oceaan.

Dat dit gevaar niet denkbeeldig is, weten zij die Vening Meinesz van meer nabij kennen en hem hebben hooren vertellen van de hachelijke oogenblikken tijdens vorige reizen doorleefd, zooals met de duikboot der Amerikaansche Marine in de Caraïbische zee en met de K XIII ten Zuiden van Java, toen de duikboot reeds tot een diepte van 83 meter was gezonken!

En daarom worde hier een eeresaluut gebracht!

In de eerste plaats aan Commandant D. C. M. Hetterschy op wiens schouders de directe verantwoordelijkheid rustte van deze glorierijke wereldkruistocht, maar ook aan Vening Meinesz den Nederlandschen civiel-ingenieur, die gevaren en ontberingen trotseerend, zijn geest- en werkkracht op zoo succesvolle wijze in dienst der Wetenschap heeft gesteld.

Vr.

BERICHTEN VAN ALLERLEI AARD.

Normalisatieraad.

In afl. 8 van zijne „Korte Mededeelingen" bericht het Secretariaat van den Normalisatieraad, dat ter voorziening in de vacature, ontstaan door het vertrek van majoor ir. H. J. W. Verniers van der Loeff naar Nederland, tot Lid tevens Plaatsvervangend Voorzitter van het Dagelijksch Bestuur van den Raad werd gekozen de majoor der artillerie H. L. Maurer, hoofd der Werkplaatsen voor Draagbare Wapenen te Bandoeng.

Met een voorbeeld uit de practijk wordt aangetoond, welke bezuinigingen de Canadian National Railways bereikten door een doeltreffende doorvoering van normalisatie op hare kantoren. Het totale aantal van 10 000 in gebruik zijnde formulieren kon met 25% worden verminderd, terwijl bovendien op de aanmaakkosten een belangrijke besparing kon worden verkregen.

Naar aanleiding van moeilijkheden, welke het Secretariaat ter oore ware gekomen ten aanzien van de bestelling van pijpleidingen en toebehooren volgens de Nederlandsche normaalbladen, wordt uiteengezet, dat in verband met de reeds bereikte internationale overeenstemming op dit gebied, er tusschen de desbetreffende Duitsche en Nederlandsche normalen in het algemeen gesproken slechts onbeduidende verschillen bestaan.

Aangekondigd worden het nieuwe normaalblad voor ketelplaatstaal, het ontwerp-normaalblad voor terugslagkleppen en eenige op ondergeschikte punten gewijzigde normaalbladen op het gebied van bouwkunde.

Voorts worden mededeelingen gedaan omtrent de normalisatie van draad en kabel voor electrische sterkstroominstallaties, van grenswaarden voor spelingen bij mallen en kalibers en verslag uitgebracht van de werkzaamheden van de Indische normalisatiecommissie voor Technische grondslagen voor bouwschriften.

Ten slotte wordt een opgave verstrekt van nieuw verschenen buitenlandsche normaalbladen, waarbij er de aandacht op wordt gevestigd, dat het Secretariaat thans reeds de beschikking heeft over meer dan 15000 normaalbladen van ongeveer 18 verschillende landen, welke door belangstellenden ten kantore van het Secretariaat kunnen worden geraadpleegd.

Normalisatie.

Bij het Secretariaat van den Normalisatieraad — Bragaweg 38, Bandoeng — is verkrijgbaar gesteld het navolgende normaalblad:

N 719: Speciale staalsoorten. Ketelplaatstaal, dat werd vastgesteld door de Commissie T10 voor Staal en IJzer. Een publicatie ter critiek had niet plaats, daar de inhoud van het blad in hoofdzaak ontleend is aan N 702: Staal. Soorten beproevingseischen en de daarop in den

eersten druk (1932) voorkomende speciale eischen voor ketelplaatstaal.
Ter critiek wordt gepubliceerd het ontwerp-normaalblad:

V 796: Scheepsonderdeelen. Terugslagkleppen, dat is opgesteld naar Nederlandsche, Amerikaansche en Duitsche gegevens. In hoofdzaak is hierbij gevolgd het DIN-HNA blad Sr 6 Sturmklappe. Voor de aangegeven doorsteekpluggen is nog een blad in bewerking.

Stichting voor Materiaalonderzoek.

Van bovengenoemde Stichting is als Mededeeling No. 8 verschenen het Eerste Verslag van de commissie voor het onderzoek van hydraulische bindmiddelen en beton met als onderwerp: Trastoevoeging aan Portlandcementmortels in verband met vrije kalk en oplosbare alkalizouten.

Deze mededeeling wordt franco aan belangstellenden toegezonden tegen storting van *f* 0,75 op de postrekening van de Stichting, No. 164188 's Gravenhage.

PERSONALIA.

Ir. E. L. M. Berretty is tijd. op daggeld werkzaamgesteld bij 's Lands Waterstaat en toegevoegd aan den Res. v. Palembang.

Ir. N. D. R. Schaafsma, ambt. met buitenl. verlof, is herbenoemd tot natuurwetensch. techn. ambt. bij den Dienst der Volksgezondheid.

Dr. J. K. Baars, natuurwetensch. techn. ambt. bij den D. V. G., is overgeplaatst van Bandoeng naar het Geneesk. Lab. te Batavia-C.

Aan ir. H. J. van Lohuizen, hoofd van den Dienst van den Mijnbouw, is op verzoek eervol ontslag uit 's Lands dienst verleend, onder dankbetuiging voor de door hem aan den Lande bewezen diensten, met ing. van 16 Dec. 1935.

Irs. C. J. M. Swaan en J. L. Barkey, ambt. op non-act., zijn herbenoemd tot ingenieur bij 's Lands Waterstaat en ter besch. gesteld resp. van de provincies West- en Oost-Java.

Ir. E. Uilkens is herbenoemd tot ingenieur bij den Prov. Waterstaat van West-Java en geplaatst te Batavia-C.

Ir. E. F. van Marle, ing. bij de S. S., is overgeplaatst van Bandoeng naar Poerwokerto.

Ir. J. W. Stoll Timmerman Thyssen, hoofding. bij de S.S., is tijd. belast met de waarneming van de betrekking van chef van exploitatie der S. S. ter Sumatra's Westkust.

Ir. J. W. J. Beek, ing. bij de S.S., is tijd. belast met de waarneming van de betrekking van Afd. chef (hfd. ing.).

Ir. P. A. G. Asselbergs, afd. ingenieur bij de N.I.S., is van Eur. verlof teruggekeerd en geplaatst te Semarang.

Ir. Chr. van Eysbergen, ingenieur bij de B.P.M., is overgeplaatst van Tjepoe naar Amsterdam.

Dr. Th. J. Krebs, idem, is van Tjepoe vertrokken met Eur. verlof.

Ir. A. L. Soesman, idem, is overgeplaatst van Tjepoe naar Wonokromo.

Ir. M. C. Tuyn, idem, is geplaatst te Pladjoe.

Ir. A. H. J. van Goch, idem, is na ommekomst verlof geplaatst te Pladjoe.

KONINKLIJK INSTITUUT VAN INGENIEURS.
Groep Ned.-Indië.

BESTUURSMEDEDEELINGEN.

Adreswijzigingen.

In verband met de vele mutaties in de adressen wordt aan alle leden en aan de abonné's van dit tijdschrift verzocht bij adreswijziging het secretariaat van de Groep Ned.-Indië van het Instituut, Bragaweg 38, Bandoeng, steeds zoo spoedig mogelijk hierover in te lichten.

Kring I Batavia.

In de door het overlijden van ir. J. Ch. de Willigen opengevallen plaats van voorzitter van Kring I werd op de laatste kringvergadering verkozen ir. V. L. de Lannoy.

Kring III Semarang.

De voorzitter van Kring III, ir. S. G. Timmers Verhoeven, is wegens vertrek afgetreden. In zijn plaats heeft het bestuur ir. M. Ph. Broekhuysen bereid gevonden het voorzitterschap op zich te nemen.

Aangenomen en voorgestelde nieuwe leden.

De in nummer 8 van dezen jaargang voorgestelde nieuwe leden zijn aangenomen.

Als *gewoon lid* worden voorgesteld:

ir. F. H. J. Janssen, ingenieur bij den Provincialen Waterstaat van W.-Java te Batavia.

ir. H. B. Stapel, hoofdvertegenwoordiger van de Semarang-Joana Stoomtram- en Zuster Maatschappijen te Semarang.

Als *junior lid* worden voorgesteld:

ir. J. Opperman, leeraar Mulo, te Fort de Kock,

J. H. Spenkelink,
M. Pramoedji,
J. R. de Vries,
Tan Hwat Bo,

allen candidaat civiel ingenieur aan de Technische Hoogeschool te Bandoeng.

Eventueele bezwaren tegen deze candidaatstellingen worden voor 10 November a.s. ingewacht bij het Secretariaat, Bragaweg 38, Bandoeng.

2e JAARGANG
NUMMER 10

DE INGENIEUR
IN NEDERLANDSCH-INDIË

OCTOBER
1935

III. ELECTROTECHNIEK EN WERKTUIGBOUW.

INHOUD: Onderzoekingen betreffende de theorie van den Townend-ring, door dr. ir. G. Otten. — Neue Erkentnisse über Kondensatbeseitigung von Hans Richter. — Een bliksemlaboratorium.

Onderzoekingen betreffende de theorie van den Townend-ring [1])

door

dr. ir. G. OTTEN,

kapitein bij de Militaire Luchtvaartafdeeling te Bandoeng.

Inleiding.

Het is nog slechts enkele jaren geleden, dat in den strijd tusschen water- en luchtkoeling bij vliegtuigmotoren de thans practisch geheel bevochten overwinning van de laatste nog vrij onzeker scheen, daar de ontwikkeling van den geringen luchtweerstand biedenden luchtgekoelden rijen motor zelfs voor de middelmatige vermogens nog niet was begonnen en de groote weerstand van den stervormigen luchtgekoelden motor een ernstig nadeel vormde voor het gebruik daarvan in burgerlijke en vooral in militaire vliegtuigen.

Het spreekt dan ook van zelf, dat de bijna gelijktijdige ontdekking van Dr. H. C. H. Townend [2]) in Engeland en van Fred. E. Weick [3]) in Amerika, dat, door het aanbrengen van een op een bepaalde wijze geprofileerde bekapping om den stervormigen luchtgekoelden motor, de frontale weerstand van dezen motor zelfs tot 40% van zijn oorspronkelijke waarde kan worden teruggebracht, zoo niet een beslissende dan toch een zeer belangrijke rol in de ontwikkeling van den luchtgekoelden motor heeft gespeeld.

Dit sluit evenwel niet uit, dat aanvankelijk bij het gebruik van deze bekappingen groote teleurstellingen ondervonden werden, want hoewel de uitkomsten van de eerste proefnemingen in de laboratoria zeer gunstig waren, bleken beide soorten bekappingen nog niet dadelijk voor het algemeen gebruik geschikt te zijn, daar de bij de vliegproeven gevonden uitkomsten over het algemeen niet, of slechts gedeeltelijk aan de verwachtingen voldeden, terwijl in meerdere gevallen onverwacht ongunstige resultaten werden bereikt. Een en ander vond zijn oorzaak in het feit, dat de grondbeginselen, waarop de weerstandsvermindering berustte nog niet bekend waren, deze konden practisch slechts na moeizamen arbeid worden gedefinieerd en, daar zooals theoretisch zal worden aangetoond en practisch is bevestigd, voor een bepaalden motor een met vrij veel zorg te construeeren bekapping noodig is, behoeft het thans geen verwondering meer te wekken, dat met de toen nog min of meer willekeurig aangebrachte bekappingen weinig gunstige uitkomsten werden verkregen.

Doch daar, zooals opgemerkt, aanvankelijk een juist inzicht ontbrak in de werking van de bekappingen, waarvan de door Weick geconstrueerde, de N. A. C. A.-Cowling (*fig. 1*) en de door Townend gevondene de Townend-ring (*fig. 2*) genoemd wordt (zie ook *foto's*), was het niet altijd mogelijk dadelijk de oorzaken van een minder gunstige werking vast te stellen, noch duidelijk den weg aan te wijzen, waarlangs een mogelijke verbetering zou kunnen worden verkregen, terwijl tenslotte de draagwijdte van de ontdekkingen zelve geenszins kon worden overzien, zoodat gegevens omtrent toepassingen in andere gevallen dan die, welke reeds werden onderzocht, in den regel slechts door directe meting konden worden verkregen.

Het leek daarom van belang een meer theoretisch ingericht onderzoek omtrent de werking van de bekappingen ter hand te nemen, in de hoop daardoor tot een verklaring te komen van althans een gedeelte der verschijnselen, die de werking van de N. A. C. A.-cowling of den Townend-ring beheerschen. Hoewel er principieel geen verschil bestaat in de theorie van beide soorten bekappingen, werd voor dit onderzoek de Townend-ring gekozen, voornamelijk omdat van de werking van dezen ring aanvankelijk meer gegevens bekend waren dan van de N. A. C. A.-cowling.

Vatten we het onderzoek, waarbij de schrijver zeer veel hulp en medewerking mocht ondervinden, vooral van prof. dr. J. Burgers, hoogleeraar aan de T. H. te Delft en ir. C. Koning, thans onderdirecteur van den Rijks-Studiedienst voor de Luchtvaart te Amsterdam, in het kort samen, dan kan worden op-

1) Deze theorie werd meer uitgebreid als proefschrift aangeboden aan de T. H. te Delft in November 1932 en gepubliceerd in *The Journal of the Royal Aeronautical Society* van November 1934.

2) Aeronautical Research Committee, Reports and Memoranda No. 1267, London 1930.

3) National Advisory Committee for Aeronautics, Reports No. 313 and 314, Washington 1930.

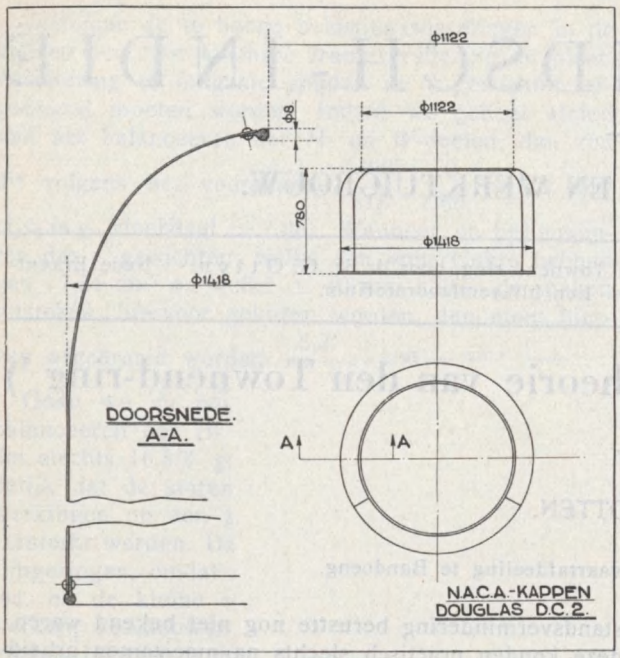


Fig. 1.

gemerkt, dat uitgaande van de eigenschappen van het draagvlak zich een theorie laat opbouwen betreffende de weerstandsvermindering van een gaasscherm, dat geplaatst is tusschen twee rechte vleugelprofielen, welke theorie vervolgens aan het experiment getoetst wordt. Daarna wordt een theorie voor den Townend-ring ontwikkeld, welke doet blijken, dat er principieel geen verschil bestaat in de werking van den ring om den stervormigen motor en de werking van de rechte vleugelprofielen aan de randen van het gaasscherm, terwijl voorts gewezen wordt op de mogelijkheid om in vele andere gevallen een weerstandsvermindering van een willekeurig voorwerp te bereiken. In verband met den invloed van de luchtschroef op de werking van den ring om den motor wordt tenslotte nog aangetoond, dat het turbulent zijn van de strooming over het algemeen een nadeeligen invloed op de weerstandsverminde-

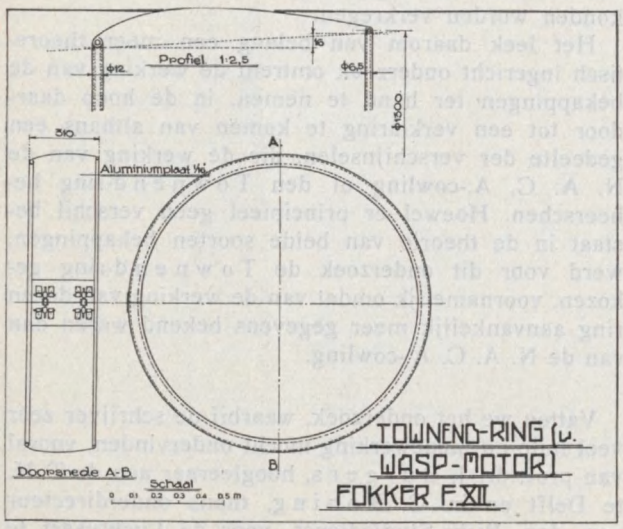
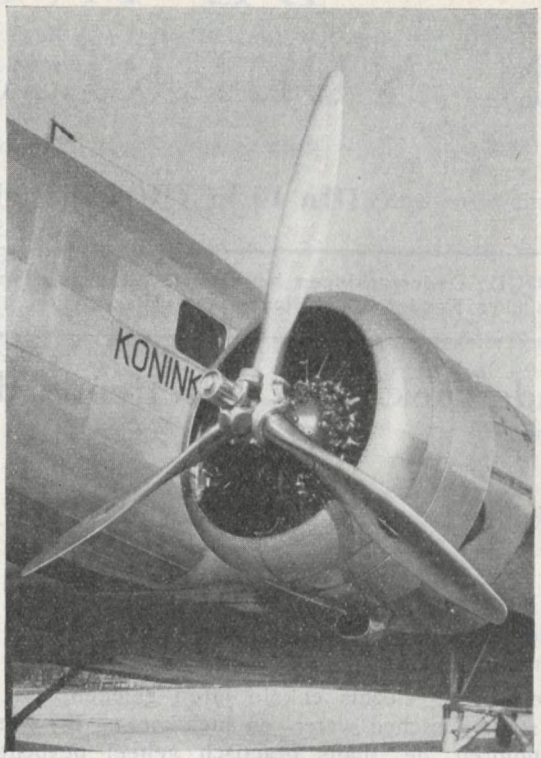
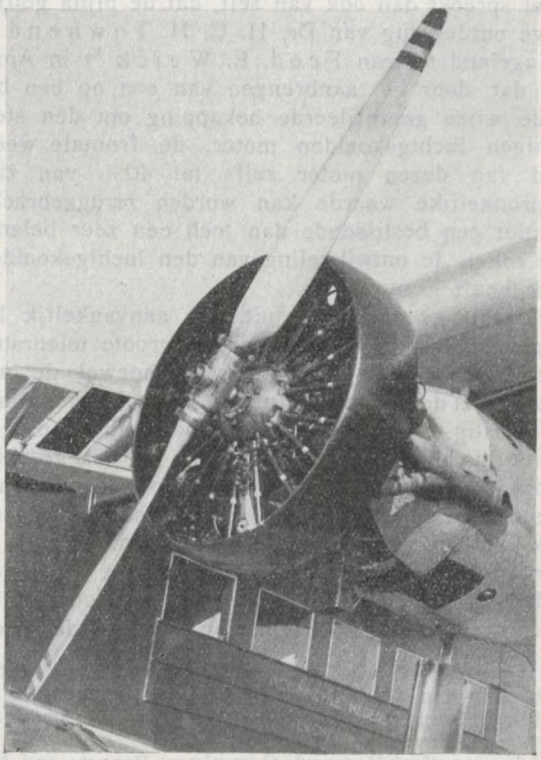


Fig. 2.



Wright Cyclone motor met N.A.C.A.-cowling op een Douglas DC. 2 van de Knilm.

ring uitoefent. Alvorens tot het eigenlijk onderzoek over te gaan laten wij, ten dienste der lezers, die niet geheel met de grondslagen der theoretische aërodynamica vertrouwd zijn, eerst eenige eigenschappen volgen.



Wasp motor met Townend-ring op een Fokker FXII van de Knilm.

a. Stroomlijnen en stroombuizen.

In een stationnaire strooming, d.i. een strooming, waarin de snelheid in eenig punt, wat betreft de richting en de grootte, met den tijd niet verandert, volgt ieder vloeistofelementje een bepaalden weg, welke een *stroomlijn* genoemd wordt. De stroomlijnen, die den omtrek van een willekeurige gesloten kromme snijden, vormen samen een *stroombuis*. Omdat de stroomlijnen elk voor zich de bewegingsrichting van de vloeistof aangeven, beweegt er zich geen vloeistof door de wanden van een stroombuis.

b. De wet van Bernoulli.

In de stationnaire strooming bestaat er een eenvoudig verband tusschen de snelheid en den statischen druk. De vergelijking voor de beweging van een vloeistofelementje, dat een gedeelte *ds* van een stroombuis vult is n.l. (zie *fig. 3*)

$$\rho \cdot F \cdot V \cdot \frac{dV}{ds} = -F \cdot \frac{dp}{ds}$$

waarin ρ, V, p en F resp. de dichtheid (soortelijke massa), de snelheid, de statische druk en de doorsnede van de stroombuis ter plaatse van het beschouwde vloeistofelementje voorstellen, terwijl s een coördinaat is, gemeten langs de stroombuis. Hierbij wordt verondersteld, dat ρ een relatief zeer kleine waarde heeft, zoodat een mogelijke werking van de zwaartekracht buiten beschouwing gelaten mag worden.

Integratie langs de stroombuis van de voorgaande vergelijking geeft:

$$\tfrac{1}{2} \cdot V^2 + \int \frac{dp}{\rho} = \text{constant}$$

of indien de vloeistof onsamendrukbaar gedacht wordt:

$$p + \tfrac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 = P$$

waarin P de totale energiedruk genoemd wordt.

Hoewel P langs een willekeurige stroomlijn een constante waarde heeft, kan zij voor *verschillende* stroomlijnen varieeren. Vinden de stroomlijnen echter alle hun oorsprong in een gebied met een constante snelheid en een constanten statischen druk, dan is in de ideale vloeistof, d.i. een vloeistof, waarin de wrijvingskrachten geen arbeid verrichten, de waarde van P overal dezelfde. Behalve bij het optreden van weerstanden mag de lucht als een ideale vloeistof worden beschouwd.

c. De circulatiestrooming.

Beweegt de vloeistof zich zoodanig, dat de stroomlijnen gesloten krommen vormen zonder dat de vloeistofelementen om hun eigen as roteeren, dan noemt men dit een circulatiestrooming. De eenvoudigste vorm van een dergelijke strooming is die, waarbij de stroomlijnen concentrische cirkels zijn. In dat geval moeten (zie *fig. 4*) de statische drukken op de grenzen van een vloeistofelementje evenwicht maken met de centrifugaalkracht dus:

$$dp = \rho \cdot \frac{V^2}{r} \cdot dr.$$

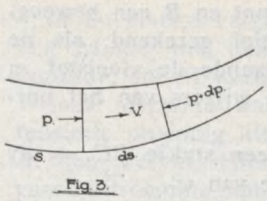


Fig 3.

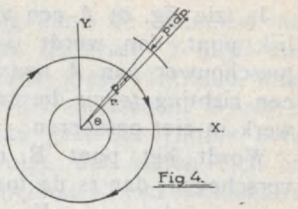


Fig 4.

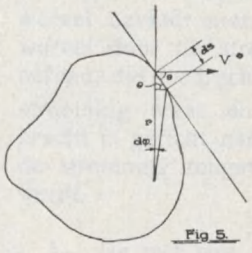


Fig 5.

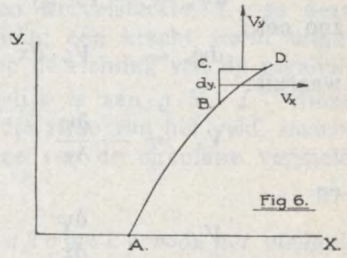


Fig 6.

Nu moet echter tevens voldaan zijn aan de wet van Bernoulli, waarvoor te schrijven is:

$$dp = -\rho \cdot V \cdot dV$$

zoodat: $\frac{dV}{V} + \frac{dr}{r} = 0$

of $V \cdot r = \text{constant}.$

Trekt men in de vloeistof een gesloten kromme, zoodanig, dat het centrum, d.i. het middelpunt van de stroomlijnen, van deze circulatiestrooming *binnen* die kromme gelegen is, en noemt men θ de hoek, dien de plaatselijk snelheid V^* met het element ds der kromme maakt, terwijl het teeken ϕ aangeeft, dat de integratie over de geheele kromme is uit te strekken, dan volgt uit *fig. 5* op eenvoudige wijze:

$$\Gamma = \phi \; V^* \cdot ds \cdot \cos\theta = \int_0^{2\pi} V^* \cdot r \cdot d\varphi$$

en daar $V^* \cdot r$ een constante waarde heeft, is dus ook:

Γ = constant voor alle krommen.

De beschreven circulatiestrooming noemt men in den regel een wervel, het centrum van de strooming vormt de wervelkern, terwijl de integraal Γ dan de wervelsterkte heet. Daar langs de (concentrische) stroomlijnen de snelheid constant is, volgt uit het voorgaande, dat in een willekeurig op een afstand r van de wervelkern gelegen punt de snelheid, zijnde $\frac{\Gamma}{2 \cdot \pi \cdot r}$, bekend is als de wervelsterkte bekend is. Is $r = 0$, dan wordt de snelheid oneindig groot, waarbij, in verband met de wet van Bernoulli, een oneindig groote negatieve statische druk zou behooren. In de werkelijke strooming kan deze druk natuurlijk niet ontstaan, zoodat in de buurt van de kern onregelmatigheden optreden. Laat men echter het gebied in de naaste omgeving van de kern buiten beschouwing, b.v. door dit te vervangen door een draaienden cylinder, dan voldoet de strooming geheel aan de afgeleide wetten.

d. De stroomfunctie.

Onder de stroomfunctie van een vlakke strooming wordt verstaan, het *volume* ψ van de vloeistof, dat in de tijdseenheid door een cylindrisch vlak gaat met als basis een kromme en als hoogte de eenheid van lengte.

Is (zie *fig. 6*) A een vast punt en B een beweeglijk punt, dan wordt ψ positief gerekend, als de toeschouwer van A naar B gaande de vloeistof in een richting *tegen* die van de wijzers van het uurwerk in ziet passeeren.

Wordt het punt B over een stukje $BC = dy$ verschoven, dan is de toename van ψ

$$d\psi_y = -V_x \cdot dy$$

zoo ook:

$$d\psi_x = V_y \cdot dx$$

waaruit:

$$V_x = -\frac{\delta\psi}{\delta y}$$

en

$$V_y = \frac{\delta\psi}{\delta x}$$

terwijl verder volgt:

$$d\psi = V_y \cdot dx - V_x \cdot dy$$

Beweegt het punt B zich langs een stroomlijn, dan is ψ constant en dus $d\psi = 0$, waarmede de differentiaalvergelijking der stroomlijnen wordt:

$$V_y \cdot dx - V_x \cdot dy = 0$$

e. Bronnen en putten.

Onder een vlakke bron verstaat men een punt, waaruit per tijdseenheid een zekere hoeveelheid vloeistof opwelt, welke zich verdeelt over het vlak met de eenheid van lengte als hoogte. Een put is een negatieve bron, dus een punt, waarin de vloeistof verdwijnt. Het is duidelijk, dat bij bronnen en putten de stroomlijnen steeds radiaal verloopen. Noemt men Q de hoeveelheid vloeistof, die een bron per sec geeft of een put per sec opneemt, in welk laatste geval Q negatief is, dan is op een afstand r van de bron of de put de snelheid:

$$V_r = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r}.$$

Kiest men een van de stroomlijnen, b.v. OA, als de stroomlijn, waarvoor geldt $\psi = 0$, dan is als P een punt is, gelegen op de radiaal, die een hoek θ met OA maakt, voor de kromme AP (zie *fig. 7*)

$$\psi = -\frac{Q}{2 \cdot \pi} \cdot \theta = -\frac{Q}{2 \cdot \pi} \cdot \text{bgtg}\, \frac{y}{x}$$

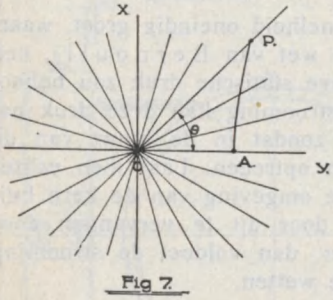


Fig 7.

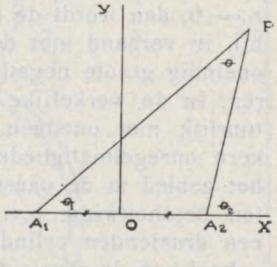


Fig 8.

f. De tweedimensionale cylinderstrooming.

Laat (zie *fig. 8*) A_1 een bron en A_2 een put zijn, beide op de X-as gelegen resp. op een afstand van O gelijk $-s$ en $+s$; de bronsterkte zij Q, de putsterkte $-Q$, zoodat Q een positieve waarde heeft.

De stroomfunctie van bron en put te samen wordt nu in een zeker punt P met coördinaten x en y:

$$\psi = \frac{Q}{2 \cdot \pi} \cdot (\theta_2 - \theta_1) = \frac{Q}{2 \cdot \pi} \cdot \theta$$

en daar $\text{tg}\, \theta_1 = \frac{y}{x+s}$ en $\text{tg}\, \theta_2 = \frac{y}{x-s}$ volgt hieruit:

$$\text{tg}\, \theta = \text{tg}\, (\theta_2 - \theta_1) = \frac{2 \cdot y \cdot s}{x^2 + y^2 - s^2}$$

zoodat te schrijven is:

$$\psi = \frac{Q}{2 \cdot \pi} \cdot \text{bg tg}\, \frac{2 \cdot y \cdot s}{x^2 + y^2 - s^2}$$

Beschouwen we thans het geval, dat niet Q, doch het product van bronsterkte en den afstand van bron tot put $Q_1 = 2 \cdot s \cdot Q$ constant is, dan is te schrijven:

$$\psi = \frac{Q_1}{4 \cdot \pi \cdot s} \cdot \text{bg tg}\, \frac{2 \cdot y \cdot s}{x^2 + y^2 - s^2}$$

welke waarde van ψ bij het kleiner worden van s nadert tot de limiet:

$$\psi = \frac{Q_1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{y}{x^2 + y^2} = \frac{Q_1}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot \sin \theta.$$

Superponeert men nu op de strooming, veroorzaakt door de samengevallen bron en put (doubletstrooming), een parallelstrooming met een snelheid V_o evenwijdig aan de X-as, dan wordt van de aldus gecombineerde strooming de stroomfunctie:

$$\psi = -V_o \cdot y + \frac{Q_1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{y}{x^2 + y^2}.$$

Stelt men verder nog:

$$Q_1 = 2 \cdot \pi \cdot a^2 \cdot V_o$$

dan gaat de voorgaande vergelijking over in:

$$\psi = -V_o \cdot y \cdot \left(1 - \frac{a^2}{x^2 + y^2}\right) =$$

$$= -V_o \cdot \left(r - \frac{a^2}{r}\right) \cdot \sin \theta.$$

Voor $\psi = 0$ vindt men als nulstroomlijn, behalve de X-as, den cirkel:

$$x^2 + y^2 - a^2 = 0,$$

waaruit volgt, dat laatstgenoteerde stroomfunctie die *van een parallelstrooming om een (oneindig langen) cylinder met een straal gelijk a voorstelt.* Door aan ψ verschillende waarden toe te kennen kunnen de stroomlijnen in deze strooming grafisch op eenvoudige wijze worden geconstrueerd. Zij geven een beeld als in *fig. 9* aangegeven.

g. De wet van Joukowsky voor een wervel.

Uit de eigenschappen van de stroomfunctie volgt, dat voor de tweedimensionale strooming om den cylinder geldt:

$$V_x = -\frac{\delta\psi}{\delta y} = V_o \cdot \left(1 + \frac{a^2}{x^2 + y^2}\right) - \frac{2 \cdot V_o \cdot x^2 \cdot a^2}{(x^2 + y^2)^2} \text{ en}$$

$$V_y = \frac{\delta\psi}{\delta x} = -\frac{2 \cdot V_o \cdot a^2 x \cdot y}{(x^2 + y^2)^2}$$

Daar langs den omtrek van den cylinder $x^2 + y^2 = a^2$ en voor de snelheid V_a langs den omtrek ook

geldt $V_a^2 = V_x^2 + V_y^2$, vindt men na een kleine herleiding:

$$V_a^2 = 4 \cdot V_o^2 \cdot (1 - \frac{x^2}{a^2}) = 4 \cdot V_o^2 \cdot \sin^2 \theta.$$

Superponeeren we thans op deze strooming nog een circulatiestrooming om den cylinder met een sterkte Γ, welke laatste strooming ontstaan gedacht kan zijn door den cylinder met een constante hoeksnelheid $\omega = \frac{\Gamma}{2 \cdot \pi \cdot a^2}$ te draaien, waarbij Γ positief gerekend wordt, indien de draairichting gelijk is aan die van de wijzers van een uurwerk.

De absolute waarde van de snelheid in een punt van de strooming, gelegen onmiddellijk bij den cylinderomtrek, is nu:

$$| 2 \cdot V_o \cdot \sin \theta + a \cdot \omega |$$

Laat verder p_o de statische druk in de parallelstrooming op een oneindigen afstand van den cylinder zijn en p deze druk in een punt op den cylinderomtrek, dan is volgens de wet van Bernoulli:

$p_o + \frac{1}{2} \cdot \varrho \cdot V_o^2 = p + \frac{1}{2} \cdot \varrho \cdot (2 \cdot V_o \cdot \sin \theta + a \cdot \omega)^2$

zoodat:

$$p = p_o - \tfrac{1}{2} \cdot \varrho \cdot (a^2 \cdot \omega^2 - V_o^2 + 4 \cdot V_o^2 \cdot \sin^2 \theta + 4 \cdot V_o \, a \cdot \omega \cdot \sin \theta).$$

De componenten van de resulteerende krachten X en Y resp. in de x- en y-richting zijn nu (zie *fig. 10*):

$$X = -\int_o^{2\pi} p \cdot a \cdot \cos \theta \, d\theta \quad \text{en}$$

$$Y = -\int_o^{2\pi} p \cdot a \cdot \sin \theta \, d\theta$$

waaruit men vindt:

$X = 0$

$Y = 2 \cdot \pi \cdot \varrho \cdot V_o \cdot a^2 \cdot \omega$ of

$Y = \varrho \cdot V_o \cdot \Gamma$.

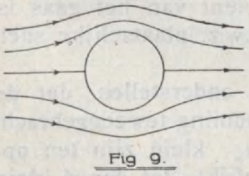


Fig 9.

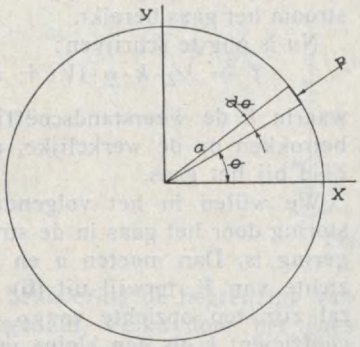


Fig 10.

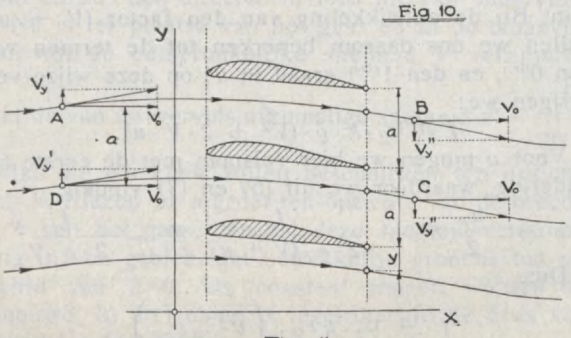


Fig 11.

In de laatste vergelijking komt de diameter van den cylinder niet meer voor. De kracht Y blijft dus dezelfde, ook al wordt a steeds meer verkleind, mits Γ maar dezelfde waarde blijft behouden. Wordt a tenslotte oneindig klein, dan gaat de cylinder over in een wervel. Hieruit volgt, dat indien zich in parallelstrooming met een snelheid V_o een stationnaire wervel bevindt met een wervelsterkte Γ, op deze wervel door de strooming een kracht wordt uitgeoefend, die loodrecht op de richting van de parallelstrooming staat en gelijk is aan $\varrho \cdot V_o \cdot \Gamma$. Deze kracht is gericht naar die zijde van het veld, waarin de strooming tengevolge van de circulatie versneld wordt.

h. De wet van Joukowsky voor het vleugelprofiel.

De wet van Joukowsky [4]), die hierboven afgeleid werd voor een wervel, geldt in het algemeen voor elk willekeurig lichaam, dat in een dergelijke strooming geplaatst wordt. Wij laten een, zij het minder streng, bewijs volgen voor een vleugelprofiel.

Stel (zie *fig. 11*), dat een oneindig aantal gelijke vleugelprofielen loodrecht boven elkaar geplaatst worden, met onderlinge afstanden gelijk a, dan zal de strooming bij de profielen, althans indien deze onder een zekeren hoek op de stroomrichting staan, afgebogen worden. Hieruit volgt, dat indien op een afstand voor en achter de profielen vlakken loodrecht op de oorspronkelijke stroomingsrichting worden aangebracht, de plaatselijke snelheden in die vlakken componenten zullen bezitten.

Laat de snelheidscomponent in het vlak voor de profielen V_y' en in dat achter de profielen V_y'' zijn en zij verder V_y' positief in de richting van de positieve en V_y'' positief in de richting van de negatieve y-as.

Passen we thans de impulsstelling der mechanica toe, dan kan worden opgemerkt, dat op voldoenden afstand vóór en achter de profielen de horizontale component van de strooming gelijk moet zijn aan de snelheid V_o van de ongestoorde strooming, terwijl ook de drukkrachten op die plaatsen — de strooming wordt wrijvingloos gedacht — dezelfde zijn, zoodat in de X-richting geen krachten op de profielen kunnen optreden. Hieruit volgt, dat alleen in de richting van de ordinaat een kracht kan optreden, waarvoor per lengte-eenheid van een profiel geschreven kan worden

$$Y = m \cdot (V_y' + V_y'')$$

als m de massa voorstelt van de vloeistof, die per tijdseenheid tusschen twee profielen per lengte-eenheid passeert, zoodat dus ook:

$$Y = \varrho \cdot a \cdot V_o \cdot (V_y' + V_y'').$$

In het tweede lid van deze vergelijking komt het product $a \cdot (V_y' + V_y'')$ voor, dat gelijk is aan de integraal $\Gamma = \oint V \cdot ds \cdot \cos \theta$, daar integratie langs de stukken AB en CD dezelfde, doch tegengestelde, uitkomsten geven, dus is ook

$$Y = \varrho \cdot V_o \cdot \Gamma.$$

4) De wet van Joukowsky werd in 1902 door Kutta gevonden en onafhankelijk daarvan in 1906 door Joukowsky.

Laten we a nu steeds grooter en ten slotte oneindig worden, dan houden we den alleenstaanden vleugel over, waarvoor de wet van Joukowsky dus evenzeer geldt.

Tenslotte zij in herinnering gebracht, dat met de letters $K(k)$ en $E(k)$ of kortweg door K en E worden voorgesteld de bepaalde elliptische integralen:

$$K = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{(1-k^2 \cdot \sin^2 \varphi)}} =$$

$$= \frac{\pi}{2} \cdot \left[1 + (\tfrac{1}{2})^2 \cdot k^2 + (\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4})^2 \cdot k^4 + \right.$$

en

$$\left. + (\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6})^2 \cdot k^6 + \ldots\ldots \right]$$

$$E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{(1-k^2 \cdot \sin^2 \varphi)} \cdot d\varphi =$$

$$= \frac{\pi}{2} \cdot \left[1 - (\tfrac{1}{2})^2 \cdot k^2 - (\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4})^2 \cdot \frac{k^4}{3} - \right.$$

$$\left. - (\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6})^2 \frac{k^6}{5} - \ldots \right]$$

waarin $k < 1$. Men vindt:

$$\frac{dK}{dk} = \frac{E}{k \cdot k'^2} - \frac{K}{k} \qquad \text{en}$$

$$\frac{dE}{dk} = \frac{E}{k} - \frac{K}{k} \qquad \text{als } k'^2 = 1 - k^2$$

HOOFDSTUK I.

Theoretische beschouwingen omtrent den weerstand van een gaasscherm tusschen twee rechte evenwijdige vleugelprofielen.

Het opstellen van de vergelijkingen van het snelheidsveld van een parallelstrooming, waarin zich een luchtgekoelden stervormigen motor met Townend-ring bevindt, stuit op groote moeilijkheden. Indien echter, zooals voor de hand ligt en mede blijkt uit de proeven van Townend, gepubliceerd in de Reports & Memoranda No. 1267, in *„Aircraft Engineering"* van April 1930 en in *„The Journal of The Royal Aeronautical Society"* van October 1930, de werking van den ring een gevolg is van de eigenschappen, verbonden aan zijn vorm en doorsnede, welke overeenkomen met die van een vleugelprofiel, dan moet ook in eenvoudige gevallen een soortgelijke werking te voorschijn geroepen kunnen worden. Wij zullen daarom eerst de strooming door een gaasscherm beschouwen en daarna nagaan of, met behulp van twee rechte vleugelprofielen, voor dit scherm een weerstandsvermindering te verkrijgen is.

a. De strooming door een gaasscherm in het tweedimensionale probleem in eerste benadering.

Beschouwen we eerst de strooming door een gaasscherm zonder dat vleugelprofielen aanwezig zijn.

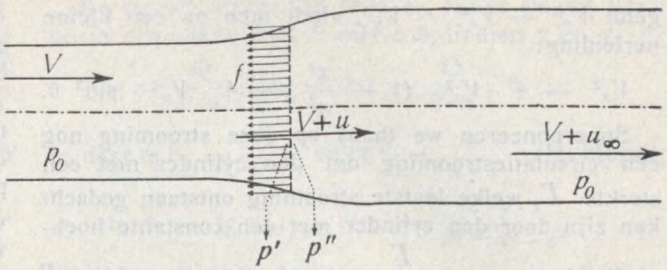


Fig. 12.

De snelheid van de ongestoorde strooming zij V; de werkelijke snelheid in een punt van het gaas zij $V + u$, de snelheid op grooten afstand achter het gaas $V + u_\infty$, de druk in de strooming op grooten afstand vóór en achter het gaas p_0, onmiddellijk vóór het gaas p' en onmiddellijk achter het gaas p''. Het verschil tusschen deze snelheden en drukken wordt veroorzaakt door den weerstand van het gaas. De weerstand van het gaas per eenheid van oppervlakte zij f, de breedte van het gaas $2 \cdot h$.

De volgende vergelijkingen zijn nu met behulp van de impulsstelling, de wet van Bernoulli en het evenwicht op te stellen:

$$2 \cdot h \cdot f = -2 \cdot h \cdot \varrho \cdot (V + u) \cdot u_\infty \quad \ldots\ldots (1)$$

$$p_0 + \tfrac{1}{2} \cdot \varrho \cdot V^2 = p' + \tfrac{1}{2} \cdot \varrho \cdot (V + u)^2 \quad \ldots\ldots (2)$$

$$p'' + \tfrac{1}{2} \cdot \varrho \cdot (V + u)^2 = p_0 + \tfrac{1}{2} \cdot \varrho \cdot (V + u_\infty)^2 \quad (3)$$

$$p'' - p' = -f \quad \ldots\ldots (4)$$

Uit (2), (3) en (4) volgt:

$$\varrho \cdot (V + \tfrac{1}{2} \cdot u_\infty) \cdot u_\infty = -f \quad \ldots\ldots (5)$$

Uit (1):

$$\varrho \cdot (V + u) \cdot u_\infty = -f \quad \ldots\ldots (6)$$

zoodat:

$$u = \tfrac{1}{2} \cdot u_\infty \text{ of } u_\infty = 2 \cdot u \quad \ldots\ldots (7)$$

Uit (7) volgt, in overeenstemming met hetgeen zich in de theorie van de schroef voordoet, dat de helft van de vertraging is opgetreden, wanneer de luchtstroom het gaas bereikt.

Nu is nog te schrijven:

$$f = \tfrac{1}{2} \cdot k \cdot \varrho \cdot (V + u)^2 \quad \ldots\ldots (8)$$

waarin k de weerstandscoëfficiënt van het gaas is, betrokken op de werkelijke, d.w.z. plaatselijke snelheid bij het gaas.

We willen in het volgende onderstellen, dat de storing door het gaas in de strooming teweeggebracht gering is. Dan moeten u en u_∞ klein zijn ten opzichte van V, terwijl uit (6) blijkt, dat dan f klein zal zijn ten opzichte van $\varrho \cdot V^2$. In (8) zal dus de coëfficiënt k als een kleine grootheid te beschouwen zijn. Bij de ontwikkeling van den factor $(V + u)^2$ zullen we ons daarom beperken tot de termen van den 0^{den}, en den 1^{sten} graad in u; op deze wijze verkrijgen we:

$$f \mathrel{\overline{\underline{\sim}}} \tfrac{1}{2} \cdot k \cdot \varrho \cdot (V^2 + 2 \cdot V \cdot u).$$

Voor u mogen we hier volstaan met de eerste benadering, waardoor we uit (5) en (7) vinden:

$$u = \frac{u_\infty}{2} \mathrel{\overline{\underline{\sim}}} -\frac{f}{2 \cdot \varrho \cdot (V + u)} \mathrel{\overline{\underline{\sim}}} -\frac{f}{2 \cdot \varrho \cdot V}.$$

Dus:

$$f \mathrel{\overline{\underline{\sim}}} \tfrac{1}{2} \cdot k \cdot \varrho \cdot \left(V^2 - \frac{f}{\varrho} \right)$$

waaruit:

$$f = \frac{k}{1 + \frac{1}{2} \cdot k} \cdot \frac{\varrho \cdot V^2}{2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

De factor $\frac{k}{1 + \frac{1}{2} \cdot k}$ is dus gelijk aan den weerstandscoëfficiënt van het gaas betrokken op de oorspronkelijke snelheid. Hiervoor zullen we c schrijven, zoodat:

$$f = c \cdot \frac{\varrho \cdot V^2}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9a)$$

Gaan we thans over tot het geval, dat zich in het stroomingsveld twee stationnaire wervels bevinden, symmetrisch gelegen ter weerszijden van het gaas op onderlingen afstand $2 \cdot a$. De circulatie Γ van de wervels zal bij deze en de volgende beschouwingen steeds positief gerekend worden als de door de wervels veroorzaakte storingssnelheid tusschen de wervels tegengesteld gericht is aan de richting van de snelheid van de parallelstrooming. De opstelling zij schematisch aangegeven in onderstaande figuur:

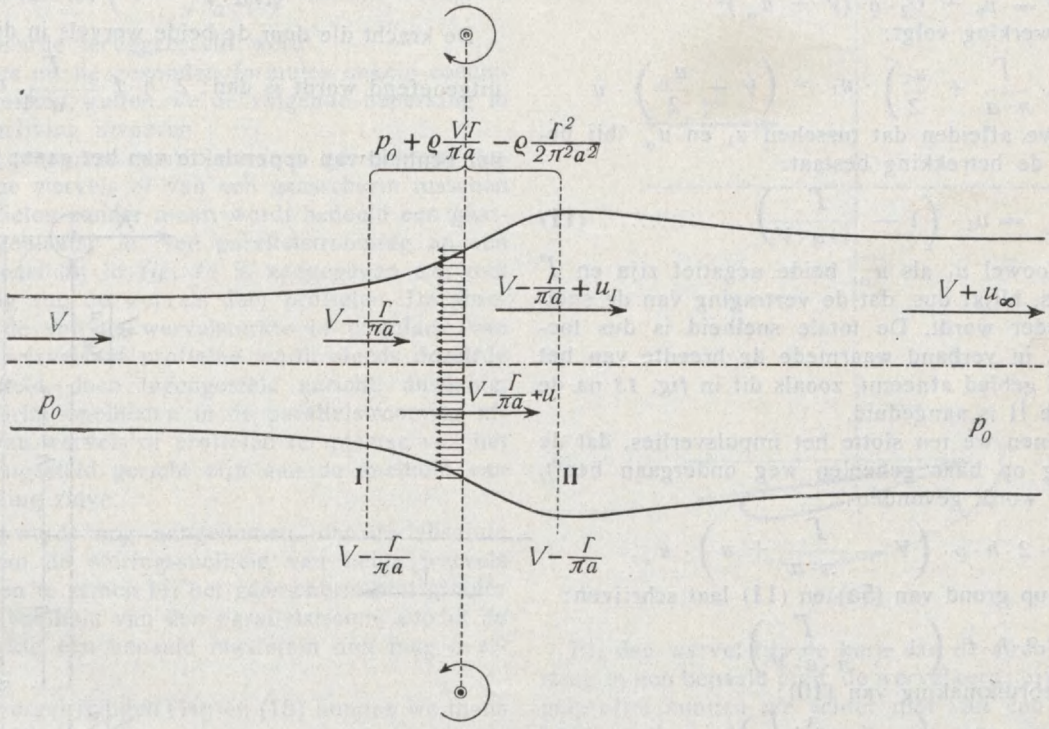


Fig. 13.

Daarin is tevens bij benadering de begrenzing van de luchtstrooming aangeduid, welke door het gaas gaat en dus den directen invloed hiervan ondervindt.

Nu is ter plaatse van het gaas en in de omgeving daarvan de oorspronkelijke snelheid V verminderd met de van de wervels afkomstige snelheid $u' = \frac{\Gamma}{\pi \cdot a}$, welke we als klein zullen beschouwen ten opzichte van V. Kiezen we a groot ten opzichte van de breedte $2 \cdot h$ van het gaas, dan zal deze snelheidsvermindering in een gebied, dat betrekkelijk groot is ten opzichte van $2 \cdot h$, als constant mogen worden beschouwd. In dit gebied is tegelijkertijd de druk verhoogd tot de waarde:

$$p_0 + \tfrac{1}{2} \cdot \varrho \cdot V^2 - \tfrac{1}{2} \cdot \varrho \cdot (V - u')^2 = p_0 + \frac{\varrho \cdot \Gamma \cdot V}{\pi \cdot a} - \frac{\varrho \cdot \Gamma^2}{2 \cdot \pi^2 \cdot a^2}.$$

Op zeer grooten afstand vóór en achter het gaas verdwijnt de snelheidsvermindering u' weer, waarbij de druk de waarde p_0 herneemt.

Beschouwen we thans twee doorsneden I en II, zoo gekozen, dat deze nog in het gebied van verhoogden druk zijn gelegen, dan kunnen we hierop de vergelijkingen (1) — (4) toepassen, mits we daarbij V vervangen door $V - u'$ of $V - \frac{\Gamma}{\pi \cdot a}$, en p_0 door $p_0 + \frac{\varrho \cdot \Gamma \cdot V}{\pi \cdot a} - \frac{\varrho \cdot \Gamma^2}{2 \cdot \pi^2 \cdot a^2}$; tevens schrijven we in de plaats van u_∞ hier beter u_1. Men komt dan tot de volgende betrekkingen, analoog met vergelijking (5), respectievelijk (6):

$$\varrho\,(V - u' + \tfrac{1}{2} \cdot u_1) \cdot u_1 = \varrho \cdot (V - \frac{\Gamma}{\pi \cdot a} + \tfrac{1}{2} \cdot u_1) \cdot u_1 = -f \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5a)$$

$$\varrho\,(V - u' + u) \quad u_1 = \varrho \cdot (V - \frac{\Gamma}{\pi \cdot a} + u) \quad u_1 = -f \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6a)$$

zoodat ook in dit geval:

$$u_1 = 2 \cdot u \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7a)$$

Voor den weerstand per eenheid van hoogte van het gaas moeten we thans schrijven:

$$f = \tfrac{1}{2} \cdot k \cdot \varrho \cdot (V - u' + u)^2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (8a)$$

wat zich op analoge wijze als boven laat herleiden tot:

$$f = \tfrac{1}{2} \cdot c \cdot \varrho \cdot (V - u')^2 = \tfrac{1}{2} \cdot c \cdot \varrho \cdot \left(V - \frac{\Gamma}{\pi \cdot a}\right)^2 \quad (9a)$$

of met denzelfden graad van benadering als hiervoren is toegepast:

$$f = \tfrac{1}{2} \cdot c \cdot \varrho \cdot V^2 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot \Gamma}{\pi \cdot a \cdot V}\right),$$

waarvoor te schrijven is:

$$f = f_o \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot \Gamma}{\pi \cdot a \cdot V}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

indien f_o de weerstand per eenheid van oppervlakte van het gaas voorstelt bij afwezigheid der wervels.

We willen thans nog nagaan hoe groot de snelheid $V + u_{\mathfrak{w}}$ is, welke de door het gaas gepasseerde luchtstrooming aanneemt op zoo grooten afstand stroomafwaarts, dat daar de storing door de wervels geheel onmerkbaar is geworden. Daartoe passen we de formule van Bernoulli toe op de strooming tusschen de doorsnede II en een zeer ver stroomafwaarts gelegen doorsnede, wat voert tot:

$$p_o + \frac{\varrho \cdot V \cdot \Gamma}{\pi \cdot a} - \frac{\varrho \cdot \Gamma^2}{2 \cdot \pi^2 \cdot a^2} + \tfrac{1}{2} \cdot \varrho \cdot \left(V - \frac{\Gamma}{\pi \cdot a} + u_1\right)^2 = p_o + \tfrac{1}{2} \cdot \varrho \cdot (V + u_{\mathfrak{w}})^2$$

Na uitwerking volgt:

$$\left(V - \frac{\Gamma}{\pi \cdot a} + \frac{u_1}{2}\right) \cdot u_1 = \left(V + \frac{u_{\mathfrak{w}}}{2}\right) \cdot u$$

waaruit we afleiden dat tusschen u_1 en $u_{\mathfrak{w}}$ bij benadering de betrekking bestaat:

$$u_{\mathfrak{w}} = u_1 \cdot \left(1 - \frac{\Gamma}{\pi \cdot a \cdot V}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

Daar zoowel u_1 als $u_{\mathfrak{w}}$ beide negatief zijn en Γ positief is, blijkt dus, dat de vertraging van de snelheid minder wordt. De totale snelheid is dus toegenomen, in verband waarmede de breedte van het gestoorde gebied afneemt, zooals dit in *fig. 13* na de doorsnede II is aangeduid.

Berekenen we ten slotte het impulsverlies, dat de strooming op haar geheelen weg ondergaan heeft. Daarvoor wordt gevonden:

$$-2 \cdot h \cdot \varrho \cdot \left(V - \frac{\Gamma}{\pi \cdot a} + u\right) \cdot u_{\mathfrak{w}},$$

wat zich op grond van (5a) en (11) laat schrijven:

$$2 \cdot h \cdot f \cdot \left(1 - \frac{\Gamma}{\pi \cdot a \cdot V}\right),$$

of, na gebruikmaking van (10):

$$2 \cdot h \cdot f_o \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot \Gamma}{\pi \cdot a \cdot V}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

Het impulsverlies bedraagt dus, bij den hier toegepasten graad van benadering, $\left(1 - \frac{3 \cdot \Gamma}{\pi \cdot a \cdot V}\right)$ maal het verlies bij afwezigheid der wervels.

Waaraan is het toe te schrijven, dat de afname van het impulsverlies grooter is dan de afname van den weerstand van het gaas? Teneinde deze vraag te beantwoorden is het noodig nog den invloed te onderzoeken, dien de aanwezigheid van het gaas heeft op de wervels.

Zooals we gezien hebben, doen de krachten f in het gebied stroomafwaarts van het gaas de snelheid veranderen met een bedrag:

$$u_1 \mathfrak{w} = -\frac{f}{\varrho \cdot V} \quad \text{(tot op termen van de 1ste orde)}$$

Men kan dit beschouwen als een extra strooming met een debiet:

$$Q \mathfrak{w} = -2 \cdot h \cdot u_1 \mathfrak{w} = \frac{2 \cdot h \cdot f}{\varrho \cdot V}$$

welke vanuit het oneindige naar het gaas toegericht is. Dit is slechts mogelijk zoo het krachtenstelsel tegelijkertijd naar alle zijden vloeistof wegperst; het stelsel werkt dus als een bron ter sterkte Q. Deze bron geeft ter plaatse van den wervel een snelheid, welke loodrecht staat op de snelheid van de parallelstrooming en een grootte bezit [5]):

$$v = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot a} = \frac{h \cdot f}{\pi \cdot \varrho \cdot V \cdot a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

Tengevolge van deze verticale snelheidscomponente werkt nu krachtens de stelling van Joukowsky op een wervel, naast de kracht $\varrho \cdot \Gamma \cdot V$ loodrecht op de x-as, welke voor ons hier van geen belang is, nog een kracht K in een richting *tegen* de parallelstrooming in:

$$K = h \cdot f \cdot \frac{\Gamma}{\pi \cdot a \cdot V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

De kracht die door de beide wervels in die richting uitgeoefend wordt is dan: $2 \cdot h \cdot f \cdot \frac{\Gamma}{\pi \cdot a \cdot V}$ of, herleid per eenheid van oppervlakte van het gaas: $f \cdot \frac{\Gamma}{\pi \cdot a \cdot V}$

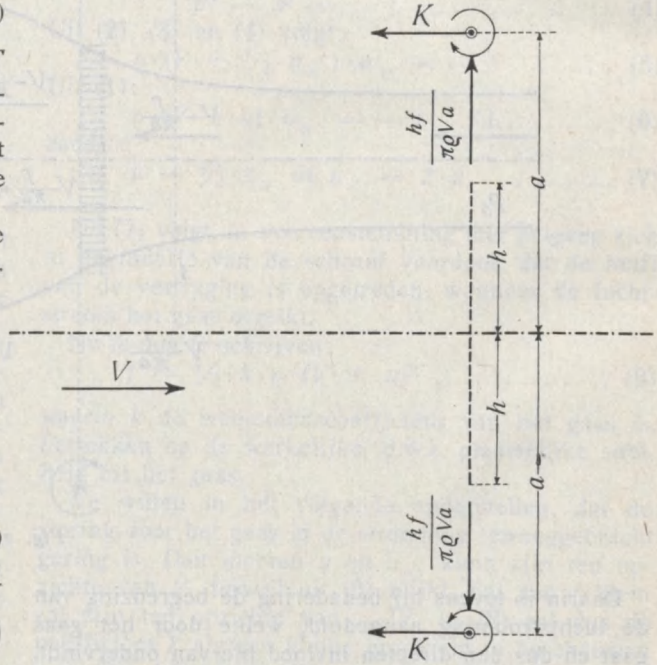


Fig. 14.

5) Bij de berekeningen, welke in dit hoofdstuk onder *e* uitgewerkt zijn, leek het gewenscht voor v een iets nauwkeuriger uitdrukking te bezigen. Daar echter een strenge bepaling van v tot op termen van de 2de orde groote moeilijkheden biedt, is, onder gebruikmaking van (6a), gesteld;

$$Q = -2 \cdot h \cdot u_1 = + \frac{2 \cdot h \cdot f}{\varrho \cdot (V - u' + u)}$$

waaruit dan v op de gewone wijze is afgeleid.

Volkomen bevredigend is deze methode niet, daar zij feitelijk slechts een gedeelte der termen van de tweede orde in rekening brengt; bij kleine waarden van a schijnt dit gedeelte echter wel het belangrijkste te zijn.

Denken we ons thans de wervels op de een of andere wijze aan het gaas verbonden op een zoodanige manier, dat de weerstand van de verbindingen verwaarloosd mag worden. De weerstand per eenheid van oppervlakte van het gaas mèt de wervels f^* is dan:

$$f^* = f \cdot \left(1 - \frac{\Gamma}{\pi \cdot a \cdot V}\right),$$

waaruit in verband met (**10**) volgt:

$$f^* \overset{\omega}{=} f_o \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot \Gamma}{\pi \cdot a \cdot V}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

Formule (**15**) is volkomen in overeenstemming met (**12**). Formule (**15**) zegt, dat met behulp van de wervels de weerstand bij benadering gedaald is tot $\left(1 - \frac{3 \cdot \Gamma}{\pi \cdot a \cdot V}\right)$ maal zijn oorspronkelijk bedrag en formule (**12**) zegt, dat het impulsverlies door middel van de wervels tot $\left(1 - \frac{3 \cdot \Gamma}{\pi \cdot a \cdot V}\right)$ van zijn oorspronkelijke waarde teruggebracht wordt.

Alvorens uit de gevonden formules enkele conclusies te trekken, zullen we de volgende beperking in de omschrijving invoeren.

Indien gesproken wordt van een gaasscherm tusschen twee wervels of van een gaasscherm tusschen twee profielen zonder meer, wordt bedoeld een gaasscherm geplaatst in een parallelstrooming op een wijze, zooals dit in *fig. 14* is aangegeven c.q. met vervanging van de wervels door profielen. De absolute waarde van de wervelsterkte of circulatie van de beide wervels of profielen wordt steeds dezelfde verondersteld, doch tegengesteld gericht, dusdanig, dat de storingssnelheden in de parallelstrooming afkomstig van wervels of profielen ter plaatse van het gaas tegengesteld gericht zijn aan de snelheid van de strooming zelve.

Verder wordt nog aangenomen, dat de absolute waarde van de storingssnelheid van beide wervels of profielen te zamen bij het gaasscherm niet grooter is dan de snelheid van den parallelstroom, zoodat de wervelsterkte een bepaald maximum niet mag overschrijden.

Uit de vergelijkingen (**10**) en (**15**) kunnen we thans neerschrijven:

Conclusie I: In het veld tusschen twee wervels ondergaat een gaasscherm een weerstandsvermindering, welke een gevolg is van de bij de wervels behoorende circulatie; deze vermindering is in eerste benadering evenredig met den oorspronkelijken weerstand en met de wervelsterkte gedeeld door de snelheid, terwijl zij omgekeerd evenredig is met den afstand van de wervels tot het midden van het gaas.

Conclusie II: Indien in het veld tusschen twee wervels een gaasscherm geplaatst wordt, zullen tengevolge van de door den weerstand van het gaas opgewekte storingsstrooming, krachten op de wervels worden uitgeoefend, die tegengesteld gericht zijn aan de richting van de parallelstrooming. De som dezer krachten is bij benadering gelijk aan de helft van de weerstandsvermindering door het gaas ondervonden.

Conclusie II houdt in, dat de weerstandsvermindering van het gaas met de daaraan verbonden wervels bij benadering 50 % hooger is dan de weerstandsvermindering van het gaas los van de wervels.

b. Het stelsel gaasscherm plus vleugelprofielen.

Stellen we ons thans de vraag, welke veranderingen de conclusies I en II moeten ondergaan, als de stationnaire wervels door twee rechte vleugelprofielen worden vervangen. Laat het veld zijn als geschetst in *fig. 15*. Zoowel voor een wervel als voor een profiel geldt volgens Joukowsky voor de lift:

$$L = \varrho \cdot V \cdot \Gamma$$

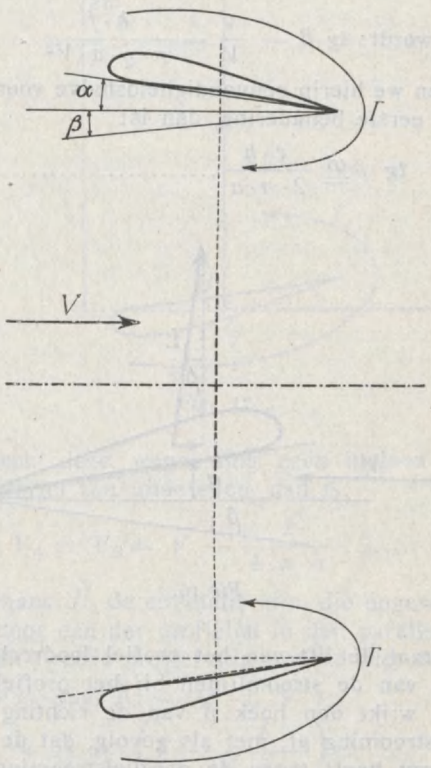


Fig. 15.

Bij den wervel ligt de kern van de circulatiestrooming in een bepaald punt, de wervelkern; bij het vleugelprofiel kunnen we echter niet van een bepaalde kern spreken, de doorsnede van den vleugel zelf vormt het kerngebied.

Zooals dit evenwel later met enkele voorbeelden zal worden toegelicht, gedraagt het profiel zich voor punten op eenigen afstand daarvan bij benadering als een wervel. Passen we dit hier toe en verwaarloozen we bovendien den invloed van het eene profiel op het andere, dan gaat conclusie I onveranderd voor de vleugelprofielen door. In dit geval zal de weerstand van het gaas tusschen de profielen dus ook bedragen (zoolang we a nog als groot t.o.v. de hoogte van het gaasscherm mogen beschouwen):

$$f = f_o \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot \Gamma}{\pi \cdot a \cdot V}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

per eenheid van oppervlakte. Voert men hierin:

$$\Gamma = \tfrac{1}{2} \cdot c_a \cdot V \cdot t$$

waarin c_a de liftcoëfficiënt en t de diepte van het vleugelprofiel is [6]), dan volgt:

$$f = f_o \cdot \left(1 - \frac{c_a \cdot t}{\pi \cdot a} \right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (16)$$

In (16) *is* c_a echter niet meer een functie van a, maar een functie van $a + \beta$, als β de hoek van afwijking van de strooming ter plaatse van het profiel t.o.v. de parallelstrooming voorstelt.

De storingssnelheid afkomstig van het gaas zal bij het profiel dezelfde zijn als bij den wervel. Deze storingssnelheid was in eerste benadering:

$$v \mathrel{\overset{\sim}{=}} \frac{h \cdot f}{\pi \cdot \varrho \cdot V \cdot a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

en dus wordt: $tg\ \beta = \dfrac{v}{V} = \dfrac{h \cdot f}{\pi \cdot \varrho \cdot a \cdot V^2}$.

Nemen we hierin eenvoudigheidshalve voor f eveneens de eerste benadering, dan is:

$$tg\ \beta \mathrel{\overset{\sim}{=}} \frac{c \cdot h}{2 \cdot \pi \cdot a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (17)$$

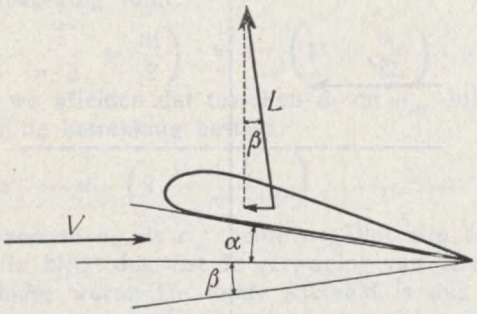


Fig. 16.

Nu staat de lift van het profiel loodrecht op de richting van de stroomlijnen bij het profiel. Deze richting wijkt den hoek β van de richting van de parallelstrooming af, met als gevolg, dat de lift een component heeft tegen de parallelstrooming in. De grootte van dezen component is $= L \cdot sin\ \beta$, of:

$$\tfrac{1}{2} \cdot c_a \cdot \varrho \cdot V^2 \cdot t \cdot sin\ \beta$$

Deze component is natuurlijk niets anders dan de kracht K in formule (14). Anderzijds is de profielweerstand van den vleugel gericht langs de stroomlijnen ter plaatse en kan geschreven worden als:

$$\tfrac{1}{2} \cdot c_{wo} \cdot \varrho \cdot V^2 \cdot t \quad [7])$$

Deze heeft een component in de richting van de parallelstrooming ter grootte van $\tfrac{1}{2} \cdot c_{wo} \cdot \varrho \cdot V^2 \cdot t \cdot cos\ \beta$.

De resulteerende kracht tegen de parallelstrooming in wordt dus:

$$T = \tfrac{1}{2} \cdot (c_a \cdot sin\ \beta - c_{wo} \cdot cos\ \beta) \cdot \varrho \cdot V^2 t \quad \ldots\ldots \quad (18)$$

T is positief als:

$$c_a \cdot tg\beta - c_{wo} > 0,$$

dus als:

$$c_a \cdot \frac{c \cdot h}{2 \cdot \pi \cdot a} - c_{wo} > 0.$$

Schrijven we nog: $\dfrac{c_a}{c_{wo}} = m$, waarin m dus de liftdrift verhouding van den oneindig langen vleugel is, dan wordt de voorwaarde:

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot a}{h} < m \cdot c \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (19)$$

c. Het snelheidsveld onder een enkel vleugelprofiel.

Bij de berekening van de weerstandsvermindering in eerste benadering werd aangenomen, dat de breedte van het gaas betrekkelijk gering was ten opzichte van den afstand hart-gaas tot profiel. Bij deze berekening bleek, dat in dat geval de weerstandsvermindering omgekeerd evenredig was met dien afstand. Hieruit volgt, dat om een zoo groot mogelijke weerstandsvermindering te krijgen het profiel zoo dicht mogelijk bij den rand van het gaas moet worden gebracht. Daarbij doet zich echter allereerst de vraag voor in hoeverre dan nog het vervangen van het profiel door een wervel toelaatbaar is. Om deze vraag te kunnen beantwoorden is een onderzoek van het snelheidsveld onder het profiel en een vergelijking daarvan met het snelheidsveld van den wervel noodzakelijk.

Bij een geheel willekeurig profiel is het veld moeilijk in formules vast te leggen. De kennis van c_a als functie van den invalshoek is daartoe niet voldoende.

Wenscht men in dit geval het snelheidsveld toch te kennen, dan zal de directe meting het eenvoudigste zijn, vooral indien men slechts de snelheden in een bepaalde lijn wenscht te meten.

Een andere methode, welke men de graphische constructie van het snelheidsveld zou kunnen noemen, is de volgende.

Men meet de drukverdeeling op het profiel en vervangt het profiel door een kromme, die den vorm van het skelet van het profiel heeft. In een eindig aantal punten van deze kromme worden nu werveltjes gelegd. De wervelsterkte van elk werveltje wordt bepaald met behulp van de wet van Joukowsky uit de in het overeenkomstige punt van het profiel optredende lift per lengte-eenheid (welke uit de drukverdeeling wordt gevonden) en in verband met de grootte van het interval tusschen de opvolgende punten. Zijn op de kromme de benoodigde werveltjes aangebracht, dan kan verder in elk gewenscht punt van het veld de snelheid geconstrueerd worden. Het behoeft echter geen betoog, dat de laatste methode zeer omslachtig is en dat slechts na vrij grooten arbeid eenig resultaat bereikt wordt.

In verband met het voorgaande werd het veld onder een wervel vergeleken met dat onder een profiel van Joukowsky, waarvan het veld met behulp van conforme transformatie [8]) uit den cylinderstrooming kan worden berekend. Eenvoudigheidshalve werd getransformeerd in een boogvormig profiel. De verkregen resultaten leidden tot:

---

6) Men zie voor de eigenschappen van het vleugelprofiel o.a. *De Ingenieur in Ned.-Indië*, No. 5 — 1935.

7) Daar de profielen oneindig lang gedacht worden, is de geïnduceerde weerstand gelijk 0, zoodat hier uitsluitend de coëfficiënt van den profielweerstand, c_{wo}, optreedt.

8) Joukowsky, „Uber die Konturen der Tragflächen der Drachenflieger", *Z. F. N.*, 1910.

Conclusie III: Tengevolge van de circulatie treedt onder het vleugelprofiel een snelheidsvermindering van de strooming op, die afneemt naarmate men zich verder van het profiel verwijdert.

Conclusie IV: Ter berekening van de snelheidsverminderingen, die midden onder het vleugelprofiel optreden, mag dit profiel voor punten die op grooteren afstand onder het profiel liggen dan de profieldiepte, vervangen worden door een wervel. Voor punten, die dichter bij het profiel liggen, kunnen de snelheidsverminderingen benaderd worden met behulp van een parabool.

De in de voorgaande conclusie genoemde parabool kan verkregen worden op de volgende wijze: Legt men den oorsprong van een rechthoekig coördinatenstelsel op het profiel, de abcis in de richting van de ongestoorde strooming en de positieve richting van den ordinaat zich uitstrekkend onder het profiel, dan gaat, als u_{po} de snelheidsvermindering ter plaatse $y = 0$ en w'_o deze vermindering in een punt, waarvoor geldt $0 \leq y \leq t$ voorstelt, de parabool door de volgende punten:

$$y = 0 \qquad u_0' = u_{po}$$

$$y = t \qquad u_0' = \frac{\Gamma_o}{2 \cdot \pi \cdot t},$$

terwijl de richting van de raaklijn in het punt $y = t$ aan de parabool dezelfde moet zijn als aan de kromme $u_o' = \frac{\Gamma_o}{2 \cdot \pi \cdot y}$. Zooals gemakkelijk is in te zien voldoet de parabool:

$$u'_o = \left(\frac{u_{po}}{t^2} - \frac{\Gamma_o}{\pi \cdot t^3}\right) \cdot y^2 - \left(\frac{2 \cdot u_{po}}{t} - \frac{3 \cdot \Gamma_o}{2 \cdot \pi \cdot t^2}\right) \cdot y + u_{po} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (20)$$

aan deze voorwaarde.

d. Het snelheidsveld tusschen twee profielen.

Nu het snelheidsveld onder het vleugelprofiel met voldoende benadering bekend is, kan het veld tusschen twee vleugelprofielen worden beschouwd. We kunnen hierbij al dadelijk de opmerking maken, dat dit snelheidsveld een functie van de circulatie om de profielen is. Het ligt echter voor de hand, dat de aanwezigheid van het tweede profiel de werking van het eerste zal beïnvloeden en omgekeerd. Alvorens het snelheidsveld tusschen de profielen kan worden vastgelegd dient dus de onderlinge beïnvloeding van de profielen bekend te zijn.

Laten A en B twee gelijke profielen zijn, symmetrisch opgesteld zooals in de volgende schets is aangegeven, op een afstand $2 \cdot a$ van elkaar, in een parallelstrooming met een snelheid V. We zullen veronderstellen, dat de afstand $2 \cdot a$ grooter is dan tweemaal de diepte van de profielen, dus a grooter dan t.

Uit deze veronderstelling volgt, dat het profiel A ter plaatse van het profiel B zich gedraagt als een wervel en omgekeerd.

Laat Γ de circulatie zijn, die door elk der profielen in het stelsel opgewekt wordt, en V_A en V_B de snelheid van de strooming ter plaatse van het profiel A, respectievelijk B, indien dit profiel weggenomen

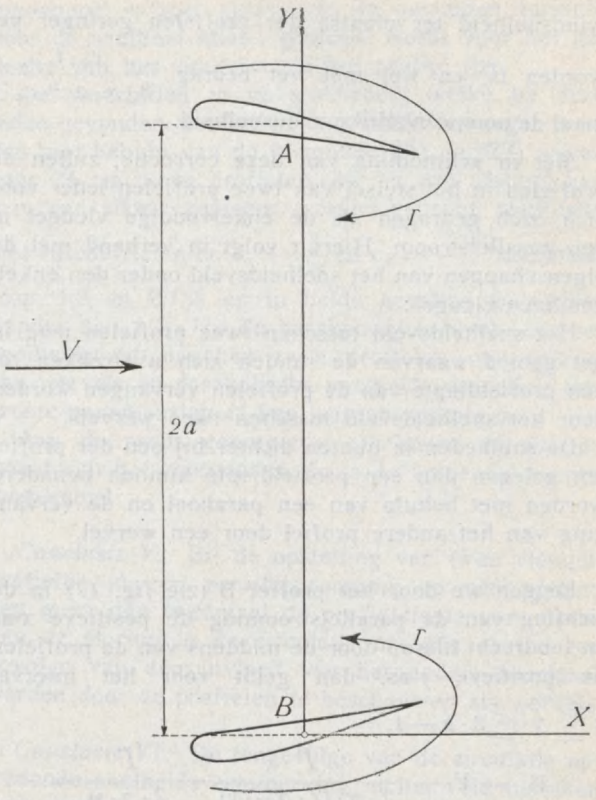


Fig. 17.

werd, doch deze wegneming *geen* invloed op het andere profiel zou uitoefenen, dan is:

$$V_A = V_B = V - \frac{\Gamma}{4 \cdot \pi \cdot a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (21)$$

Laat thans Γ_o de circulatie zijn, die opgewekt zou worden door een der profielen in den parallelstroom indien een tweede profiel zijn invloed niet deed gelden, dan is, daar $\Gamma_o = \frac{1}{2} \cdot c_a \cdot V \cdot t$:

$$\Gamma = \tfrac{1}{2} \cdot c_a \cdot \left(V - \frac{\Gamma}{4 \cdot \pi \cdot a}\right) \cdot t,$$

zoodat: $$\Gamma = \left(V - \frac{\Gamma}{4 \cdot \pi \cdot a}\right) \cdot \frac{\Gamma_o}{V}, \text{ of:}$$

$$\Gamma = \Gamma_o \cdot \left(1 - \frac{\Gamma_o}{4 \cdot \pi \cdot a \cdot V + \Gamma_o}\right) \quad \ldots\ldots \quad (22)$$

waaruit dus blijkt, dat de storing in de circulatie de grootte heeft:

$$- \frac{\Gamma_o^2}{4 \cdot \pi \cdot a \cdot V + \Gamma_o}.$$

Voor (22) is nog te schrijven:

$$\Gamma = \Gamma_o \left(1 - \frac{c_a \cdot t}{8 \cdot \pi \cdot a + c_a \cdot t}\right) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (23)$$

waaruit met behulp der bekende waarden van c_a en t de grootte Γ onmiddellijk te berekenen valt.

Met behulp van (21) en (23) vindt men:

$$V_A = V_B = V \cdot \left(1 - \frac{c_a \cdot t}{8 \cdot \pi \cdot a + c_a \cdot t}\right) \quad (24)$$

Formule (24) zegt, dat de profielen zich door hun onderlinge beïnvloeding zullen gedragen alsof de

windsnelheid ter plaatse der profielen geringer geworden is, en wel met het bedrag $\frac{c_a \cdot t}{8 \cdot \pi \cdot a + c_a \cdot t}$ maal de oorspronkelijke windsnelheid.

Met in achtneming van deze correctie, zullen de profielen in het stelsel van twee profielen ieder voor zich, zich gedragen als de enkelvoudige vleugel in een parallelstroom. Hieruit volgt in verband met de eigenschappen van het snelheidsveld onder den enkelvoudigen vleugel:

Het snelheidsveld tusschen twee profielen mag in het gebied waarvan de randen zich uitstrekken tot één profieldiepte van de profielen vervangen worden door het snelheidsveld tusschen twee wervels.

De snelheden in punten dichter bij een der profielen gelegen dan een profieldiepte kunnen benaderd worden met behulp van een parabool en de vervanging van het andere profiel door een wervel.

Leggen we door het profiel B (zie *fig. 17*) in de richting van de parallelstrooming de positieve x-as en loodrecht hierop door de middens van de profielen de positieve y-as, dan geldt voor het interval $t \leqq y \leqq 2 \cdot a - t$:

$$V_x = V - \frac{\Gamma}{2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot a - y)} - \frac{\Gamma}{2 \cdot \pi \cdot y} =$$

$$= V - \frac{a \cdot \Gamma}{\pi \cdot y \cdot (2 \cdot a - y)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (25)$$

Verschuift men de x-as evenwijdig naar het midden tusschen de profielen zoodat: $y = y_1 + a$, dan gaat (25) over in:

$$V_x = V - \frac{a \cdot \Gamma}{\pi \cdot (a^2 - y_1^2)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (26)$$

Formule (26) zegt, dat de snelheidsvermindering in het beschouwde interval midden tusschen de profielen het geringst is en toeneemt naarmate men één der profielen dichter nadert.

Met behulp van (23) is te schrijven:

$$V_x = V - \frac{a \cdot \Gamma_o}{\pi \cdot (a^2 - y_1^2)} \cdot \left(1 - \frac{c_a \cdot t}{8 \cdot \pi \cdot a + c_a \cdot t}\right)$$

en daar $\Gamma_o = \frac{1}{2} \cdot c_a \cdot V \cdot t$ volgt hieruit na een kleine herleiding:

$$V_x = V \cdot \left(1 - \frac{4 \cdot a^2 \cdot c_a \cdot t}{(a^2 - y_1^2) \cdot (8 \cdot \pi \cdot a + c_a \cdot t)}\right) \quad (26a)$$

Uit (26a) volgt onmiddellijk, dat de snelheidsvermindering recht evenredig is met de oorspronkelijke snelheid van de parallelstrooming. Is a groot ten opzichte van t, dus de afstand van de profielen onderling groot ten opzichte van tweemaal de profieldiepte, dan gaat (26a) bij benadering over in:

$$V_x \mathrel{\mathfrak{S}} V \cdot \left(1 - \frac{a \cdot c_a \cdot t}{2 \cdot \pi \cdot (a^2 - y_1^2)}\right) =$$

$$= V - \frac{a \cdot \Gamma_o}{\pi \cdot (a^2 - y_1^2)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (26b)$$

hetgeen in verband met (26) beteekent, dat de invloed van de profielen op elkaar verwaarloosd mag worden. De fout, die gemaakt wordt, indien voor de waarde van (26a) die van (26b) gekozen wordt, is maximaal als $c_a \cdot t$ een maximum is, dus als $c_a = c_{a\,max}$ en als $t = a$. Stelt men $c_{a\,max} = \frac{\pi}{2{,}5} \mathrel{\mathfrak{S}} 1{,}25$, dan bedraagt de maximale fout ongeveer 5 %. In verband met (26b) volgt hieruit, dat in het interval $t \leqq y \leqq 2 \cdot a - t$ de snelheidsvermindering met groote benadering evenredig is met de grootte van de circulatie.

Voor (26b) is ook te schrijven:

$$V_x \mathrel{\mathfrak{S}} V - \frac{\Gamma_o}{\pi \cdot \left(a - \frac{y_1^2}{a}\right)}$$

waaruit volgt, dat de snelheidsvermindering in het veld tusschen de profielen sterk toeneemt naarmate de profielen elkaar dichter naderen.

Bezien wij thans het veld in punten dichter bij een der profielen gelegen dan de profieldiepte.

Wegens de symmetrie van het veld kunnen we ons bepalen tot een der gebieden, waarin deze punten liggen en kiezen daarom de punten waarvoor geldt: $0 \leqq y \leqq t$.

Met behulp van (20) zijn de snelheden in deze punten onmiddellijk te noteeren. Men vindt:

$$V_x = V - \left(\frac{u_p}{t^2} - \frac{\Gamma}{\pi \cdot t^3}\right) \cdot y^2 + \left(\frac{2 \cdot u_p}{t} - \frac{3 \cdot \Gamma}{2 \cdot \pi \cdot t^2}\right) \cdot y -$$

$$- u_p - \frac{\Gamma}{2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot a - y)}$$

waarin u_p verkregen wordt uit u_{po} door vermenigvuldiging met den factor $\frac{V_B}{V} = 1 - \frac{c_a \cdot t}{8 \cdot \pi \cdot a + c_a \cdot t}$, zoodat:

$$V_x = V - \left\{\left(\frac{u_{po}}{t^2} - \frac{\Gamma_o}{\pi \cdot t^3}\right) \cdot y^2 - \left(\frac{2 \cdot u_{po}}{t} - \frac{3 \cdot \Gamma_o}{2 \cdot \pi \cdot t^2}\right) \cdot y + \right.$$

$$\left. + u_{po} + \frac{\Gamma_o}{2 \cdot \pi \cdot (2a - y)}\right\} \left(1 - \frac{c_a \cdot t}{8 \cdot \pi \cdot a + c_a \cdot t}\right) \quad (27)$$

waarvoor we ook mogen schrijven:

$$V_x = V - \left\{u_o' + \frac{\Gamma_o}{2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot a - y)}\right\} \times$$

$$\times \left(1 - \frac{c_a \cdot t}{8 \cdot \pi \cdot a + c_a \cdot t}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (27a)$$

De snelheidsvermindering u_p' onmiddellijk onder het profiel is nu gegeven door:

$$u_p' = \left(u_{po} + \frac{\Gamma_o}{4 \cdot \pi \cdot a}\right)\left(1 - \frac{c_a \cdot t}{8 \cdot \pi \cdot a + c_a \cdot t}\right)$$

In het geval, dat een boogvormig profiel gebruikt wordt, is op een eenvoudige wijze aan te toonen, dat voor het geheele interval $0 \leqq y \leqq t$ de snelheidsvermindering afneemt als de profielen verder van elkaar worden verwijderd.

Zonder bezwaar kan worden aangenomen, dat dit voor een ander normaal vleugelprofiel ook zoo zal zijn. We kunnen dus vaststellen, dat de invloed van het veranderen van den onderlingen afstand van de profielen in het interval $0 \leqq y \leqq t$ dezelfde is — alhoewel minder sterk — als in het interval $t \leqq y \leqq 2 \cdot a - t$, dus een afname van de snelheidsvermindering bij een vergrooting van den onderlingen afstand der profielen medebrengt.

Gaan we nogmaals terug tot formule (27a) en beschouwen we thans de snelheidsvermindering op de plaats y, welke bedraagt:

$$\left\{ u'_o + \frac{\Gamma_o}{2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot a - y)} \right\} \left(1 - \frac{c_a \cdot t}{8 \cdot \pi \cdot a + c_a \cdot t} \right).$$

Zooals bekend stelt u'_o hierin de snelheidsvermindering tot een afstand $y = t$ onder het enkelvoudige profiel met circulatie Γ_o voor; u'_o wordt grooter naarmate y kleiner wordt. $\frac{\Gamma_o}{2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot a - y)}$ is te beschouwen als de snelheidsvermindering onder hetzelfde profiel op een afstand $2 \cdot a - y$. Deze laatste snelheidsvermindering wordt kleiner naarmate y afneemt. Uit de eigenschappen van het enkelvoudige profiel volgt echter, dat bij daling van y de afname van de snelheidsvermindering op een afstand $2 \cdot a - y$ geringer is dan de toename van u'_o. Hieruit volgt, dat de factor $u'_o + \frac{\Gamma_o}{2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot a - y)}$ stijgt als y afneemt, dus dat de snelheidsvermindering grooter wordt als men zich naar het profiel toe begeeft.

In verband met het hieromtrent afgeleide voor het interval $t \leq y \leq 2 \cdot a - t$ kunnen we nu zeggen, dat de snelheden in het veld tusschen twee profielen voortdurend kleiner worden als men zich uit het midden naar een der profielen toe beweegt.

Uit de afgeleide formules volgt tenslotte, dat wanneer men afziet van de correctie, welke de factor: $\left(1 - \frac{c_a \cdot t}{8 \cdot \pi \cdot a + c_a \cdot t} \right)$ medebrengt, de snelheidsvermindering in alle tusschen de profielen gelegen punten bij benadering evenredig is met de circulatie om de profielen.

Teneinde een indruk te krijgen van den graad van nauwkeurigheid, waarmede de onderlinge beïnvloeding der profielen door de formules (22) en volgende wordt voorgesteld, werd weder de hulp van de boogvormige profielen ingeroepen en door middel van de conforme transformatie de storing van de circulatie bepaald. Een geheel exacte berekening van de snelheden tusschen de bogen is door middel van de conforme transformatie niet wel mogelijk, daar slechts één profieldoorsnede in een cirkel getransformeerd kan worden. We moesten ons daarom bepalen tot het vervangen van één profiel door een wervel met een wervelsterkte gelijk aan de circulatie om dat profiel. De onnauwkeurigheid, die bij deze werkwijze wordt ingevoerd, is zeer gering als de gevonden formule voor de snelheid alleen gebruikt wordt voor het gedeelte van het veld, waarin het profiel ligt.

De verschillen in de snelheden, welke op deze wijze gevonden werden en die, welke verkregen werden met behulp van de formules (25) en (27) waren voor 24 cm diepe profielen, die op een afstand van 1 m van elkaar geplaatst werden gedacht, werkende met liftcoëfficiënten $c_a = \frac{\pi}{6}$ en $c_a = \frac{2 \cdot \pi}{3}$ maximaal resp. 1,2 en 2,1% en in beide gevallen gemiddeld minder dan 1%. Uit de berekeningen bleek, dat het snelheidsveld tusschen twee profielen met behulp van wervels en parabolische snelheidsverdeeling met groote nauwkeurigheid kan worden verkregen.

Aan de reeds genoteerde conclusies kunnen op grond van het voorgaande thans de volgende worden toegevoegd:

Conclusie V: Bij de opstelling van twee vleugelprofielen in een parallelstrooming op een afstand van meer dan tweemaal de profieldiepte van elkaar kan de storing in de circulatie om één profiel ten gevolge van den invloed van het andere berekend worden door de profielen te beschouwen als wervels.

Conclusie VI: De tengevolge van de circulatie optredende snelheidsvermindering in het veld tusschen twee profielen kan voor het gebied, waarvan de randen zich uitstrekken tot een afstand gelijk aan de profieldiepte, berekend worden door de profielen als wervels te beschouwen, en voor de overblijvende gebieden met behulp van de parabolische snelheidsverdeeling onder het enkelvoudige profiel en een wervel.

Conclusie VII: De snelheidsvermindering tusschen twee vleugelprofielen is bij benadering recht evenredig met de grootte van de circulatie om één dezer profielen en de snelheid van de parallelstrooming; ze neemt toe naarmate de profielen dichter bij elkaar worden geplaatst, ze is in het midden tusschen de profielen het geringst en wordt grooter als men één der profielen meer nadert.

e. De invloed van het scherm.

Wordt in het veld tusschen twee vleugelprofielen een scherm geplaatst, dan ondervindt dit scherm een weerstand, die afhangt van de snelheden in het veld. Omgekeerd wordt door het scherm een bepaalden invloed op de strooming uitgeoefend, met het gevolg, dat de stroomlijnen bij de profielen van hun oorspronkelijke richting zullen afwijken, zooals reeds eerder werd opgemerkt. Wij zullen thans de formules iets meer in details beschouwen.

Laat de toestand zijn zooals in *fig. 19* is aangegeven. De positieve y-as gaat door het vlak van het gaas en door de middens van de vleugelprofielen. De positieve x-as is gelegd door een der profielen en heeft

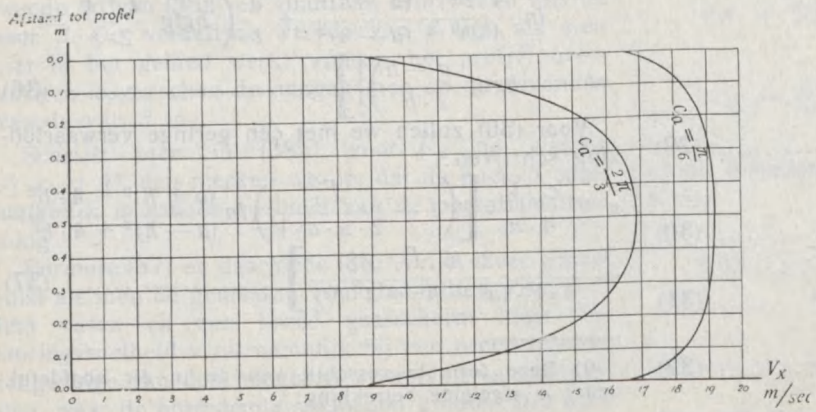


Fig. 18.

$V = 20$ *m/sec.*

Het snelheidsveld tusschen twee boogvormige profielen.

dezelfde richting als de parallelstrooming. De onderlinge afstand der profielen zij weder $2 \cdot a$, de hoogte van het gaasscherm $2 \cdot h$.

Voorloopig zullen we aannemen dat $a \geq h + t$, zoodat de profielen voor punten van het gaas beschouwd mogen worden als wervels.

De weerstand per eenheid van hoogte van het gaas is volgens (8a).

$$f = \tfrac{1}{2} \cdot k \cdot \varrho \cdot (V - u' + u)^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8a)$$

In overeenstemming met hetgeen in noot onder a is opgemerkt, nemen we nu voor de bronsterkte dQ, waardoor een strookje dy van het gaas kan worden vervangen:

$$dQ = \frac{f \cdot dy}{\varrho \cdot (V - u' + u)} = \tfrac{1}{2} \cdot k \cdot (V - u' + u) \cdot dy \quad (28)$$

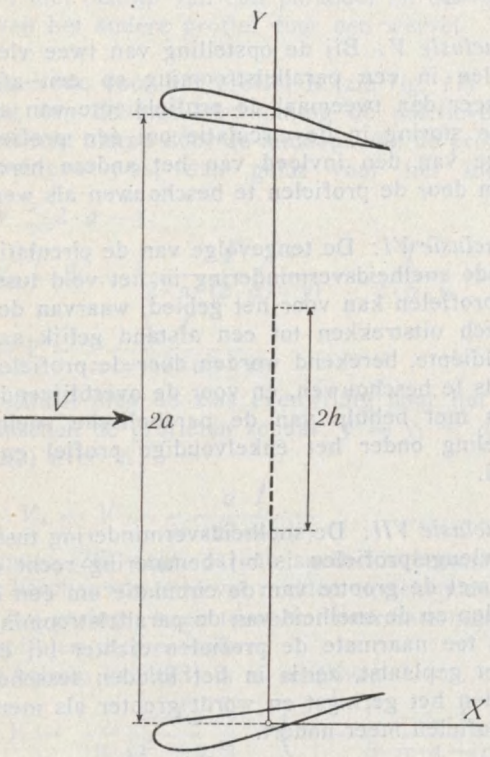


Fig. 19.

Daar verder uit (6a) en (7a) volgt:

$$u = -\frac{f}{2 \cdot \varrho \cdot (V - u' + u)} =$$

$$= -\tfrac{1}{4} \cdot k \cdot (V - u' + u) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (29)$$

vinden we achtereenvolgens:

$$u = -\frac{\tfrac{1}{4} \cdot k}{1 + \tfrac{1}{4} \cdot k} \cdot (V - u') \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (30)$$

$$f = \frac{\tfrac{1}{2} \cdot k}{(1 + \tfrac{1}{4} \cdot k)^2} \cdot \varrho \cdot (V - u')^2 \quad \ldots\ldots \quad (31)$$

$$dQ = \frac{\tfrac{1}{2} \cdot k}{1 + \tfrac{1}{4} \cdot k} \cdot (V - u') \cdot dy \quad \ldots\ldots\ldots \quad (32)$$

Zijn de profielen afwezig, zoodat $u' = 0$, dan gaat (31) over in de gewone formule:

$$f_o = \tfrac{1}{2} \cdot c \cdot \varrho \cdot V^2,$$

zoodat we de betrekking verkrijgen [9]):

$$\frac{k}{(1 + \tfrac{1}{4} \cdot k)^2} = c,$$

waaruit:

$$k = \frac{4}{c} \cdot (2 - c - 2 \cdot \sqrt{1 - c}) \quad \ldots\ldots \quad (33)$$

Voor (32) wordt dan gevonden:

$$dQ = (1 - \sqrt{1 - c}) \cdot (V - u') \cdot dy \quad \ldots\ldots\ldots \quad (34)$$

Ter vereenvoudiging vervangen we den coëfficiënt door c_v; wanneer we verder voor $V - u'$ weder V_x schrijven, dan wordt de bronsterkte:

$$dQ = c_v \cdot V_x \cdot dy \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (34a)$$

De verticale snelheidscomponent v in het punt x_1, y_1, veroorzaakt door het geheele bronnensysteem, dat zich uitstrekt langs de y-as van $y = a - h$ tot $y = a + h$, is thans gegeven door de integraal:

$$v = \frac{c_v}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{a-h}^{a+h} V_x \cdot \frac{y_1 - y}{x_1^2 + (y_1 - y)^2} \cdot dy.$$

In verband met (25) kunnen we hiervoor schrijven, als Γ_1 de circulatie om een profiel in het stelsel van profielen en gaas voorstelt:

$$v = \frac{c_v}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{a-h}^{a+h} \left| V - \frac{a \cdot \Gamma_1}{\pi \cdot (2 \cdot a - y) \cdot y} \right| \cdot$$

$$\cdot \frac{y_1 - y}{x_1^2 + (y_1 - y)^2} \cdot dy \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (35)$$

Voor $y_1 = 2 \cdot a$, dus ter plaatse van één der profielen, varieert v over de diepte van het profiel, daar x_1^2 varieert van $\frac{t^2}{4}$ voor $x_1 = \pm \frac{t}{2}$, tot 0 voor $x_1 = 0$. De invloed van de storingsstrooming zal zich echter het meest aan den voor- en achterrand van het profiel doen gevoelen, zoodat we de snelheid v voor $x_1^2 = \frac{t^2}{4}$, waarvoor we $4 \cdot b^2$ zullen schrijven, als juiste storingssnelheid mogen aannemen. Men vindt:

$$v = \frac{c_v \cdot V}{4 \cdot \pi} \cdot \left[ln \frac{4 \cdot b^2 + (a + h)^2}{4 \cdot b^2 + (a - h)^2} - \right.$$

$$- \frac{a \cdot \Gamma_1}{2 \cdot \pi \cdot (a^2 + b^2) \cdot V} \cdot \left\{ ln \frac{a + h}{a - h} + \tfrac{1}{2} \cdot \right.$$

$$\left. \cdot ln \frac{4 \cdot b^2 + (a + h)^2}{4 \cdot b^2 + (a - h)^2} + \frac{a}{b} \left(bgtg \frac{a + h}{2 \cdot b} - \right. \right.$$

$$\left. \left. - bgtg \frac{a - h}{2 \cdot b} \right) \right\} \left. \right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (36)$$

Voor (36) zullen we met een geringe verwaarloozing schrijven:

$$v \cong \frac{c_v \cdot V}{4 \cdot \pi} \cdot \left[\left(1 - \frac{\Gamma_1}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot V} \right) ln \frac{(a + h)^2 + 4 \cdot b^2}{(a - h)^2 + 4 \cdot b^2} - \right.$$

$$\left. - \frac{2 \cdot h \cdot \Gamma_1}{\pi \cdot V \cdot (a^2 - h^2 + 4 \cdot b^2)} \right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (37)$$

---

9) Deze formule verschilt van de in dit hoofdstuk onder a afgeleide betrekking:

$$\frac{k}{1 + \tfrac{1}{2} \cdot k} = c$$

slechts door een term $(\tfrac{1}{4} \cdot k)^2$ in den noemer, welke als een grootheid van de 3de orde kan worden aangemerkt.

Behalve de storingssnelheid v zal bij de profielen een storingssnelheid v' optreden in de richting van de parallelstrooming. Wegens de symmetrie van het veld ten opzichte van de y-as is evenwel voor $y_1 = 2 \cdot a$:

$$\int_{-\frac{t}{2}}^{+\frac{t}{2}} v' \cdot d x_1 = 0.$$

Dit beteekent, dat de gemiddelde snelheid van de strooming in de richting van de parallelstrooming op de plaats van het profiel niet verandert, en dat de invloed van het gaas zich alleen kenbaar maakt door een verandering van den invalshoek van de strooming op het profiel.

Noemt men den invalshoek van het profiel ten opzichte van de parallelstrooming α, en den invalshoek ten opzichte van de werkelijke strooming $\alpha + \beta$, dan is:

$$tg\ \beta = \frac{v}{V - \frac{\Gamma_1}{4 \cdot \pi \cdot a}}, \text{ of:}$$

$$tg\ \beta \mathrel{\mathfrak{m}} \frac{c_v}{4 \cdot \pi} \cdot \left[\left(1 - \frac{\Gamma_1}{4 \cdot \pi \cdot a \cdot V} \right) \cdot ln \frac{(a+h)^2 + 4 \cdot b^2}{(a-h)^2 + 4 \cdot b^2} - \right.$$

$$\left. - \frac{2 \cdot h \cdot \Gamma_1}{\pi \cdot V \cdot (a^2 - h^2 + 4 \cdot b^2)} \right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (38)$$

Voert men hierin de waarde van Γ uit (22), dan is:

$$tg\ \beta \mathrel{\mathfrak{m}} \frac{c_v}{4 \cdot \pi} \cdot \left[\left(1 - \frac{\Gamma_o}{4 \cdot \pi \cdot a \cdot V + \Gamma_o} \right) \cdot \right.$$

$$\left. \cdot\ ln \frac{(a+h)^2 + 4 \cdot b^2}{(a-h)^2 + 4 \cdot b^2} - \right.$$

$$\left. - \frac{8 \cdot a \cdot h \cdot \Gamma_o}{(4 \cdot \pi \cdot a \cdot V + \Gamma_o) \cdot (a^2 - h^2 + 4 \cdot b^2)} \right] \quad \ldots \quad (38a)$$

als nu Γ_o de circulatie om het profiel bij de oorspronkelijke snelheid V en een invalshoek $\alpha + \beta$ voorstelt.

Met behulp van de formule (38a) is β en daarmede de waarde van de circulatie snel te benaderen. Men schat in eerste benadering β door bijvoorbeeld:

$$tg\ \beta = \frac{c_v}{4 \cdot \pi} \cdot ln \frac{(a+h)^2 + 4 \cdot b^2}{(a-h)^2 + 4 \cdot b^2}$$

te stellen en berekent met deze geschatte waarde het tweede lid van (38a) en vindt dan een tweede waarde voor β. De werkelijke waarde van β ligt, als men niet in het gebied werkt waarbij het profiel overtrokken is, tusschen de aangenomen en de gevonden waarde van β in.

Schrijft men in (38a) voor Γ_o de waarde $\frac{1}{2} \cdot c_a \cdot t \cdot V$, dan merken we op, dat de hoek β onafhankelijk is van de snelheid van de potentiaalstrooming.

Formule (37) en daarmede (38) is niet meer geheel juist als men de gemaakte veronderstelling $a \geq h + t$ laat varen en een breed gaasscherm kiest. De storingssnelheid v zal namelijk bij een breed scherm, tengevolge van den hoogeren weerstand van de randen, waar de optredende snelheden grooter zijn dan:

$V - \frac{a \cdot \Gamma_1}{\pi \cdot (2 \cdot a - y) \cdot y}$, een hoogere waarde hebben dan de uitkomst, die formule (37) geeft. De verschillen blijven echter gering, zoodat ook in dit geval formule (37) bij benadering kan gelden.

Zoowel voor een smal als voor een breed scherm is het mogelijk dat, door de vergrooting van den invalshoek α van de parallelstrooming op het profiel tot $\alpha + \beta$, het profiel overtrokken raakt. We moeten dan om weder een goede circulatie te krijgen α kleiner maken, dus de profielen verdraaien. Indien $\alpha = \alpha_{max}$, dan moet het profiel over den hoek β teruggedraaid worden. De waarde van β kan in dit geval rechtstreeks uit formule (38a) verkregen worden, indien hierin voor Γ_o de waarde Γ_{max} ingevoerd wordt.

Alvorens uit de genoteerde formules eenige conclusies op te stellen, werd de invloed van het bronnenstelsel op de strooming langs een boogvormig profiel nog iets nader bezien met behulp van de conforme transformatie. De waarden, welke op deze wijze werden gevonden, verschilden niet veel van die, verkregen met behulp van formule (38a).

Wij noteeren thans:

Conclusie VIII: Door den invloed van het gaas ontstaat op de plaats van het profiel een storingsstrooming, die gericht is loodrecht op de parallelstrooming en den invalshoek van de strooming op het profiel vergroot.

Conclusie IX: Door den invalshoek van de profielen met een bepaalden hoek te verkleinen, kan de reactie van het gaas op de grootte van de circulatie geneutraliseerd worden.

Laatstgenoemde conclusie is fundamenteel voor de berekening van den weerstand van een gaasscherm tusschen twee vleugelprofielen. Hieruit volgt namelijk, dat de invloed van het gaas op het profiel en daardoor ook de terugwerkende invloed van het profiel op het snelheidsveld bij weerstandsberekeningen buiten beschouwing kunnen blijven als men de profielen slechts over een bepaalden hoek gedraaid denkt.

f. De weerstand van het gaasscherm.

Laat de weerstand van een stuk gaas in de parallelstrooming per eenheid van lengte bij een hoogte $2 \cdot h$ zijn:

$$w_o = c \cdot \varrho \cdot V^2 \cdot h.$$

Voor het gaas tusschen de profielen volgt uit (31):

$d w = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \varrho \cdot (V - u')^2 \cdot dy$ en dus:

$$w = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \varrho \cdot \int_{a-h}^{a+h} (V - u')^2 \cdot dy \quad \ldots\ldots \quad (39)$$

of bij benadering, daar u' klein is ten opzichte van V, is:

$$w \mathrel{\mathfrak{m}} \frac{1}{2} \cdot c \cdot \varrho \cdot \int_{a-h}^{a+h} (V^2 - 2 \cdot u' \cdot V) \cdot dy =$$

$$= w_o - c \cdot \varrho \cdot V \cdot \int_{a-h}^{a+h} u' \cdot dy.$$

Voeren we hierin de waarde van de snelheidsvermindering uit (25), dan vinden we:

$$w = w_o - c \cdot \varrho \cdot V \cdot \int_{a-h}^{a+h} \frac{a \cdot \Gamma}{\pi \cdot (2 \cdot a - y) \cdot y} \cdot dy,$$

of:

$$w = w_o \cdot \left(1 - \frac{\Gamma}{\pi \cdot h \cdot V} \cdot ln \frac{a+h}{a-h} \right) \quad \ldots (40)$$

Ook zonder voorgaande benadering is de integraal uit formule (**39**) met behulp van (**25**) te integreeren. Men vindt in dat geval:

$$w = w_o \cdot \left[1 - \frac{\Gamma}{2 \cdot \pi \cdot h \cdot V} \cdot \left\{ 2 \cdot ln \frac{a+h}{a-h} - \right. \right.$$

$$\left. \left. - \frac{\Gamma}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot V} \cdot \left(\frac{2 \cdot a \cdot h}{a^2 - h^2} + ln \frac{a+h}{a-h} \right) \right\} \right] \quad (41)$$

Formule (**41**) geldt in alle gevallen waarin $h \leqq a - t$. Voor gevallen waarin $a > h > a - t$ geeft ze een te kleine waarde. Voor die gevallen moet (**39**) met behulp van de parabolische snelheidsverdeeling numerisch geïntegreerd worden.

Uit de formules voor den weerstand zoowel als uit het verloop van het snelheidsveld onder een profiel volgt echter, dat niettegenstaande de snelheden dicht onder het profiel belangrijk minder snel afnemen dan onder den wervel met dezelfde circulatie, het snelheidsveld in beide gevallen toch dezelfde eigenschappen vertoont en de factoren, die de weerstandsvermindering beheerschen, dezelfde zijn. De conclusies, welke uit de formules (**40**) en (**41**) volgen, zullen daarom met een geringe correctie ook gelden voor een gaasscherm breeder dan $2 \cdot a - 2 \cdot t$.

Deze conclusies zijn:

Conclusie X: In het veld tusschen twee vleugelprofielen ondergaat een gaasscherm een weerstandsvermindering, welke een gevolg is van de bij de profielen behoorende circulatie en bij benadering evenredig is met de waarde van de circulatie, gedeeld door de snelheid van de oorspronkelijke strooming, terwijl zij sterk toeneemt indien de vleugelprofielen dichter bij het scherm gebracht worden.

Conclusie XI: De weerstandsvermindering uitgedrukt in procenten van den oorspronkelijken weerstand is onafhankelijk van de snelheid van de parallelstrooming en verandert niet als alle afmetingen in het stelsel vleugelprofielen en scherm n maal grooter gemaakt worden.

g. De trekkracht op het profiel.

Voor de kracht, die op het profiel per eenheid van lengte, in de richting tegengesteld aan die van de parallelstrooming, onder den invloed van de storingsstrooming en den profielweerstand werkt, is met behulp van (**18**) en (**38**) bij benadering te schrijven:

$$T = \tfrac{1}{2} \cdot (c_a \cdot c_v \cdot D - c_{wo}) \cdot \varrho \cdot \left(V - \frac{\Gamma}{4 \cdot \pi \cdot a} \right)^2 \cdot t \quad (42)$$

waarin D een functie is van a, h en Γ.

Daar c_v sterker stijgt naarmate de weerstand van het gaas grooter wordt, stijgt ook T sterker naarmate de weerstandscoëfficiënt van het gaas stijgt.

Hieruit volgt:

Conclusie XII: De trekkracht van het profiel onder den invloed van het gaas in de richting, tegengesteld aan die van de parallelstrooming, is *niet* geheel evenredig aan den weerstand van het gaas, maar neemt bij het vergrooten van dien weerstand sterker toe.

h. De invloed van een verplaatsing van het scherm in de richting van de parallelstrooming.

Brengt men het gaasscherm tusschen twee wervels uit het vlak van die wervels, door dit over een afstand g in de richting van de parallelstrooming te verplaatsen, dan zal het gaasscherm zich bevinden in een snelheidsveld waarvoor, zooals op eenvoudige wijze valt af te leiden, geldt:

$$V_x = V - \frac{y \cdot \Gamma}{2 \cdot \pi \cdot (g^2 + y^2)} - \frac{(2 \cdot a - y) \cdot \Gamma}{2 \cdot \pi \cdot \{ g^2 + (2 \cdot a - y)^2 \}}$$

als ook nu weder de x-as evenwijdig aan de parallelstrooming door één der wervels gelegd is en de y-as loodrecht hierop door beide wervels gaat.

Uit deze formule volgt onmiddellijk, dat bij elke verplaatsing van het scherm de snelheid V_x grooter zal worden als g toeneemt. Bij elke verplaatsing van het gaas uit het vlak van de wervels zal de weerstandsvermindering dus afnemen en wel te sterker naarmate de verplaatsing grooter wordt. Blijft g echter klein ten opzichte van $a - h$, dan zal het verschil in weerstandsvermindering zeer gering zijn.

Vorenstaande beschouwingen gaan vrijwel geheel voor het symmetrische profiel door, mits men rekening houdt met den invloed van het scherm op de grootte van de circulatie om het profiel. In dit geval zal in het algemeen een verplaatsing van het scherm in de richting van de parallelstrooming niet geheel hetzelfde effect hebben als eenzelfde verplaatsing van het scherm tegen de parallelstrooming in.

Zooals reeds onder c werd opgemerkt, is bij een vleugelprofiel met een willekeurige drukverdeeling de gunstigste plaats voor de opstelling van het scherm een functie van de drukverdeeling op het profiel. Bij deze profielen zal over het algemeen de maximale weerstandsvermindering gevonden worden bij een opstelling van het scherm meer in de buurt van den voorkant dan van den achterkant van de profielen. Zooals reeds werd opgemerkt, zullen echter ook hier de variaties in de weerstandsvermindering bij kleine verplaatsingen van het scherm gering zijn.

HOOFDSTUK II.

Experimenteele resultaten.

a. Beschrijving van het materieel en het gebruik daarvan.

Teneinde de op theoretische gronden verkregen uitkomsten practisch te toetsen, werden in de vierkante tunnel van het Laboratorium voor Aëro- en Hydrodynamica der Technische Hoogeschool te Delft metingen verricht betreffende den weerstand van een gaasscherm, dat opgehangen was tusschen twee vleugelprofielen.

Het bij deze metingen gebruikte blanke gaas had een maaswijdte van ongeveer 4,25 mm hart op hart van den draad en een draaddikte van ± 0,6 mm; het stuk was 100 mm hoog en 792 mm lang. Daar

de tunneldoorsnede 800 mm was, bleef aan elken kant nog 4 mm speling over om een aanloopen tegen de wanden van de tunnel te voorkomen. Aangenomen werd, dat deze kleine speling geen invloed op de strooming had. Ten einde het gaas, in verband met de vrij hooge windsnelheden (± 26,5 m per seconde), voor doorbuiging te behoeden, werd dit in een raampje, waarvan de vorm in *fig. 20* is aangegeven, geplaatst. Dit raampje bestond uit twee gedeelten, waartusschen het gaas geklemd werd. Het voorgedeelte, waarmede bedoeld wordt het gedeelte, dat vóór het gaas in de strooming stond, had een half cirkelvormige doorsnede met een straal van 3 mm en rustte met den platten kant tegen het gaas. Het achtergedeelte had den vorm van een gelijkbeenigen driehoek met de basis tegen het gaas aan, welke even groot was als de middellijn van de half cirkelvormige doorsnede; de driehoek had een hoogte van 12 mm.

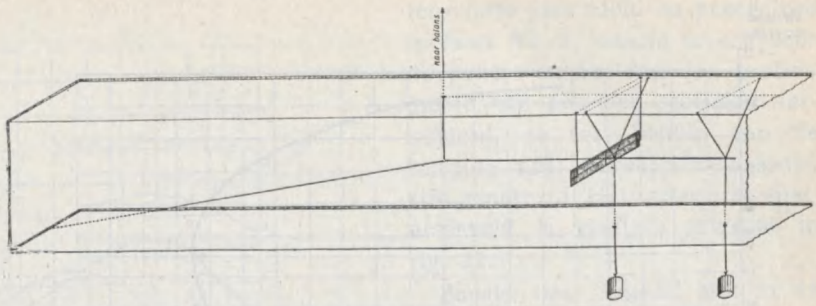


Fig. 20.

De ophanging van het gaasscherm.

Bij de metingen werd het gaas met het raampje als één geheel beschouwd; indien van den weerstand van het gaas of van den weerstandscoëfficiënt van het gaas gesproken wordt, is hiermede dus eigenlijk die van het gaas met het raampje bedoeld. Waar de weerstand van het raampje met het gaasgedeelte er tusschen grooter was dan die van dit gaasgedeelte alleen, en het overgroote gedeelte van het raampje zich juist in het midden van het proefstuk bevond, zullen, daar de profielwerking zich het meest aan de randen van dit stuk doet gevoelen, de op deze wijze verkregen uitkomsten voor de weerstandsvermindering iets ongunstiger zijn dan het geval zou wezen, indien een stuk gaas zonder raampje gebruikt was. Daar echter eenerzijds het elimineeren van den invloed van het raampje voor de verschillende toestanden moeilijkheden met zich medebracht en anderszijds de ongunstige beïnvloeding van de uitkomsten door het raampje slechts zeer gering kan zijn (in verband met het stroomlijnvormig profiel en het geringe oppervlak ten opzichte van het oppervlak van het gebruikte gaas) werd aangenomen, dat het gaas met het raampje als een enkelvoudig gaas beschouwd mocht worden.

Als vorm voor de vleugelprofielen werd gekozen profiel No. 386 uit: „Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen, Lieferung I [10]). Teneinde over een goede ware grootte teekening van het profiel te kunnen beschikken, noodig voor de vervaardiging van de vleugeltjes uit vloeiijzer, bij een aangenomen profieldiepte van 30 mm, werd een teekening daarvan op schaal 10 : 1 gemaakt en deze langs fotografischen weg verkleind.

De metingen kunnen in de volgende groepen worden onderscheiden:

1. de weerstandsmetingen op het gaas bij veranderlijken invalshoek van de vleugelprofielen en bij verschillende onderlinge afstanden van deze;
2. de metingen van de horizontale en verticale krachten werkend op de vleugelprofielen;
3. de energie-metingen.

ad. 1: Bij de weerstandsmetingen op het gaas was dit vrij in het midden van de tunnel, tusschen de symmetrisch opgestelde vleugelprofielen, opgehangen met behulp van een ronde staaf dik 14 mm en lang 800 mm, die daartoe in het midden van het raampje en loodrecht op het vlak van het gaas vast aan het raampje verbonden was. Zooals verder in *fig. 20* is te zien, hing deze staaf aan vier schuin naar boven gaande spandraden, terwijl twee van de staaf afhangende draden, welke vrij door den bodem van de tunnel gingen en waaraan gewichten waren opgehangen, tot stabilisatie dienden. Ten einde eventueele schommelingen van het gaasscherm om de lengte-as van de staaf te beperken, werd nog een tweetal loodrecht omhoog gaande draden nabij de einden van het raampje aangebracht.

De weerstand werd volgens de gebruikelijke methode bepaald met behulp van een vertakten draad en een balans, zooals in de *figuur* te zien is. De dikte van den gebruikten spandraad bedroeg 0,19 mm.

IJkingen geschiedden steeds vóór en na de metingen. Hiertoe werd een spandraad, waaraan een schaaltje bevestigd was, via een katrolletje vastgehecht aan de achterzijde van de staaf, welke het gaasscherm droeg. Door het katrolletje met behulp van een statief op de juiste plaats te stellen, werd gezorgd dat het gedeelte van den spandraad, dat zich tusschen staaf en katrolletje bevond, precies in het verlengde van de staaf lag.

Het andere gedeelte van den spandraad hing met het schaaltje loodrecht naar beneden. De wrijving van het speciaal daartoe geconstrueerd katrolletje was zeer gering, doch om deze nog zooveel mogelijk te elimineeren, werd, behalve dat steeds heen en terug werd geijkt, tijdens de ijkingen het statief in zachte trillingen gehouden door een hieraan bevestigde electrische bel. De ijking zelf geschiedde door op het schaaltje gewichten te plaatsen en daarna de balans in evenwicht te brengen.

Bij de meermalen herhaalde weerstandsmetingen, waarvan de uitkomsten werden gemiddeld, werd eerst de weerstand gemeten van het gaas met de ophanging te zamen, de aldus gevonden weerstand werd later verminderd met den weerstand van de ophanging alleen.

ad 2: De metingen van de krachten op de profielen geschiedde door de krachten op het bovenste profiel in verticalen en in horizontalen zin te meten. De

10) De maten van dit profiel zijn vermeld in Erg. Aerod. Versuchsanstalt Göttingen III, 1927, p. 28.

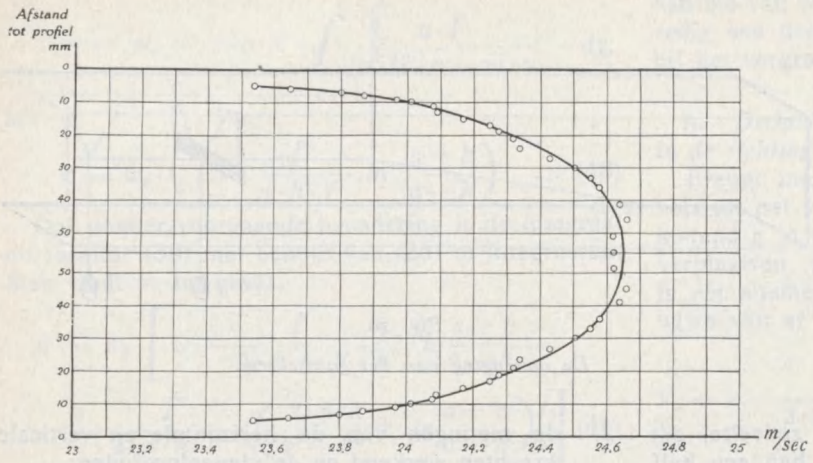


Fig. 21.

Onderlinge afstand van de profielen 112 mm.
Invalshoek van de profielen op de parallelstrooming 3° 20′
$c_a = 1{,}16$ $V = 26{,}53$ *m/sec.*
Het verloop van het snelheidsveld tussschen twee vleugelprofielen.

verticale krachten werden gemeten door het profiel met behulp van een paar over de tapeinden geschoven lagertjes vrij op te hangen. De lagertjes hingen daartoe aan den buitenkant van de tunnel met spandraden aan een horizontale zware staaf, die vastgemaakt was aan een der schalen van een op de tunnel geplaatste balans. Vrij lange horizontale spandraden zorgden er voor, dat het profiel in horizontale richting op zijn plaats bleef en dienden tevens als wijzer voor de vast op de tapeinden aangebrachte graadbogen. Door deze graadbogen met spandraden en draadspanners te verbinden met de staaf op de schaal van de balans, kon de verstelling van de profielen op gemakkelijke wijze aan de buitenzijde van de tunnel bewerkstelligd worden.

Voor de meting van de krachten in horizontalen zin werd dezelfde opstelling gebruikt. De balans boven op de tunnel werd nu echter vastgezet en een balans geschikt om horizontale krachten te meten op den zijwand van de tunnel gemonteerd.

Bij deze metingen deed zich aanvankelijk de onaangenaamheid voor, dat het profiel, indien dit dicht bij het gaas geplaatst was, bij sommige invalshoeken met een vrij groote periode op- en neerging. Dit werd toegeschreven aan de storing van de strooming om het profiel door den luchtstroom, welke door de openingen in de tunnelwanden, waardoor de tapeinden naar buiten staken, werd naar binnen gezogen. Met het soldeeren van een paar stukjes blik op de einden van de profielen, juist voor deze openingen, werd dit euvel nagenoeg geheel verholpen. Het bezwaar dat hieraan verbonden was, dat namelijk thans niet de kracht in horizontale richting op het profiel alleen, maar die op het profiel met de blikjes te zamen gevonden werd, werd hierbij niet van groot belang geacht.

ad 3: De energiemetingen, welke ten doel hadden het snelheidsveld te controleeren en de impulsverliezen te bepalen, werden op de gewone wijze met pitotbuizen en manometers verricht. Deze metingen werden steeds tweemaal uitgevoerd en wel eenmaal in het linker- en eenmaal in het rechter gedeelte van de tunnel. Bij de impulsmetingen bevond de monding van de pitotbuis zich daarbij eenmaal nagenoeg achter een draadje en eenmaal juist in het midden tusschen twee draadjes van het gaas in.

b. De resultaten van de metingen.

1. Het snelheidsveld tusschen de vleugelprofielen bij afwezigheid van het gaasscherm.

Bij de meting van het snelheidsveld tusschen de vleugelprofielen waren deze opgesteld op een onderlingen afstand van 112 mm, terwijl de invalshoek van de profielen ten opzichte van de parallelstrooming 3° 20′ bedroeg. Deze hoek was iets kleiner genomen dan de invalshoek bij maximale circulatie, welke 3° 45′ was, hetgeen geschiedde om te voorkomen, dat bij de meting de circulatie min of meer labiel zoude zijn. Het verschil in grootte van de circulatie was zeer gering; de liftcoëfficiënt bedroeg — zie *fig. 25* — bij een invalshoek van 3° 45′: 1,17 en bij den gebruikten invalshoek 1,16.

De uitvoering der meting had op de gewone wijze plaats. De snelheid van de parallelstrooming werd gemeten met behulp van twee vóór in de tunnel opgestelde parallelgeschakelde pitotbuizen. Een derde verplaatsbare pitotbuis was met haar openingen tusschen de profielen opgesteld; de ringspleet bevond zich daarbij 22,5 mm achter den voorkant van de profielen.

De schakeling van de verschillende pitotbuizen was verder zóó, dat behalve de stuwdruk van de

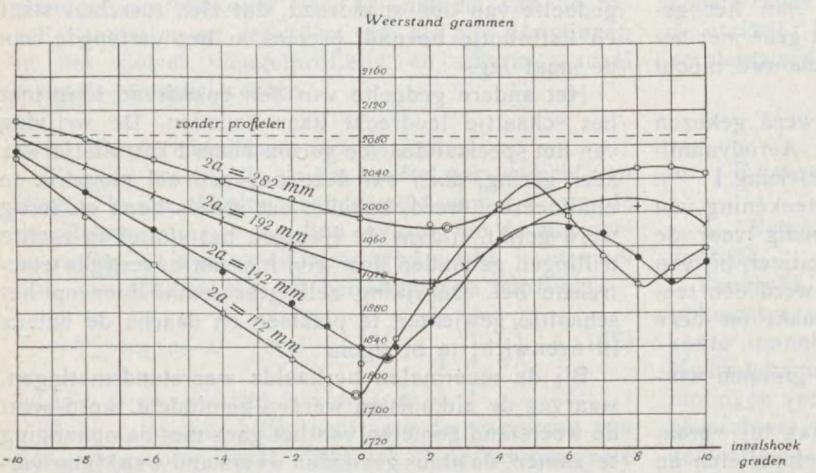


Fig. 22

De invloed van de profielen op den weerstand van het gaas.
Gaas 8,5 mm achter den voorkant van de profielen.

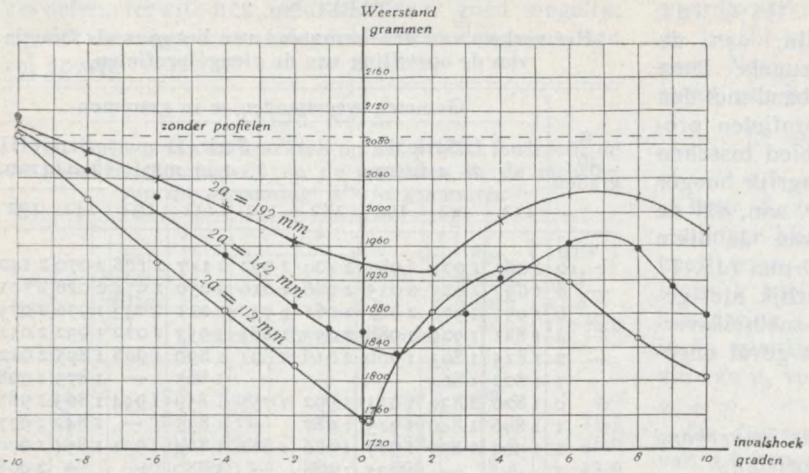


Fig. 23.

De invloed van de profielen op den weerstand van het gaas. Gaas 1,5 mm voor den voorkant van de profielen.

parallelstrooming, q_o, verkregen werden het verschil $P_o - P$ tusschen de totale energiedrukken in deze strooming en in de strooming op een gewenschte plaatst tusschen de profielen, en het verschil $p - p_o$ in de statische drukken in deze stroomingen, waarin P_o en p_o, P en p betrekking hebben respectievelijk op de parallelstrooming en op de strooming in het beschouwde punt. Door den stuwdruk in de parallelstrooming, $q_o = \frac{1}{2} \cdot \varrho \cdot V^2$, te verminderen met $(P_o - P) + (p - p_o)$ werd de stuwdruk $q = \frac{1}{2} \cdot \varrho \cdot V_x^2$ in het punt tusschen de profielen verkregen, waaruit de snelheid in dat punt berekend werd. Daar de genoemde verschillen klein zijn, konden zij met grootere gevoeligheid worden gemeten, dan bij een directe meting van q bereikbaar zou zijn.

De aldus gevonden uitkomsten voor de snelheden links en rechts boven en links en rechts onder werden ten slotte gemiddeld en neergelegd in *tabel No. 1*, waarin tevens voor de punten verder dan één profieldiepte van één der profielen verwijderd, de met behulp van de formule (25) berekende waarden zijn genoteerd. Het werkelijke snelheidsveld is grafisch uitgezet in *fig. 21*.

Zooals een enkele blik in de tabel doet zien, verschillen de werkelijke snelheden nogal vrij veel van de berekende, gelet op de omstandigheid, dat het hier om snelheidsverminderingen gaat. Het gevolg daarvan was, dat afgezien werd van het benaderen van de snelheden in punten dicht onder het profiel met behulp van de formule (27a).

TABEL No. 1.

Het verloop van het snelheidsveld tusschen twee vleugelprofielen in een vlak op 22,5 mm achter den voorrand der profielen bij afwezigheid van het gaasscherm.

Werkelijke waarden						Berekende waarden volgens (25)
Afstand tot profiel mm	V_x in m/sec	Afstand tot profiel mm	V_x in m/sec	Afstand tot profiel mm	V_x in m/sec	V_x in m/sec
5	23,54	13	24,09	30	24,51	23,27
6	23,65	15	24,17	33	24,55	23,45
7	23,80	17	24,25	36	24,58	23,60
8	23,87	19	24,28	41	24,64	23,77
9	23,97	21	24,32	46	24,66	23,89
10	24,01	24	24,34	51	24,62	23,95
11	24,08	27	24,43	56	24,62	23,97

$c_a = 1{,}16$ $t = 0{,}03\ m$ $V = 26{,}53\ m/sec$

Onderlinge afstand der profielen $2 \cdot a = 112$ mm.

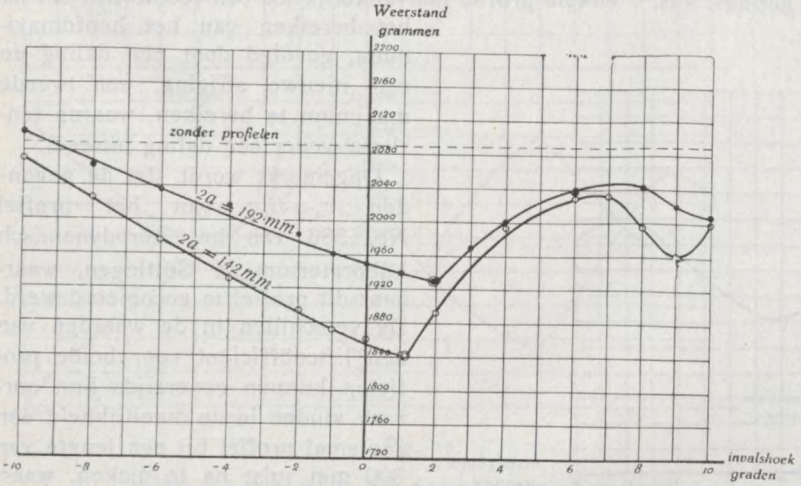


Fig. 24.

De invloed van de profielen op den weerstand van het gaas. Gaas 18,5 mm achter den voorkant van de profielen.

Vraagt men zich af waaraan de verschillen tusschen de werkelijke en de berekende snelheden te wijten zijn, dan kan worden opgemerkt, dat de berekende snelheden gelden voor een veld dat niet door tunnelwanden begrensd is, en dat verder bij de afleiding van de formule (25) geen rekening is gehouden met de dikte van de profielen. Het is vooral de invloed van de dikte, die hier een niet onbelangrijke rol speelt. De dikte van de beide vleugelprofielen samen bedroeg 12 mm, de tunneldoorsnede 800 mm, zoodat de doorgang voor den wind ter plaatse van de profielen reeds 1½% kleiner geworden was. De gemiddelde snelheid van den windstroom bij aanwezigheid van de profielen over den geheelen doorgang van de tunnel ter plaatse

van de profielen, moet dus reeds 1½%, d.i. ca 0,40 m/sec, hooger geweest zijn, dan de snelheid bij afwezigheid van de vleugels. Deze snelheidsvermeerdering zal echter in verband met den geringen onderlingen afstand van de profielen procentsgewijze het grootst zijn in het gebied tusschen deze; in dit gebied zullen zij dus belangrijk hooger kunnen zijn dan 1½%. Neemt men b.v. aan, dat de snelheidsvermeerderingen tengevolge van de dikte van een profiel op een afstand van 100 mm (d.i. 17 maal de dikte) nul is — hetgeen natuurlijk niet geheel juist is — dan zou de gemiddelde snelheidsvermeerdering tusschen de profielen in dit geval ongeveer 5,4% bedragen [11]).

2. *De weerstandsmetingen op het gaas in verband met de liftcoëfficiënten van de profielen.*

Gegevens voor de weerstandsmetingen:

Gaaslengte: 792 mm Windsnelheid 26,53 m/sec
Gaashoogte: 100 mm Stuwdruk: 44 kg/m²

Weerstand van het gaas zonder profielen (na aftrek van den weerstand der ophanginrichting): w_o = 2089 gram.

Weerstandscoëfficiënt c = 0,600.

De resultaten van de weerstandsmetingen bij aanwezigheid der profielen zijn, na correctie voor den weerstand van de ophanginrichting, vereenigd in *tabel No. 2* en grafisch uitgezet in de *figuren 22, 23* en *24*. Ter vergelijking is in *fig. 25* hierbij gevoegd de c_a - a-lijn van het enkele profiel (bij afwezigheid van het gaasscherm). De getalwaarden van deze laatste kromme zijn berekend met behulp van de waarden vermeld in *tabel No. 3*, 2de kolom.

11) Zonder vooruit te loopen op hetgeen later daarover zal worden gezegd, kan nu reeds worden opgemerkt, dat een zelfde invloed van de dikte zich bij de Townend-ring voordoet.

Bij de meting van de snelheden van den wind tusschen de cylinders van een stervormigen motor met en zonder ring vond Townend, dat de grootste snelheidsverminderingen werden waargenomen bij ringen met dunne profielen en dat met het dikste profiel dat door hem gebruikt werd (ring J), de snelheidsvermindering het geringst was.

TABEL No. 2.

Het verloop van den weerstand van het gaas als functie van de opstelling van de vleugelprofielen.

α in graden	Gemeten weerstanden w in grammen								
	Serie I $2 \cdot a$ in mm				Serie II $2 \cdot a$ in mm			Serie III $2' \cdot a$ in mm	
	112	142	192	282	112	142	192	142	192
— 10	2 067	2 071	2 087	2 109	2 092	2 117	2 106	2 070	2 140
— 8	1 993	2 023	2 055	2 086	2 016	2 050	2 074	2 026	2 101
— 6	1 937	1 978	2 021	2 061	1 940	2 021	2 043	1 976	2 075
— 4	1 881	1 929	1 988	2 053	1 885	1 953	2 012	1 932	2 051
— 2	1 825	1 893	1 960	2 016	1 821	1 890	1 968	1 895	2 022
— 1	1 802	1 864	—	—	—	1 865	—	1 873	1 998
0	1 820	1 839	1 931	1 992	1 755	1 859	1 944	1 863	1 988
1	1 846	1 840	1 923	1 987	—	1 835	—	1 842	1 977
2	1 909	1 870	1 917	1 986	1 881	1 864	1 931	1 894	1 970
3	—	—	1 935	1 985	—	1 880	—	—	2 008
4	2 008	1 966	1 963	2 004	1 934	1 924	1 993	1 996	2 039
6	1 995	1 981	2 009	2 031	1 919	1 965	2 022	2 028	2 070
7	1 948	1 975	2 014	—	—	—	—	2 034	—
8	1 914	1 946	2 006	2 051	1 853	1 958	2 019	1 996	2 082
9	1 932	1 916	2 006	2 052	—	1 914	—	1 962	2 058
10	1 957	1 940	1 986	2 043	1 807	1 880	1 980	2 000	2 045

Serie I: gaas 8,5 mm achter voorzijde van de profielen.
Serie II: gaas 1,5 mm voor voorzijde van de profielen.
Serie III: gaas 18,5 mm achter voorzijde van de profielen.
V = 26,53 m/sec w_o = 2,089 gram.

Een enkele blik op de krommen doet onmiddellijk inzien, dat er een duidelijk verband bestaat tusschen de weerstandsverminderingen die onder de verschillende omstandigheden verkregen werden en de liftcoëfficiënten van het profiel.

Bij alle krommen daalt de weerstandslijn vanaf den invalshoek — 10° nagenoeg als een rechte tot een zeker punt — dat, in verband met het verschil in opstelling van gaas en profielen, niet voor de verschillende krommen bij denzelfden invalshoek ligt — om daarna tot een zeker maximum te stijgen, waarna opnieuw een daling intreedt, welke, voor zoover deze niet buiten de grafiek valt, door een tweede stijging van de weerstandslijn gevolgd wordt.

In dezelfde gebieden, doch met een bijna constante correctie voor den invalshoek, stijgt de c_a-lijn van het enkele profiel aanvankelijk als een rechte lijn om na het bereiken van het hoofdmaximum, gevolgd door een daling en een nieuwe stijging, een tweede maximum te bereiken, waarna tenslotte weder een daling intreedt.

Opgemerkt wordt, dat de gevonden *c_a-a-lijn* van het profiel No. 386 van het Aërodynamisch Laboratorium te Göttingen, waarnaar dit profieltje gecopieerd werd. De verschillen in de waarden van den liftcoëfficiënt voor beide profielen kunnen eenerzijds hun oorzaak vinden in de moeilijkheid een zoo smal profiel bij een lengte van 800 mm juist na te maken, waardoor fouten in de afwerking komen, welke hun invloed op de eigenschappen van het profiel doen

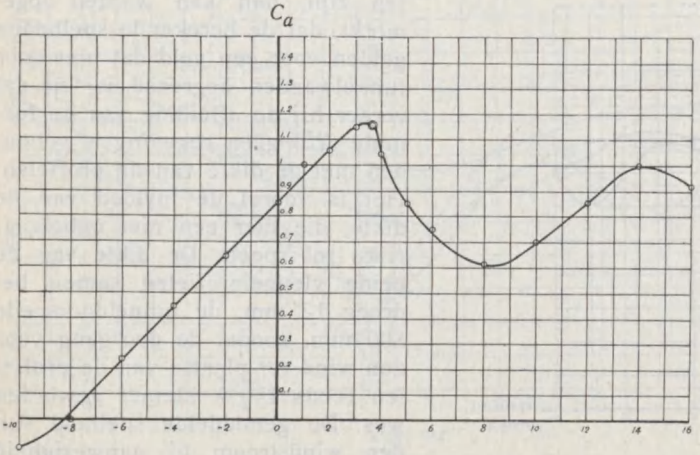


Fig. 25.

De liftcoëfficiënt van het profiel alleen bij verschillende invalshoeken.

gevoelen, terwijl het anderzijds zeer goed mogelijk is, dat het getal van Reynolds hier eveneens een rol speelt.

TABEL No. 3.

Het verloop van de krachten op het profiel loodrecht op de parallelstrooming L^* en de krachten in de richting van die strooming W^* in grammen.

α in graden	Een profiel alleen L	L^* I $2 \cdot a =$ 112 mm	L^* I $2 \cdot a =$ 282 mm	L^* II $2 \cdot =$ 112 mm	Een profiel alleen W	W^* I $2 \cdot a =$ 112 mm
— 10	— 118	511	73	307	108,5	4,0
— 8	2	736	304	489	62,1	— 21,3
— 6	254	895	550	688	45,2	— 36,0
— 4	463	1 053	749	902	38,4	— 43,9
— 2	672	1 207	965	1 088	35,6	— 45,6
— 1	—	1 301	—	—	—	—
0	902	1 317	1 158	1 290	37,6	34,8
1	1 045	—	—	848	—	—
2	1 121	902	1 344	704	43,1	118,7
3	1 191	—	1 136	—	—	—
4	1 100	743	906	628	54,7	170,7
5	887	—	—	—	—	—
6	774	853	735	719	139,5	178,2
8	643	1 166	811	1 080	185,4	160,4
10	729	1 177	940	1 172	222,1	273,4
12	881	—	—	—	260,7	—
14	1 038	—	—	—	270,4	—
16	961	—	—	—	343,8	—
18	—	—	—	—	407,5	—

Lengte profiel: 0,792 m $V = 26{,}53$ m/sec
Diepte profiel: 0,03 m $q = 44$ kg/m²
I = gaas 8,5 mm achter de voorzijde van de profielen.
II = gaas 1,5 mm voor de voorzijde van de profielen.

De nauwe betrekking tusschen de weerstandsvermindering en den liftcoëfficiënt komt verder wel zeer duidelijk uit in de *figuren 26, 27* en *28*, waarin voor drie verschillende gevallen het verloop van den weerstand van het gaas en van den coëfficiënt c_a^* werd uitgezet.

Deze coëfficiënt c_a^* is niet geheel dezelfde als de liftcoëfficiënt c_a. Zij werd namelijk afgeleid uit de waarde verkregen voor de verticale componente van de kracht op het profiel bij aanwezigheid van het gaas. Noemen we deze kracht L^*, en zij D de weerstand van het profiel, dan is:

$$\left.\begin{aligned} L^* &= L \cdot \cos\beta + D \cdot \sin\beta \\ \text{of} \quad c_a^* &= c_a \cdot \cos\beta + c_{wo} \cdot \sin\beta \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (43)$$

Daar β, zooals ook direct uit de grafische voorstellingen blijkt, de grootte van slechts enkele graden heeft en c_{wo} in de beschouwde gebieden steeds belangrijk kleiner blijft dan c_a, zal met vrij groote benadering $c_a^* = c_a$ moeten zijn, wanneer men hierin de waarde van c_a^* voor den hoek α vergelijkt met die van c_a voor het enkele profiel bij den invalshoek $\alpha + \beta$.

De figuren doen zien, dat de maximale waarde van c_a^* hooger is dan die van c_a. Er zijn andere factoren, die hier een rol spelen. De snelheden in de parallelstrooming werden bij de proeven gemeten op een grooten afstand vóór het enkele profiel of vóór het gaas met de profielen. Brengt men echter in een tunnel waarin één profiel is opgesteld het gaas en het tweede profiel aan, terwijl men de snelheid van de parallelstrooming op grooten afstand vóór deze voorwerpen constant houdt, dan zal tengevolge van de vernauwing van den doortocht de snelheid ter plaatse van gaas en profielen stijgen. Deze snelheidsstijging doet, zooals bekend is, zich het meest in de nabijheid van de in de strooming aangebrachte voorwerpen gevoelen en is dus ook bij de profielen vrij sterk merkbaar; deze reageeren hierop door een verhoogde lift en drift. Daar de snelheidsstijging ter plaatse van het gaas en de profielen ook — zij het dan in iets geringere mate — blijft bestaan als de tunnelwanden oneindig ver weg gebracht worden, is de verhoogde werking van de profielen ook in de vrije strooming merkbaar.

Oogenschijnlijk is dit niet geheel in overeenstemming met de theorie, want bij onze theoretische beschouwingen kwamen we tot de conclusie, dat de invloed van het gaas op de werking van de profielen uitsluitend bestond in het optreden van een verticale snelheidscomponente, welke door draaiing van de profielen kon worden geneutraliseerd, zoodat de maximale circulatie om een profiel dezelfde bleef voor het stelsel van twee profielen met gaas of zonder gaas. We kunnen evenwel opmerken, dat de tegenstrijdigheid slechts schijnbaar is, daar we bij onze theoretische beschouwingen zoowel de dikten van de profielen als die van de draadjes van het gaas buiten beschouwing lieten en het juist deze afmetingen zijn, die snelheidsverhoogingen en daarmede de circulatievergrootingen veroorzaken.

Bij de vergelijking van de weerstanden van het gaas zonder en met profielen treedt eenzelfde verschijnsel op. Stel, dat men bij het gaas in de parallelstrooming twee profielen aanbrengt, zoodanig inge-

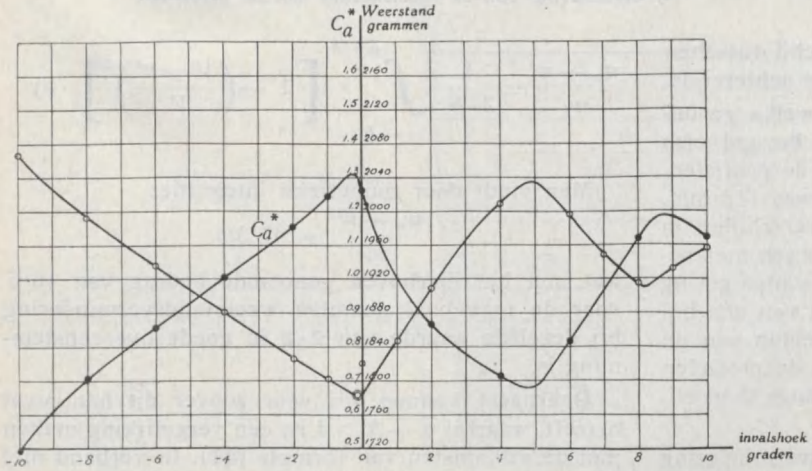


Fig. 26.

Gaas 8,5 mm achter den voorkant van de profielen.
Onderlinge afstand van de profielen 112 mm.
Het verloop van de weerstanden van het gaas en van de coëfficienten c_a^* bij verandering van de invalshoeken van de profielen.

steld, dat de circulatie juist nul is, dan zullen, tengevolge van de dikte-afmetingen boven en onder de profielen snelheidsverhoogingen in de strooming optreden, die tusschen de profielen gesommeerd moeten worden, met het gevolg dat de weerstand van het gaas boven het oorspronkelijk bedrag zal stijgen. Heeft men nu voor een bepaalden stand van de profielen een weerstand voor het er tusschen geplaatste gaas gevonden, die dezelfde is als de weerstand van het gaas zonder profielen, dan volgt uit het voorgaande, dat in dat geval door de profielen reeds een weerstandsvermindering moet zijn bereikt, of met andere woorden:

„Bij een weerstandsvermindering van nul procent heeft de circulatie reeds een zekere positieve waarde".

Bij een verdere vergelijking van de krommen merken we nog op, dat de invloed van een kleine verplaatsing van het gaas naar de voorzijde of achterzijde van de profielen weinig invloed op de grootte van de weerstandsvermindering heeft, hetgeen in overeenstemming is met wat hieromtrent aan het einde van hoofdstuk I werd opgemerkt. Uit de krommen wordt wel de indruk verkregen, dat bij de plaatsing van het gaas 18,5 mm achter de voorzijde van de profielen de te verkrijgen weerstandsvermindering iets kleiner is dan in de beide andere gevallen, wat in overeenstemming is met de waarschijnlijke drukverdeeling op het profiel; aan de voorzijde daarvan zal een grooter drukverschil tusschen onder- en bovenkant bestaan, dan aan de achterzijde.

De grootste weerstandsvermindering welke gevonden werd, bedroeg ruim 16%. Hierbij bevond zich het gaas 1,5 mm vóór den voorkant van de profielen, de onderlinge afstand van de profielen was 112 mm, de invalshoek 10′. Daar de gevonden verschillen in de grootte van de weerstandsverminderingen met betrekking tot de opstelling van het gaas echter gering zijn, zullen we dan ook niet de waarden van een bepaalde serie metingen, doch de gemiddelden van de voor bepaalde onderlinge afstanden van de profielen gevonden waarden vergelijken met de langs theoretischen weg gevonden uitkomsten.

In de eerste plaats kan de weerstandsvermindering berekend worden met behulp van vergelijking (**39**), wanneer hierin voor de snelheden $V - u'$ de bij den profielafstand $2 \cdot a = 112$ *mm* gemeten waarden, vermeld in *tabel No. 1*, worden gesubstitueerd. De relatieve weerstandsvermindering is bepaald door:

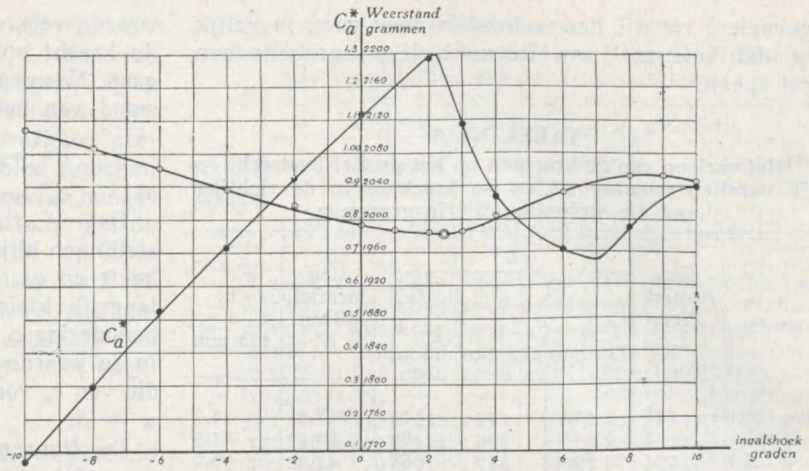


Fig. 27.
Gaas 8,5 mm achter den voorkant van de profielen.
Onderlinge afstand van de profielen 282 mm.
Het verloop van de weerstanden van het gaas en van de coëfficiënten c_a^* bij verandering van de invalshoeken van de profielen.

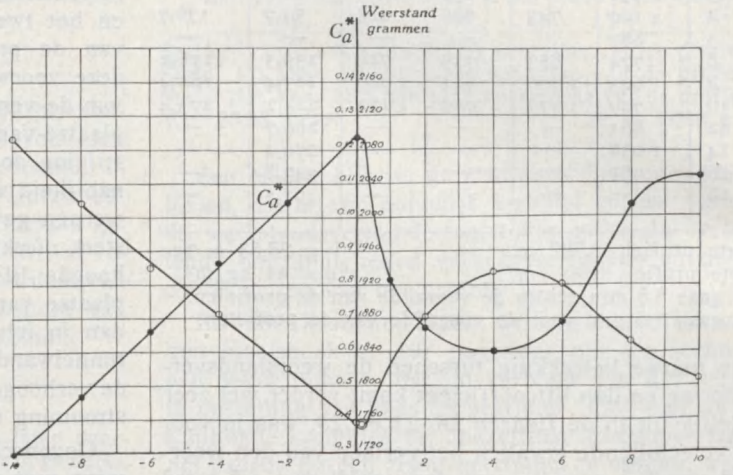


Fig. 28.
Gaas 1,5 mm voor den voorkant van de profielen.
Onderlinge afstand van de profielen 112 mm.
Het verloop van de weerstanden van het gaas en van de coëfficiënten c_a^* bij verandering van de invalshoeken van de profielen.

$$\frac{w_o - w}{w_o} = \frac{1}{2 \cdot h} \cdot \int_{a-h}^{a+h} \left[1 - \left(\frac{V - u'}{V} \right)^2 \right] \cdot dy$$

Men vindt door numerieke integratie:

$$\frac{w_o - w}{w_o} = 15{,}3\%$$

wat met het hierboven genoemde bedrag van 16% voor de maximaal gemeten weerstandsvermindering bij dezelfde waarde van $2 \cdot a$ in goede overeenstemming is.

Daarnaast kunnen wij voor zoover dit het geval betreft, waarbij $a - h > t$ is, een vergelijking maken met de uitkomsten van formule (**41**). In verband met de omstandigheid, dat de gemeten snelheidsverminderingen geringer zijn dan de berekende, is geen berekening uitgevoerd voor die gevallen, waarbij de parabolische benaderingsformule voor de snelheden zou moeten worden toegepast. Daarentegen is voor

alle gevallen nog de weerstandsvermindering volgens formule (**10**) bepaald.

TABEL No. 4.

Vergelijking van de gemeten en de met behulp van de formules (10) en (41) berekende maximale weerstandsverminderingen van het gaas tusschen de profielen.

$2 \cdot a$ in mm	Gemeten weerstandsvermindering					Berekende weerstandsvermindering volgens formule	
	Serie I in grammen	Serie II in grammen	Serie III in grammen	Gemiddeld in grammen	Gemiddeld in % van w_0	(10) in % van w_0	(41) in % van w_0
112	306	335	—	320	15,3	20	—
142	263	256	247	255	12,2	15,7	—
192	174	155	157	162	7,8	11,6	12,3
282	107	—	—	107	5,1	7,9	8,0

$V = 26{,}53$ m/sec $\quad w_0 = 2089$ gram
$c_{a\,max} = 1{,}17$ $\quad t = 0{,}03$ m $\quad 2 \cdot h = 0{,}1$ m

De uitkomsten van deze berekeningen zijn met de gemeten maximale weerstandsverminderingen vermeld in *tabel No. 4*. Uit de tabel blijkt, dat de berekende waarden belangrijk hooger zijn dan de gemeten, wat ook al verwacht kon worden op grond der in *tabel No. 1* gegeven uitkomsten voor de snelheid.

3. De benoodigde hoekverdraaiing van het profiel, tengevolge van de door het gaas veroorzaakte storingsstrooming.

De maximum liftcoëfficiënt van het enkelvoudige profiel werd gemeten bij een invalshoek α ter grootte van 3° 45′. De invalshoeken, waarbij de maximale weerstandsverminderingen werden gevonden, zijn vereenigd in *tabel No. 5*.

Evenals dit geschiedde voor de maximale weerstandsverminderingen, werden ook hier in de verschillende gevallen de gemiddelde waarden genomen.

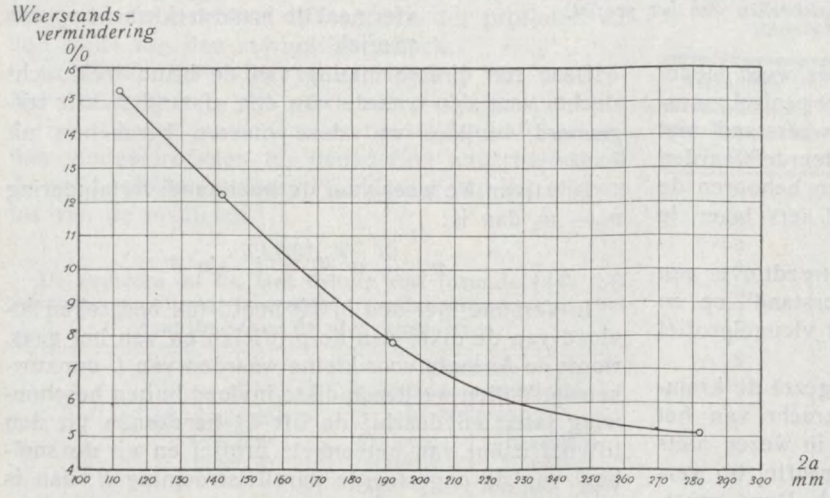


Fig. 29.

Het verloop van de weerstandsvermindering als functie van den onderlingen afstand der profielen.

Het verschil tusschen den invalshoek $\alpha = 3° 45'$ en den gemiddelden invalshoek bij de maximale weerstandsvermindering levert nu de gemiddelde waarde van den hoek β, waarover de strooming ter plaatse van het profiel gedraaid is. In dezelfde tabel werden tevens de met behulp van de formules (**17**) en (**38**) berekende hoeken genoteerd.

TABEL No. 5.

De hoekverdraaiingen van de profielen bij de maximum weerstandsvermindering van het gaas.

$2 \cdot a$ in mm	Invalshoek bij maximum weerstandsvermindering				β	β berekend	
	Serie I	Serie II	Serie III	Gemiddeld		form. (17)	form. (38)
112	— 10′	10′	—	0′	3° 45′	4° 52′	5° 06′
142	45′	1°	1° 10′	58′	2° 47′	3° 51′	4° 45′
192	2° 10′	1° 50′	1° 50′	1° 57′	1° 48′	2° 51′	3° 81′
282	2° 30′	—	—	2° 30′	1° 15′	1° 56°	2° 22′

$a = 3° 45'$ $\quad c = 0{,}600$ $\quad c_v = 0{,}367$
$2 \cdot h = 0{,}1$ m $\quad c_{a\,max} = 1{,}17$ $\quad b = 0{,}0075$ m

Uit de *tabel* blijkt, dat de bij de metingen gevonden waarden in algemeenen gang geheel aan de verwachtingen voldoen, doch dat ook thans weer de theoretisch berekende waarden belangrijk hooger zijn dan de gemeten en wel ongeveer in dezelfde verhouding, als dat bij' de weerstandsverminderingen het geval was. Met een zoo groot aantal storende factoren als de dikte van de profielen, de dikte en de inhomogeniteit van het gaas mede in verband met het raampje, en de plaatsing van het gaas ten opzichte van den voorkant van de profielen, kan echter geen nauwkeurig resultaat worden verwacht.

4. De krachten op het profiel in de richting van de parallelstrooming.

Ten einde vast te stellen, dat in het stelsel gaasscherm plus profielen inderdaad een krachtcomponent in de richting tegengesteld aan de richting van de parallelstrooming werkt, werden in het geval, dat het gaas zich 8,5 mm achter de voorzijde van de profielen bevond en de profielen op een onderlingen afstand van 112 mm waren opgesteld, de krachten W*, welke in de richting van de parallelstrooming op het profiel werkten, bij verschillende invalshoeken gemeten. De uitkomsten van deze meting werden reeds vermeld in *tabel No. 3*, waarin ook opgenomen werden de resultaten van de weerstandsmeting op het enkele profiel, terwijl in *fig. 31* beide krommen grafisch zijn neergelegd.

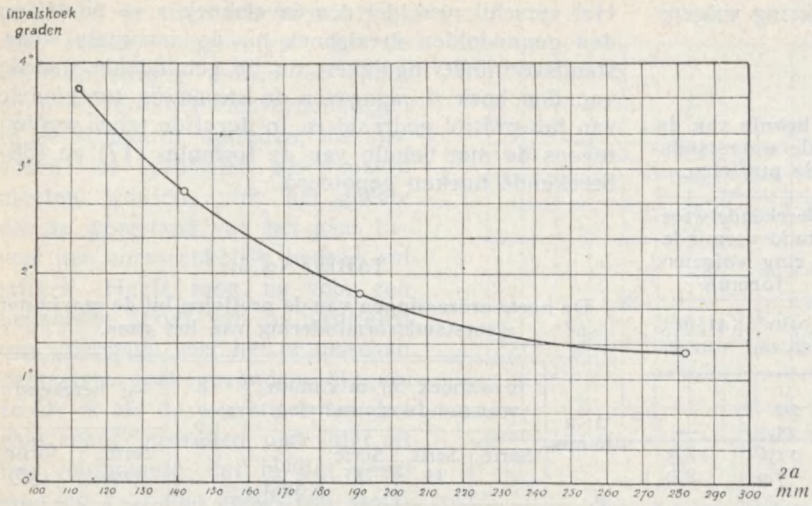


Fig. 30.

Het verloop van de toename van den invalshoek bij de maximale weerstandsvermindering als functie van den onderlingen afstand van de profielen.

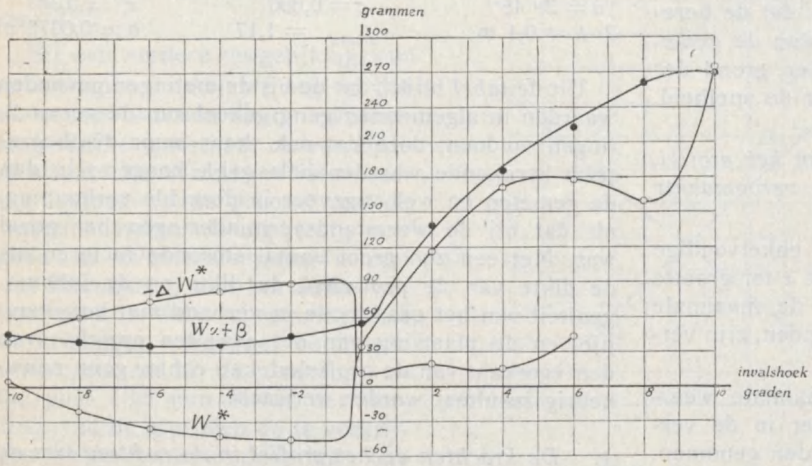


Fig. 31.

Het verloop van de krachten op het profiel in de richting van de parallelstrooming bij verandering van de invalshoeken van het profiel.

Daar bij deze metingen, zooals reeds werd medegedeeld, blikjes op de uiteinden van het profiel moesten worden gesoldeerd, waarvan de weerstand niet geëlimineerd kon worden, zijn de genoteerde waarden die van profiel en blikjes te zamen en behooren de krommen in *fig. 31* in werkelijkheid iets lager te liggen.

Zooals uit de figuur duidelijk blijkt, treedt over een belangrijk gebied een „negatieve weerstand" op en is in dat gebied de trekkracht van het vleugelprofiel dus zeker positief.

In dezelfde figuur is voorts nog uitgezet de kromme — $\triangle W^*$, welke de bruto trekkracht van het profiel genoemd kan worden, daar zij in wezen niets anders is dan de trekkracht van het profiel bij verwaarloozing van den profielweerstand. Deze grootheid is berekend volgens de formule:

$$W_\alpha^* - W_{\alpha+\beta} \cdot \cos\beta = \triangle W^*,$$

waar W_α^* den weerstand van het profiel onder den invloed van het gaas bij den meetkundigen instelhoek α voorstelt en $W_{\alpha+\beta}$ de weerstand van het enkele profiel bij een invalshoek $\alpha + \beta$.

5. *Het verband tusschen de weerstandsvermindering van het gaas en de krachten op de profielen in de richting tegengesteld aan die van de parallelstrooming.*

Conclusie II, betrekking hebbende op een gaasscherm tusschen twee wervels, luidde dat de som van de krachten, die op de wervels in de richting tegengesteld aan die van de parallelstrooming werken, bij benadering gelijk is aan de helft van de weerstandsvermindering van het gaas. Uit conclusie IV volgt, dat voor punten, die op een grooteren afstand onder het profiel liggen dan één profieldiepte, het profiel bij benadering door een wervel mag worden vervangen. Verstaan we weder onder de bruto trekkracht van een profiel de door den weerstand van het gaas ontstane en tegen de parallelstrooming in gerichte componente van de lift op dat profiel, dan volgt uit beide conclusies tezamen, dat de weerstandsvermindering van een zich tusschen twee vleugelprofielen bevindend gaasscherm, waarvan de randen zich niet verder uitstrekken dan tot een afstand van één profieldiepte van de profielen, bij benadering gelijk is aan tweemaal de som van de bruto trekkrachten op de profielen, of dus bij benadering gelijk is aan viermaal de bruto trekkracht op één profiel.

Daar een directe meting van de bruto trekkracht slechts voor één waarde van den afstand $2 \cdot a$ is uitgevoerd, zullen we deze moeten berekenen uit $L \cdot \sin\beta$.

Schrijven we weer voor de weerstandsvermindering $w_o - w$, dan is:

$$w_o - w \leqq 4 \cdot L \cdot \sin\beta.$$

In verband met den in dit hoofdstuk besproken invloed van de dikte van de profielen en van het gaas, wordt de formule voor kleine waarden van L onnauwkeurig. Willen we dezen dikte-invloed buiten beschouwing laten en daarbij de lift L_o berekenen uit den liftcoëfficiënt van het enkele profiel en uit de snelheid van de ongestoorde parallelstrooming V, dan is het beter de formule slechts toe te passen voor die gevallen, waarin de maximale weerstandsvermindering optreedt, en dus te schrijven:

$$(w_o - w)_{max} = 4 \cdot L_{o\,max} \cdot \sin\beta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (44)$$

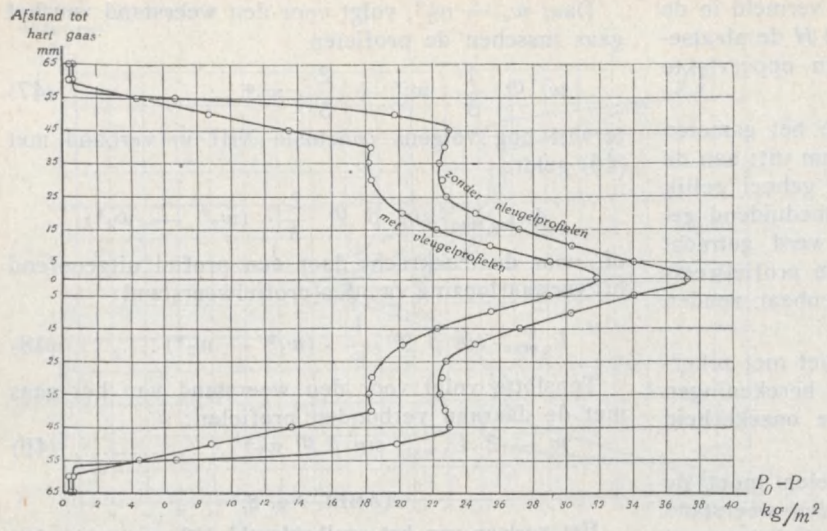


Fig. 32.

Het verloop van de totale energiedrukken 112 mm achter het gaasscherm met en zonder vleugelprofielen.

In hoeverre gaat (44) nog door als de profielen zich dichter bij de randen van het gaas bevinden dan de diepte van één profiel?

Theoretisch is deze vraag niet dadelijk te beantwoorden. In *tabel No. 6* laatste kolom zijn echter de waarden van $4 \cdot L_{o\,max} \cdot \sin\beta$, welke verkregen werden uit den maximalen liftcoëfficiënt van het enkele profiel, 1,17, de diepte t en de lengte l van het profiel, de snelheid van de parallelstrooming V en de gemeten hoekverdraaiing van het profiel volgens *tabel No. 5*, ook berekend voor die gevallen, waarin de afstand van de profielen tot de randen van het gaas minder was dan eenmaal de profieldiepte. De uitkomsten toonen aan, dat ook voor die gevallen formule (44) doorgaat, zoodat we β weder den storingsinvalshoek noemende, mogen neerschrijven:

Conclusie XIII: De maximum weerstandsvermindering van een gaasscherm tusschen twee vleugelprofielen bedraagt bij benadering viermaal het product van de maximum lift op één der profielen en den sinus van den storingsinvalshoek.

Conclusie XIV: Bij verwaarloozing van de profielweerstanden is de maximale weerstandsvermindering van een gaasscherm met twee daaraan verbonden vleugelprofielen bij benadering anderhalf maal de maximale weerstandsvermindering van het scherm los van de profielen.

TABEL No. 6.

De gemeten en de, met behulp van formule (44), berekende maximale weerstandsverminderingen van het gaas tusschen de vleugelprofielen.

$2 \cdot a$ in mm	β gemeten (volgens tabel 5)	Maximale weerstandsvermindering in grammen	
		gemeten (volgens tabel 4)	berekend (volgens formule (44))
112	3° 45′	320	320
142	2° 47′	255	238
192	1° 48′	162	154
282	1° 15′	107	107

$c_{a\,max} = 1{,}17$ $t = 0{,}03$ m $l = 0{,}792$ m $V = 26{,}53$ m/sec

6. De impulsmetingen.

Ter algemeene contrôle van de gevonden uitkomsten werden op 112 mm achter het gaasscherm een tweetal impulsmetingen uitgevoerd. Van deze metingen had de eerste betrekking op het gaasscherm alleen, terwijl bij de tweede meting de profielen op een onderlingen afstand van 112 mm zoodanig waren opgesteld, dat zij een maximale weerstandsvermindering gaven aan het gaas, dat zich 1½ mm voor den voorkant van de profielen bevond.

Voor de berekening van de impulsverliezen werd gebruik gemaakt van de formule van Prandtl-Tietjens, Hydro- und Aeromechanik, Zweiter Band, Berlin, 1931, blz. 143. Noemt men w^* het impulsverlies per eenheid van lengte van het gaasscherm, P_o, q_o en p_o respectievelijk den totalen energiedruk, den stuwdruk en den statischen druk van de ongestoorde parallelstrooming en P, q en p dezelfde grootheden op de plaats van de meting, dan luidt deze formule:

$$w^* = \int^D (P_o - P) \cdot dy + \frac{\varrho}{2} \cdot \int^D (v_1 - v) \cdot (v_1 + v - 2V) \cdot dy \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (45)$$

waarin: $v = \sqrt{\frac{2 \cdot (P - p)}{\varrho}}$, $v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_o - p)}{\varrho}}$,

terwijl het teeken $\int^D$ aangeeft, dat de integratie is uit te strekken over het gebied D, waarin de druk P kleiner is dan P_o.

TABEL No. 7.

Het verloop van het snelheidsveld 112 mm achter het gaasscherm zonder de vleugelprofielen.

Afstanden uit de hartlijn van het gaas in mm	$P_o - P$ in kg/m²	$p_o - p$ in kg/m²	Vx in m/sec	H in kg/m²
65	0,480	7,896	28,68	0,520
60	0,508	8,004	28,70	0,536
55	6,704	8,334	27,02	7,088
50	19,904	9,164	23,07	19,592
45	23,048	9,512	22,08	22,272
40	22,844	9,700	22,22	22,160
35	22,416	9,736	22,39	21,832
30	22,688	9,800	22,31	22,064
25	22,888	9,884	22,27	22,248
20	24,488	10,104	21,77	23,584
15	27,184	10,424	20,87	25,728
10	30,308	10,716	19,76	28,016
5	34,056	11,012	18,31	30,456
0	37,184	11,192	16,97	32,134

$V = 26{,}53$ m/sec $w_1^* = 0{,}792 \cdot \int^D H \cdot dy = 2{,}074$ kg $= 2074$ gram $q_o = 44$ kg/m²

De resultaten van de metingen zijn vermeld in de *tabellen 7* en *8*, waarin onder het hoofd H de plaatselijke impulsverliezen per eenheid van oppervlakte werden genoteerd.

Zooals uit de tabellen volgt, strekte het gemeten gebied zich over een hoogte van 130 mm uit; aan de randen daarvan was $P_o - P$ nog niet geheel gelijk aan 0, alhoewel haar waarde reeds onbeduidend geworden was. Door deze begrenzing werd getracht buiten het gebied te blijven, waarin de profielweerstanden zich in de impulsverliezen kenbaar zouden maken.

Of deze opzet geheel gelukt is, is niet met zekerheid te zeggen. Zooals echter uit de berekeningen zal blijken, doet de hierdoor ontstane onzekerheid weinig afbreuk aan de resultaten.

Bij de meting zonder vleugelprofielen moet de waarde van w^* overeenstemmen met den weerstand van het gaas per eenheid van lengte. Geïntegreerd volgens den trapeziumregel, vindt men uit *tabel 7* voor den weerstand van het scherm bij een gaaslengte van 0,792 m:

$$w_o = 2074 \text{ gram},$$

terwijl de weerstand van het gaasscherm volgens de directe meting 2089 gram bedroeg, zoodat een zeer goede overeenstemming bereikt werd.

Noemen we bij onze volgende beschouwingen het impulsverlies gemeten achter het gaasscherm zonder profielen w_1^* en achter het gaas met de profielen w_2^* en nemen we aan, dat onze doelstelling om de profielweerstanden buiten de gemeten impulsverliezen te houden volkomen gelukt is, dan moet volgens conclusie XIV:

$$w_1^* - w_2^* \leqq \frac{3}{2} \cdot (w_o - w),$$

zoodat voor de weerstandsvermindering van het gaas te schrijven is:

$$w_o - w \leqq \frac{2}{3} \cdot (w_1^* - w_2^*) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (46)$$

Daar $w_o = w_1^*$, volgt voor den weerstand van het gaas tusschen de profielen

$$w \leqq \frac{1}{3} \cdot w_1^* + \frac{2}{3} \cdot w_2^* \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (47)$$

terwijl nog volgens conclusie XIII in verband met (46) geldt:

$$4 \cdot L_{o\,max} \cdot \sin \beta \leqq \frac{2}{3} \cdot (w_1^* - w_2^*)$$

of, voor de trekkracht door een profiel uitgeoefend bij verwaarloozing van den profielweerstand:

$$L_{o\,max} \cdot \sin \beta \leqq \frac{1}{6} \cdot (w_1^* - w_2^*) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (48)$$

Tenslotte volgt voor den weerstand van het gaas met de daaraan verbonden profielen:

$$w - 2 \cdot L_{o\,max} \cdot \sin \beta \leqq w_2^* \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (49)$$

TABEL No. 8.

Het verloop van het snelheidsveld 112 mm achter het gaasscherm met vleugelprofielen.

Afstanden uit de hartlijn van het gaas in mm	$P_0 - P$ in kg/m²	$p_0 - p$ in kg/m²	V_X in m/sec	H in kg/m²
65	0,400	6,100	28,20	0,424
60	0,376	5,976	28,17	0,400
55	4,464	5,988	26,99	4,640
50	8,844	6,136	25,70	9,000
45	13,556	6,416	24,29	13,464
40	18,368	6,644	22,72	17,696
35	18,160	6,680	22,81	17,536
30	18,416	6,676	22,72	17,744
25	19,000	6,676	22,51	18,224
20	20,208	6,836	22,14	19,368
15	22,300	7,100	21,47	20,952
10	25,464	7,436	20,38	23,384
5	28,960	7,736	19,09	25,808
0	31,788	7,964	17,96	27,528

Onderlinge afstand van de profielen 112 mm.
Gaas 1,5 mm voor den voorkant van de profielen.
$c_a = 1{,}17$ $q_o = 44$ kg/m² $V = 26{,}53$ m/sec
$t = 0{,}03$ m $w_2^* = 0{,}792 \cdot \int_D^H dy = 1{,}602$ kg $= 1602$ gram.

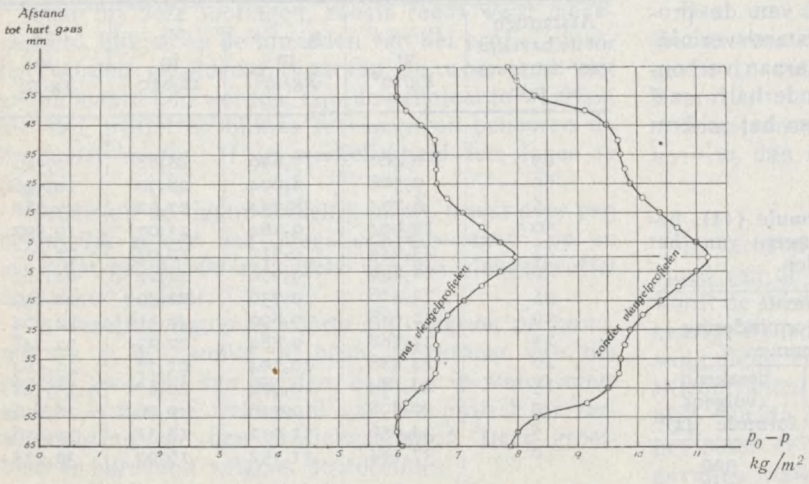


Fig. 33.

Het verloop van de statische drukken 112 mm achter het gaascherm met en zonder vleugelprofielen.

Ter contrôle van de formules (46) tot en met (49) geeft *tabel No. 9* een overzicht van de met behulp van wegingen verkregen waarden en die, welke uit de impulsverliezen berekend werden, de laatste onder het hoofd A bij aanname, dat geen profielweerstanden en onder het hoofd B, dat niet verwacht toch het grootste gedeelte van de profielweerstanden in de impulsverliezen werd opgenomen. Hierbij wordt nog opgemerkt, dat de in de tweede kolom voorkomende waarde $L_{o\,max} \cdot \sin \beta$ berekend werd uit de maximum lift op het enkele profiel en de gemeten waarde van β.

Let men op het feit, dat de trekkracht van het profiel zonder den profielweerstand, berekend vol-

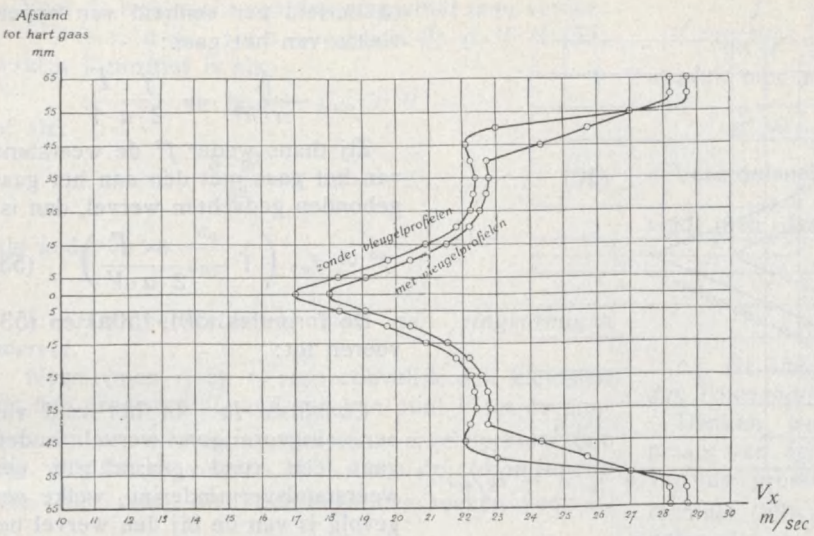


Fig. 34.

$V = 26{,}53$ *m/sec*
Het verloop van de horizontale snelheidscomponenten 112 mm achter het gaasscherm met en zonder vleugelprofielen

gens de gemiddelde waarde van β, 80 gram zou bedragen, — zoodat het in *tabel No. 9* gevonden bedrag van 76 gram waarschijnlijk wel iets aan den lagen kant ligt —, dan blijkt uit de tabel, dat tusschen de uit verschillende wegingen verkregen resultaten en de op grond van de conclusies XIII en XIV verkregen uitkomsten der impulsmetingen een zeer goede overeenstemming bestaat, zoodat de juistheid van genoemde conclusies hiermede opnieuw wordt bevestigd.

TABEL No. 9.

Overzicht van de uitkomsten van eenige belangrijke gegevens verkregen met behulp van wegingen en die berekend uit gemeten impulsverliezen.

Omschrijving :	Met behulp van wegingen verkregen gram	Uit impulsverliezen A gram	Uit impulsverliezen B gram
Weerstand van het gaas alleen:	w_0 2 089	$w_1{}^*$ 2 074	2 074
Minimum weerstand van het gaas onder den invloed van de vleugelprofielen :	w 1 754	$\frac{w_1{}^*}{3} + \frac{2\,w_2{}^*}{3}$ 1 759	1 726
Maximale weerstandsvermindering van het gaas onder den invloed van de vleugelprofielen:	$w_0 - w$ 335	$\frac{2}{3}(w_1{}^* - w_2{}^*)$ 315	348
Trekkracht van één profiel onder den invloed van het gaas bij verwaarloozing van den profielweerstand:	$L_{o\,max} \cdot \sin\beta$ 76	$\frac{w_1{}^* - w_2{}^*}{6}$ 79	87
Minimumweerstand van gaas met daaraan verbonden profielen bij verwaarloozing van de profielweerstanden :	$w - 2 \cdot L_{o\,max} \cdot \sin\beta$ 1 602	$w_2{}^*$ 1 602	1 552

Gaas 1,5 mm voor de voorzijde van de profielen.
$V = 26{,}53$ m/sec $c_{a\,max} = 1{,}17$ $2 \cdot a = 122$ mm
$t = 0{,}03$ m profiellengte $= 0{,}792$ m $\beta = 3°\ 35'$

In de *figuren 32* tot en met *36* werden de gegevens verkregen uit de impulsmetingen grafisch uitgezet. De *figuren 32, 33* en *34* doen zien, dat door het aanbrengen van de vleugelprofielen de totale energiedruk en de statische druk in de strooming op een afstand van 112 mm achter het gaas zijn toegenomen, terwijl ook de snelheid van de strooming daar ter plaatse gestegen is. *Fig. 35* geeft tevens een duidelijk beeld van het smaller worden van het wervelgebied achter het gaas indien de profielen aangebracht worden. Een soortgelijk verschijnsel werd door Townend eveneens opgemerkt. *Fig. 36* geeft tenslotte het verschil in de gemeten impulsverliezen aan. In deze figuur demonstreeren zich de verschillen in de breedte van de wervellagen voor gaasscherm en raampje door de uitloopers van de kromme.

HOOFDSTUK III.

De Townend-ring.

Alhoewel het verleidelijk is te zoeken naar perspectieven, welke door de voorgaande beschouwingen worden geopend, zullen we toch ons theoretisch onderzoek voortzetten en thans bezien in hoeverre de gevonden conclusies van toepassing blijven, indien we afstappen van het tweedimensionale probleem en we te doen krijgen met het geval van den Townend-ring. We zullen daarbij de voor den ring geldende conclusies, welke qualitatief gelijkluidend zijn met die voor het tweedimensionale geval, aanduiden met hetzelfde cijfer onder toevoeging van de letter *a*.

Laten we ook nu beginnen met onzen opzet aanvankelijk zoo eenvoudig mogelijk te houden en denken we ons daartoe den ring vervangen door een enkelen wervel.

a. De strooming door een cirkelvormig gaasscherm onder den invloed van een stationnairen ringvormigen wervel in eerste benadering.

Veronderstellen we, dat zich in de parallelstrooming met snelheid V een ringvormige stationnaire wervel bevindt met in het centrum daarvan een gaasscherm met cirkelvormig oppervlak. Laat de straal van den wervelring a zijn, de wervelsterkte Γ en de straal van het gaasscherm h.

Nemen we ook nu aan, dat a groot is ten opzichte van h, dan is de storingssnelheid u' afkomstig van den wervel ter plaatse van het gaas, zooals hierna zal worden afgeleid, $\frac{\Gamma}{2 \cdot a}$, en kunnen we in overeenstemming met (**18a**) schrijven:

$$f = \tfrac{1}{2} \cdot k \cdot \varrho \cdot (V - \frac{\Gamma}{2 \cdot a} + u)^2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (50)$$

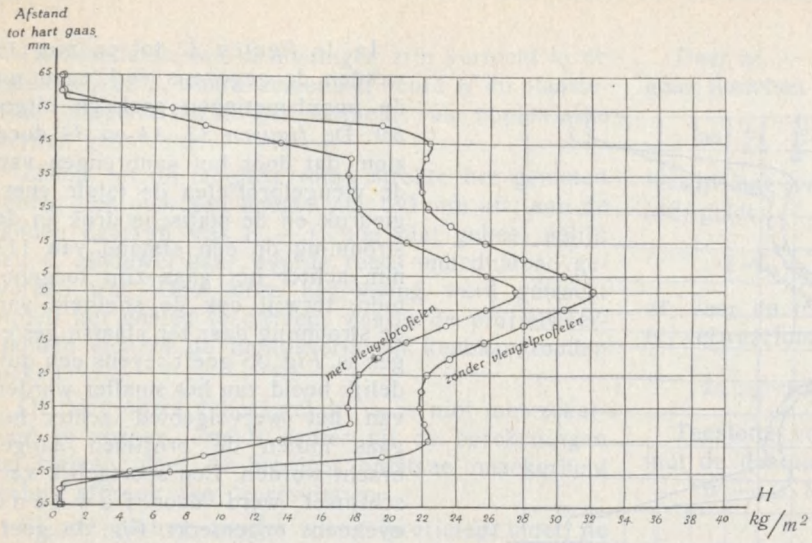


Fig. 35

Het verloop van de impulsverliezen 112 mm achter het gaasscherm met en zonder vleugelprofielen.

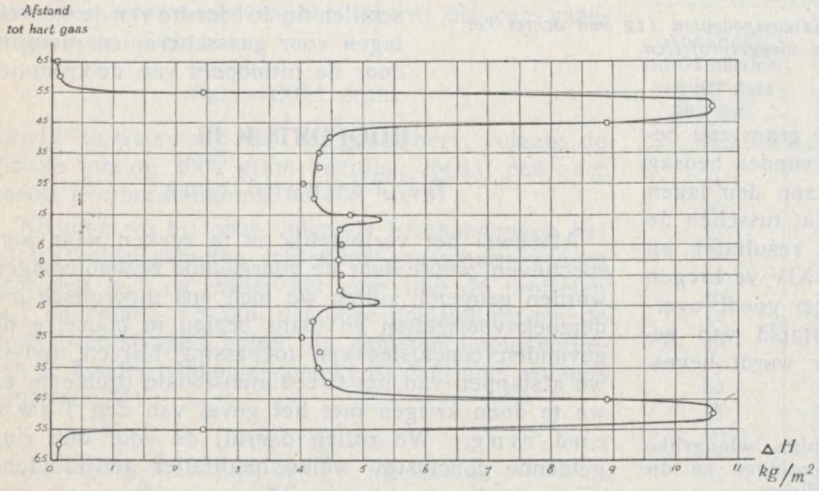


Fig. 36

Het verloop van het verschil in de impulsverliezen 112 mm achter het gaasscherm indien geen en indien wel vleugelprofielen zijn aangebracht,

en daar ook nu:

$$u \mathrel{\underline{\underline{\wedge}}} - \frac{f}{2 \cdot \varrho \cdot V},$$

vindt men op overeenkomstige wijze als dit voor het tweedimensionale geval geschiedde:

$$f \mathrel{\underline{\underline{\wedge}}} f_o \cdot \left(1 - \frac{\Gamma}{a \cdot V}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (50a)$$

De hoeveelheid weg te persen vloeistof of de bronsterkte is thans:

$$Q = - \pi \cdot h^2 \cdot u_{\wedge} \mathrel{\underline{\underline{\wedge}}} \frac{\pi \cdot h^2 \cdot f}{\varrho \cdot V}$$

en de storingsstrooming v in radiale richting op de plaats van een wervelelement:

$$v = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot a^2} \mathrel{\underline{\underline{\wedge}}} \frac{h^2 \cdot f}{4 \cdot \varrho \cdot a^2 \cdot V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (51)$$

De tengevolge van deze strooming op den ringvormigen wervel werkende kracht tegen de parallelstrooming in wordt nu:

$$K = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot \varrho \cdot \Gamma \cdot v \mathrel{\underline{\underline{\wedge}}} \frac{\pi \cdot h^2 \cdot f \cdot \Gamma}{2 \cdot a \cdot V} \ldots \quad (52)$$

of herleid per eenheid van oppervlakte van het gaas:

$$\frac{K}{\pi \cdot h^2} = \frac{f \cdot \Gamma}{2 \cdot a \cdot V}$$

Zij thans weder f^* de weerstand van het gaas met den aan het gaas gebonden gedachten wervel, dan is:

$$f^* \mathrel{\underline{\underline{\wedge}}} f_o \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot \Gamma}{2 \cdot a \cdot V}\right) \quad (53)$$

De formules (50), (50a) en (53) voeren tot:

Conclusie Ia: In het veld van een ringvormigen wervel ondergaat een rond gaasscherm een weerstandsvermindering, welke een gevolg is van de bij den wervel behoorende circulatie; de vermindering is in eerste benadering evenredig met den oorspronkelijken weerstand en met de wervelsterkte gedeeld door de snelheid, terwijl zij omgekeerd evenredig is met den straal van den wervelring.

Conclusie IIa: Indien in het veld van een wervelring een gaasscherm geplaatst wordt, zal tengevolge van de door den weerstand van het gaas opgewekte storingsstrooming een kracht op den ring worden uitgeoefend, die tegengesteld gericht is aan de richting van de parallelstrooming. De grootte van deze kracht is bij benadering gelijk aan de helft van de weerstandsvermindering door het gaasscherm ondervonden.

Beschouwen we den Townend-ring bij benadering als een wervel en verwaarloozen we de onderlinge beïnvloeding van de afzonderlijke elementen van den ring, dan vindt men voor den storingsinvalshoek met behulp van (51)

$$tg\ \beta = \frac{v}{V} = \frac{h^2 \cdot f}{4 \cdot \varrho \cdot a^2 \cdot V^2} = \frac{c \cdot h^2}{8 \cdot a^2} \quad \ldots\ldots \quad (54)$$

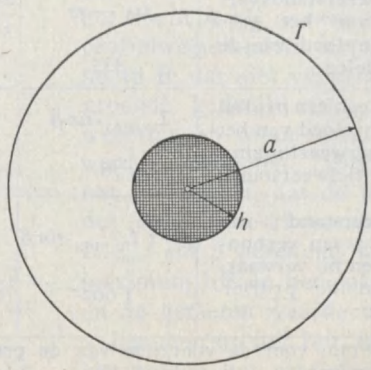


Fig. 37.

Voor de trekkracht van den ring vindt men verder:

$$T = \pi \cdot a \cdot (c_a \cdot \sin\beta - c_{wo} \cdot \cos\beta) \cdot \varrho \cdot V^2 \cdot t \quad (55)$$

waarin T positief is als:

$$c_a \cdot \operatorname{tg}\beta - c_{wo} > 0$$

of als:

$$\frac{8 \cdot a^2}{h^2} < m \cdot c \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (56)$$

als weder $m = \dfrac{c_a}{c_{wo}}$.

b. Het snelheidsveld van den ringvormigen wervel.

Noemt men r_1 en r_2 respectievelijk den kleinsten en den grootsten afstand van een punt P tot de punten van een wervelring met een wervelsterkte Γ (zie *fig. 38*), dan is volgens H. Lamb de stroomfunctie van het veld, met het negatieve teeken voor Γ,

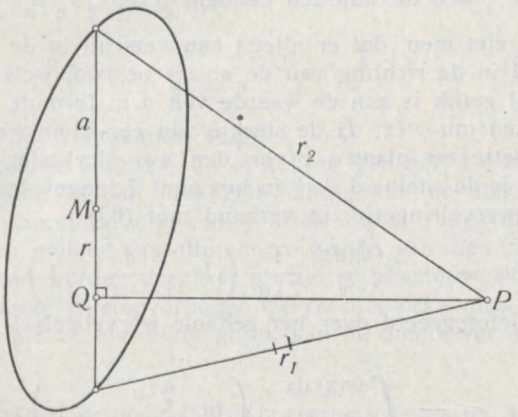


Fig. 38.

daar de snelheid binnen den ring tegen de parallelstrooming in gericht is:

$$\psi = \frac{\Gamma}{2 \cdot \pi} \cdot (r_1 + r_2) \cdot \left\{ K \cdot (k) - E \cdot (k) \right\} \ldots\ldots \quad (57)$$

waarin de modulus van de elliptische functies gelijk is aan:

$$k = \frac{r_2 - r_1}{r_2 + r_1}.$$

Noemt men den straal van den wervelring a en denkt men zich P in het vlak van den ring samenvallend met Q, dan is, den afstand van het middelpunt M van den ring tot Q hierbij $= r$ stellend:

$$r_2 = a + r, \qquad r_1 = a - r.$$

Met behulp van deze waarden gaat (57) over in:

$$\psi = \frac{a \cdot \Gamma}{\pi} \cdot \left\{ K \cdot \left(\frac{r}{a}\right) - E \cdot \left(\frac{r}{a}\right) \right\} \ldots\ldots \quad (58)$$

Nu is ψ zoodanig gedefinieerd, dat de snelheidscomponent loodrecht op het vlak van den ring gegeven is door $u = -\dfrac{1}{r} \cdot \dfrac{\delta\psi}{\delta r}$. Teneinde in verband te blijven met de in hoofdstuk II gevolgde notaties schrijven we hiervoor $-u'$, zoodat $u' = \dfrac{1}{r} \cdot \dfrac{\delta\psi}{\delta r}$.

Schrijft men weer $\dfrac{r}{a} = k$ dan is:

$$u' = \frac{\Gamma}{\pi \cdot r} \cdot \left| \frac{dK}{dk} - \frac{dE}{dk} \right| = \frac{\Gamma}{\pi \cdot r} \cdot \left| \frac{E}{k \cdot k'^2} - \frac{E}{k} \right|$$

waaruit men na een korte herleiding vindt:

$$u' = \frac{a \cdot \Gamma}{\pi \cdot (a^2 - r^2)} \cdot E \cdot \left(\frac{r}{a}\right) \ldots\ldots\ldots \quad (59)$$

Voor de snelheid in het middelpunt van den wervel vindt men, daar voor $r = 0$, $E = \dfrac{\pi}{2}$ wordt:

$$u'_{r=o} = \frac{\Gamma}{2 \cdot a}.$$

c. De onderlinge beïnvloeding van de deelen van den Townend-ring.

Denken we ons den Townend-ring op de plaats van den wervel, dan is het ter beoordeeling van de grootte der snelheidsvermindering volgens formule (59) noodzakelijk de waarde van Γ te bepalen. De waarde van deze grootheid hangt bij den ring af van de snelheid van den windstroom ter plaatse van het profiel, welke snelheid zelve weder een functie van de circulatie om de afzonderlijke deelen van den ring is.

Zooals in hoofdstuk I werd opgemerkt, kan het rechte vleugelprofiel vervangen worden door een stelsel rechtlijnige wervels, verdeeld langs het skelet van het profiel. In overeenstemming hiermede zullen we den Townend-ring vervangen denken door een systeem ringvormige wervels. Aanvankelijk zullen we nu het snelheidsveld van één dezer werveltjes in de buurt van het werveltje zelf onderzoeken, om met behulp daarvan de storingssnelheid tengevolge van de circulatie voor het geheele systeem, dus voor den ring te schatten [12]).

Laat r_1 en r_2 respectievelijk weder de kleinste en de grootste afstand van een punt P tot de elementen van een wervelring zijn, dan is de stroomfunctie, indien we ter vereenvoudiging voorloopig $\Gamma = 2 \cdot \pi$ stellen, volgens (57):

$$\psi = (r_1 + r_2) \cdot \left\{ K - E \right\}$$

waarin de modulus van de elliptische functies:

$$k = \frac{r_2 - r_1}{r_2 + r_1}.$$

Legt men door het wervelelement waaruit de voerstraal r_1 naar P gaat, een assenkruis met de abscis evenwijdig aan de aslijn van den ring en de negatieve ordinaat door het middelpunt en noemt men de coördinaten van het punt P ten opzichte van dit assenkruis ξ en η, dan is (zie *fig. 39*):

$$\left.\begin{aligned} r_1 &= \sqrt{\xi^2 + \eta^2} \\ \text{en } r_2 &= \sqrt{\xi^2 + (2 \cdot a + \eta)^2} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots \quad (60)$$

Schrijft men nog: $\xi = \varrho \cdot \cos\theta$ en $\eta = \varrho \cdot \sin\theta$, dan is:

$r_1 = \varrho$, $r_2 = 2 \cdot a + \eta + \ldots = 2 \cdot a + \varrho \cdot \sin\theta + \ldots$

Stelt men voorts:

$\varkappa = k'^2 = 1 - k^2$ dan is:

$$\varkappa = \frac{4 \cdot r_2 \cdot r_1}{(r_2 + r_1)^2} = \frac{4 \cdot \varrho \cdot (2 \cdot a + \varrho \cdot \sin\theta + \ldots)}{\left\{ 2 \cdot a + \varrho \cdot (1 + \sin\theta) \ldots \right\}^2},$$

waaruit:

12) Deze afleiding werd gegeven door prof. dr. J. M. Burgers te Delft.

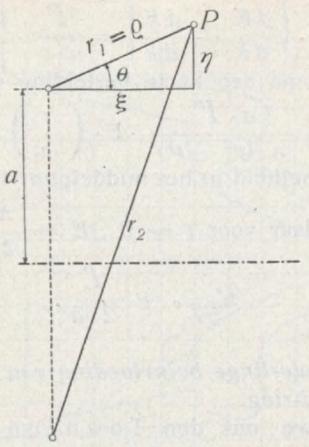


Fig. 39.

$$\varkappa = \frac{2 \cdot \varrho}{a}\left(1 - \frac{\varrho}{a} \cdot \frac{2 + \sin\theta}{2} \ldots\right) \ldots\ldots \textbf{(61)}$$

en verder:

$$ln\ \frac{16}{\varkappa} = ln\ \frac{8 \cdot a}{\varrho} + \frac{\varrho}{a} \cdot \frac{2 + \sin\theta}{2} + \ldots\ \ldots \textbf{(62)}$$

Nu is:

$$K = \tfrac{1}{2} \cdot ln\ \frac{16}{\varkappa} + \frac{\varkappa}{8} \cdot \left(ln\ \frac{16}{\varkappa} - 2\right) + \ldots$$

$$E = 1 \qquad + \frac{\varkappa}{4} \cdot \left(ln\ \frac{16}{\varkappa} - 1\right) + \ldots$$

waaruit:

$$K - E = \tfrac{1}{2} \cdot ln\ \frac{16}{\varkappa} - 1 - \frac{\varkappa}{8} \cdot ln\ \frac{16}{\varkappa} + \ldots \text{ of:}$$

$$K - E = \tfrac{1}{2} \cdot ln\ \frac{8 \cdot a}{\varrho} - 1 - \frac{\varrho}{4 \cdot a} \cdot ln\ \frac{8 \cdot a}{\varrho} +$$

$$+ \frac{\varrho}{a} \cdot \frac{2 + \sin\theta}{4} + \ldots\ldots \textbf{(63)}$$

zoodat:

$$\psi = 2 \cdot a \cdot \left(1 + \frac{\varrho}{a} \cdot \frac{1 + \sin\theta}{2} + \ldots\right)\left(\tfrac{1}{2} \cdot ln\ \frac{8 \cdot a}{\varrho} -\right.$$

$$\left. - 1 - \frac{\varrho}{4 \cdot a} \cdot ln\ \frac{8 \cdot a}{\varrho} + \frac{\varrho}{a} \cdot \frac{2 + \sin\theta}{4} + \ldots\right) \text{ of:}$$

$$\psi = a \cdot \left\{ ln\ \frac{8 \cdot a}{\varrho} - 2 + \frac{\varrho \cdot \sin\theta}{2 \cdot a} \cdot ln\ \frac{8 \cdot a}{\varrho} - \right.$$

$$\left. - \frac{\varrho \cdot \sin\theta}{2 \cdot a} \ldots \right\} \ldots\ldots \textbf{(64)}$$

Uitgedrukt met behulp van ξ en η:

$$\psi = a \cdot \left\{ ln\ \frac{8 \cdot a}{\sqrt{\xi^2 + \eta^2}} - 2 + \right.$$

$$\left. + \frac{\eta}{2 \cdot a} \cdot ln\ \frac{8 \cdot a}{\sqrt{\xi^2 + \eta^2}} - \frac{\eta}{2 \cdot a} \right\} \ldots \textbf{(64a)}$$

Daar: $u = -\frac{1}{a + \eta} \cdot \frac{\delta\psi}{\delta\eta}$ en $v = +\frac{1}{a + \eta} \cdot \frac{\delta\psi}{\delta\xi}$

vindt men voor de snelheidscomponenten:

$$u = -\left(1 - \frac{\eta}{a}\right) \cdot \left\{ -\frac{\eta}{\xi^2 + \eta^2} + \frac{1}{2 \cdot a} \cdot \right.$$

$$\left. \cdot ln\ \frac{8 \cdot a}{\sqrt{\xi^2 + \eta^2}} - \frac{\eta^2}{2 \cdot a\,(\xi^2 + \eta^2)} - \frac{1}{2 \cdot a} \right\} \text{ of}$$

$$u = +\frac{\eta}{\xi^2 + \eta^2} - \frac{1}{2 \cdot a} \cdot ln\ \frac{8 \cdot a}{\sqrt{\xi^2 + \eta^2}} +$$

$$+ \frac{\xi^2}{2 \cdot a \cdot (\xi^2 + \eta^2)} \ldots\ldots \textbf{(65)}$$

$$v = -\left(1 - \frac{\eta}{a}\right) \cdot \left(1 + \frac{\eta}{2 \cdot a}\right) \cdot \frac{\xi}{\xi^2 + \eta^2} =$$

$$= -\frac{\xi}{\xi^2 + \eta^2} + \frac{\xi\,\eta}{2 \cdot a \cdot (\xi^2 + \eta^2)} \ldots\ldots \textbf{(66)}$$

Stelt men in de formules **(65)** en **(66)** $\eta = 0$, dan is

$$u = -\frac{1}{2 \cdot a} \cdot \left(ln\ \frac{8 \cdot a}{\xi} - 1\right) \ldots. \textbf{(67)}$$

en $$v = -\frac{1}{\xi} \ldots\ldots \textbf{(68)}$$

Vergelijkt men deze snelheden met die, welke bij den rechten wervel optreden, en welke in dit geval voor $\eta = 0$ de waarden hebben: $u = 0$, $v = -\frac{1}{\xi}$, dan ziet men, dat er alleen een verschil in de snelheid in de richting van de abscis bestaat, welk verschil gelijk is aan de waarde van u in formule **(67)**.

Laat nu $\gamma\,(x)\,dx$ de sterkte van een klein wervelringetje ter plaatse x van den wervelcylinder zijn, dan is de snelheid $d\,u_\xi$ in het punt ξ tengevolge van dit wervelringetje, in verband met **(67)**:

$$du_\xi = -\frac{\gamma\,(x)\,dx}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{2 \cdot a} \cdot \left(ln\ \frac{8 \cdot a}{\xi - x} - 1\right).$$

Geïntegreerd over het geheele wervelstelsel geeft dit:

$$u_\xi = -\int \frac{\gamma\,(x)\,dx}{4 \cdot \pi \cdot a} \cdot \left(ln\ \frac{8 \cdot a}{\xi - x} - 1\right),$$

waarbij $\int \gamma\,(x)\,dx = \Gamma$.

Voor de gemiddelde snelheid bij het profiel is nu te stellen:

$$u_{gem.} = \int \frac{u_\xi\,\gamma\,(\xi)\,d\,\xi}{\Gamma},$$

welke integraal zich in den volgenden vorm laat brengen:

$$u_{gem.} = -\frac{\Gamma}{4 \cdot \pi \cdot a} \cdot \left(ln\ \frac{8 \cdot a}{\delta \cdot t} - 1\right) \ldots \textbf{(69)}$$

waarin δ voor het symmetrische profiel te schatten is op ongeveer $\frac{1}{2}$ en voor een normaal vleugelprofiel vermoedelijk een iets kleinere waarde heeft.

Volgens Lord Kelvin is de snelheid in de buurt van een massieven ringvormigen wervel met cirkelvormige doorsnede met een straal a en een dikte b, met omkeering van het teeken gelijk aan:

$$-\frac{\Gamma}{4 \cdot \pi \cdot a} \cdot \left(ln\ \frac{8 \cdot a}{b} - \frac{1}{4}\right).$$

Schrijven we de waarde, welke formule **(69)** geeft ook in dezen vorm, dan is:

$$u_{gem.} = -\frac{\Gamma}{4 \cdot \pi \cdot a} \cdot \left(ln\ \frac{8 \cdot a}{2{,}12 \cdot \delta \cdot t} - \frac{1}{4}\right)$$

of wanneer we 2,12 δ bij benadering door 1 vervangen:

$$u_{gem.} = -\frac{\Gamma}{4 \cdot \pi \cdot a} \cdot \left(ln \frac{8 \cdot a}{t} - \frac{1}{4} \right) \ldots \quad (69a)$$

Noemt men V_a de windsnelheid bij het profiel van den in een parallelstrooming met snelheid V geplaatsten Townend-ring, en stelt men $ln \frac{8 \cdot a}{t} - \frac{1}{4} = s$, dan is in verband met (69a):

$$V_a = V - \frac{\Gamma \cdot s}{4 \cdot \pi \cdot a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (70)$$

en daar ook $\frac{\Gamma}{\Gamma_o} = \frac{V_a}{V}$, *als* Γ_o weder de circulatie om het enkele rechte vleugelprofiel in dezelfde parallelstrooming voorstelt, vindt men na een kleine herleiding:

$$\Gamma = \frac{4 \cdot \pi \cdot a \cdot V \cdot \Gamma_o}{4 \cdot \pi \cdot a \cdot V + s \cdot \Gamma_o} =$$

$$= \Gamma_o \cdot \left(1 - \frac{s \cdot \Gamma_o}{4 \cdot \pi \cdot a \cdot V + \Gamma_o} \right) \ldots\ldots\ldots \quad (71)$$

Uit het voorgaande volgt:

Conclusie Va: Bij de opstelling van een Townend-ring in een parallelstrooming kan de storing in de circulatie om een profielelement tengevolge van den invloed van alle andere deelen van dien ring berekend worden door het profiel te beschouwen als een massieven ringvormigen wervel met cirkelvormige doorsnede en een dikte gelijk aan de diepte van het profiel.

d. Het snelheidsveld binnen den Townend-ring.

Zooals in hoofdstuk I werd afgeleid, mag voor punten, die op een afstand grooter dan één profieldiepte midden onder het vleugelprofiel gelegen zijn, dit profiel door een wervel vervangen worden. Brengen we deze eigenschap over op het veld binnen den Townend-ring, dan zien we, dat voor het gebied dat gelegen is binnen een straal gelijk $a - t$ beschreven uit het middelpunt van den ring, de Townend-ring door een wervelring mag worden vervangen.

Voor de snelheid V_r op een afstand r van het middelpunt, kan nu in verband met (59) geschreven worden voor het interval $0 \leqq r \leqq a - t$

$$V_r = V - \frac{a \cdot \Gamma}{\pi \cdot (a^2 - r^2)} \cdot E \cdot \left(\frac{r}{a} \right) \quad \ldots\ldots \quad (72)$$

Uit deze formule kan op eenvoudige wijze worden aangetoond, dat de snelheidsvermindering het geringst is in het centrum van den ring en toeneemt met r.

Formule (72) is in verband met (71) ook te schrijven:

$$V_r = V - \frac{a \cdot E \cdot \Gamma_o}{\pi \cdot (a^2 - r^2)} \cdot$$

$$\cdot \left(1 - \frac{s \cdot \Gamma_o}{4 \cdot \pi \cdot a \cdot V + s \cdot \Gamma_o} \right) \ldots\ldots\ldots \quad (72a)$$

Ziet men af van de betrekkelijk geringe correctie, welke de laatste factor geeft, dan is de snelheidsvermindering evenredig met de grootte van de circulatie om het vleugelprofiel.

Differentieert men (72a) naar a dan blijkt, dat de snelheidsvermindering afneemt naarmate de straal van den ring grooter wordt.

Voor punten, welke liggen in het interval $a - t < r \leq a$ bestaat er, in verband met het in hoofdstuk I afgeleide, geen bezwaar de werkelijke snelheidsverdeeling door een parabolische te vervangen. Het opstellen van de formule voor deze snelheidsverdeeling levert geen enkele moeilijkheid; wel voert zij tot een vrij ingewikkelden vorm. Doch ook zonder meer is uit de gegevens onmiddellijk te zien, dat voor dit interval eveneens de snelheidsvermindering bij benadering evenredig is met de circulatie om het enkele vleugelprofiel, terwijl het wel zeer voor de hand liggend feit, dat ook hier de snelheidsvermindering toeneemt naarmate r grooter wordt, voor het geval van het boogvormige profiel gemakkelijk kan worden aangetoond door vast te stellen, dat bij een ring met dit profiel de resulteerende snelheid ter plaatse $r = a - t$ grooter is dan de snelheid in een punt onmiddellijk onder het profiel. Voor een willekeurig vleugelprofiel is dit in verband met de moeilijkheid u_{po} in andere grootheden uit te drukken niet direct aan te toonen. Waar echter de werking van het normale vleugelprofiel en dat van het boogvormige practisch dezelfde is, kan zonder bezwaar voor ieder willekeurig profiel aangenomen worden, dat, binnen den ring, V_r daalt als r toeneemt en wel te meer als men bedenkt, dat voor een onregelmatige snelheidsverdeeling in het veld van den ring geen aanleiding bestaat.

Uit de formule (72) volgt tenslotte nog, dat V_r en dus ook de snelheidsvermindering evenredig is met V, *daar* Γ evenredig is met V.

Uit de voorgaande beschouwingen volgen nu:

Conclusie VIa: De tengevolge van de circulatie optredende snelheidsvermindering in het veld van den Townend-ring kan voor het gebied, in het midden van den ring, waarvan de straal gelijk is aan den straal van den ring verminderd met de profieldiepte, berekend worden door den ring als een wervel te beschouwen, en voor de rest van het veld uit een parabolische snelheidsverdeeling, verkregen met behulp van de snelheid onmiddellijk onder het enkele rechte profiel en een voor den wervelring geldende correctie.

Conclusie VIIa: De snelheidsvermindering in het veld van den Townend-ring is bij benadering recht evenredig met de grootte van de circulatie om het rechte profiel en de snelheid van de parallelstrooming; ze neemt toe naarmate de diameter van den ring afneemt, ze is in het centrum van den ring het geringst en wordt grooter als men den rand van den ring meer nadert.

e. De invloed van het gaasscherm op den Townend-ring.

Evenals we dit in het tweedimensionale geval gedaan hebben, zullen we ook hier de door een gaasscherm teweeggebrachte storingsstrooming ter plaatse

van het profiel van den ring iets nader bezien. Bij deze beschouwingen zullen we, teneinde de formules niet al te ingewikkeld te maken, de storingsstrooming bij den ring in het vlak van het gaas berekenen en uit de daarvoor gevonden waarde de grootte van de storingsstrooming aan de voor- of achterzijde van het profiel benaderen.

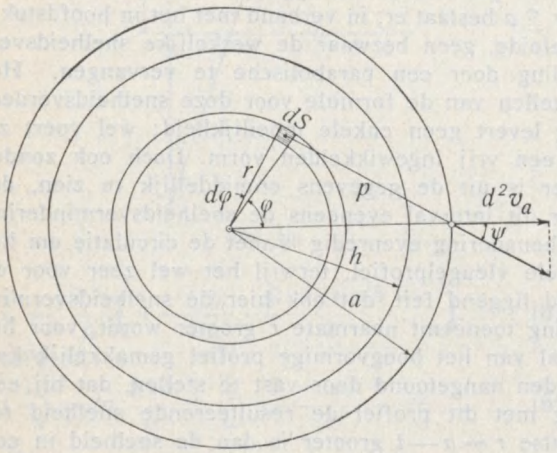


Fig. 40

Laat (zie *fig. 40*) dS een oppervlakte-elementje zijn, met coördinaten r en φ, van het gaasscherm met straal h, dat zich bevindt in den Townend-ring met straal a. Vervangen we, in overeenstemming met hetgeen we vroeger gedaan hebben, dit elementje door een bronnetje, dan is de sterkte van dit bronnetje volgens (**34a**) te schrijven als:

$$q = c_v \cdot V_r \cdot dS \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (73)$$

De snelheidscomponent van de strooming, ter plaatse van en loodrecht op het profiel van den ring, tengevolge van de door het bronnetje geleverde vloeistof is nu:

$$d^2v_a = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot p^2} \cdot \cos \psi \text{ waarin:}$$

$$\cos \psi = \frac{a - r \cdot \cos \varphi}{p} \quad \text{en} \quad p^2 = r^2 + a^2 - 2 \cdot a \cdot r \cdot \cos \varphi$$

Daar verder $dS = r \cdot dr \cdot d\varphi$, volgt hieruit, dat de storingssnelheid van alle bronnetjes te zamen gelijk is aan:

$$v_a = \frac{c_v}{4 \cdot \pi} \cdot \int_0^h V_r \cdot r \cdot dr \int_0^{2\pi} \frac{(a - r \cdot \cos \varphi) \cdot d\varphi}{(r^2 + a^2 - 2 \cdot a \cdot r \cdot \cos \varphi)^{3/2}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (74)$$

Beschouwen we het snelheidsveld binnen een ringvormigen wervel met straal a en een sterkte Γ, dan is volgens de wet van Biot en Savart de snelheid u' op een afstand r uit het midden van den wervel (zie *fig. 41*):

$$u' = \int_0^{2\pi a} \frac{\Gamma}{4 \cdot \pi \cdot \varrho^2} \cdot \cos \theta \, ds$$

waarin $\varrho^2 = a^2 + r^2 - 2 \cdot a \cdot r \cdot \cos \varphi$ en $\cos \theta = \frac{a - r \cdot \cos \varphi}{\varrho}$, zoodat daar ook $ds = a \cdot d\varphi$:

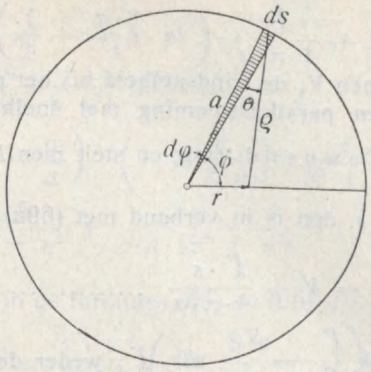


Fig. 41

$$u' = \frac{a \cdot \Gamma}{4 \cdot \pi} \cdot \int_0^{2\pi} \frac{(a - r \cdot \cos \varphi) \cdot d\varphi}{(a^2 + r^2 - 2 \cdot a \cdot r \cdot \cos \varphi)^{3/2}} \quad \ldots \quad (75)$$

Formule (**75**) gaat in verband met (**74**) over in:

$$v_a = \frac{c_v}{a \cdot \Gamma} \int_0^h V_r \cdot u' \cdot r \cdot dr.$$

Nu is $V_r = V - u'$. Schrijven we hierin als gemiddelde voor u' de waarde $\frac{\Gamma_0}{2 \cdot a}$, hetgeen zonder bezwaar kan geschieden daar u' slechts klein is ten opzichte van V en $\frac{\Gamma_0}{2 \cdot a}$ iets grooter is dan de waarde van u' in het centrum van den ring, zijnde $\frac{\Gamma}{2 \cdot a}$, dan gaat de vergelijking over in:

$$v_a = \frac{c_v}{a \cdot \Gamma} \cdot \int_0^h \left(V - \frac{\Gamma_0}{2 \cdot a}\right) \cdot u' \cdot r \cdot dr$$

waarvoor in verband met (**58**) te schrijven is:

$$v_a = \frac{c_v}{\pi} \cdot \left(V - \frac{\Gamma_0}{2 \cdot a}\right) \cdot \left\{ K \cdot \left(\frac{h}{a}\right) - E \cdot \left(\frac{h}{a}\right) \right\} \quad \ldots\ldots \quad (76)$$

Denkt men zich deze storingssnelheid ontstaan door een weerstand in het centrum van den ring, dan is voor de storingssnelheid aan de voor- of achterzijde van het profiel bij benadering te schrijven:

$$v = \frac{c_v}{\pi} \cdot \frac{a^2}{a^2 + 4 \cdot b^2} \cdot \left(V - \frac{\Gamma_0}{2 \cdot a}\right) \cdot \left\{ K \cdot \left(\frac{h}{a}\right) - E \cdot \left(\frac{h}{a}\right) \right\} \quad \ldots\ldots \quad (77)$$

Behalve deze storingssnelheid loodrecht op het profiel zal bij het profiel nog een storingssnelheid v' in de richting van de parallelstrooming optreden. De gemiddelde waarde van deze storingssnelheid over de diepte van het profiel is, als het scherm in het midden van den ring is opgesteld, nul, waaruit volgt, dat ook in het geval van den Townend-ring de invloed van het gaas zich slechts kenbaar maakt door

een verandering van den invalshoek van de strooming op het profiel.

Noemt men de verandering van den invalshoek weder β, dan is:

$$tg\ \beta = \frac{v}{V - \frac{s \cdot \Gamma}{4 \cdot \pi \cdot a}}.$$

Houden we rekening met de omstandigheid, dat de waarde voor v, welke formule (77) geeft, iets te groot is, dan kunnen we thans schrijven:

$$tg\ \beta \leqq \frac{c_v}{\pi} \cdot \frac{a^2}{a^2 + 4 \cdot b^2} \cdot \left(1 - \frac{\Gamma_o}{2 \cdot a \cdot V}\right) \cdot \left\{K \cdot \left(\frac{h}{a}\right) - E \cdot \left(\frac{h}{a}\right)\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (78)$$

Indien α de invalshoek van het profiel was, waarbij een maximale circulatie verkregen werd voor het geval, dat geen gaasscherm aanwezig was, dan volgt ook thans, dat het profiel over een hoek β tegen de richting van α in gedraaid moet worden, om een maximale circulatie te verkrijgen.

Formule (78) geldt strikt genomen alleen voor gevallen, waarin $h \leqq a - t$. Merken we echter op, dat de formule in het geval $a - t < h \leqq a$ wel is waar, wegens de aan de randen van het gaas optredende snelheden hooger dan die, welke met den wervel berekend werden, een iets te lage waarde geeft, doch dat daartegenover in dat geval de factor $\frac{a^2}{a^2 + 4 \cdot b^2}$ zeker iets te groot zal zijn, dan bestaat er geen bezwaar formule (78) bij benadering voor het geheele interval $o \leqq h \leqq a$ te doen gelden.

De conclusies, die uit het voorgaande volgen, zijn geheel gelijkluidend aan de conclusies VIII en IX, zoodat hiernaar verwezen mag worden.

f. De weerstand van het gaasscherm in het veld van den Townend-ring.

Laat w_o de weerstand van het scherm zijn, dan is:

$$w_o = \tfrac{1}{2} \cdot \pi \cdot h^2 \cdot c \cdot \varrho \cdot V^2.$$

Voor het scherm in den Townend-ring geldt:

$$d\,w = \pi \cdot r \cdot dr \cdot c \cdot \delta\ (V - u')^2$$

of

$$w = \pi \cdot c \cdot \varrho \cdot \int_o^h (V - u')^2 \cdot r \cdot dr \quad \ldots\ldots\ldots (79)$$

en daar u' klein is ten opzichte van V:

$$w \leqq \pi \cdot c \cdot \varrho \cdot \int_o^h (V - 2 \cdot u' \cdot V) \cdot r \cdot dr =$$

$$= w_o - \frac{4 \cdot w_o}{V \cdot h^2} \cdot \int_o^h u' \cdot r \cdot dr,$$

waaruit in verband met (58) volgt:

$$w = w_o - \frac{4 \cdot w_o}{V \cdot h^2} \cdot \psi = w_o \cdot \left[1 - \frac{4 \cdot a \cdot \Gamma}{\pi \cdot h^2 \cdot V} \cdot \left\{K \cdot \left(\frac{h}{a}\right) - E \cdot \left(\frac{h}{a}\right)\right\}\right] \quad \ldots\ldots\ldots (80)$$

Wenscht men w iets nauwkeuriger te bepalen, dan kan voor (79) geschreven worden:

$$w = \pi \cdot c \cdot \varrho \cdot \int_o^h \left(V^2 - 2 \cdot V \cdot u' + u' \cdot \frac{\Gamma}{2 \cdot a}\right) \cdot r \cdot dr$$

en men vindt:

$$w = w_o \cdot \left[1 - \frac{\Gamma}{\pi \cdot h^2 \cdot V} \cdot \left(4 \cdot a - \frac{\Gamma}{V}\right) \cdot \left\{K \cdot \left(\frac{h}{a}\right) - E \cdot \left(\frac{h}{a}\right)\right\}\right] \quad \ldots\ldots\ldots (81)$$

De formules (80) en (81) geven voor een gaasscherm, waarvan de straal grooter is dan $a - t$, een te kleine waarde. Wil men voor een dergelijk gaasscherm de weerstandsvermindering nauwkeurig bepalen, dan dient men gebruik te maken van de parabolische snelheidsverdeeling en numerisch te integreeren. De factoren, welke de weerstandsvermindering beheerschen, blijven echter voor zulk een gaas dezelfde, zoodat ook voor elk scherm de volgende conclusies gelden:

Conclusie Xa: In het veld van den Townend-ring ondergaat een gaasscherm een weerstandsvermindering, welke een gevolg is van de bij het profiel van den ring behoorende circulatie en bij benadering evenredig is met de waarde van de circulatie gedeeld door de snelheid van de oorspronkelijke strooming, terwijl zij sterk toeneemt, indien de diameter van den ring verkleind wordt.

Conclusie XIa: De weerstandsvermindering uitgedrukt in procenten van den oorspronkelijken weerstand is onafhankelijk van de snelheid van de parallelstrooming en verandert niet als alle afmetingen in het stelsel Townend-ring en scherm n maal grooter gemaakt worden.

g. De trekkracht van den Townend-ring.

Voor de trekkracht van den Townend-ring vindt men, bij verwaarloozing van den profielweerstand, bij benadering:

$$T \leqq \pi \cdot a \cdot \varrho \cdot \left(V - \frac{s \cdot \Gamma}{4 \cdot \pi \cdot a}\right)^2 \cdot c_a \cdot t \cdot tg\ \beta$$

en daar volgens (78) $tg\ \beta$ ook hier evenredig is met c_v en dus sterker stijgt dan c, kan hieruit tot een gelijkluidende gevolgtrekking als conclusie XII worden besloten.

h. De trekkracht van den ring als functie van den weerstand.

Schrijft men met behulp van de formules (41), (42), (55) en (81) de waarden voor de trekkracht op de beide rechte profielen, of op den Townend-ring, gedeeld door respectievelijk den weerstand van het rechte of van het ronde gaasscherm, uit, dan blijkt, dat deze quotienten bij benadering dezelfde zijn, zooals trouwens reeds op grond van de conclusies II en IIa te verwachten was. Hieruit volgen mede in verband met de conclusies XIII en XIV:

Conclusie XIIIa: De maximale weerstandsvermindering van een rond gaasscherm binnen een Townend-ring bedraagt bij benadering tweemaal het gedurig product van de maximale lift op het profiel van

den ring, den omtrek van den ring en den sinus van den storingsinvalshoek.

Conclusie XIV a: Bij verwaarloozing van den profielweerstand is de maximale weerstandsvermindering van een rond gaasscherm met een daaraan verbonden Townend-ring bij benadering anderhalf maal de maximale weerstandsvermindering van het scherm los van den ring.

i. Het verband tusschen de werking van den Townend-ring en de rechte vleugelprofielen.

Uit het qualitatief volkomen in overeenstemming zijn van de twaalf in dit hoofdstuk afgeleide conclusies met de overeenkomstige in het tweedimensionale geval volgt, dat tusschen beide gevallen een zeer groote overeenstemming moet bestaan, zoodat een toestand in het eene geval beoordeeld kan worden naar een overeenkomstigen toestand in het andere geval. Deze overeenstemming komt vooral scherp uit wanneer men de formules voor beide toestanden naast elkaar legt, daarbij enkele factoren als constant beschouwend. Men vindt bijvoorbeeld voor den weerstand van het gaas tusschen de profielen of in den Townend-ring, als *a, h,* en *t* constant worden aangenomen, respectievelijk volgens de formules (**41**) en (**81**):

$$w = w_o \cdot \left(1 - c_1 \cdot \frac{\Gamma}{V} + c_2 \cdot \frac{\Gamma^2}{V^2}\right) \text{ en}$$

$$w = w_o \cdot \left(1 - c'_1 \cdot \frac{\Gamma}{V} + c'_2 \cdot \frac{\Gamma^2}{V^2}\right)$$

waarin de *c's* constanten zijn en c_2 en c'_2 klein zijn respectievelijk ten opzichte van c_1 en c'_1.

De overeenstemming tusschen het twee- en het driedimensionale probleem werd trouwens reeds door Townend gevonden. Nadat hem bij metingen gebleken was, dat de liftcoëfficiënt van het profiel een belangrijke factor voor de werking van den ring was, werd door Townend, om op eenvoudige wijze eenig inzicht te krijgen in de rollen, die de diameter van den ring, de diepte van het profiel en de invalshoek in het probleem van de weerstandsvermindering spelen, een soort tweedimensionale motor, voorzien van verstelbare rechte profielen, gebouwd.

Townend zelf schrijft over den opzet en de resultaten van deze proeven in *The Journal of „The Royal Aeronautical Society"* van October 1930, blz. 820:

„This may appear a very crude and unlikely method „of procedure, but as only *changes* in drag were re„quired it was given a trial. Subsequently it was found „that the results obtained, when applied to rings, „were substantiated quite closely and gave a good „idea of the relative importance of the different „factors. Only in the value of the angle between the „chord of the section and the axis was there a serious „difference and this was due mainly to the difference „in the streamline configuration of the flows in two „and three dimensions."

Stelt men in de formules (**38**) en (**78**) voor de hoekverdraaiing *a, h* en *t* constant, dan ziet men, dat in het geval dat een gaasscherm gebruikt wordt, er ook tusschen de hoeken een nauw verband bestaat. Men vindt respectievelijk:

$$tg\ \beta = c_v \cdot \left(c_1 - c_2 \cdot \frac{\Gamma}{V}\right) \text{ en}$$

$$tg\ \beta = c_v \cdot \left(c_1' - c_2' \cdot \frac{\Gamma}{V}\right)$$

waarin de *c's* weder constanten zijn, welke afhangen van de afmetingen en de opstelling.

Waar tenslotte in beide systemen een nauw verband bestaat tusschen de trekkracht op de rechte profielen, resp. op den ring en de bij die toestanden behoorende weerstandsverminderingen, bestaat dit verband ook tusschen de trekkrachten onderling.

Uit het voorgaande volgt:

Conclusie XV: De weerstandsvermindering van een cirkelvormig gaasscherm in een Townend-ring en de trekkracht op dien ring kunnen beoordeeld worden uit de weerstandsvermindering van een gaasscherm tusschen twee rechte vleugelprofielen en de trekkrachten op die profielen.

j. Het verband tusschen de weerstandsvermindering van den stervormigen luchtgekoelden motor met behulp van den Townend-ring en de weerstandsvermindering van een gaasscherm tusschen twee vleugelprofielen.

Stellen we ons thans voor, dat we in plaats van het homogene gaasscherm een stervormigen luchtgekoelden motor [13]) in den Townend-ring plaatsen en ons daarbij afvragen, wat er nu gebeuren zal.

We kunnen allereerst opmerken, dat tengevolge van de circulatie om het profiel van den ring weder een vertraging in het snelheidsveld teweeggebracht zal worden, waardoor de weerstand van den motor moet afnemen en dat tengevolge van de van den motor afkomstige storingsstrooming op den ring een trekkracht, gericht tegen de parallelstrooming in, ontstaan zal. Tengevolge van het niet homogeen zijn van de weerstandsverdeeling in het veld moet nu evenwel de storingsstrooming in de verschillende punten van den ring varieeren, met als gevolg een variabele storingsinvalshoek en een ongelijkmatige circulatieverdeeling langs den ring. In dit geval zal er echter een gemiddelde snelheid van de storingsstrooming aan te wijzen zijn, welke bij benadering verkregen zal kunnen worden door het niet homogene weerstandsveld door een homogeen veld te vervangen, of, met andere woorden, door den motor te vervangen door een gaasscherm met eenzelfden weerstand. We kunnen nu een Townend-ring zoodanig construeeren, dat de invalshoek van de parallelstrooming op het profiel van den ring, vermeerderd met den uit de gemiddelde storingssnelheid verkregen storingsinvalshoek, juist de waarde van den invalshoek bereikt, waarbij het enkele rechte profiel een maximum circulatie geeft. In dat geval zal de variatie in de circulatie in de verschillende punten van den ring te vergelijken zijn met de variatie in de circulatie, welke men verkrijgt indien de invalshoek schommelt om den hoek waarbij in het stelsel ring met homogeen veld een maximum circulatie verkregen wordt.

13) Waar in dit hoofdstuk gesproken wordt van een stervormigen motor wordt bedoeld de motor alleen, dus zonder eenigen invloed van den propeller.

Daar er in beide gevallen eenzelfde verband bestaat tusschen de circulatie en de weerstandsvermindering volgt hieruit, dat de maximale weerstandsvermindering van een stervormigen motor beoordeeld kan worden uit het verloop van de weerstandsvermindering van een cirkelvormig gaasscherm binnen den Townend-ring, bij verandering van den invalshoek van het profiel van dien ring op de strooming.

Het feit, dat bij de beoordeeling van de werking van een willekeurigen ring de motor bij benadering door een gaasscherm met een bepaalden weerstand vervangen mag worden, werd allereerst bij den Rijks-Studiedienst voor de Luchtvaart te Amsterdam opgemerkt.

In verband met conclusie XV volgt nu uit het voorgaande:

Conclusie XVI: De te verkrijgen weerstandsvermindering van een luchtgekoelden stervormigen motor met behulp van een Townend-ring is te beoordeelen uit het gedrag van de weerstandsvermindering van een gaasscherm tusschen twee rechte vleugelprofielen.

k. Algemeene beschouwingen omtrent de weerstandsvermindering van den stervormigen motor.

Doordat tengevolge van de variabele storingsstrooming afkomstig van den motor slechts een zekere gemiddelde circulatie kan worden verkregen, zal de maximale weerstandsvermindering van den motor nimmer die waarde kunnen bereiken, welke met een homogeen gaasscherm bereikt kan worden, te minder, waar achter den motor radiale snelheidscomponenten, en op den ring geïnduceerde weerstanden zullen optreden, welke grooter worden met het stijgen van de ongelijkmatigheid van de circulatieverdeeling langs den ring. We hebben hiermede vastgesteld, dat met dien motor, welke de kleinste variaties in de storingssnelheid geeft, de grootste weerstandsvermindering bereikt kan worden. Nu zijn, zooals direct is in te zien, de variaties in de storingssnelheid het geringst bij den motor met veel cylinders, zoodat om deze reden de veelcylindervorm gunstig is voor het verkrijgen van een relatief groote weerstandsvermindering. Ook om een andere reden is deze motor in het voordeel. De weerstandsvermindering is het grootst in de nabijheid van den ring, dus bij de cylinders. Bij een motor met veel cylinders zal nu een grooter deel van het geheel aan deze meerdere weerstandsvermindering deelnemen dan bij een motor met weinig cylinders. Beide redenen maken, dat bij een motor met veel cylinders een gunstiger resultaat van de werking van den Townend-ring te verwachten is, dan bij een motor met slechts enkele cylinders. Dit resultaat van onze beschouwingen wordt door de proeven van Townend en door vliegproeven geheel bevestigd.

l. Eischen waaraan een goede Townend-ring moet voldoen.

Stellen we de eischen op waaraan een goede Townend-ring in verband met de afgeleide formules en conclusies moet voldoen, dan vinden we de volgende noodzakelijke voorwaarden.

1. De liftcoëfficiënt van het profiel moet zoo hoog mogelijk zijn en, met het oog op de altijd eenigszins verschillende snelheid in de storingsstrooming afkomstig van den motor, in de buurt van haar maximum een zoo vlak mogelijk verloop hebben. Vergelijken we de formules voor den weerstand en de trekkracht, dan blijkt, dat in overeenstemming met de bevindingen van Townend een hooge liftcoëfficiënt van veel grooter belang is, dan een lage weerstandscoëfficiënt. Dit wekt het vermoeden op, dat bij gebruik van een profiel van Lachmann [14]) of van een meervoudig verdeeld profiel misschien nog iets betere resultaten, dan met de thans gebruikelijke profielen verkregen zullen kunnen worden.

2. Daar eenerzijds de grootte van de circulatie evenredig is met de diepte van het profiel, doch anderzijds de ten opzichte van het vlak van den motor verderaf gelegen deelen van den ring steeds minder tot weerstandsvermindering zullen bijdragen, de storingsinvalshoek bij het stijgen van de profieldiepte afneemt, de profielweerstand evenredig met de eerste macht en de geïnduceerde weerstand bij benadering evenredig met het vierkant van de profieldiepte toeneemt, voert dit tot een grens voor de profieldiepte, waarbij een maximum weerstandsvermindering bereikt wordt. Deze grens is moeilijk anders dan practisch te bepalen, daar zij vooral afhankelijk is van den vorm en de afmetingen van den motor en de invloeden hiervan bezwaarlijk in formules zijn vast te leggen. Townend zegt op grond van zijn proeven [15]):

„The reduction in drag increases steadily with in-
„crease of chord up to 12 in. or 14 in. (full scale)
„and then more slowly. The further improvement in
„going to 16 in. is slight — of the order of 2 per
„cent. or 3 per cent. of R_0 (oorspronkelijke weer-
„stand). At the same time, in these tests the chord
„was not increased to the point where it was actually
„a disadvantage, except in one solitary case in two
„dimensions, in which a chord corresponding to about
„18 in. (full scale) was tested and appeared to be too
„great. It cannot, therefore, be considered proved
„that a larger chord would always be detrimental,
„although it may be presumed that from most practical
„points of view the smaller the chord the better."

Wij kunnen hier slechts aan toevoegen, dat de profieldiepte van den ring in de eerste plaats een functie is van den diameter van den motor en dat bij een motor met veel cylinders de profieldiepte iets grooter zal kunnen zijn dan bij een motor met weinig cylinders. Deze uitspraak wordt door vliegproeven met Townend-ring en N. A. C. A.-Cowling bevestigd.

3. In verband met de snelheden afkomstig van de profieldikte zal bij eenzelfden lift- en weerstandscoëfficiënt het dunne profiel iets voor hebben op het dikke. Ook door Townend werd gevonden, dat het dunne profiel iets beter voldeed. Daar het volgens sommige fabrikanten voordeelig is om den Townend-ring tevens als collector voor de uitlaatgassen

14) Zie o.a. *De Ingenieur in Ned.-Indië*, No. 5 — 1935, blz. 38.

15) *The Journal of „The Royal Aeronautical Society"*, October 1930, blz. 825.

te gebruiken zijn thans echter ook holle ringen met een dik profiel in gebruik.

4. De diameter van den ring moet zoo klein mogelijk zijn. Deze eisch is geheel in overeenstemming met de bevindingen van Townend, welke hierover schrijft [16]):

„The radial situation should be „such that the diameter of the trail- „ing edge is not greater than that „of the engine. It is probable that „the best results will be obtained „when the rear edge of the ring is „cut away to fit round the valve „rockers, but if this is done the rocker hats should „be faired into the upper surface. It may be preferable „to permit small projections if properly faired than „to increase the size of the ring so as to surround „everything."

Het vermoeden van Townend, dat waarschijnlijk het beste resultaat bereikt kan worden met een ring met zoo'n kleinen diameter, dat de klephefboomen, zij het dan met een zoo goed mogelijke afwerking, er doorheen steken, is niet geheel in overeenstemming met de theorie.

Door deze wijze van opstelling wordt namelijk een niet onbelangrijk gedeelte van de circulatiewerking, die, zooals door ons werd afgeleid, tenslotte de eenige factor is, die de weerstandsvermindering van den motor en de trekkracht op den ring veroorzaakt, vernietigd, terwijl bovendien geïnduceerde weerstanden optreden. Toch zijn er thans veel van deze ringen in gebruik, welke goed voldoen.

5. Het kiezen van de juiste waarde van den invalshoek van het profiel van den ring is een eerste vereischte, daar de grootte van dezen invalshoek rechtstreeks verband houdt met de grootte van de circulatie, dus met de weerstandsvermindering. Daar de grootte van de circulatie snel afneemt bij het overtrokken raken van het profiel, mede tengevolge van het stijgen van den weerstand van den motor, waardoor de snelheid van de storingsstrooming toeneemt, de storingsinvalshoek grooter wordt en het profiel dus nog verder overtrokken raakt, mag, bij een goed gekozen invalshoek, het profiel, tengevolge van de variaties in de snelheid van de storingsstrooming, slechts op enkele punten iets overtrokken worden, om een zoo hoog mogelijke gemiddelde circulatie te verkrijgen. Hieruit volgt, dat de waarde van den invalshoek van het profiel van den ring, welke bij benadering gevonden kan worden door den invalshoek bij maximale lift van het oneindig lange profiel te verminderen met den storingsinvalshoek, berekend uit de storingsstrooming veroorzaakt door een gaasscherm, met denzelfden omgeschreven cirkel als de motor, practisch nog eenigszins gecorrigeerd zal moeten worden. De hier afgeleide uitkomsten zijn gelijk aan de resultaten van de metingen van Townend.

16) *The Journal of „The Royal Aeronautical Society"*, October 1930, blz. 828.

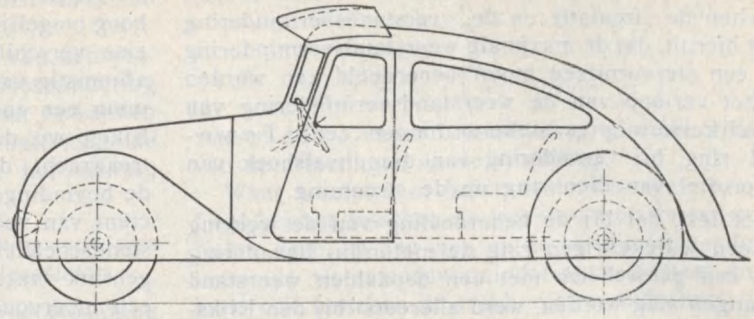


Fig. 42

m. De werking van het Townend-ring-principe in het algemeen.

Uit de in dit hoofdstuk gehouden beschouwingen volgt onmiddellijk, dat de stervormige motor in het probleem van den Townend-ring een zeer ondergeschikte rol speelt en dat deze motor slechts als een bijzonder geval te beschouwen is van het groot aantal gevallen, waarin met behulp van den ring een weerstandsvermindering van een scherm bereikt kan worden. Doch ook de vorm van den Townend-ring zelf is slechts een bijzondere vorm van de wijze waarop een vleugelprofiel gebogen kan worden om dienst te doen tot vermindering van den weerstand van een of ander voorwerp. Het voordeel, dat de ronde vorm van den ring vóór heeft op een anderen, bijvoorbeeld veelhoekigen vorm, is dat in het laatste geval door de onderlinge beïnvloeding van de deelen van dien vorm reeds een zekere geïnduceerde weerstand zal optreden hetgeen bij den ring niet zoo is.

Hoewel zij practisch weinig toegepast worden, werden door Townend toch wel met „ringen" in den vorm van een polygoon zeer goede resultaten verkregen en het ligt voor de hand, dat met het vleugelprofiel, dat een vierkanten radiator nauw omsluit een grootere weerstandsvermindering bereikt kan worden dan met een ring.

Fig. 42 geeft tenslotte nog een voorbeeld van de mogelijkheid om met behulp van een vleugelprofiel een weerstandsvermindering bij een automobiel te bereiken.

HOOFDSTUK IV.

Enkele beschouwingen omtrent den invloed van het turbulent zijn van de strooming op de werking van den Townend-ring.

a. Algemeene opmerkingen.

Zooals in de inleiding reeds werd opgemerkt, levert de Townend-ring, gemonteerd op den motor van een vliegtuig, in vele gevallen in de practijk niet die voordeelen op, welke op grond van de bij den motor zonder propeller bereikte weerstandsvermindering, daarvan verwacht mochten worden.

In de voordracht van ir. C. Koning en dr. ir. H. J. van der Maas, getiteld: „Some experiments

on nacelles with Townend-rings" [17]), waarin dit onderwerp behandeld wordt, wordt door de schrijvers aangevoerd, dat de oorzaken van het uitblijven van het verwachte effect van den Townend-ring vermoedelijk zouden gelegen zijn in de volgende factoren:

a. de verandering van de aërodynamische eigenschappen van de schroef door de aanwezigheid van den ring;

b. de verandering van den invalshoek van de strooming op den ring tengevolge van de contractie van den slipstroom;

c. de invloed van de in den slipstroom aanwezige rotatie en turbulentie op de werking van den ring.

Hierbij kon worden opgemerkt, dat, in verband met verrichte proeven, aan het gestelde onder *c* vermoedelijk wel een overwegenden invloed moest worden toegekend.

Gaan we aan de hand van de hiervoren ontwikkelde beschouwingen na, welken invloed de turbulentie in den slipstroom zou kunnen hebben, dan kan worden opgemerkt:

1. dat met het grooter worden van de variaties naar den tijd in de invalshoeken van de strooming op de verschillende deelen van den ring, de grootte van de gemiddelde circulatie om het profiel van den ring zal dalen;

2. dat naarmate de door de turbulentie en rotatie ontstane ongelijkmatigheid in de grootte van de circulatie om de verschillende deelen van den ring toeneemt, een grootere geïnduceerde weerstand van den ring verwacht mag worden;

3. dat de toename van de ongelijkmatigheden onder 2 bedoeld gepaard zal gaan met een vermeerderde afsplitsing van hoefijzerwervels, waarbij het voor de hand ligt te onderstellen, dat een stijging van de totale sterkte van deze wervels een vermeerdering van den weerstand van den motor tengevolge zal hebben.

Het gestelde onder *1* werd reeds aangetoond in hoofdstuk III het onder *2* en *3* opgemerkte zullen we iets nader bezien.

b. De geïnduceerde weerstand van den ring bij een ongelijkmatige circulatie om zijn deelen.

Naast de in den loop van den tijd voortdurend wisselende ongelijkmatigheid in de circulatieverdeeling, welke het gevolg is van de rotatie en de turbulentie van den slipstroom, is er ook een ongelijkmatigheid, welke veroorzaakt wordt doordat de motor met de in stervorm gerangschikte cylinders geen omwentelingslichaam is. Het is niet mogelijk een algemeene formule voor de circulatieverdeeling op te stellen, die met alle aanwezige invloeden rekening houdt. Ten einde echter eenig inzicht in het ontstaan van den geïnduceerden weerstand te krijgen, beschouwen we een zeer eenvoudig geval, en nemen aan, dat de circulatieverdeeling beschreven kan worden door de formule:

$$\Gamma = \Gamma_1 + \Gamma_2 \cdot \cos n\varphi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (82)$$

17) Ve Congrès Intern. de l'Aviation (La Haye 1930), blz. 568—573.

We maken dan gebruik van de uit de draagvlaktheorie bekende eigenschap, dat wanneer Γ in de omgeving van het punt s_1 bij een verplaatsing ds langs den ring toeneemt met $d\Gamma = \frac{d\Gamma}{ds} \cdot ds$, van den ring stroomafwaarts een wervel met de sterkte $d\Gamma$ uittreedt.

Is $d\Gamma$ positief wanneer ds positief is, dan is de rotatierichting van dezen wervel zoodanig, dat ze op den ring, voor $s > s_1$, een naar binnen gerichte snelheid, en voor $s < s_1$, een naar buiten gerichte teweegbrengt.

Laat nu, zie *fig. 43*, een punt P in het vlak van den ring en binnen dezen gelegen, tot coördinaten hebben den voerstraal r en den hoek φ_o, dan zullen de snelheidscomponenten du_r en du_{φ_o} in P tengevolge van het afsplitsen van het werveltje $\frac{d\Gamma}{ds} \cdot ds$, dat loodrecht op het vlak van teekening gedacht moet worden, zijn:

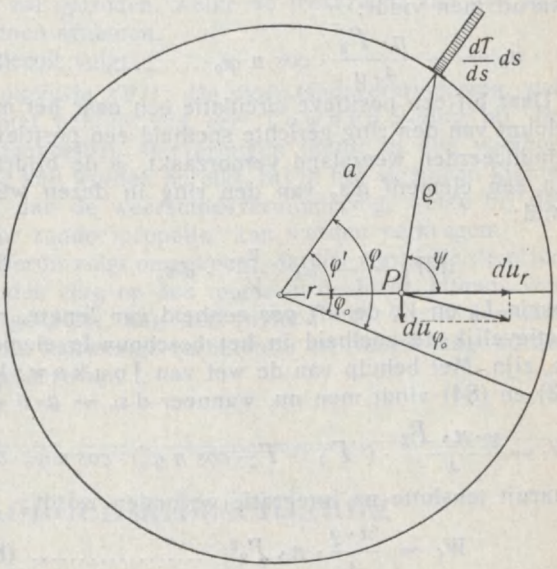


Fig 43

$$du_r = \frac{\sin\psi}{4 \cdot \pi \cdot \varrho} \cdot \frac{d\Gamma}{ds} \cdot ds \text{ en } du_{\varphi_o} = -\frac{\cos\psi}{4 \cdot \pi \cdot \varrho} \cdot \frac{d\Gamma}{ds} \cdot ds,$$

als ϱ de afstand is van het punt P tot het element ds, terwijl ψ de hoek is tusschen de richting van ϱ en den voerstraal uit het middelpunt van den ring naar P. Laat a weder de straal van den ring zijn, dan is $\varrho \cdot \sin\psi = a \cdot \sin(\varphi - \varphi_o)$, $\varrho \cdot \cos\psi = a \cdot \cos(\varphi - \varphi_o) - r$ en $\varrho^2 = a^2 + r^2 - 2 \cdot a \cdot r \cdot \cos(\varphi - \varphi_o)$, terwijl tenslotte met behulp van (82) gevonden wordt:

$$\frac{d\Gamma}{ds} \cdot ds = -n \cdot \Gamma_2 \cdot \sin n\varphi \cdot d\varphi$$

Voert men deze waarden in de bovenstaande vergelijkingen in, dan vindt men na integratie en na een korte herleiding:

$$\left.\begin{aligned} u_r &= -\frac{n \cdot a \cdot \Gamma_2}{4 \cdot \pi} \cdot \\ &\cdot \int_0^{2\pi} \frac{\sin(\varphi - \varphi_0) \cdot \sin n\varphi}{a^2 + r^2 - 2 \cdot a \cdot r \cdot \cos(\varphi - \varphi_0)} \cdot d\varphi \\ \text{en} \quad u_{\varphi_0} &= +\frac{n \cdot \Gamma_2}{4 \cdot \pi} \cdot \\ &\cdot \int_0^{2\pi} \frac{\{a \cdot \cos(\varphi - \varphi_0) - r\} \cdot \sin n\varphi}{a^2 + r^2 - 2 \cdot a \cdot r \cdot \cos(\varphi - \varphi_0)} \cdot d\varphi \end{aligned}\right\} \quad (83)$$

Voor de berekening van den geïnduceerden weerstand hebben we slechts de snelheid vlak onder het profiel noodig, zoodat in (83) $r = a$ te nemen is. In dat geval vindt men gemakkelijk dat u_{φ_0} gelijk aan nul wordt, terwijl:

$$(u_r)_{r=a} = u_a = -\frac{n \cdot \Gamma_2}{8 \cdot \pi \cdot a} \cdot$$

$$\cdot \int_0^{2\pi} \frac{\sin(\varphi - \varphi_0) \cdot \sin n\varphi}{1 - \cos(\varphi - \varphi_0)} \cdot d\varphi$$

waaruit men vindt:

$$u_a = -\frac{n \cdot \Gamma_2}{4 \cdot a} \cdot \cos n\varphi_0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (84)$$

Daar bij een positieve circulatie een naar het middelpunt van den ring gerichte snelheid een positieven geïnduceerden weerstand veroorzaakt, is de bijdrage van een element ds_0 van den ring in dezen weerstand:

$$dW_i = -L_a \cdot \frac{u_a}{V_a} \cdot ds_0$$

waarin L_a en V_a de lift per eenheid van lengte, respectievelijk de snelheid in het beschouwde element ds_0 zijn. Met behulp van de wet van Joukowsky, (82) en (84) vindt men nu, wanneer $ds_0 = a \cdot d\varphi_0$:

$$dW_i = \frac{\varrho \cdot n \cdot \Gamma_2}{4} \cdot (\Gamma_1 + \Gamma_2 \cdot \cos n\varphi_0) \cdot \cos n\varphi_0 \cdot d\varphi_0$$

waaruit tenslotte na integratie gevonden wordt:

$$W_i = \frac{\pi \cdot \varrho}{4} \cdot n \cdot \Gamma_2^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (85)$$

Formule (85) toont, dat er een geïnduceerde weerstand op den ring kan ontstaan, welke groot kan worden als $n \cdot \Gamma_2^2$ groot wordt. Hierin is n het aantal fluctuaties langs den omtrek van den ring, dat in de circulatie voorkomt, terwijl Γ_2 te beschouwen is als de amplitude van die fluctuaties. Beide factoren zijn niet geheel onafhankelijk van elkaar, daar het voor de hand ligt, dat bij een groot aantal fluctuaties de amplitude daarvan klein zal zijn. Uit formule (85) volgt, dat in het beschouwde geval het vooral de amplituden van de fluctuaties zijn, die een overwegenden invloed doen gelden.

Hoewel de circulatieverdeeling om het profiel van een ring, waarbinnen zich een stervormige motor bevindt, een andere gedaante zal hebben dan de in het voorbeeld gekozene, kan toch zonder bezwaar worden aangenomen, dat zich ook in dat geval iets dergelijks zal afspelen. Verder mag het als zeer waarschijnlijk worden beschouwd, dat ook de sterke turbulentie van den slipstroom van de schroef tot fluctuaties in de circulatieverdeeling aanleiding zal geven, en dus ook een vrij belangrijken geïnduceerden weerstand kan opleveren. Hierdoor zal de weerstandsvermindering van het samenstel motor en ring afnemen en dus het effect van den ring dalen. Het is echter, in verband met de vele factoren die hun invloed doen gelden, niet mogelijk ook maar bij benadering langs theoretischen weg de grootte van dezen geïnduceerden weerstand te bepalen. Bovendien kunnen in de practijk hier steeds verrassingen blijven bestaan in verband met een mogelijk onstabiel gedrag van de strooming. Wel ligt in het voorgaande nog een aanwijzing, dat de geïnduceerde weerstand op den ring bij een motor, welke dicht met cylinders is bezet, in het algemeen kleiner zal kunnen zijn — tengevolge van de waarschijnlijke kleinere variaties in de circulatie — dan bij een motor met weinig cylinders.

c. De invloed van de hoefijzerwervels op den weerstand.

Het laat zich vermoeden, dat de snelheden in het vlak van den ring, waarvan de grootte van de componenten gegeven is door formule (83), in het algemeen een stijging van den weerstand zullen veroorzaken, vooral daar zij in het instabiele veld van den turbulenten stroom achter den propeller voortdurend zullen fluctueeren en dus spoedig aanleiding zullen geven tot het verschijnsel van min of meer geïsoleerde wervels.

Theoretisch zoowel als experimenteel is het uiterst moeilijk eenig inzicht te krijgen in de grootte van de daardoor te verwachten weerstandsstijging, daar de grootte van de variabele circulatie bezwaarlijk juist kan worden geschat en hier dus verschillende onzekere grootheden samenwerken.

Ten einde een indruk te krijgen omtrent het effect dat de turbulentie van de strooming in sommige gevallen kan hebben op de vermindering van den weerstand, is in aansluiting aan de in hoofdstuk II beschreven proeven nog een tweetal groepen van metingen omtrent den weerstand van het gaasscherm verricht, waarbij op eenigen afstand vóór het stelsel gaasscherm + profielen een ander scherm werd opgesteld, dat de luchtstrooming turbulent moest maken. (Teneinde verwarring te voorkomen, zal dit tweede scherm worden aangeduid als turbulentie-scherm; het gaasscherm, waarvan de weerstand is onderzocht, als het proefscherm).

Bij beide groepen metingen werd de weerstand van het proefscherm, als functie van den invalshoek van de vleugelprofielen, gemeten, terwijl het proefscherm zich 8,5 mm achter den voorkant van de, op een onderlingen afstand van 112 mm, opgestelde profielen bevond. De bij beide groepen metingen gebruikte turbulentie-schermen waren 800 × 800 mm groot en pasten dus juist in de tunnel. Het turbulentie-scherm voor de eerste groep metingen bestond uit een eenvoudig stuk gaas, maaswijdte 3,4 mm, draaddikte 0,5 mm, dat gespijkerd was op een houten raam met een randbreedte van ± 48 mm en was opgesteld met den achterkant op een afstand van 270 mm vóór het proefscherm.

Bij de tweede groep metingen was een latten-

scherm met den achterkant 37 mm vóór het proefscherm opgesteld. De richting van de latten maakte een hoek van 45° met de richting van de vleugelprofielen; de latten waren 20 mm breed en hadden onderlinge tusschenruimten van 60 mm.

De eerste groep metingen stelde alzoo een geval voor, waarbij de profielen en het daarbij behoorende proefscherm in een strooming met „fijne" turbulentie waren opgesteld, terwijl de tweede groep metingen een geval van „grove" turbulentie vertegenwoordigde. Bij beide groepen werd behalve de weerstand van het proefscherm met en zonder profielen, nog de loodrecht op de parallelstrooming staande kracht op één der profielen gemeten. Bovendien werden de metingen met het lattenscherm éénmaal herhaald voor het geval, dat de richting van de latten juist 90° om de tunnelas was gedraaid; van de in beide gevallen gevonden uitkomsten werd hierbij het gemiddelde genomen. De windsnelheden van de tunnelstrooming, stroomopwaarts van het turbulentiescherm gemeten, bedroegen bij de proeven met het gaasscherm en het lattenscherm respectievelijk ongeveer 19,59 en 18,76 m/sec.

Bij de metingen bleek, dat de liftkrachten op het profiel tot maximaal 30% waren toegenomen. Daar, zooals bekend, de liftcoëfficiënt bij zwakke turbulentie in de strooming stijgt, kan dit als aannemelijk worden beschouwd.

Wat de verdere resultaten betreft, kon worden opgemerkt, dat het verloop van den weerstand van het proefscherm ten opzichte van het verloop van den liftcoëfficiënt hetzelfde beeld vertoonde als bij de metingen zonder turbulentie-scherm; bij een toenemen van den liftcoëfficiënt trad een daling van den weerstand op. In het geval van fijne turbulentie waren de krommen van liftcoëfficiënt en weerstand nog van dezelfde gedaante als bij de metingen zonder turbulentie, in het geval van grove turbulentie was dit echter niet meer zoo. In beide gevallen was de weerstandsvermindering sterk teruggeloopen. Bedroeg de maximale weerstandsvermindering bij dezelfde opstelling van proefscherm en profielen, doch zonder turbulentiescherm 15%, thans werd in het geval van fijne turbulentie een maximale weerstandsvermindering gevonden van 7%, terwijl deze in het geval van grove turbulentie slechts ± 2% bedroeg, zoodat het vermoeden, dat turbulentie een nadeeligen invloed op de weerstandsvermindering zoude hebben, door de resultaten van deze metingen in een niet onbelangrijke mate versterkt wordt.

d. Slot-beschouwing over den invloed van de turbulentie.

De resultaten van de metingen met de turbulentieschermen voeren, overgebracht op het geval van een stervormigen motor met Townend-ring, tot de conclusie, dat de weerstandsvermindering van den motor in het algemeen zal afnemen tengevolge van den invloed van de in den slipstroom aanwezige rotatie en turbulentie.

In het gestelde onder *b* werd aangetoond, dat eveneens tengevolge van dezen invloed met groote waarschijnlijkheid een geïnduceerde weerstand op den ring zal optreden, welke de trekkracht van den ring zal doen afnemen.

Hieruit volgt:

Conclusie XVII: De weerstandsvermindering, welke met behulp van een Townend-ring bij den luchtgekoelden stervormigen motor in den vliegtoestand kan worden bereikt, zal in het algemeen kleiner zijn, dan de weerstandsvermindering, welke bij den motor zonder propeller kan worden verkregen.

Hieruit volgt omgekeerd, dat het verminderde effect van den ring op den motor in de lucht, althans voor een gedeelte, aan den invloed van de in den slipstroom aanwezige turbulentie en rotatie mag worden toegeschreven.

Neue Erkenntnisse über Kondensatbeseitigung

von

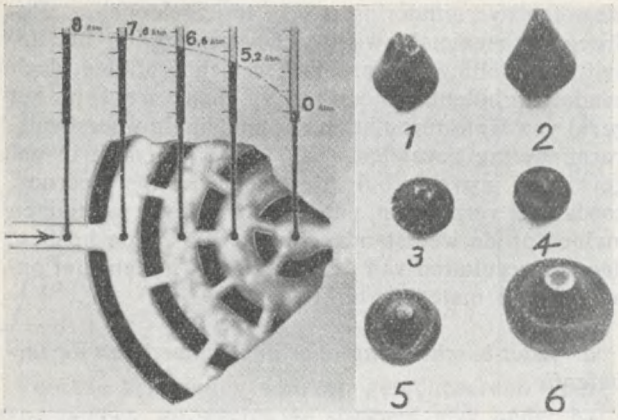
HANS RICHTER,

Oberingenieur, Hamburg.

Zur Ableitung des Kondensates aus dampfführenden Teilen (Rohrleitungen, Heizungen, Kochgefässen und dergl.) benutzt man aus alter Gewohnheit häufig noch die aus den Anfängen der Dampftechnik stammenden Schwimmer-Kondenstöpfe und Kondenswasserableiter mit Ausdehnungskörper, zumal man glaubt, dass es nur mit einem Schwimmer oder Ausdehnungskörper, also durch Ableiter mit beweglichen Teilen möglich ist, den Dampf auch dann zurückzuhalten, wenn der Kondensatzufluss schwankt, also einmal viel und einmal wenig Kondensat zufliesst. Die vielen Störungen und Wärmeverluste, welche bei diesen empfindlichen Mechanismen unvermeidlich sind, werden notgedrungen in den Kauf genommen. Man ahnt auch gar nicht, dass diese Verluste so gross sein können, dass dadurch die Wirtschaftlichkeit des Betriebes gefährdet werden kann.

Die neuere Erforschung der physikalischen Naturgesetze des Dampfes hat nun aber gezeigt, dass es andere überraschend einfache Möglichkeiten gibt, das Kondensat ohne empfindlichen beweglichen Mechanismus so abzuleiten, dass Dampf- und Wärmeverluste auch bei starken Schwankungen der zufliessenden Kondensatmenge unmöglich sind.

Diese Kondensat-Ableiter ohne bewegliche Teile beruhen auf dem Prinzip der Labyrinthdichtung (bekannt als zuverlässigste Wellendichtung bei Dampfturbinen). Bisher wurde jedoch vielfach angenommen,



dass solche Ableiter nur bei gleichbleibendem Kondensatzufluss zu verwenden sind. Dieser Eindruck ist besonders dadurch entstanden, dass vollkommen ungeeignete Ausführungen auf den Markt gebracht sind. Das Prinzip der Labyrinthdichtung ist erst bei dem neuen „Gestra" Prallplatten-Kondenstopf (Gustav F. Gerdts, Bremen) durch besondere Ausbildung des Labyrinth-Systemes vollkommen ausgenutzt, wodurch eine praktisch unbegrenzte überraschend wirkende Anpassungsfähigkeit an schwankenden Kondensatzufluss erzielt ist. Selbst dann, wenn in Ausnahmefällen zeitweise überhaupt kein Kondensat zufliesst, tritt bei diesem Ableiter nur eine so verschwindend geringe Dampfmenge aus, dass von der Möglichkeit eines Dampfverlustes bei Verwendung des neuen „Gestra" Topfes praktisch gar nicht mehr gesprochen werden kann.

Genaue Messungen, welche besonders von der Technischen Hochschule in München vorgenommen wurden, haben die eigenartigen Vorgänge klargelegt, durch welche im Labyrinthsystem des Prallplatten-Kondenstopfes diese verblüffend wirkende selbsttätige Anpassung an die zufliessende Kondensatmenge erzielt wird. Am besten können diese Vorgänge veranschaulicht werden, wenn man den für einen Kondenstopf ungünstigsten Fall untersucht, das heisst, wenn ihm überhaupt kein Kondensat zufliesst. In solchem Fall steht direkter Frischdampf vor dem Labyrinthkanalsystem des „Gestra" Topfes. Dieser dringt aber, wie die *Abbildung, links,* zeigt, nur in den ersten weiten Kanal ein. In den darauffolgenden engen Drosselkanälen wird er stark gedrosselt und expandiert dann wieder in dem nächsten weiten Kanal. Durch dieses vielfach aufeinanderfolgende Expandieren und Drosseln entspannt sich der Dampf immer mehr und verliert vollständig an Kraft, so dass er nur in ganz verschwindend geringer Menge durch das Kanalsystem hindurchströmen kann. Genaue Messungen, welche durch Kondensieren des austretenden dünnen Schwadens vorgenommen wurden, haben ergeben, dass in diesem ungünstigsten Falle nur etwa 2-3% an Dampf entweichen können, also eine so geringe Menge, dass sie praktisch überhaupt keine Rolle spielt. Im übrigen wird es in Wirklichkeit nur ganz selten einmal vorkommen, dass überhaupt kein Kondensat zufliesst, sondern es wird wenigstens immer etwas Kondensat vorhanden sein. Dadurch verringert sich aber sofort der Dampfdurchtritt ganz erheblich, sodass er praktisch niemals grösser als etwa 1% ist. Bei mittleren bis normalen Kondensatzufluss tritt selbstverständlich überhaupt kein Dampfdurchtritt ein, da dann die Kanäle restlos mit Kondensat angefüllt sind und Frischdampf überhaupt nicht hineingelangen kann. Das Labyrinthkanalsystem verhindert also praktisch selbst dann Dampfverluste, wenn der Kondensatzufluss zeitweise auf Null herabsinkt, die Schwaden können also beliebig gross sein.

Da der Prallplatten-Kondenstopf keine beweglichen Teile besitzt, so ist er keinem Verschleiss unterworfen und arbeitet deshalb auch nach längerer Betriebszeit genau so einwandfrei wie kurz nach dem Einbau. Ein Schwimmertopf dagegen oder ein Topf mit Ausdehnungskörper wird erfahrungsgemäss nach kurzer Zeit undicht, denn die winzigen Absperrkegel oder Schwimmer verschleissen sehr schnell (*Abbildung, rechts*). Die dauernden Dampfverluste, welche dadurch entstehen, sind sehr erheblich und betragen bis zu 36%, wie z.B. von den bekannten Forschern Prof. Josse und Prof. Eberle festgestellt wurde. Nach den neuesten Untersuchungen von Dr. Ing. Balcke ergaben sich Verluste von 20-30%, also so bedeutende Dampfverluste, dass dadurch die Wirtschaftlichkeit des Betriebes erheblich gefährdet sein kann.

Wenn man bedenkt, dass sich ein Labyrinth-Ableiter allen Schwankungen des Kondensatzuflusses anpasst, im ungünstigsten Falle aber niemals mehr als 2-3% Dampf entweichen kann, so ergibt sich dadurch ohne weiteres die wirtschaftliche Ueberlegenheit eines solchen Ableiters gegenüber einem Apparat mit empfindlichen beweglichen Teilen.

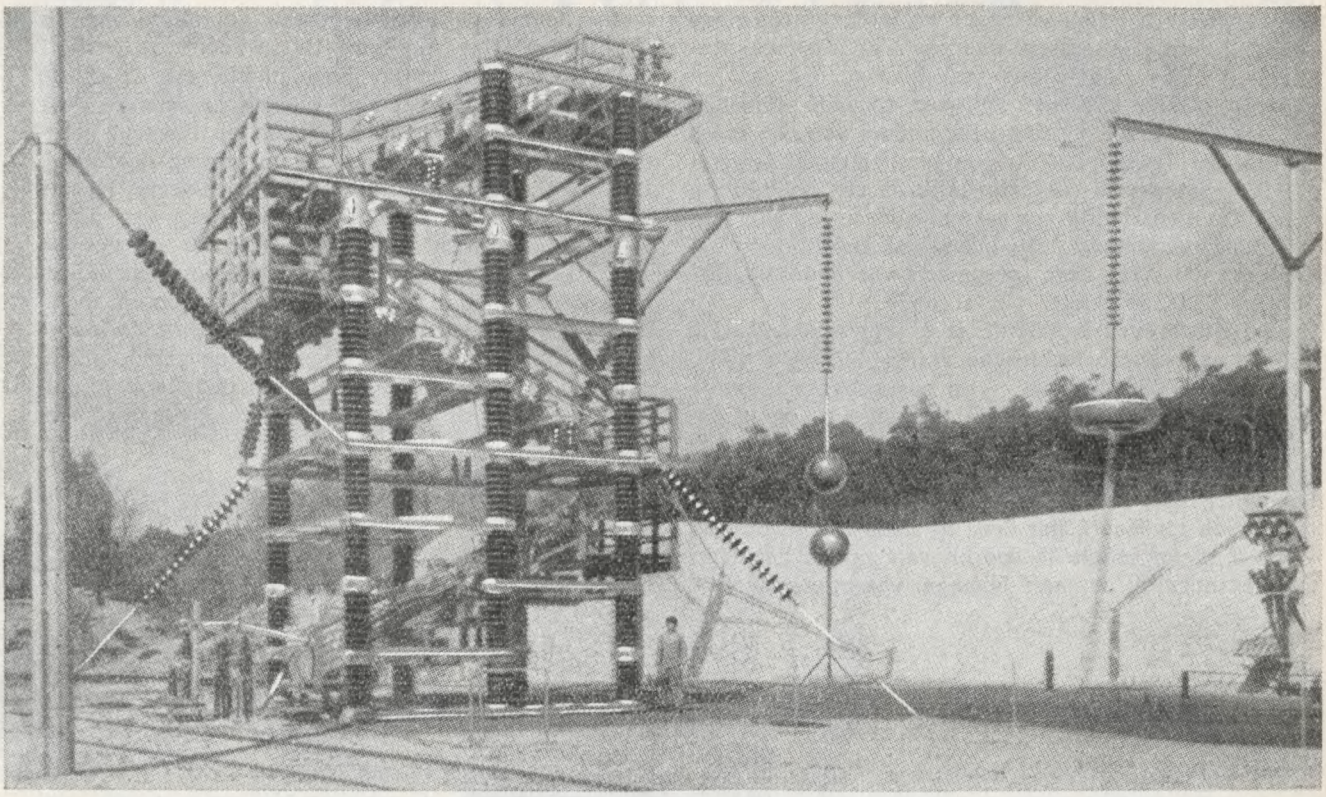
Een „Bliksem-Laboratorium".

Zoowel in de met stoom als in de met waterkracht gedreven electrische centrales wordt tegenwoordig electrische energie opgewekt met spanningen van 5 000 tot 15 000 Volt. Om deze energie op economische wijze over grootere afstanden te verplaatsen, is het noodzakelijk genoemde spanningen door middel van „transformatoren" tot op nog hoogere spanningen om te vormen. Hoe grooter de afstand, welke overbrugd moet worden, des te hooger deze spanningen gekozen dienen te worden. In kleine netten werkt men met spanningen van 5 tot 15 000, in groote netten daarentegen met spanningen tot 220 000 Volt.

De allereerste eisch, welke aan een electriciteitsbedrijf gesteld moet worden is, dat het op elk oogenblik de stroomlevering aan zijne afnemers zoodanig kan verzorgen, *dat geen storingen optreden, althans de kans op storingen zooveel mogelijk uitgeschakeld wordt.*

De enorme ontwikkeling van de electrotechniek is, van het allereerste begin af, dan ook hoofdzakelijk een onophoudelijke strijd geweest tegen allerlei en velerlei storingsoorzaken.

De ergste vijand van de overbrenging van electrische energie, voor zoover deze plaats vindt door middel van bovengrondsche netten, is *de bliksem.* Na den wereldoorlog is in nagenoeg alle, op technisch gebied vooruitstrevende, landen een ijverig en nauwgezet onderzoek begonnen om den bliksem, als ver-



In het nieuwgebouwde „Bliksem-Laboratorium" van de Siemens-Schuckert-werke te Nürnberg kunnen spanningen van drie millioen Volt opgewekt worden.

wekker van storingen, zoowel voor wat betreft zijn eigen aard, als voor wat betreft zijne uitwerkingen op electrische installaties, te doorgronden en tevens middelen en wegen te vinden om electrische installaties zooveel mogelijk te beveiligen tegen invloeden van het onweer.

Opdat deze onderzoekingsarbeid zoo vruchtbaar mogelijk zoude zijn, was vóór alles noodig, dat men de beschikking kreeg over installaties, welke de mogelijkheid openden, den bliksem na te bootsen, zóódanig, dat deze nagebootste bliksem den natuurlijken bliksem in aard en uitwerking zooveel mogelijk benaderde. Een zoodanige installatie werd door de Siemens-Schuckertswerke A.G. in hare Transformatorenfabriek te Nürnberg gebouwd. Met deze installatie is het mogelijk electrische energie op te wekken met de buitengewoon hooge *proefspanning van drie millioen Volt* en een *stroomsterkte van ruim 25 000 Ampère*. Technisch gesproken, bedraagt de hoeveelheid electrische energie, over welke men op een gegeven oogenblik in deze installatie kan beschikken, *42 000 Watt-seconden*.

Het technisch geheim een zoo hooge spanning op te kunnen wekken is hierin gelegen, dat men aan in verhouding kleine apparaten, zoogenaamde „condensatoren", welke men zich het beste kan denken als accumulatoren voor electrische energie van zeer hooge spanning, in een oplaadtijd van slechts eenige seconden een electrische energie toevoert van 42 000 Watt-seconden. Door middel van geschikte vonkbruggen worden deze condensatoren dan in den bijna ondenkbaren tijd van ongeveer één millioenste seconde „achter elkander geschakeld". Door deze „achter-elkander-schakeling" van 30 condensatorenbatterijen met elk 100 000 Volt spanning, krijgt men de tevoren genoemde verbazingwekkende spanning van drie millioen Volt.

Als eigenlijke „bliksem-generator" ziet de toeschouwer een in de open lucht opgetrokken bouwwerk, grootendeels van porcelein, met een grondvlak van 5 bij 5 meter en een hoogte van 12 meter, waarin de condensatoren-batterijen, de schakel-vonkbruggen en alle verder benoodigde apparaten zijn ondergebracht. (Zie *afbeelding*).

Op een afstand, welke, met het oog op de overslagkracht bij zeer hooge spanningen, voldoende geacht wordt, zijn betonnen masten opgetrokken, welke aan lange isolatoren groote metalen kogels voor meetdoeleinden dragen. In een speciale bedieningskamer, „de wacht", zijn alle noodige schakelapparaten ondergebracht. Behalve de beschreven installatie in de open lucht behoort tot het laboratorium ook nog een hoog opgebouwde lokaliteit, waarin een kleinere „bliksemgenerator" voor één millioen Volt spanning en kleinere capaciteit, alsmede de gevoelige meetinstrumenten, lampen, enz. zijn opgesteld, welke noodig zijn voor de opwekking van de hooge laadspanning voor de condensatoren-batterijen.

Het belangrijkste meetinstrument, geconstrueerd als een menschelijk oog, waarmede de experimenteerende ingenieur alle electrische processen, welke zich voordoen bij de onderzoekingen, waarneemt, omdat het menschelijk oog niet geschapen is om deze processen direct te volgen, is de zgn. „kathodenoscillo-

graaf", welke op lichtschermen en fotografische films de electrische processen weergeeft en vastlegt, processen, welke zich in den fantastischen tijd van het 100-millioenste gedeelte van een seconde afspelen.

Deze processen worden door middel van een langs een fotografische plaat strijkenden lichtstraal fotografisch opgeteekend, respectievelijk op een lichtscherm voor het menschelijk oog waarneembaar gemaakt. De snelheid, waarmede deze lichtstraal zich tijdens het opteekenen van deze processen voortbeweegt, bedraagt 5 000 kilometer per seconde.

De beschreven installatie is er op berekend, alle boven aangeduide technische vraagstukken tot spanningen van 220 000 Volt — en nog hoogere spanningen, waarmede in de naaste toekomst rekening gehouden moet worden — op te kunnen lossen. Van de geweldige krachten, waarmede men te maken heeft, kan men zich eenigszins een voorstelling maken als men zich realiseert, dat deze in staat zijn luchtlagen over 7 meter lengte te doorklieven en dat het daarmede mogelijk is, aan boomen van meer dan 10 meter hoogte de karakteristieke versplintering, als bij blikseminslag voorkomt, na te bootsen.

De toegepaste schakelingsmethode, om de in de condensatoren opgezamelde electrische energie door achter-elkander-schakeling tot een op bliksem gelijkende ontlading te brengen, is ontworpen door Prof. Dr. Ing. Erwin Marx, van de Technische Hoogeschool te Brunswijk. De onderzoekingen van dezen wetenschappelijken vorscher waren er op gericht, zich vrij te maken van de pogingen, om den natuurlijken bliksem op te vangen en te accumuleeren, zooals b.v. vele jaren geleden geprobeerd werd op de Monte Generoso met een daarvoor speciaal gebouwde installatie, en daarvoor in de plaats een installatie te ontwerpen, welke direct in laboratoria opgebouwd kan worden *).

*) In het hoogspanningslaboratorium van de Afdeeling Electriciteitswezen van het Departement van V. en W., verbonden aan de T. H. te Bandoeng, kunnen spanningsstooten worden opgewekt van 700 000 V met een vermogen van de ontlading van ca. 500 000 kW. Red.

2e JAARGANG
NUMMER 10

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

OCTOBER
1935

IV. MIJNBOUW EN GEOLOGIE.

„DE MIJNINGENIEUR"

INHOUD: Bemerkungen zur fossilen Säugetierfauna Javas. II, von Dr. G. H. R. von Koenigswald. — Gesteenten van Sumatra's Westkust, door ir. W. de Haan. — Economische mededeelingen. — Personalia.

Bemerkungen zur fossilen Säugetierfauna Javas. II [1])

von

Dr. G. H. R. VON KOENIGSWALD, Bandoeng.

(mit einer Tafel).

Eine Djetis-Fauna aus den Tambakan-Schichten der Gegend von Soebang, West-Java.

Schon vor längerer Zeit wurde Verf. von Herrn dr. P. M. Roggeveen auf Säugetierfunde aus dem Bette des Tjipoenagara östlich von Soebang aufmerksam gemacht, doch war das bisher bekannte Material zu einer Beurteilung der Fauna noch nicht ausreichend, da nur Knochenstücke und abgerollte Zahnfragmente von *Stegodon* und Rindern vorlagen. Einmal soll auch ein Unterkiefer von *Stegodon* gefunden worden sein, doch hat Verf. dieses Stück nie gesehen.

Bei der Aufnahme des Blattes Soebang (Blad 35) durch den Geologischen Dienst fand dr. Ch. Harloff in der gleichen Gegend verschiedene teilweise reichere Fundstellen fossiler Säugetiere, die uns nun endlich erlauben, etwas Näheres über Alter und Zusammensetzung dieser Fauna auszusagen. Die Lage der Fundplätze und die geologischen Verhältnisse gehen aus den beigefügten Textabbildungen hervor, die dr. Harloff freundlicherweise zur Verfügung gestellt hat. Die meisten Fundstellen liegen im Flussgebiet des Tjilamatan (Tjisaär, Tjipanaroeban und Tjitalaga), gleich östlich von Soebang zwischen diesem Platz und dem Tjipoenagara, nur die Fundstelle Tjipapan ist bereits östlich dieses Flusses.

Die Funde stammen, was sehr wichtig ist, nicht alle aus den gleichen Schichten. Aus einem Sandstein, der zum obersten Teile der Kaliwangoe-Schichten gehört, liegt vom Tjitalaga ein linker letzter unterer Molar eines mittelgrossen Rindes vor, der wohl zu einer näheren Bestimmung nicht ausreicht, uns aber eine deutliche Anweisung dafür ist, dass in diesem Horizonte noch mehr zu erwarten ist. Alle übrigen Funde stammen aus einer nach der Aufnahme von dr. Harloff diskordant darüber liegenden konglomeratischen Schichtserie, die teilweise vulkanischen Ursprunges ist. Diese Tambakan-Schichten haben im Gebiet zwischen Poerwakarta und Cheribon offensichtlich eine grössere Verbreitung.

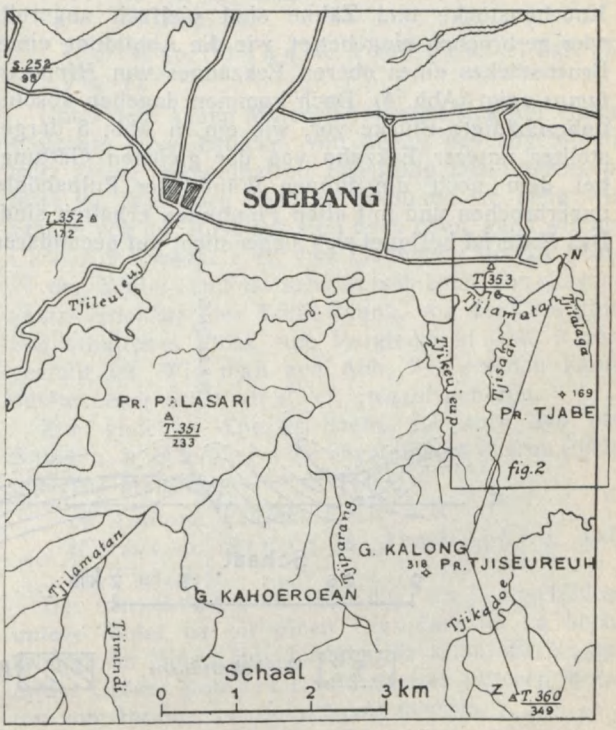


Fig. 1 (Z. N.-profiel fig. 3).

1) S. *De Ingenieur in Ned.-Indië* No. 7 — 1935.

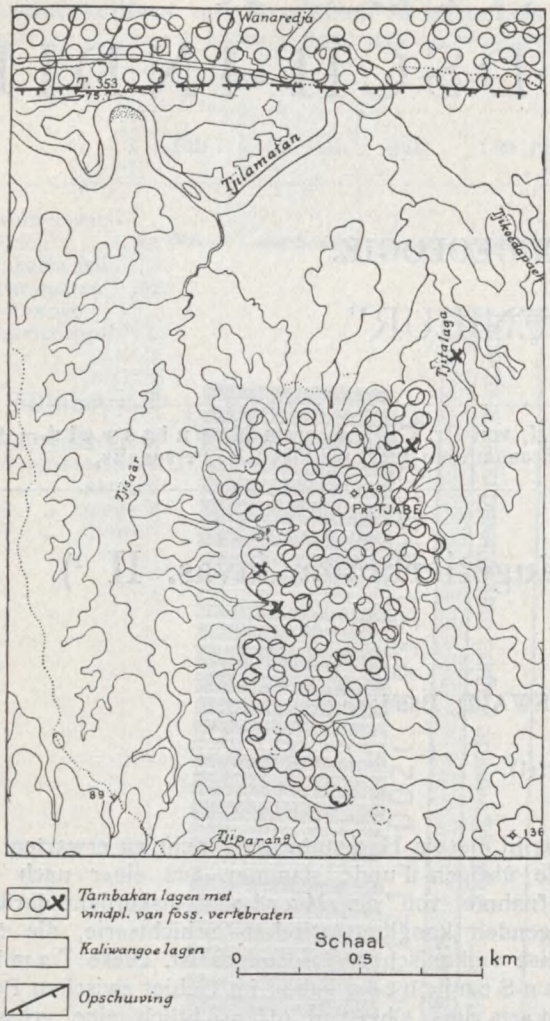


Fig. 2.

Das Material ist nicht gleichartig erhalten. Die Knochenstücke und Zähne sind vielfach abgerollt oder zerbrochen eingebettet, wie die Abbildung eines Bruchstückes eines oberen Eckzahnes von *Hippopotamus* zeigt (Abb. 4). Doch kommen daneben absolut unbeschädigte Stücke vor, wie ein in Abb. 3 dargestellter unterer Eckzahn von der gleichen Gattung, bei dem noch die dünnen Wände der Pulpahöhle unzerbrochen und mit allen Feinheiten erhalten sind. Das Material befindet sich sicher nicht auf secundärer Lagerstätte, nur dass eben ein sehr ungleich starker Transport stattgefunden hat, was bei einer so stark durch Vulkanismus beeinflussten Ablagerung nicht weiter verwunderlich ist. Gleichartig zugerichtete Knochen, d.h. abgerollte und zerbrochene neben völlig unbeschädigten, fanden sich z.B. auch in den Tuffen am Goenoeng Boetak bei Madioen.

Das reichliche Vorkommen von Flusspferdresten in unseren Schichten setzt ein grösseres Flusssystem voraus; wir haben es mit einer durch Vulkanismus stark beeinflussten fluviatilen Ablagerung zu tun.

Die bisherigen Funde verteilen sich auf folgende Arten:

Stegodon trigonocephalus praecursor v. K.
(Abb. 1).

Zahnfragmente vom Tjitalaga (nahe der Quelle); Zahnfragmente und Knochenstücke, worunter ein Astragalus, vom Tjisaär; ein Schädelfragment und ein halber rechter Unterkiefer vom Tjipanaroeban.

Dieser letztgenannte Unterkieferrest ist das wichtigste Stück. Leider gehört er einem halbwüchsigen Tiere an, das sich zudem noch im Zahnwechsel befand. Ein kleiner Zahn, vermutlich der letzte Milchzahn oder der erste Molar des bleibenden Gebisses, ist beinahe bis zum Talon angekaut. Die vordersten Joche sind bereits ausgekaut und teilweise abgebrochen (Abb. 1), so dass die Jochformel nicht anzugeben ist. Dahinter erscheint im Kiefer der Keim des folgenden Zahnes (auf der Abbildung fortgelassen).

Bei diesem Zahne fällt sofort sein primitives Gepräge auf, das sich in einem grösseren Abstand der Joche, ferner in einem dicken und nur wenig gefältelten Schmelz dokumentiert. Im Vergleich damit ist die Schmelzfältelung der Stegodonten der Ngandong- und Trinil-Schichten viel stärker, wie ein Vergleich mit einem letzten unteren Milchzahn von Watoealang zeigt (Abb. 2). Unser *Stegodon* ist somit dem *Stegodon trigonocephalus praecursor* zu zurechnen.

Rhinoceros sondaicus D e s m.
ist nur durch ein abgerolltes Zahnfragment vom Tjisaär vertreten.

Hippopotamus (*Hexaprotodon*) *antiquus* v. K.
(Abb. 3-4).

Vom Tjisaär ein Bruchstück eines Molaren; vom Tjipanaroeban ein Schädel, ein unterer Eckzahn

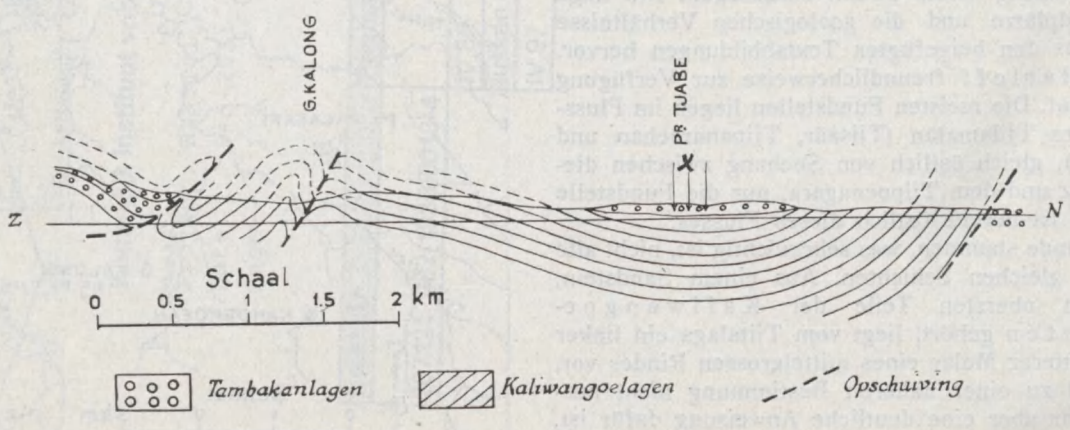


Fig. 3.

(Abb. 3) und ein unterer Schneidezahn, ferner Bruchstücke eines unteren und eines oberen (Abb. 4) Eckzahnes.

Das beste Stück der ganzen Sammlung ist ein beinahe vollständig erhaltener Schädel. Leider ist er in einer so stark verhärteten Matrix eingebettet, dass seine Präparation erhebliche Schwierigkeiten macht, und es wohl noch einige Zeit dauern wird, bis das interessante Stück aufgestellt, beschrieben und abgebildet werden kann. Vor den Eckzähnen besitzt der Schädel eine merkwürdige Knochenauftreibung, wie sie in sehr viel stärkerem Masse bei *Hippopotamus namadicus* vorhanden ist.

Die unteren Eckzähne stimmen in Grösse und Querschnitt ganz mit solchen vom Goenoeng Boetak überein.

Antilope modjokertensis v. K.
(Abb. 5).

Von dieser Antilope liegt ein sehr typischer letzter unterer linker Molar vom Tjisaär vor. Der Zahn, dem leider die Spitzen fehlen, hat 23 mm Länge, und stimmt völlig mit den Typusstücken von Djetis überein.

Bos (*Bubalus*) *bubalis* cf. *palaeokerabau* D.

Ein Unterkieferfragment dieses grossen Rindes in einem Handstück vom Tjipapan. Der letzte Molar fehlt.

Leptobos cf. *cosijni* v. K.
(Abb. 6).

Vom Tjisaär Bruchstücke von Hornkernen.

Diese sind von denen von *Bibos* völlig verschieden, und zeigen bereits am Hornansatz den für *Leptobos* typischen runden Querschnitt. Die vorliegenden Hornfragmente sind nicht nur kleiner als von *Leptobos cosijni* von Djetis — was schliesslich im Alter bedingt sein könnte —, das grösste der Bruchstücke (Abb. 6) lässt auch erkennen, dass das Horn anscheinend nicht so stark gebogen war, als bei dieser Art.

Das Material ist zu fragmentär, als dass sich irgendwelche besonderen Schlussfolgerungen daraus ziehen lassen würden, solange wir nicht über Jugendformen und Variabilität des *Leptobos cosijni* unterrichtet sind. Die Zugehörigkeit zu dieser Art ist indes sehr wahrscheinlich.

Vom Tjisaär und Tjipanaroeban liegen noch verschiedene isolierte Rinderzähne vor, die teils zu grösseren (*Bubalus*), teils zu kleineren, (*Leptobos*) Formen gehören, ohne dass eine einwandfreie Bestimmung dieser teilweise auch beschädigten Zähne möglich wäre.

Übersehen wir diese Fauna, so sind *Leptobos* und *Antilope modjokertensis* bisher nur aus der Djetis-Fauna bekannt. *Hippopotamus antiquus* ist ebenfalls in dieser Fauna häufig, kommt aber bereits in der älteren Kali Glagah-Fauna vor; doch fehlt das für diese typische *Mastodon*. Das *Stegodon* zeigt deutlich primitive Eigenschaften. *Bubalus* und *Rhinoceros* ergeben keine näheren Anhaltspunkte. Jedenfalls ist deutlich, dass die Säugetierfauna der Tambakan-Schichten nach unserer gegenwärtigen Kenntnis der Djetis-Stufe zu zurechnen ist, die nach der Auffassung des Verf. das älteste Pleistocän repräsentiert. Bereits früher war ein altpleistocänes Alter der Tambakan-Serie vermutet worden.

Das Vorkommen der bisher nur aus Ost- und Mittel-Java bekannten Djetis-Fauna nun in West-Java ist von grosser stratigraphischer Bedeutung.

Diese Säugetierfunde sind nicht die ersten in West-Java. Schon 1929 beschrieben Stehn & Umbgrove eine kleine Fauna aus dem Durchbruchstal des Tjitaroem westlich von Bandoeng. Leider befindet sich das Material nicht in der Sammlung des Opsporingsdienstes, und die neuen Aufsammlungen haben bisher nur wenig Resultate gehabt. Die Funde stammen aus tuffösen Süsswasserabsätzen (mit Melanien, *Corbicula* etc.), die horizontal gelagert sind. Ein scheinbares Einfallen der Schichten bei Waroedojong und Banoeradja (Stehn & Umbgrove), einem Gebietsteil, das Verf. aus eigener Anschauung kennt, kommt sicher durch grosse Abrutschungen der wenig verfestigten Schichten in das relativ breite Flusstal hinein, und nach freundlicher Mitteilung von dr. L. J. C. van Es ist dies längs des ganzen fraglichen Teiles des Flusslaufes der Fall.

Versuchen wir bereits jetzt uns ein Bild von der Fauna zu machen, so können wir folgende Arten nennen:

Rhinoceros sondaicus Desm.
(Abb. 10).

In unserem Material ein stark abgerollter unterer Molar.

Sus sp.
(*Sus* sp. Stehn & Umbgrove, Taf. IV, Figs 4-5).

Von einem kleinen Suiden bilden Stehn & Umbgrove das Fragment eines Unterkiefers ab. Leider fehlt der für eine Bestimmung so wichtige letzte Molar.

Cervus (ex aff. *zwaani*).
(Abb. 8).
(*Cervus* sp. Stehn & Umbgrove, Taf. IV, Fig. 1).

Unter dem neuen Material befinden sich nur einige schlechte Geweihstücke, von denen das abgebildete trotz seiner mangelhaften Erhaltung das interessanteste ist. Wie noch eben zu erkennen ist, steigt die Stange von der Rose aus steil nach oben, ganz wie bei *Cervus* cf. *zwaani* v. K. vom Goenoeng Boetak (Abb. 7) der Djetis- und ist sehr verschieden von *Cervus* (*Axis*) *lydekkeri* der Trinil-Fauna, von dem ein ähnlich erhaltenes Stück zum Vergleich in Abb. 9 dargestellt ist. Wie man aus Abb. 7-9 ersehen kann, dürfte unser Stück zu *C.* cf. *zwaani* gehören.

Zur gleichen Spezies stelle ich auch den von Stehn & Umbgrove abgebildeten oberen (nicht unteren) Molaren.

cf. *Antilope modjokertensis* v. K.
(*Cervus* sp. Stehn & Umbgrove, Taf. IV, Figs. 2-3).

Der von Stehn & Umbgrove abgebildete untere Molar ist für einen Cervidenzahn zu hochkronig, für einen Bovidenzahn zu klein. Er stimmt in der Grösse ganz mit einem zweiten unteren Molaren von *Antilope modjokertensis* überein.

Wenn Verf. diese Umbestimmung nur mit einigem Vorbehalt vornimmt, so liegt das daran, dass ihm das Original nicht vorliegt (unter dem neuen Material befinden sich keine derartigen Reste), und es nicht völlig auszuschliessen ist, dass der Zahn doch von einem recenten *Ovis* stammen könnte.

Bos (*Bubalus*) *bubalis palaeokerabau* D.
(*Bos* sp. Stehn & Umbgrove, Taf. IV, Figs. 6-7).

Diese grossen Zähne gehören sicher zu einem Karbau. In unserem Material durch einen grossen Mittelfussknochen und div. Knochenbruchstücke vertreten.

Es darf als sehr wahrscheinlich hingestellt werden, dass wir es auch hier mit der Djetis-Fauna zu tun haben, wenn auch wegen des Cerviden und der Antilope noch einige Unsicherheit bleibt. Verf. behält sich vor, wenn besseres Material vorliegt, nochmals ausführlicher auf diese wichtige Fauna einzugehen.

Aus dem Bette des Tjimener, zwischen Soebang und dem Tampoemas, erhielt Verf. bereits früher von dr. P. M. Roggeveen einen leider als Rollstück gefundenen oberen Molaren von

Merycopotamus nanus Lyd.

einer typischen Art der Tji Djoelang-Fauna, und in der Sammlung von Herrn A. D. H. Bosch — Bandoeng befinden zich vom Goenoeng Gadjah bei Tegal u.a. Reste von

Stegodon trigonocephalus
Elephas ex aff. *namadicus*
Sus brachygnathus,

die auf ein Vorkommen von Trinil-Fauna in dieser Gegend weisen. In der Umgebung von Cheribon befinden sich verschiedene Wirbeltierfundplätze, die noch nicht näher untersucht worden sind. Jedenfalls haben wir auch in West-Java Säugetierfaunen verschiedenen Alters und es ist zu hoffen, dass neue Funde uns bald mehr Klarheit über ihre Verbreitung und Verteilung geben, gibt uns das doch die Möglichkeit einer weitgehenden Parallelisation der faziell teilweise so ausserordentlich verschiedenen jüngsttertiären und pleistocänen Ablagerungen Javas.

LITERATUR.

G. H. R. von Koenigswald Beitrag zur Kenntnis der fossilen Wirbeltiere Javas, I. Teil. Wetenschappelijke Mededeel. No. 23, (1933).
id. Zur Stratigraphie des javanischen Pleistocän. Diese Zeitschrift, I (1934), pag. 185-201.
id. Die fossilen Säugetierfaunen Javas. Proc. Kon. Academie v. Wet. Amsterdam, XXXVIII (1935), pag. 188-198.
Ch. E. Stehn & J. H. F. Umbgrove Bijdrage tot de Geologie der vlakte van Bandoeng. Tijd. Kon. Aardr. Gen. 2. ser. XLVI, (1929). 14 pag.

TAFELERKLÄRUNG.

Abb. 1. *Stegodon trigonocephalus praecursor*, rechter unterer letzter Milchmolar oder erster bleibender Molar. Tjipanaroeban bei Soebang.
Abb. 2. *Stegodon t. trigonocephalus.* Linker unterer letzter Milchmolar, von Watoelalang (No. 1864); Mittel-Java.
Abb. 3. *Hippopotamus (Hexaprotodon) antiquus.* Unterer Eckzahn im Gestein. Tjipanaroeban.
Abb. 4. *Hippopotamus (Hexaprotodon) antiquus.* Bruchstück eines oberen Eckzahnes im Gestein. Tjipanaroeban.
Abb. 5. *Antilope modjokertensis.* Unterer letzter Molar. Tjisaär bei Soebang.
Abb. 6. *Leptobos* cf. *cosijni.* Fragment eines Hornzapfens. Tjisaär.
Abb. 7. *Cervus* cf. *zwaani*, Stangenfragment. Goenoeng Boetak bei Madioen, Mittel-Java.
Abb. 8. *Cervus* (ex aff. *zwaani)*, Stangenfragment. Durchbruchstal des Tjitaroem bei Bandoeng.
Abb. 9. *Cervus (Axis) lydekkeri*, Stangenfragment. Sangiran, Mittel-Java.
Abb. 10. *Rhinoceros sondaicus*, unterer Molar. Tjitaroemtal bei Bandoeng.
Die Abb. 3, 4, 6-10 in halber, alle anderen in ganzer natürlicher Grösse.

Gesteenten van Sumatra's Westkust

door

ir. W. DE HAAN, 's Gravenhage.

Op verschillende reizen ter Sumatra's Westkust heb ik gesteentemonsters verzameld. Ook zijn mij op mijn verzoek dergelijke monsters toegezonden. Van eenige dezer gesteenten heb ik naderhand dunne doorsneden laten maken. Zij zijn afkomstig zoowel van bekende en reeds beschreven gebieden als van terreinen, waar tot nu toe geen geologische onderzoekingen hebben plaats gehad. Eenige resultaten van het microscopisch onderzoek en enkele opmerkingen waartoe dat onderzoek aanleiding geeft mogen hier volgen.

De gebieden, die voor een afzonderlijke bespreking in aanmerking komen, zijn hieronder met korte benamingen aangeduid.

GOENOENG AROEM (Salida).

Dit gebied behoort tot de stroomgebieden van de A. Djalamoe en A. Taratak Toempatih en ligt hemelsbreed ruim 8 km Oost van de oude Salida-mijn (circa 14½ km N.N.O. van den bestuurszetel Salido, S.W.K.). De nog jonge mijnbouwonderneming (goud en zilver) Goenoeng Aroem is hier gevestigd. Het terrein is zeer geaccidenteerd en bevindt zich als geheel genomen omstreeks 1000 meter b.z. De gesteentemonsters zijn verzameld door Van Loenen en door mijzelve.

Intrusiva.

Hoornblende-biotiet-graniet.

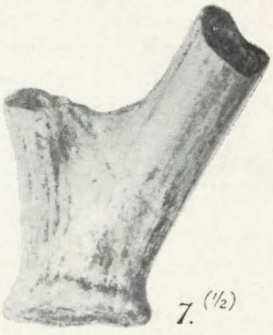
N.S. 35. Linkerbeek A. Taratak Toempatih.

Hypidiomorf-korrelig gesteente. Veel orthoklaas in groote velden, waarin idiomorfe plagioklaas-, benevens hoornblende- en biotietkristallen liggen ingebed. Zeer mooie myrmekiet op de grenzen van kaliveldspaat en plagioklaas. Microperthiet. Plagioklaas met alterneerende zônes van basiciteit. Drie verschillende be-

1.

2.

5.



7. (½)

8. (½)

9. (½)

3. (½)

10. (½)

6. (½)

4. (½)

palingen leverden achtereenvolgens 28, 27 en 25% An. (basische oligoklaas). Kwarts, soms met idiomorfe neiging, doch niet opvallend veel. Weinig femische bestanddeelen. Gechloritiseerde glimmer en primaire, groene hoornblende. Mooi idiomorfe titaniet-kristallen (pleochr. van licht tot donker beige). Apatiet, zirkoon, erts. Epidoot.

Porfierachtige hoornblende-biotiet-graniet.

N.S. 38. A. Boengkoek.

Enkele grootere plagioklaas individuen (minstens bas. oligoklaas) in een overigens hypidiomorf-fijnkorrelig gesteente, waardoor de structuur porfierachtig wordt. Veel verweerde alkaliveldspaat, soms volkomen idiomorf, microperthiet. Mogelijk ook microklien. Zure plagioklaas, helderder dan de alkaliveldspaat, met epidootkorrels.

Kwarts als vulmassa, ook eigen vorm vertoonend. Granofierische vergroeiingen. De femische bestanddeelen treden op den achtergrond en zijn sterk veranderd. Vastgesteld is o.a. groene biotiet en te oordeelen naar den vorm hoornblende. Zirkoon, titaniet, apatiet, ilmeniet en chloriet.

Porfierachtige hoornblende-biotiet-graniet.

N.S. 33. Rechterbeek A. Taratak Toempatih.

Vertoont met het bovenstaande groote gelijkenis. De alkaliveldspaat is weer sterk verweerd, de albietpartijen zijn helder. Meer micropegmatitische vergroeiingen dan in N.S. 38. De kwarts-vulmassa dooft over grooten afstand gelijktijdig uit, vele veldspaatindividuen liggen in een enkel kwartsindividu ingebed. Ook zijn idiomorfe kwartsomgrenzingen aanwezig. De weinige femische bestanddeelen zijn naar den vorm hoornblende geweest. Opgemerkt werd een orthiet-kristalletje (c = bruin, a = lichtgroen).

Effusiva.

Hoornblende-andesiet.

N.S. 43. A. Panta Panta (linkerbeek A. Painan).

Porfierisch gesteente. Fenokristen van oligoklaasandesien, zonder zonairen bouw, en groene hoornblende. De plagioklaas is gedeeltelijk omgezet in albiet, de amfibool vertoont ertsranden en secundaire mineralen (epidoot, kwarts, etc.). Geen kwartsfenokristen. Ertskristalletjes, apatiet en zirkoon.

De grondmassa vertoont plagioklaasnaaldjes (vaak fluïdaal gerangschikt), kwarts, epidoot, chloriet. Veel stofachtige, kleine, zwarte en bruine korrels (vermoedelijk ijzeroxyden). Het gesteente is hydrothermaal veranderd. Geen pyriet.

Hoornblende-andesiet.

N.S. 44. Rechterbeekje A. Djalamoe.

Groote overeenkomst met N.S. 43. Analoog veranderd. Fenokristen van oligoklaas-andesien, zonder zonaire bouw, plaatselijk omgezet in albiet.

Groene amfibool.

In de grondmassa zijn de plagioklaasnaaldjes nog te herkennen. Hydrothermaal veranderd. Geen pyriet.

Diorietporfieriet (eventueel andesiet).

N.S. 41. A. Djalamoe.

Holokristallijn porfierisch gesteente. Fenokristen van oligoklaas-andesien, zonder zonaire bouw. Te oordeelen naar den vorm zijn amfibool fenokristen aanwezig geweest. De grondmassa bestaat behalve uit secundaire mineralen hoofdzakelijk uit plagioklaaslatjes en wat ilmeniet. Kwarts is ook aanwezig.

Het gesteente is sterk hydrothermaal veranderd. Zeer veel epidoot. Verder chloriet, kwarts en enkele pyriet-cubi.

Daciet, liparietisch, gepropylitiseerd.

N.S. 40. A. Sapan (rechterbeek A. Taratak Toempatih).

Porfierisch gesteente. Fenokristen van zure plagioklaas en geresorbeerde kwarts. Femische fenokristen totaal omgezet; naar den vorm o.a. hoornblende.

De grondmassa bestaat hoofdzakelijk uit troebele, radiaalstralige en sferulitische aggregaten, kwarts en plagioklaas. Apatiet en erts. Hydrothermaal veranderd. Chloriet, epidoot, calciet, kwarts en pyriet.

Daciet (eventueel kwartsdiorietporfieriet).

N.S. 39. Linkerbeek A. Taratak Toempatih.

Porfierisch. Plagioklaas-fenokristen (oligoklaasandesien), zonder zonairen bouw. Enkele kwartsfenokristen en weinig erts. De femische bestanddeelen zijn geheel omgezet in epidoot, chloriet, secundaire hoornblende enz.

De grondmassa vertoont troebele plagioklaas, kwarts, hoornblende-vezels en epidoot. Granofierachtige vergroeiïngen.

Het gesteente is veranderd.

Liparíet, vitrofierisch.

N.S. 1. G. Aroem-mijn. Elisabethniveau, vloer van de ertsgang.

Hypokristallijn-porfierisch gesteente. Rijk aan fenokristen van geresorbeerde kwarts, orthoklaas (met albiet-vlekken), omgezette biotiet in een zwak polariseerende, glasrijke grondmassa met kwarts, enkele sferulitische aggregaten, chloriet, sericiet-schubjes en vele pyrietcubi. Fluïdaal-texturen. Breccieus (andesiet-insluitsels, mede gepyritiseerd). Apatiet, zirkoon en erts.

Hydrothermaal beïnvloed; verkiezeld en gepyritiseerd.

N.S. 2. G. Aroem-mijn. Katharina-niveau, hoofddwarsslag.

Dit is hetzelfde gesteente als N.S. 1, doch met plagioklaas.

Samenvatting.

Uit bovenstaande resultaten blijkt, dat in dit gebied een graniet-massief voorkomt. Aangenomen mag worden, dat dit ook nog optreedt in het stroomgebied van de A. Painan, want T e r p s t r a vond hier als rolsteen een *graniet* (monster Salida 4), bestaande uit zure plagioklaas, orthoklaas (microperthiet) en kwarts. De femische mineralen van dit gesteente zijn geheel en al omgezet. Behalve erts bevat het epidoot, sec. hoornblende, chloriet en kwarts.

Omtrent den ouderdom valt voorloopig weinig te zeggen. Opmerkelijk is echter, dat ditzelfde gebied gekenmerkt is door tertiaire effusiva en dat S p i e s bij Poeloet Poeloet (zgn. tweede gang, N.S. 49), en als ik wel ben ingelicht *in* zulke effusiva, een kwartsgang aantrof, waarin ik naderhand rijkelijk *toermalijn* aantoonde. De A. Poeloet Poeloet is een linker zijtak

van de B. Bajang, die circa 8 km W.N.W. van Salido in zee valt.

Als effusiva treden andesieten, dacieten en liparieten op. Andesieten werden gevonden in het stroomgebied van de A. Painan en van de A. Djalamoe. Zij zijn, evenals de dacieten, gekenmerkt door een zure plagioklaas zonder zonairen bouw en door amfibool. Beide gesteentes hebben zonder twijfel een gemeenschappelijken oorsprong. Dacieten werden o.a. aangetroffen in een rechter- en linkerbeek van de A. Taratak Toempatih. Zij zijn alle, doch vooral de dacieten, steeds in hooge mate omgezet, gepropylitiseerd (pyriet, kwarts, calciet, chloriet en epidoot).

Aan den weg van Salida (mijn) naar Salida Ketjil (krachtstation) liggen vele groote blokken van een *hoornblende-biotiet-daciet*. Dit is een oud rivierbed van de A. Salida. Het gesteente is niet gepropylitiseerd. Men mag veronderstellen hier een jongere daciet voor zich te hebben. Van de uitgestrektheid van dit voorkomen is weinig bekend, waarschijnlijk omvat het een groot gebied tusschen Salida Ketjil en A. Djalamoe.

Het spreekt vanzelf, dat bovengenoemde hydrothermaal veranderde gesteenten deel uitmaken van het Salida-ertsgebied, dat ook gekenmerkt is door gepropylitiseerde andesieten en trachieten (G i s o l f). Hier treden als vermoedelijk jongere extrusiva frissche *hyperstheenandesieten en hyperstheen-basalten* op (o.a. Kajoe Menang en A. Pisang — Bt. Tambang).

In de Goenoeng Aroem-mijn (gelegen in een rechter zijdal van de A. Taratak Toempatih, aan de oostzijde van de waterscheiding tusschen deze rivier en de A. Djalamoe) vindt men gesilificeerde en gepyritiseerde liparieten. Er zijn hier twee ertsgangen gevonden, bestaande uit kwarts met lamellaire textuur, die goudhoudende pyriet en plaatselijke verrijkingen met zilversulfiden bevat. De Hoofdgang (zoo genoemd in tegenstelling met een voorhanden Oostgang) heeft tusschen het Elisabeth- en Katharina-niveau een helling van 68° (O.N.O.). Naar beneden toe schijnt de helling grooter te worden (76°). De gangrichting is N.N.W. en de dikte, die zeer variabel is, gemiddeld ongeveer 1 meter. Deze wisselende dikte schijnt te zijn ontstaan, doordat de gang door zeer diagonaal loopende verschuivingen, dus min of meer in zich zelf, is verschoven. De gang, die over honderden meters is te vervolgen, maakt den indruk te zijn uitgerekt. Het is een verschuivingstype, dat ik op Sumatra meermalen heb waargenomen (Tapanoeli, Mangani).

Op grond van de zeer weinige gesteentemonsters (2 stuks) uit deze mijn krijgt men den indruk, dat op het dieper gelegen Katharina-niveau meer plagioklaas voorkomt dan op het Elisabeth-niveau. Dit zij echter onder alle voorbehoud vermeld, en de vraag, of wisselingen in het ertsgehalte verband houden met dergelijke variaties, moet geheel en al buiten beschouwing blijven.

Boven op den Goenoneg Aroem-berg (aan de trapjes-weg niet ver beneden den bergrug), dus hooger dan genoemde mijnwerken, raapte ik een wit gesteente op (N.S. 8), dat kwartsfenokristen bevat in een grondmassa van vezelige radiaalstralige en sferulitische aggregaten, en kwarts. Vroegere veldspaatfenokristen zijn overgegaan in vezelige kwarts-aggregaten, in kaolien en muscoviet (pseudomorfosen). Het gesteente is een totaal veranderde en verweerde *lipariet*, (eventueel daciet, liparietisch).

BONDJOL (Balimbing).

Dit gebied ligt aan den weg van Fort de Kock naar Loeboek Sikaping. Topografisch is het gekenmerkt door groote niveau-verschillen, — Bondjol ligt in de vlakte van de Alahan Pandjang, aan welker oostzijde een steil gebergte omhoog rijst. Naar mijn meening ligt hier een breukrand. De kam van het gebergte heeft het karakter van een hoogvlakte (Batas Boeroek). De breukrand herbergt verschillende goudhoudende kwartsgangen (Goenoeng Malintang, Balimbing enz.). De Balimbing-gang, vlak bij Bondjol gelegen, was tot voor korten tijd in exploitatie. Wat de ontstaanswijze van deze ertsafzetting betreft, hiervoor vindt men ondergronds duidelijke aanwijzingen. De Balimbinggang of beter gezegd gangzône verschilt plaatselijk zeer van karakter, doch in het algemeen kan men zeggen, dat zij aanleunt tegen een harden, dikwijls spiegelgladden wand van verkiezelde rhyoliet, die wrijfkrassen vertoont. Het is duidelijk, dat zij op een verschuiving ligt. Dit geeft steun aan de bovengenoemde opvatting van een breukrand en waarschijnlijk van een trapsgewijze breukrand tusschen Bondjol en Batas Boeroek. Hier komt weer duidelijk de breuktektoniek naar voren, die het tegenwoordige Sumatra op vele plaatsen beheerscht. De ertsafzettingen liggen op deze verschuivingszône, die van groote dwarsafmeting is, en hiermede wordt tevens het wisselende karakter der ertsafzetting verklaard. Nu eens zijn het kwartsgangen, die op min of meer scherpe verschuivingsspleten zijn gevormd, en dan weer zijn het geïmpregneerde, gebreccieerde zônes langs en tot op zekeren afstand van die spleten. Ik stel mij dan ook voor, dat indien met een tunnel de groote breukrand van het gebergte wordt doorsneden, men afwisselend meer en minder gemineraliseerde, breccieuze zônes, kwartsgangen en verschuivingen zal ontmoeten. Hydrothermale oplossingen, vrijgekomen tengevolge van deze dislocaties, zullen de velden van minsten weerstand hebben gevolgd, en deze met ertsafzettingen, ontginbaar of niet, hebben geïmpregneerd. Men heeft hier te doen met een typische afzetting van een in doorsnede zeer arm erts, doch met een groote tonnage. Pyriet is hier ook weer de begeleider van het goud. Plaatselijk treedt in dit gebied ook zilver op den voorgrond (A. Melandoe Besar). Bovendien komt hier en daar mangaan voor. De Balimbing-gang heeft een richting ongeveer N.N.O. — Z.Z.W., de gang te Goenoeng Malintang N.—Z.

Effusiva.

Biotiet-andesiet (vitrofierisch).

N.S. 53. Balimbing.

Plagioklaas- en biotietfenokristen in een grondmassa van glas (met vloeitexturen en perlitisch) en sferulitische aggregaten. Enkele ertskristallen. Geen kwartsfenokristen. De plagioklaas (veel in scherven) is glashelder, geeft scherpe assenbeelden en is optisch negatief. Zonair gebouwde plagioklaas heeft een basische kern van labrador en een rand van basische

oligoklaas (27% An.). Een kleinere fenokrist (loodrecht op de symmetrische zône gesneden) bevat 28% An. De fenokristen liggen met hun lengte-as langs de vloeilijnen gerangschikt.

Daciet (evtl. lipariet).

N.S. 50. Balimbing.

Fluïdaaltextuur. Geresorbeerde kwartsfenokristen, gesericitiseerde en verkalkte veldspaatfenokristen (plagioklaas is aantoonbaar) in een verkwartste, sericietrijke grondmassa met vele sferulietische aggregaten. Biotiet-relicten.

Het gesteente is hydrothermaal veranderd (gesericitiseerd, gesilificeerd, verkalkt en gepyritiseerd).

Lipariet, verkiezeld en vermoedelijk oorspronkelijk gepyritiseerd.

N.S. 52. Balimbing.

Het gesteente bestaat uit opt. positieve sferulietische aggregaten en een fijnkorrelige grondmassa. Enkele fenokristen van orthoklaas en geresorb. kwarts. Kwartsbrokjes en splinters. Orthoklaasbrokjes (splijtlijnen, br. ind. lager dan de Can. balsem, opt. 2-assig). Laatstgenoemde dooven vlekkerig en streperig uit en worden vervangen door idiomorfe kwartskristalletjes, die zich vanaf de randen hebben gevormd. Kwartsaggregaten en ijzeroxyden op de voegen.

Lipariet, verkiezeld.

N.S. 51. Balimbing.

Fenokristen van geresorbeerde kwarts en orthoklaas-tweelingen (br. ind. kleiner dan de Can. balsem). Enkele relicten wijzen naar den vorm op biotiet (gesericitiseerd en verertst). Vele mooie sferulitische aggregaten. Overigens is de grondmassa, evenals het grootste deel der veldspaatfenokristen, overgegaan in een korrelig aggeraat van kwarts. Kwartsgangetjes.

Samenvatting.

Het gesteentemateriaal ten Oosten van Bondjol bestaat uit gesilificeerde, gepyritiseerde en gesericitiseerde liparieten, met sferulietisch gebouwde grondmassa, en dito dacieten (verkalkt). Ook werd een vitrofierische andesiet met vloeistructuur aangetroffen.

Wat het nevengesteente der ertsafzettingen betreft bestaat er dus een opmerkelijke overeenstemming tusschen Balimbing en Goenoeng Aroem.

Analoge afzettingen met een overwegend goudgehalte treft men, als mijn geheugen mij niet bedriegt, ook elders op Sumatra aan (Simpang Datar en Gadang in Zuid-Tapanoeli, concessie Augusta in de Pad. Bovenlanden e.a.), zoodat men van een bepaald type kan spreken, dat optreedt in de zure jongtertiaire effusiva. Het is een ander type dan dat van Mangani, Tambang Sawah en Simau.

ANEI-KLOOF (Kampong Tengah).

Intrusiva.

Biotiet-graniet, gedrukt.

N.S. 63. Aneikloof bij km 61. Dieptegesteente.

Zonair gebouwde plagioklaas, 15 tot 38% An. (oligoklaas-andesien), die een hooge mate van idiomorfie vertoont, ligt (evenals vele kwartskorrels, waaraan soms eenige idiomorfie is te onderkennen) in een grondmassa van orthoklaas, en microklien, ingebed. De plagioklaas bezit een fijne tweelingstreping. Myrmekiet. Zeer weinig erts. Apatiet en zirkoon. Unduleuze uitdoovingen.

De femische bestanddeelen zijn geheel en al omgezet. Chloriet, epidoot en calciet. Orthiet. In de plagioklaas sericietschubjes en muscovietlappen.

Porfierachtige biotiet-graniet, pegmatitisch.

N.S. 75. Aneikloof. Een graniet-contact op de scherpe bocht in den weg naast de spoorlijn (bij de spoorbrug). Het monster is vlak tegen het contact aan genomen.

Groote, idiomorfe, zonair gebouwde plagioklaaskristallen liggen in granofierische aggregaten van kwarts en veldspaat, die br. ind. heeft, welke ongeveer gelijk zijn aan die der Can. balsem. Microklien, ook vergroeid met kwarts. Verder granofierische doorgroeiïngen van groote veldspaatindividuen met kwarts. Veldspaat met hoogere br. indices treft men ook veelvuldig aan. In ieder geval bevatten de granofierische vergroeiïngen geen orthoklaas doch zure plagioklaas. Eenige grootere individuen (sneden loodrecht op de symm. zône en loodrecht op de *a*-as) blijken basische oligoklaas te zijn. Meer plagioklaas dan microklien. Veel kwarts in groote unduleuze aggregaten. De groote orthoklaas-velden van N.S. 63 ontbreken. Zeer weinig erts. De femische bestanddeelen zijn totaal veranderd (epidoot, chloriet en calciet). Sericiet en muscoviet vervangen de veldspaat. Apatiet-naalden (ook dikke zuiltjes), pleochroïtisch van geelachtig-groenig tot kleurloos. Orthiet, zirkoon, titaniet.

Kristallijne Schisten.

Plagioklaas-amfiboliet, met veel biotiet.

N.S. 76. Aneikloof. Het contact bij km 65.

De bestanddeelen zijn:

Plagioklaas, w.o. basische oligoklaas, met granoblastische structuur.

Hoornblende, in evenwijdig en laagvormig gerangschikte stengels, met zeefstructuur.

Bruine, groenachtig getinte biotiet, gelijk gericht met de amfibool en daarmede vergroeid (overgaande in chloriet en epidoot).

Licht geelachtig groene monokliene pyroxeen, zoowel zelfstandig optredend als deel uitmakend van een amfibool-kristal.

Verder een opeenhooping van granaat-kristalletjes (in de omgeving van de pyroxeen), veel titaniet, apatiet, erts, epidoot en zoiziet.

Het praeparaat wordt door een uiterst fijn gangetje doorsneden, opgevuld met een aggregaat, dat lagere br. ind. vertoont dan de Can. balsem (waarschijnlijk orthoklaas). Het is vermoedelijk een pegmatiet-gangetje, afkomstig van het aangrenzende graniet-massief.

De hier aanwezige schisten wisselen op korten afstand vrij sterk in samenstelling. Niet alleen varieert de basiciteit van de plagioklaas, doch dit mineraal treedt soms geheel op den achtergrond, waarbij het gesteente dan overgaat in een *zoiziet-amfiboliet*.

De graniet is jonger dan de schisten. Dit heeft

Verbeek reeds geconstateerd (S.W.K. pag. 172). Op de scherpe bocht in den grooten weg bij de spoorbrug (Kampong Tengah), en in het bijzonder in het kleine heuveltje aan den overkant van de spoorbaan is dit duidelijk waar te nemen. De schisten hebben hier een richting N. 83° tot 105° O. (helling Zuid), en dwars daarop (N. 8° O.) bevatten zij smalle gangetjes van eruptief (helling West). Een dezer injecties heeft een sinusoïdaal verloop! Men treft ook gangetjes aan, met mooie bandstructuren van lichte en donkere partijen, die conform de richting der schisten verloopen. Het schijnt, dat deze een meer basisch karakter bezitten.

De ouderdom van graniet en schisten is onbekend. De graniet is gedrukt. Musper (Jaarb. v/h Mijnw. 1929) spreekt van een gedrukte, gneissachtige graniet (leucograniet) aan den N.O. rand van het Singkarahmeer tusschen Moeko Moeko en Si Mawang, die in verband met zijn andere uitlatingen prae (midden)-permisch zou kunnen zijn. Hij noemt daar ook amfibolieten. Mineralogisch komt de Anei-graniet niet overeen met de mesozoïsche, meer basische granieten van Soelit Ajer, Atar en omgeving, echter ook niet met de gneissachtige prae(midden)-permische granieten van den Goegoek Boelat en S. Salak, indien dit „granodiorieten" zijn. Het is een echte graniet (geen overgangsvorm), die onderhevig is geweest aan druk. Hoogstens kan men zeggen, dat zoolang het tegendeel niet is bewezen een palaeozoïsche ouderdom mogelijk is. Zulks zou echter met zich medebrengen een minstens carbonischen ouderdom der schisten, aangezien Musper reeds vanaf het Perm een continue en dus ongestoorde sedimentatie-cyclus in de naaste omgeving waarschijnlijk acht.

FORT DE KOCK.

Effusiva.

Aan den grooten weg van Fort de Kock naar Bondjol passeert men niet ver van eerstgenoemde plaats (km 101/102) een effusiefgebied, dat wel reeds sterk door de erosie is aangetast, doch topografisch nog duidelijk in het oog valt (helling van den Bt. Batoe Banting, 1151 m b.z.). Het vormt een verheven uitzicht en biedt een panorama op alle in de omgeving liggende jonge vulkanen.

Ook aan den weg van Fort de Kock naar Matoer vindt men effusiefgesteenten van betrekkelijk jongen datum, doch ouder dan de omliggende vulkanen. De weg loopt over grooten afstand door *daciet* (km 97/98).

Hyperstheen-andesiet.

N.S. 57. Gangen en boulders in vulkanische agglomeraten aan de weg Fort de Kock — Batang Paloepoeh, bij km 101.

Zeer frisch porfierisch gesteente met vele, heldere fenokristen van zonair gebouwde, basische plagioklaas, benevens zulke van monokliene en rhombische pyroxeen. Met behulp eener doorsnede loodrecht op de symmetrische zône werd een kleinere plagioklaasfenokrist als zeer basische labrador bepaald. Een enkel olivijn-kristal werd opgemerkt.

Geen hoornblende (zie hieronder).

De grondmassa bestaat uit een vilt van plagioklaas-latjes, kristalletjes van rhomb. pyroxeen (waarschijnlijk ook wat monokliene) en erts. Dit alles doordrenkt met een vuilbruin glas.

Hoornblende-andesiet.

N.S. 59. Als boven tusschen km 101 en 102.

Zeer frisch porfierisch gesteente met vele, heldere fenokristen van zonair gebouwde, basische plagioklaas, benevens zulke van geresorbeerde, groene hoornblende met ertsranden. Bepaald werd een normale labrador. Geen augiet (zie hierboven). Veel tridymiet.

De grondmassa bestaat uit plagioklaas-latjes, rhombische pyroxeen- en ertskristalletjes. Zij is doordrenkt met glas. Fluïdaal-structuren.

Evenals bij N.S. 57 treedt het erts op in twee generaties.

Hoornblende-biotiet-daciet.

N.S. 54. Harde partijen aan den weg Fort de Kock — Matoer, tusschen km 97 en 98.

Porfierisch gesteente, rijk aan fenokristen van geresorbeerde kwarts, plagioklaas, biotiet en hoornblende, alles zeer frisch.

In de grondmassa zonair gebouwde plagioklaas met grooter br. ind. dan de Can. balsem benevens veldspaat-individuen met kleinere br. ind. dan de Can. balsem.

De grens tusschen andesiet en basalt is bij al deze en de volgende determinaties ongeveer daar gekozen, waar de plagioklaas een zeer basisch karakter (bytowniet) verkrijgt, tenzij de structuur van de grondmassa en de samenstelling daarvan de beslissing zeer sterk naar den een of anderen kant doet overhellen.

SOELIKI.

Soeliki ligt aan den grooten weg Pajakombo — Kotah Tinggih (— Mangani). Dit gebied werd reeds door Verbeek (S.W.K. Deel 2) beschreven. Het door hem niet-onderzochte westelijke deel, dat hieronder nog afzonderlijk zal worden behandeld, en dat tot de naaste omgeving van Mangani behoort, vindt men vermeld in de Verh. van het Geol. Mijnb. Genootschap v. Ned. en Koloniën. Mijnb. Serie, Deel III (met kaarten).

Intrusiva.

Graniet, aplietisch.

N.S. 85. Boekit Koeroes aan de weg Soeliki — Lantjaran.

Hevig gedrukt dieptegesteente. Kataklaas- en mortelstructuur, unduleuze uitdoovingen, lijnvormige rangschikking der kwartsinsluitsels, verbogen plagioklaas-lamellen.

Donkere bestanddeelen zijn afwezig. Hoofdzakelijk alkaliveldspaat (microperthiet, microklien, microklienmicroperthiet) en kwarts. Verder wat zure plagioklaas. Sericietvorming.

Biotietgraniet.

N.S. 93. Boekit Koeroes, naast den weg Soeliki — Lantjaran, in de beek. Grofkorrelig dieptegesteente. Veel microklien, microperthiet, microklienmicroper-

thiet. Unduleuze kwarts. Albietrijke, fijn-lamellaire plagioklaas met eigen begrenzing (verbogen lamellen). Sericiet- en chlorietvorming. Bijna geen donkere bestanddeelen, een enkel groen biotietlapje.

Deze graniet is ontsloten direct aan het contact met dislocatie-metamorfe zandsteenen. Verbeek oppert het vermoeden, dat de graniet door deze schiefers is heengebroken, „ofschoon granietgangen in de schiefers hier niet zijn gevonden" (S.W.K. pag. 614). Het komt mij waarschijnlijker voor, dat de graniet ouder is dan de schiefers, aangezien van deze laatste verschillende d.d. zijn gemaakt, doch van eenigerlei beïnvloeding door contactmetamorfose niet kan worden gesproken. Nevengesteente-insluitsels in de graniet zijn ook niet opgemerkt. Het lijkt mij daarom beter de graniet voor ouder te houden dan haar mantel en deze laatste te beschouwen als te zijn opgebouwd uit de erosieproducten van eerstgenoemde (hoofdzakelijk kwarts, doch ook wat zure plagioklaas en orthoklaas). De aard van het gesteente is niet bevorderlijk voor de ontwikkeling van contactmineralen.

Meer stroomopwaarts in de beek, nog vóórdat men aan de houten brug komt, treden neogene kwartszandsteenen op, die op de graniet rusten en aan welker basis een verkiezelde boomstam werd gevonden. De tertiaire sedimenten zijn dus ontstaan uit de detritus van graniet en schiefers.

Op grond van bovenstaande waarnemingen moet de graniet voor palaeozoïsch worden gehouden, aangezien op Sumatra in het Mesozoïcum slechts één orogenetische fase bekend is en de schiefers hierbovengenoemd, minstens van mesozoïschen ouderdom moeten zijn.

Het Tertiair in deze streken is niet intensief geplooid en regionaal veranderd. De tertiaire orogenese is hier veel meer door breuktektoniek gekenmerkt.

Terloops zij in dit verband medegedeeld, dat te Mangani (Ramboetan) uit het aangevoerde grint voor wegbedekking een gedrukte *biotietgraniet* met mortelstructuur werd opgeraapt (N.S. 18), die met de bovenstaande groote overeenkomst vertoont. Het is uitgesloten, dat deze van de Boekit Koeroes is aangevoerd, veeleer is zij afkomstig uit de nabijgelegen Ajer Botoeng. Moet men aannemen, dat hier in de buurt, temidden van tertiaire sedimenten en effusiva, een oud massief schuilt?

Effusiva.

Hoornblendeandesiet.

N.S. 108a. Bij Prassie, aan den verlaten zijweg.

Porfierisch gesteente met fenokristen van labrador in albiet-, Karlsbad A- en periklien-vertweelinging. Een snede, ongeveer loodrecht op de symmetrische zône, leverde 52% An. Elders werd de kern eener zonair gebouwde fenokrist met 60% An. bepaald. Verder gewone hoornblende met waargenomen uitd. hoek van 13°, pleochroïtisch van donkergroen tot lichtgroen in bruine tinten. Geen pyroxeen-fenokristen. Apatiet in groote pleochroïtische zuilen. De plagioklaas-fenokristen zijn gekenmerkt door vlekjes en adertjes met lagere br. ind. dan de plagioklaas zelve, doch van minstens even hooge dubbelbreking. Soms is een duidelijke splijting waarneembaar. Dit kunnen gealbitiseerde snoertjes zijn. In de plagioklaas pyroxeentjes. De grondmassa bestaat uit weinig polariseerende, onregelmatig begrensde vlekjes, uit plagioklaaslatjes en -rechthoekjes. Ruitvormige ertsdoorsneden met uralietranden en uralitiseerende monokliene pyroxeentjes. Veel epidootkorreltjes. Naar den vorm te oordeelen bevinden er zich ook amfibooltjes in de grondmassa.

N.S. 108b. Ook van Prassie. Een groote hoornblende-fenokrist bevat op verschillende plaatsen augiet. Een groote plagioklaas-fenokrist werd als andesien bepaald. Dit gesteente is breccieus. *Hoornblendeandesiet.*

Andesiet.

N.S. 109. Boekit Poetih bij Koerandji. Aan den weg naar Soengei Talang.

Porfierisch gesteente, dat vrijwel uitsluitend uit plagioklaas bestaat.

Fenokristen van labrador in albiet-Karlsbad A met periklien-vertweelinging.

De plagioklaas-fenokristen zijn zonair gebouwd en bevatten zonair gerangschikte insluitsels. De zônes herhalen zich. Het gemiddelde van verschillende bepalingen, die onderling zeer weinig verschillen, leverde 60% (labrador) An. De labrador is helder. Doorsneden over de zône (010) (001) zijn isometrisch, de kristallen zijn gestrekt in de richting P/M. De eerstelingen beslaan een minstens even groot oppervlak als de grondmassa. Femische bestanddeelen, indien spaarzaam aanwezig geweest, zijn verdwenen. Een fijnvezelig aggregaat van secundaire hoornblende, van de grootte-orde der fenokristen (pleochroïtisch in groene en gele tinten) vergezeld van kwarts en apatiet komt voor als secundair product. Het neemt de plaats in van vroegere veldspaat-fenokristen.

De grondmassa bestaat uit plagioklaaslatjes, erts en secundaire producten. De plagioklaaslatjes zijn helder. De br. ind. der Can. balsem is steeds lager dan die der grondmassa. Tusschen de veldspaatlatjes bevindt zich een substantie van lagere dubbelbreking waarin sterk lichtbrekende korrels optreden van uiterst kleine afmetingen. Fluïdaalstructuur treedt wel op, doch is niet overheerschend, men treft evenzeer een ongeordende ligging der veldspaatnaalden aan (pilotaxitisch).

Augiet-hoornblendeandesiet.

N.S. 86a. Op de bocht in den weg boven Koerai (Soeliki — Kota Tinggih), aan de helling van den Boekit Bigau, daar vanwaar men het mooie uitzicht heeft.

Porfierisch gesteente met fenokristen van hoornblende, augiet en plagioklaas.

De plagioklaas is zonair gebouwd met herhaling van zuurdere en meer basische zônes. Doorsneden der symmetrische zône vertoonen kernen, die als zeer basische labrador werden bepaald (68 en 69% An.). Onder de grootere individuen komen ook zuurdere samenstellingen voor, zij bestaan echter alle uit labrador. De hoornblende is sterk geresorbeerd onder vorming van ertsranden, heeft duidelijk pleochroïsme van groen tot kleurloos en daalt in grootte af tot zeer kleine dimensies. De grootste uitd. hoek, die werd waargenomen bedraagt 11°. In de hoornblende, of beter gezegd in het daaruit voortgekomen ertsaggregaat, vindt men, behalve augiet, vele basische pla-

gioklaaslatjes, die de mazen opvullen van het net, dat door het erts wordt gevormd (zeefstructuur). De augiet bevat ook dergelijke plagioklaas-insluitsels. De augiet blijft t.o.v. de hoornblende in de minderheid. Erts komt niet zoo veelvuldig voor als in het monster N.S. 89. Apatiet in gedrongen zuilvorm, oranjeachtig bruin, pleochroïtisch.

De grondmassa vertoont rechthoekige doorsneden van veldspaat, die vaak recht uitdooven, eveneens rechthoekige doorsneden van duidelijke plagioklaas (weinig latvorm) en vooral veel onregelmatig begrensde vlekken met de dubbelbreking van kwarts of veldspaat. Hieronder schuilt misschien ook ontglaasde basis. De plagioklaas der grondmassa bestaat te oordeelen naar een symmetrisch uitdoovende snede minstens uit andesien, en vertoont ook zonaire bouw. Behalve ruitvormige ertskristalletjes, treft men sterk dubbelbrekende korrels aan, wellicht epidoot. Secundaire kwarts komt veel voor, tezamen met een vezelig verweeringsproduct, dat veel overeenkomst heeft met hoornblende.

Augiet-hoornblendeandesiet. (eventueel hyperstheen-hoornblendeandesiet).

N.S. 86b. Vindplaats als N.S. 86a.

Porfierisch gesteente met fenokristen van hoornblende, augiet en plagioklaas. Het gesteente heeft veel overeenkomst met 86a. De hoornblendefenokristen vertoonen pleochroïsme van donkerbruingroen tot lichtbruingroen en nagenoeg rechte uitdooving, zijn steeds sterk geresorbeerd en dalen in grootte af tot zeer kleine afmetingen. De monokliene pyroxeen heeft ook ertsranden (geen resorptie); sommige vormen gelijken op die van rhomb. pyroxeen (zuilvormige ontwikkeling en dwarsbreuken, geheel en al omgezet).

De plagioklaas-individuen zijn van velerlei grootte en als regel zonair gebouwd. Herhaling van zônes treedt ook dikwijls op. Groote fenokristen in albiet-Karlsbad A vertweelinging vertoonen basische kernen, die op grens van labrador en bytowniet liggen (metingen in de symmetrische zône gaven resp. 66, 68 en 69% An.). Periklien-vertweelinging komt ook voor, ook een Baveno werd waargenomen. De kleinere individuen, afdalende tot de grootte orde der grondmassa zijn als regel niet vertweelingd. Zij zijn isometrisch van vorm en vertoonen basische kernen met zure randzônes (andesien werd bepaald). Apatiet slanker van vorm dan in 86a en sterk pleochroïtisch (sterk tot zwak oranjeachtig bruin).

De grondmassa bestaat uit onregelmatig begrensde vlekken met zwakke dubbelbreking, waartusschen erts en doorschijnende korrels; wellicht secundair veranderde, ontglaasde basis. Hier en daar ook veldspaat in latjes of in isometrische vormen. De grondmassa van N.S. 86a vertoont meer idiomorfie. Vele secundaire vezelige aggregaten, sterk pleochroïtisch van donker blauwgroen tot licht geelgroen, met duidelijk reliëf en hooge dubbelbreking, verder serpentijn, calciet, kwarts (?), uralitische hoornblende en ijzeroxyden.

Augiet-hoornblendeandesiet.

N.S. 88. Boekit Batoeh Poetih (Boven km 157 aan den weg Soeliki — Kota Tinggih).

Porfierisch gesteente met fenokristen van zonair gebouwde plagioklaas, waaronder zeer groote individuen, geresorbeerde hoornblende en monokliene pyroxeen. De kleinere plagioklaas-fenokristen behooren tot basische labrador (62 à 64% An.), in albiet-, Karlsbad A- en vermoedelijk periklien-vertweelinging. De hoornblende is pleochroïtisch van groenbruin tot lichtgroen of bruinachtig lichtgroen, heeft uitdoovingshoeken van 16 en 18° en is dus gewone hoornblende. De grootte daalt tot zeer kleine dimensies af, bijna tot de afmetingen der grondmassa. De pyroxeen heeft een zeer zwak pleochroïsme in lichtgroene en lichtgele tinten. Het is augiet. De dimensies worden niet zoo klein als die van de amfibool, tenzij in de grondmassa pyroxeen-microlietjes verborgen zitten. Apatiet is aanwezig.

De grondmassa bestaat uit fluïdaal gerangschikte, polysynthetisch vertweelingde veldspaatlatjes (ook rechthoekjes), uit ertskorreltjes en uit een groenachtig, weinig polariseerende substantie, vermoedelijk ontglaasde basis, met uiterst kleine doorzichtige korreltjes. De structuur is hyalopilitisch tot pilotaxitisch.

Augiet-hoornblendeandesiet.

N.S. 87. Vindplaats als N.S. 88.

Hetzelfde gesteente als N.S. 88. De grondmassa is minder viltachtig, minder fluïdaal en wat grover dan die van N.S. 88. De bestanddeelen zijn dezelfde. De kleine, zwart omrande amfibooltjes van N.S. 88 ontbreken bijna geheel, tenzij zij geresorbeerd zijn. Een zeer enkele werd opgemerkt. De grootere vormen zijn wel aanwezig. Augiet treedt t.o.v. de amfibool op de voorgrond. Kwarts is aanwezig. Temidden van secundaire producten wemelt het van kleurlooze naaldjes, met negatief zône-teeken, duidelijk reliëf, rechte uitdooving, dubbelbreking niet hoog. Chalcedoon komt veel voor (sferulieten) in onregelmatige holten. De plagioklaas-fenokristen bestaan uit zeer basische labrador (66 en 67% An. werden bepaald).

Bovenstaande pyroxeen-amfibool-andesieten behooren alle tot de zgn. „diabaasreeks tusschen Pajakombo en Soeliki" van Verbeek (S.W.K. Deel II, pag. 617). Monsters van den Boekit Bigau werden door Verbeek als diabaas gedetermineerd, het zijn echter andesieten. De ouderdom is laat-neogeen of vroeg-kwartair, want zij liggen op een breuklijn (verschuiving), die het praetertiair van neogene sedimenten scheidt. Genoemde breuklijn is te beschouwen als een gevolg van de laat-tertiaire orogenese.

De gesteenten vertoonen eenige overeenkomst met de effusiva aan den weg van Fort de Kock naar Bondjol (km 101 en 102, men zie hierboven).

Men bevindt zich hier aan de andere zijde van den praetertiair-horst. De eruptieve werkzaamheid heeft plaats gehad op de flanken van den horst en in de slenken, niet in den horst zelve. Si Raboengan en Sago behooren tot dezelfde reeks van vulkanische werkzaamheid. Verbeek noemt als het oudste product van den Sago-vulkaan een hoornblende-andesiet (S.K.W. pag. 449 e.v.). De laat-tertiaire eruptiva van Mangani hebben ook dezelfde tectonische positie en behooren tot dezelfde reeks.

Augiet-hoornblende-andesiet.

N.S. 89. Op de scherpe bocht in den weg vlak boven Lantjaran (Soeliki — Tandjoeng Boengo).

Holokristallijn-porfierisch gesteente met groote

fenokristen van hoornblende en augiet. De plagioklazen zijn als regel kleiner (andesien, 38% An.). De hoornblende komt voor in slanke zuilen, is pleochroïtisch van groen tot vrijwel kleurloos, soms met een gele of bruine tint er doorheen, en heeft uitdoovingshoeken van 17 tot 19°. Aan groote homogene doorsneden werd het optisch negatieve teeken vastgesteld. Daarnaast vindt men aggregaten van hoornblendekristallen, kleiner dan de hierboven genoemde homogene individuen, die in d.d. een bruingroene kleur hebben en optisch positief zijn. Beide soorten zijn geresorbeerd en hebben een opacietrand. De pyroxeen is een diopsiedische augiet, zonair gebouwd. Er is weinig pleochroïsme te bespeuren.

In de grondmassa veldspaatstengels en -latjes, dikwijls fluïdaal gerangschikt t.o.v. de fenokristen, weinig isometrische vormen, veel ertskorrels met vaak ruitvormige doorsneden, kristalletjes en kristalaggregaten van epidoot, die zich gaarne aan het erts vasthechten, en een bruinachtige of vuilgroene substantie, die hoofdzakelijk aan de erts- en epidootkorrels is gebonden. Deze substantie is pleochroïtisch (soms blauwgroen tot bijna kleurloos), vezelig, heeft sterke dubbelbreking en is waarschijnlijk secundaire hoornblende.

Pyroxeen is in de grondmassa niet met zekerheid vast te stellen, evenmin biotiet.

Het onderhavige gesteente komt voor in nauw verband met de in deze omgeving optredende neogene mergels, die rijk zijn aan tuffeus materiaal. Deze gesteenten leveren het bewijs, dat ook reeds *tijdens* de afzetting dezer sedimenten vulkanische werkzaamheid plaats vond.

Diabaas.

N.S. 84. Bij Koeboe, aan den weg van Limbanang (Andieng — Mahat).

Macroscopisch een grofkorrelig gesteente, dat afwisselende banden vertoont van veldspaatrijke en pyroxeenrijke slieren, en in het veld den indruk maakt van een gabbro.

Microscopisch bestaat het uit diopsiedische augiet (max. gevonden uitd. hoek 43°, zeer gering pleochroïsme in beige en grijze tinten, zeer goede uitdooving) en plagioklaas van intermediaire samenstelling (twee bepalingen met behulp van de symmetrische zône gaven resp. zeer basische andesien en normale labrador). De augiet komt voor in groote individuen, die door de plagioklaas zijn verknipt en wier samenstellende deelen gelijktijdig uitdooven (ophitische structuur). Zij vertoont tweelingslamellen volgens (100) en de gewone prismatische splijting. Diallaagsplijting treedt in deze doorsnede niet op, wel aanwijzing voor een splijtbaarheid volgens (010). Een ander individu vertoont daarentegen splijtbaarheid volgens (100). Van het geheele gebied bij Koeboe staat helaas slechts één d.d. ter beschikking. Enkele augietzuilen vertoonen een begin van uralitiseering, de kleur wordt dan flauw groenachtig en de uiteinden rafelen uit, terwijl de amfiboolvezels zich in de omgeving verspreiden. Elders is de augiet echter uiterst frisch gebleven. In de plagioklaasrijke deelen is de structuur „diabasisch körnig" (Rosenbusch), niet gabbroïd. De plagioklaas-doorsneden zijn zonair gebouwd en latvormig, niet isometrisch. In de hoeken tusschen de plagioklaaslatten treden uiterst fijnvezelige, kleurlooze, radiaalstralige aggregaten op van hooge br. index (groezelig beeld) en met sterke dubbelbreking. In de plagioklaas zelve werden radiaalstralige aggregaten met lage dubbelbreking en positief kristallografisch teeken aangetroffen. De plagioklaas zelve gaat over in saussuriet. Erts (ilmeniet) is spaarzaam aanwezig. Apatiet in groote zuilen. Men vindt sterk pleochroïtische, groene aggregaten in groote, onregelmatige lappen door het gesteente verspreid; de in de naaste omgeving hiervan liggende plagioklaas-individuen vertoonen geen verandering, ook niet in dynamisch opzicht.

Er is geen bewijs, dat deze secundaire aggregaten als verweeringsresten van olivijn zijn te beschouwen. Biotiet is aanwezig in kleine lapjes.

Het is eigenaardig, dat Verbeek, die zoovele echte andesieten diabaas heeft genoemd, juist dit gesteente, dat zich o.h.m. als een grofkorrelige diabaas voordoet tot gabbro heeft gestempeld (S.W.K. Deel II, pag. 619). Het uiterlijk wijst inderdaad op gabbro, doch zoolang men niet zeker is hier met een dieptegesteente te doen te hebben, lijkt ons de naam diabaas meer gemotiveerd. Niet alleen de voorhanden praeparaten, doch ook de geologische gegevens betreffende het Koeboe-gebied zijn schaars en onvolledig. In ieder geval is er echter onder de „diabaas-groep" van Verbeek een gesteente, dat dien naam inderdaad verdient.

MANGANI.

Effusiva.

Tenslotte resteeren ons eenige mededeelingen over het Mangani-gebied. Wij laten dit bij Poear Datar (boven Kotta Tinggih) beginnen.

In de Verh. v/h Geol. Mijnb. Gen. v. Ned. & Kol. (mijnb. Serie, Deel III) wees ik reeds op het bestaan van jongere en oudere eruptiva in deze streek. Eerstgenoemde werden op de daarbij behoorende geologische schetskaart met *A* aangeduid, laatstgenoemde, die de ertsafzettingen herbergen en sterke propylitiseering vertoonen, met *M*. Ook werd daar gewezen op een uitlating van Verbeek (S.W.K. pag. 641), die ten N. van Poear Datar in de daar voorkomende bergtoppen een vulkaanruïne meende te zien. Eklund verzamelde eenige gesteentemonsters in den bovenloop van de B. A. Moedip Dadap (ten Z. v/d Boekit Poetoes, 1930, — m b.z.) en aan de Ajer Angat (ten N.O. van het gehucht van dien naam). Zelve vulde ik deze collectie met eenige monsters aan. Zij liggen alle in het bovengenoemde *A*-gebied. Het staat thans wel vast, dat men zich hier in de omgeving van een eruptie-centrum bevindt, dat ouder is dan de hier voorkomende afzettingen van puimsteentuf. In het veld zijn de betreffende effusiva door bonte kleuren gekenmerkt (groen door chloritiseering en bruin of rood door oxydatie der ijzerverbindingen, beide in allerlei nuances); bovendien vindt men in hun verbreidingsgebied zeer frissche, weinig verweerde, harde brokken, die afkomstig kunnen zijn van gangvormig optredende doorbraken. Deze bonte effusiva beslaan, zooals op bovenvermelde kaart is te zien, een aanzienlijk oppervlak. In den bovenloop

van de B. A. Moedip Dadap vindt men verweerde andesietische en basaltische uitvloeïingen (*pyroxeen-andesieten* en *olivijnbasalten*), sterk veranderd en met veel secundaire producten (N.S. 141, 142, 143 en 144). De gesteenten zijn vaak niet-homogeen en poreus. Men vindt ze ook bij Soengei-Dadap (N.S. 117, bruggetje over de B. Sinamar), en aan de A. Angat. Laatstgenoemde beek is bovendien gekenmerkt door *tuffeuze mergels* en *kalksteenen* (N.S. 148 en 149), globigerinen en foraminiferen-houdend, waarin andesietbrokjes en biotiet-kristallen werden opgemerkt. Aangezien de bonte gesteenten uit analogie-overwegingen elders (Mangani) jonger moeten zijn dan deze neogene sedimenten, heeft er tijdens de afzetting dezer laatste nog een vroegere eruptieve werkzaamheid plaats gehad, die met het oog op de biotietkristallen daarin een zuur of matig zuur karakter moet hebben gehad.

De hierboven genoemde harde gesteentebrokken, die men veelvuldig aantreft (N.S. 145, 146 en 154), en die ik o.a. zag aan den weg van Poear Datar naar S. Dadap (N.S. 118), zijn alle frissche *augiet-rijke veldspaat-basalten* met typische basaltstructuren. Zij bevatten zeer basische veldspaatfenokristen (bytowniet-anorthiet).

Aan den weg Ajer-Botoeng — Kelok Tigo (Mangani-weg) komen ook zulke frissche gesteenten voor als losse brokken in het talud. Hier vond ik een *olivijn-veldspaat-basalt* (N.S. 11) en een olivijnhoudende *hyperstheen-basalt* (N.S. 9). Ook trof ik ten N.W. van Soeliki bij Tandjoeng Boengo dergelijke gesteenten aan (N.S. 98, *hyperstheen-andesiet*).

Te Ramboetan (Mangani) komen in situ, doch meer verweerd, analoge gesteenten voor (N.S. 7 & N.S. 20), het zijn *hyperstheen-basalten*.

Hyperstheen-basalt.

N.S. 7. Aan den oprit naar het vroegere huis van den hoofdadministrateur te Ramboetan. Het gesteente maakt in het veld den indruk van een sediment. Het bezit n.l. een sterke klieving, waardoor lagen van eenige centimeters dikte ontstaan. Het microscopisch onderzoek toont aan, dat deze gelaagdheid een gevolg is van parallelle rangschikking der samenstellende mineralen.

Macroscopisch een groenachtig, donker zwartgrijs gesteente.

Microscopisch porfierisch. Fenokristen van frissche, zeer basische plagioklaas (basische bytowniet). Duidelijk herkenbare olivijnvormen, welke zijn omkranst door augiet en door augiet en erts. Binnen de olivijnomtrekken ziet men een effen, groen oppervlak zonder chagrin en met een zeer geringe dubbelbreking (serpentijn). Hierin oogenschijnlijk op de oude barsten en splijtrichtingen van de olivijn een hooger dubbelbrekend mineraal met reliëf (hoornblende), hetwelk vezelig is en duidelijk pleochroïtisch van groen tot geelachtig groen. Ook vindt men in deze secundaire vormingen agregaten van kwartskorrels en sterk lichtbrekende korrels van hooge dubbelbreking (epidoot), tenslotte enkele ertsoctaëders. Verder bevat het gesteente als fenokristen rhombische pyroxeen, welke duidelijk pleochroïtisch is en op de dwarsbreuken secundaire hoornblendevezels bevat, benevens augiet, omrand door hyperstheen.

In de grondmassa lange, smalle plagioklaaslatjes met erts en veel pyroxeenkorrels. Ook biotietvlekjes en veel apatiet in lange stengels. Een neiging tot ophitische structuur is plaatselijk waarneembaar.

Deze hyperstheenbasalten maken te Ramboetan deel uit van de zgn. bonte eruptiva (stroombed van de A. Ramboetan tegenover de fabrieksgebouwen), en het komt mij toelaatbaar voor ze ook elders (Kelok Tigo, B. A. Moedik Dadap) als genetisch hiermede verbonden te beschouwen.

Een gesteente van geheel anderen aard is de heterogene, zeer grove, puimsteenrijke eruptiefbreccie, die men op de helling van den Boekit Goentoeng bij Kelok Tigo vindt. Hier zitten wij bij den oorsprong van de in de omgeving verspreide puimsteentuffen.

Het is zelfs niet uitgesloten, dat de hier aanwezige steenbreuk aan den grooten weg het eruptiekanaal zelve heeft blootgelegd. Het gesteente moet jonger zijn dan de bonte effusiva, want deze laatste worden er op verschillende plaatsen door bedekt, op groote hoogte zelfs (B. A. Moedik Dadap).

Liparietische daciet, vitrofierisch en breccieus.

N.S. 12a. Aan den weg tusschen Ajer Botoeng en Kelok Tigo (Mangani-weg).

Microscopisch een peksteen-porfier, met insluitsels van sedimentbrokjes met foraminiferen en globigerinen erin.

Waterheldere plagioklaas- en kwartskristallen in een grondmassa van gedeeltelijk ontglaasde basis. Dwars door het praeparaat loopt een glashelder snoer van kleurloos glas waarin ertskristallen voorkomen (ilmeniet overgaande in leukoxeen). In de glasbasis stroomlijnen. De br. ind. van het glas is lager dan die der Can. balsem; dit wijst op een zure samenstelling. Een enkel kristal met lagere br. ind. dan de Can. balsem kan natronrijke sanidien zijn met normaalsymmetrische assenligging. Verder een doffe veldspaatdoorsnede, ook met br. ind. lager dan de Can. balsem en vlekkerig uitdoovend. Eenige kleine polysynthetisch vertweelingde plagioklazen ongeveer loodrecht op de symmetrische zône gesneden blijken labrador en zeer basische andesien te zijn. De donkere bestanddeelen bestaan hoofdzakelijk uit groenbruine biotietkristallen (smalle, lange doorsneden, soms verbogen). Een enkel gaaf kristal van groene hoornblende werd opgemerkt.

Vitrofierische biotiet-daciet.

N.S. 12b. Vindplaats als boven.

Microscopisch hetzelfde beeld als N.S. 12a, alleen ontbreekt in de doorsnede de alkaliveldspaat. Evenmin werd amfibool opgemerkt. Een plagioklaas fenokrist blijkt andesien (40% An.) te zijn.

Wij besluiten deze mededeelingen met de volgende chronologische tabel, die bij den huidigen stand onzer kennis waarschijnlijk mag worden geacht voor Mangani en wijdere omgeving (Soeliki en Bondjol).

1. *Praetertiair.*
2. *Braniconglomeraat* (zie Verh. Geol. Mijnb. Gen. v. Ned. & Kol. Mijnb. Serie Deel III).
3. *Kwartszandsteen*, transgressief bij Soeliki. Concordant hierop:

4. *Glauconiethoudende mergelzandsteenen,* zonder effusiefmateriaal, waarop volgen:
5. *Tuffogene mergels* met kalksteenbanken, mergelschalies enz., oud-neogeen. In deze periode valt het begin der eruptieve werkzaamheid, de centra zijn onbekend. Noodzakelijkerwijs is hieraan breukvorming voorafgegaan.
6. *Gepropylitiseerde, ertshoudende Mangani-eruptiva* (zuur, intermediair en basisch). Mangani-dislocatie (zie l.c.). Jonger dan oud-neogeen.
7. *Verkiezelde en gepyrietiseerde Bondjol-eruptiva.* Deze zijn waarschijnlijk wat jonger dan de Mangani-gesteenten (lipariet te Sampil, zie l.c.). Voortgezette breukvorming, Bondjol-slenk. Ontstaan van de basis van het tegenwoordige Barisanreliëf. Sumatra vertoont in deze gebieden blokstructuur, kantelingen, storingszônes. Geen groote plooiingen.
8. *Amfibool-andesieten* en eventueel *dacieten.* (Soeliki en Fort de Kock). *Bont verweerde pyroxeen-andesieten en basalten* (B. A. Moedik Dadap en Ramboetan). Hyperstheen komt veel voor.

   De onderlinge ouderdom van deze twee typen is niet duidelijk.
9. *Puimsteen-breccies en -tuffen* (Boekit Goentoeng). Kwartair.
10. *Jonge vulkaanruïnes* (Si Raboengan, Sago).

ECONOMISCHE MEDEDEELINGEN.

Productiecijfers van Aardolie in kgtonnen.

	1935		1934	
	Aug.	t/m Aug.	Aug.	t/m Aug.
Java en Madoera.	43651,8	306 143	41 880,3	346707,5
Noord-Sumatra..	79710,7	628 994,2	87 683,7	675 192,6
Palembang	218004,–	1591 152,6	177 631,3	1475737,7
Djambi	27948,7	216 933,3	27 035,4	201917,3
Oost-Borneo.....	82854,2	681 603,3	89 755,4	733508,1
Tarakan.....	72494,2	551 553,7	66 089,5	537218,8
Boenjoe.....	—,—	4 516,1	696,5	6368,4
Ceram.....	3826,3[1])	27 308,6	2 972,8	24129,2
Nederlandsch-Indië.....	528 489,9	4008204,8	493 744,9	4000779,6

1) Werkelijke productie vorige opgave: 3 774,7 kgton.

Productiecijfers van Steenkolen in kgtonnen.

	1935		1934	
	Aug.	t/m Aug.	Aug.	t/m Aug.
Gouvernements-mijnen	60 988,–	466 231,–	51 936,–	410 926,–
Steenkolen Mij. „Parapattan" Oost-Borneo Maatschappij..	22 280,–	171 380,–	16 000,–	149 205,–
	5 474,–	45 310,–	5 418,–	65 160,–

Mijnbouw Maatschappij Redjang-Lebong.

Gedurende de maand Augustus werden:

8 210 tons erts vermalen van gemiddeld { 4,34 dwts goud per ton; 25,50 „ zilver „ „
1 910 „ sands en
6 240 „ slimes behandeld.

Geëxtraheerd werden ca. 1 683 ozs. goud en ca. 9 221 ozs. zilver ter gezamenlijke waarde van ± *f* 93 000,— De bedrijfskosten over Augustus bedroegen ± *f* 70 000,—, terwijl voor prospecteeren werd uitgegeven ± *f* 3 000,—.

Mijnbouw Maatschappij Simau.

Gedurende de maand Augustus werden:

7 686 tons erts vermalen van gemiddeld { 9,7 dwts goud per ton; 123,– „ zilver „ „
2 860 „ sands,
4 567 „ slimes en
285 „ concentraten behandeld.

Geëxtraheerd werden ca. 3 764 ozs. goud en ca. 42 889 ozs. zilver ter gezamenlijke waarde van ± *f* 229 000,—. De bedrijfskosten over Aug. bedroegen ± *f* 109 000,—, terwijl voor montage werd uitgegeven ± *f* 6 000,— en voor prospecteeren der nieuwe vergunningen ± *f* 4 000,—.

PERSONALIA.

Aan ir. H. J. van Lohuizen is wegens volbrachten diensttijd eervol ontslag verleend uit 's Lands dienst, ing. 16 December 1935, onder dankbetuiging voor de vele diensten den Lande bewezen.

Aan dr. Ch. H. Oostingh is wegens zesjarigen dienst 8 maanden verlof naar Europa verleend, ing. 2 Maart 1936.

Aan ir. C. H. van Raalten, idem, ing. 1 April 1936.

2e JAARGANG
NUMMER 10

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

OCTOBER
1935

VI. WATERBOUWKUNDE.

INHOUD: Drukverlies in duikers, door ir. J. Verlinden. — Varia.

Drukverlies in duikers

door

ir. J. VERLINDEN,

ingenieur bij den Provincialen Waterstaat van West-Java te Batavia.

De bekende, in het gebruik zeer gemakkelijke grafiek van ir. Steevensz geeft in verband met den toegepasten μ-coëfficiënt van 0,62 te hooge waarden voor het drukverlies bij goed afgeronde buisinloopen; hierbij kan de contractiecoëfficiënt op 0,80 gesteld worden.

Vergelijking van de met den coëfficiënt van Darcy berekende drukverliezen ten gevolge van den wrijvingsweerstand met de waarden berekend met behulp van de formule van Strickler [1]).

Bij de berekening van het drukverlies in duikers en syphons wordt veelal gebruikt gemaakt van de in *De Waterstaats-Ingenieur* No. 7 — 1917 gepubliceerde grafiek van ir. J. M. Steevensz, welke gebaseerd is op de formule:

$$h_t = (1 + \gamma + \lambda \cdot \frac{L}{4 \cdot R}) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

waarin: $\gamma = (\frac{1}{\mu} - 1)^2 + \frac{1}{9}$ met $\mu = 0{,}63$;

Darcy $\lambda = 1{,}5 \cdot (0{,}01989 + \frac{0{,}0005078}{4 \cdot R})$;

R = hydraulische straal in m;
L = lengte buis in m;
v = snelheid in de buis in m/sec.

Voor een cirkelvormige doorsnede is $d = 4 \cdot R$, zoodat

$$h_t = (1{,}505 + \lambda \cdot \frac{L}{d}) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Met deze formule worden voor het drukverlies te groote waarden gevonden, daar uit nieuwere onderzoekingen is gebleken, dat de coëfficiënt μ bij goed afgeronde buisinloopen op 0,80 gesteld kan worden [2]). Bij toepassing van dezen coëfficiënt gaat formule (1) over in

$$h_t = (1{,}18 + \lambda \cdot \frac{L}{d}) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Op dezelfde wijze, als door ir. Steevensz in het vorenaangehaald tijdschriftnummer beschreven, is aan de hand van formule (3) bijgaande *grafiek* opgemaakt.

Teneinde op dezelfde eenvoudige wijze het drukverlies in duikers en syphons te berekenen met gebruikmaking van de formule van Strickler [1]) voor het drukverlies tengevolge van den wrijvingsweerstand, waardoor tevens de met beide formules berekende waarden voor het totale drukverlies direct vergelijkbaar zijn, werd door ir. N. W. van Diemen de Jel uitgegaan van de formule:

$$h_t = (1{,}18 + h_w) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Uit de formule van Strickler:

$$v = (\frac{1}{4})^{2/3} \cdot d^{2/3} \cdot K \cdot i^{1/2}$$

volgt: $i = \frac{v^2 \cdot 4^{4/3}}{d^{4/3} \cdot K^2}$

zoodat $L \cdot i = \frac{L \cdot v^2 \cdot 4^{4/3}}{d^{4/3} \cdot K^2} = \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{4^{4/3} \cdot 2 \cdot g}{d^{1/3} \cdot K^2} =$

$= p \times \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$. De factor h_w in vrg (4) is dus $p \cdot \frac{L}{d}$

Substitutie van deze waarde h_w in de formule (4) geeft:

$$h_t = (1{,}18 + p \cdot \frac{L}{d}) \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

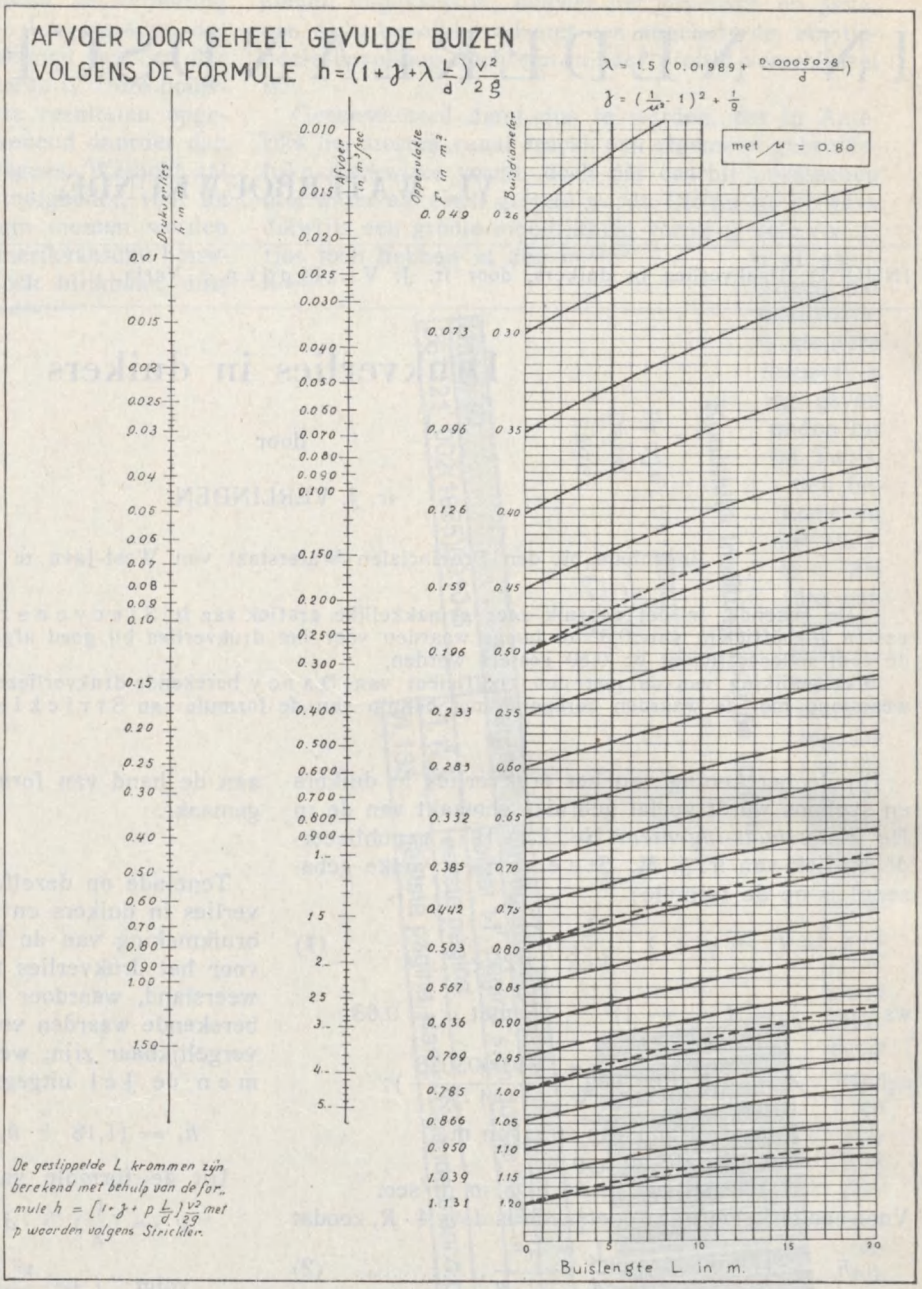
In den ondervolgenden *staat* zijn opgenomen de door ir. van Diemen de Jel berekende p-waarden voor $K = 60$ (goed afgewerkt beton, niet gepleisterd).

Ter vergelijking zijn tevens opgenomen de bijbehoorende λ-waarden van Darcy voor $\alpha = 1{,}5$ (gewone, niet glad afgewerkte betonbuizen).

1) Ten rechte van Gauckler-Manning, vgl. *De Ingenieur in Ned.-Indië* No. 5 — 1934, blz. VI. 67. Redactie.

2) Zie hiervoor ook de noot, voorkomende bij het artikel van ir. A. L. Verwoerd „Een eenvoudige berekeningswijze voor leidingen en waterloopen" in *De Waterstaats-Ingenieur* No. 9 — 1931, pag. 323.

buisdiameter $d = 4R$ in m	p-waarde volgens Strickler ($K = 60$)	λ-waarde volgens Darcy ($\varkappa = 1{,}5$)
0,25	0,0549	0,0329
0,30	0,0517	0,0324
0,35	0,0491	0,0320
0,40	0,0470	0,0317
0,45	0,0452	0,0315
0,50	0,0436	0,0314
0,55	0,0422	0,0312
0,60	0,0411	0,0311
0,65	0,0400	0,0310
0,70	0,0390	0,0309
0,75	0,0381	0,0308
0,80	0,0373	0,0308
0,85	0,0365	0,0307
0,90	0,0359	0,0307
0,95	0,0352	0,0306
1,00	0,0346	0,0306
1,10	0,0335	0,0305
1,20	0,0326	0,0305
1,30	0,0317	0,0304
1,40	0,0309	0,0304
1,50	0,0302	0,0304
1,60	0,0296	0,0303
1,70	0,0290	0,0303
1,80	0,0284	0,0303
1,90	0,0279	0,0302
2,00	0,0275	0,0302
2,20	0,0266	0,0302
2,40	0,0258	0,0301
2,60	0,0251	0,0301
2,80	0,0245	0,0301
3,00	0,0240	0,0301



Met behulp van de uit (5) af te leiden formule

$$L = \frac{d}{p} \cdot \left(\frac{h_t}{\frac{v^2}{2 \cdot g}} - 1{,}18 \right) \quad ..(6)$$

zijn in de *grafiek* voor eenige buisdiameters (0,50 m, 0,80 m, 1,00 m en 1,20 m) met een streep-lijn de bij formule (5) behoorende L-krommen aangegeven.

Uit de *tabel* volgt, dat met de formule van Strickler voor de in de practijk gebruikelijke aftapbuizen met cirkelvormige doorsnede en duikers met een R-waarde tot 0,375 m, grootere waarden voor het drukverlies worden gevonden dan bij toepassing van formule (3).

Aangezien het wrijvingsdrukverlies als regel klein is ten opzichte van het totale drukverlies, is het verschil hierbij overigens gering; de grafiek toont aan, dat in het algemeen bij het beschikbare (c.q. toe te laten) drukverlies met beide formules dezelfde toe te passen buisdoorsnede wordt gevonden.

Vergelijking van de in de *tabel* gegeven λ- en p-waarden leert, dat bij duikers en syphons met een R van 0,375 m en hooger, de met Strickler berekende drukverliezen kleiner zijn, dan de uit (3) berekende [3]).

Ook hierbij zijn de verschillen niet groot, zooals uit onderstaande rekenvoorbeelden moge blijken.

1) $Q = 5$ m³/sec
$4 \cdot R = 2{,}00$ m
$F = 3{,}14$ m²
$v = 1{,}59$ m/sec

$$h_D = (1{,}18 + \lambda \cdot \frac{L}{d}) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$h_S = (1{,}18 + p \cdot \frac{L}{d}) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

3) Zooals bekend, kunnen vooral voor profielen, die niet te veel van den cirkelvorm afwijken (elliptische, eivormige, vierkante), worden toegepast de coëfficiënten, die behooren bij een cirkelvormige doorsnede met overeenkomenden hydraulischen straal.

Voor $L = 20$ m: $h_D = 0{,}193$ m, $h_S = 0{,}189$ m

Voor $L = 40$ m: $h_D = 0{,}232$ m, $h_S = 0{,}225$ m

2) $Q = 15$ m³/sec
$4 \cdot R = 3{,}00$ m
$F = 7{,}07$ m²
$v = 2{,}12$ m/sec

Voor $L = 20$ m: $h_D = 0{,}317$ m, $h_S = 0{,}308$ m

Voor $L = 40$ m: $h_D = 0{,}364$ m, $h_S = 0{,}345$ m

VARIA.

De Fifteen-Mile Falls dam.

Toepassing van de uitkomsten der onderzoekingen van Prof. v. Terzaghi over gronddruk bij het ontwerpen van een 900 ft. langen en 170 ft. hoogen keermuur in het project van den Fifteen-Mile Falls dam.

De toepassing van de uitkomsten der nieuwste onderzoekingen over gronddruk (vgl. Nos. 11 en 12 — 1934 van dit tijdschrift) bij het ontwerpen van een keermuur, behoorende tot het project van den Fifteen-Mile Falls dam in de Connecticutrivier is door prof. K. von Terzaghi beschreven in *Engineering News Record* van 17 Mei 1934. Aan het betreffende artikel is het volgende ontleend.

Inleiding.

De keermuur vormt de scheiding tusschen den betonnen reservoirdam van ca. 1 400 ft. lengte en een aangrenzenden aarden dam van 520 ft. lengte; de muur staat bij benadering loodrecht op de as van den dam, terwijl zijn maximum hoogte 170 ft. en de lengte ongeveer 900 ft. bedraagt.

Fig. 1a en *b* geeft een aanzicht van den keermuur, alsmede een doorsnede over den aansluitenden massieven betondam (schuin geharceerd). Voorbij den keermuur bestaat de reservoirdam uit een aarden dam, waarin de doorsijpeling plaats heeft in een richting evenwijdig aan het front van den muur. Als gevolg van het tweeledig doel van den keermuur (n.l. het keeren van den grond en van het kwelwater, dat door de poriën van den aarden dam stroomt) waren de onderscheiden muurgedeelten aan onderling sterk verschillende krachten blootgesteld.

Onder normale omstandigheden krijgt de linkervleugel van den muur, n.l. die aan de waterzijde, waterdruk van beide zijden, terwijl het gewicht van den door den muur gekeerden aarden dam verminderd wordt door den hydrostatischen opwaartschen druk. Het meerpeil beweegt zich in den loop van een jaar tusschen + 650 ft. en + 610 ft., en de daling in 24 uur bedraagt in de practijk niet meer dan 6 ft. Voor de berekening moest evenwel rekening worden gehouden met de mogelijkheid van een snelle daling van + 650 tot + 535 ft. (geval A). In dit geval daalt de verweekingslijn in den aarden dam veel langzamer dan het meerpeil, zoodat de waterdruk op de achterzijde van den keermuur grooter wordt dan die op de voorzijde. In het midden wordt de muur gestempeld door de betonnen aflaat, waardoor de stabiliteit meer dan voldoende is verzekerd.

Het deel aan de luchtzijde van den muur wordt het ongunstigst belast onder normale bedrijfsomstandigheden, wanneer het reservoir geheel gevuld is (geval B, hoogste stand van de verweekingslijn in den aarden dam).

De aarden dam.

Bij het eerste ontwerp was er op gerekend, dat de dam geheel uit keileem of een gelijksoortig, weinig doorlatend materiaal zou bestaan.

In *fig. 1a* valt de verweekingslijn ab_2d vrijwel samen met den bovenkant van den muur. Door een voorloopige proef was bekend, dat een belangrijk deel van de achterzijde van den keermuur onder vollen waterdruk zou komen te staan. In verband daarmede werd op voorstel van den schrijver besloten om het ontwerp van den aarden dam te wijzigen volgens het in *fig. 1b* aangegeven profiel.

Volgens dit gewijzigd ontwerp bestaat de dam uit een weinig doorlatende kern $b_1\ c\ c_1$ van keileem, met hellingen van 1 op 1, afgedekt met doorlatend materiaal, bestaande uit zand en grind [1]).

Teneinde zeker te zijn, dat de doorlatendheid van de buitenste deelen minstens 20 maal zoo groot zou zijn als van de kern, werd het aangevoerde materiaal geregeld op het werk onderzocht. De doorlatendheid van het kernmateriaal mocht hoogstens 10^{-4} cm/sec bedragen en die voor het overige materiaal moest minstens 20 maal zoo groot zijn. Voor een aldus samengestelden dam wordt de verweekingslijn voor geval B (vol reservoir) de gebroken lijn $b_2\ c_2\ d$. Voor geval A wordt de ongunstigste belasting voorgesteld door de lijn $b_1\ b_3\ d$ (beide lijnen zijn aangegeven in *fig. 1b*).

Teneinde achterloopschheid te vermijden, zijn achter den keermuur drie schermmuren in de kern van den dam aangebracht (op de teekening niet aangegeven).

Om te voorkomen, dat onder den muur waterdruk zou optreden, zijn voorts over het deel $c_3\ c_1$ draineeringen onder den muur aangebracht. Op afstanden van ongeveer 40 ft. zijn expansie-voegen ontworpen.

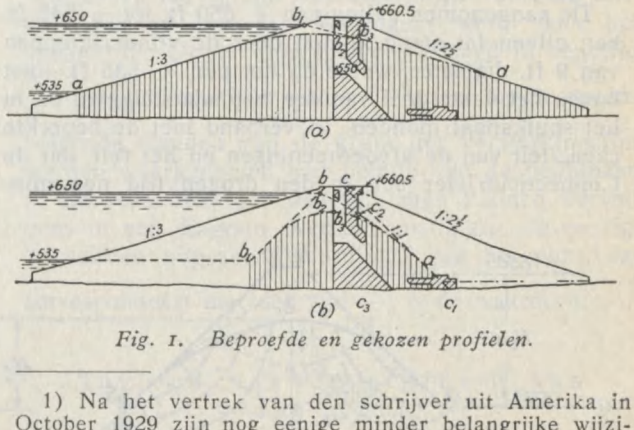


Fig. 1. Beproefde en gekozen profielen.

1) Na het vertrek van den schrijver uit Amerika in October 1929 zijn nog eenige minder belangrijke wijzigingen in het ontwerp aangebracht. Daar in het artikel slechts de fundamenteele problemen van het ontwerp worden behandeld, zijn deze wijzigingen buiten beschouwing gelaten.

Doel van de onderzoekingen.

Met het oog op de voorgenomen constructie van den muur overeenkomstig *fig. 1b* was het van belang door proefnemingen omtrent de volgende punten uitsluitstel te verkrijgen.

1) Welk deel van den vollen waterdruk werkt op de achterzijde van den muur onder de verweekingslijn?

2) Wat is de invloed van de verweeking op de inwendige wrijving in de grondmassa?

3) Hoe zal de verweekingslijn verloopen dadelijk nadat het meerpeil tot + 535 ft. is gezakt?

4) In hoever beïnvloedt de stijfheid van den muur den gronddruk?

5) Welke waarden moeten bij de berekening van den muur aangenomen worden voor de coëfficiënten van inwendige wrijving en van de wrijving van den grond op den muur?

6) Welke van de bekende methoden voor de berekening van de op den muur werkende krachten moet toegepast worden?

Uitkomsten der proeven.

De proeven gaven ten aanzien van de vragen *1* en *2* volledig uitsluitsel. Beneden de verweekingslijn, zoowel in de kern als in het doorlatend materiaal, is de waterdruk op den muur even groot alsof de dam niet aanwezig was. Het gewicht van den grond wordt verminderd met den vollen opwaartschen druk, terwijl voorts de aanwezigheid van het water in de poriën van het dammateriaal practisch geen invloed heeft op den wrijvingshoek.

Om vraag *3* te beantwoorden is de kennis van de volgende drie factoren noodzakelijk, n.l. de snelheid, waarmee het reservoirpeil zal dalen, de doorlaatcoëfficiënt van het dammateriaal en de hoeveelheid water, welke uit den grond moet verdwijnen om een onderdruk in het in den grond achterblijvende water te voorschijn te roepen.

De snelheid, waarmede het reservoirpeil daalt, wordt bepaald door de ligging en de afmetingen van de aftapping en door de verhouding tusschen het afgelaten debiet en den reservoirinhoud bij verschillende peilen.

De aangenomen daling van + 650 ft. tot + 535 ft. kan alleen tot stand komen door de vlinder-kleppen van 9 ft. diameter, welke op het peil + 535 ft. juist boven het vaste deel van den betondam liggen, en in het spuikanaal monden. In verband met de beperkte capaciteit van de afvoeropeningen en het feit, dat de Connecticutrivier ook in den drogen tijd nog minstens 1 000 cu. ft. per sec afvoert, heeft de daling van den waterspiegel zeer langzaam plaats. Met het oog daarop werd ter beantwoording van vraag *3* een ruwe maar zeer veilige schatting gemaakt.

Toch is het probleem op zichzelf van groote practische beteekenis en zal in sommige gevallen de bijzondere aandacht eischen. Met het oog daarop wordt in het volgende onderzocht, hoe de toestand zou zijn, indien het reservoir zou worden afgetapt door een van de drukregulateurs, terwijl geen aanvoer door de rivier plaats heeft. Bij deze aanname moet gerekend worden op een vrijwel gelijkmatige daling van het reservoirpeil met 0,8 ft. per uur, zoodat het laagste peil in ongeveer 150 uur bereikt wordt.

Uit de proeven bleek, dat de overgang van het keileem van verzadigden in gedraineerden toestand plaats vindt na een wateronttrekking van ongeveer 1,3 volume-procenten.

Om het gestelde probleem op te lossen, werd in de eerste plaats bepaald, met welke snelheid de kruin van de verweekingslijn zou dalen, indien het meerpeil plotseling van + 650 tot + 535 ft. zou worden verlaagd.

Fig. 2a toont een doorsnede over de kern van den dam, nadat dit drainage-proces eenigen tijd heeft plaats gehad. De lijn $d_1\ d$ stelt den grondslag van den dam voor (aangenomen wordt, dat de ondergrond volkomen ondoorlatend is), $a_1\ a$ den bovenkant van de keileemafdekking, welke aan de waterzijde voor de damkern ligt en $a\ b_1\ d$ is de verweekingslijn. Verondersteld is, dat de meerspiegel plotseling van + 650 tot het peil $a_1 a$, + 535 ft. is gezakt. Bij het drainage-proces vloeit het overtollige water door het talud *cd* gedeeltelijk in de doorlatende afdekking aan de luchtzijde en door baa_1 gedeeltelijk in het doorlatende materiaal aan de waterzijde. De getrokken krommen stellen de stroomlijnen voor, de gestippelde de lijnen van gelijken hydrostatischen druk (aequipotentiaallijnen); dit laatste beteekent, dat op elk punt van de krommen het water in een peilbuis *S* zou stijgen tot de hoogte van het snijpunt van de gestippelde kromme met het talud van de kern.

Zooals bekend hebben de krommen de volgende eigenschappen: *1)* zij snijden elkaar onder een rechten hoek; *2)* indien wij de krommen zoodanig trekken, dat de gevormde velden bij benadering vierkant zijn, is de hoeveelheid water, welke tusschen opeenvolgende stroomlijnen afvloeit, overal dezelfde [2]). Voorts is het verval tusschen twee opeenvolgende gestippelde lijnen overal hetzelfde ($\triangle$ H).

2) Voor de constructie dezer krommen zie bijv.: Paul Neményi: „Wasserbauliche Strömungslehre". Leipzig, 1933.

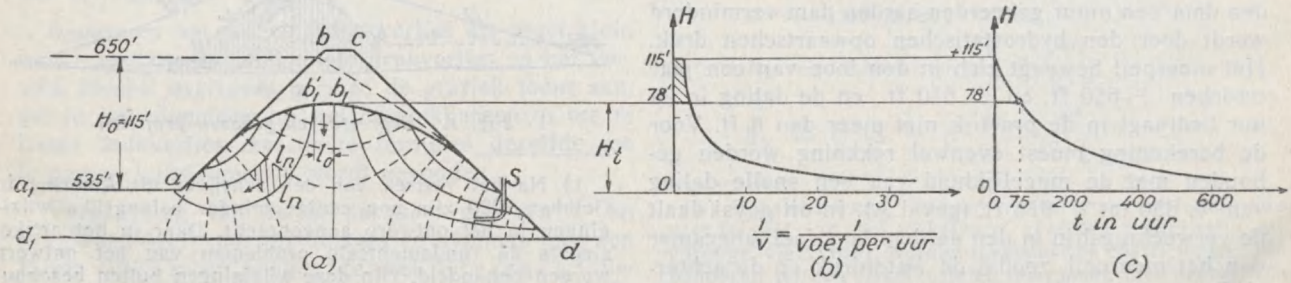


Fig. 2.

Indien de krommen eenmaal geconstrueerd zijn, is de hoeveelheid water, welke uit de kern per tijdseenheid afvloeit, gemakkelijk te bepalen. Stel het drukverschil tusschen 2 aequipotentiaalvlakken $\triangle H = 10$ ft., het aantal vierkante velden, waardoor het water uit de kruin van de verweekingslijn $b_1' b_1$, wegvloeit naar het oppervlak $a_1 a : n = 8$, de doorlaatcoëfficiënt van het kernmateriaal $k = 10^{-4}$ cm per sec; l_o = de horizontale afstand $b_1 b_1'$; l_n = de lengte van een zijde van een willekeurig veld — bijv. van het geharceerde veld in *fig. 2a*; het waterverlies bij overgang van den verzadigden in den gedraineerden toestand, uitgedrukt als fractie van het totale grondvolume: $m = 0{,}013$; en v = de snelheid, waarmede de kruin van de verweekingslijn daalt.

Snelheid van drainage.

Volgens de wet van Darcy is de afvoer per tijdseenheid door elk veld in de richting der stroomlijnen gelijk aan:

$$k \cdot \frac{\triangle H}{l_n} \cdot l_n = k \cdot \triangle \mathrm{H}.$$

De afvoer direct onder $b_1 b_1'$ in *fig. 2a* in de richting $a_1 a$ bedraagt dus per eenheid van oppervlak in de tijdseenheid

$$\frac{k \cdot \triangle H}{l_o}$$

Deelen we deze hoeveelheid door m, dan vinden we de dikte van de laag, welke in de tijdseenheid wordt gedraineerd.

Zoodat $v = \frac{k}{m \cdot l_o} \cdot \triangle H$...(1) de snelheid voorstelt, waarmee de kruin van de verweekingslijn daalt. Beschouwen we in *fig. 2a* de zônes links en rechts van de kruin, dan gelden daarvoor dezelfde waarden voor k, m en $\triangle H$, terwijl de afstand tusschen de stroomlijnen toeneemt. De snelheid v neemt dus naar beide zijden af, zoodat de kruin van de verweekingslijn vlakker wordt.

Volgens de in *fig. 2a* voorgestelde grafische methode, is de waarde van v voor verschillende tusschenstanden bepaald. In *fig. 2b* is het verband uitgezet tusschen de waarden $\frac{1}{v}$ en de hoogte van de kruin van de verweekingslijn boven het peil + 535.

De tijd t, noodig voor een daling tot een willekeurige hoogte H_t is:

$$t = \int_{H_t}^{H_o} \frac{1}{v} \cdot dH \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

De waarde van deze integraal wordt voorgesteld door het geharceerde oppervlak in *fig. 2b*. Door grafische integratie werd de kromme in *fig. 2c* verkregen, welke het verband geeft tusschen de kruinhoogte van de verweekingslijn en den tijd, verloopen sedert de plotselinge lediging van het reservoir. In de veronderstelling, dat het reservoir door de schuiven wordt afgelaten, wordt het laagste peil ongeveer in $t_1 = 150$ uren bereikt, terwijl het peil daarbij vrijwel gelijkmatig zakt. Na dit tijdsverloop zal de kruin van de verweekingslijn bij benadering op dezelfde hoogte zijn als in het geval, dat het reservoir $\frac{t_1}{2} = 75$ uur

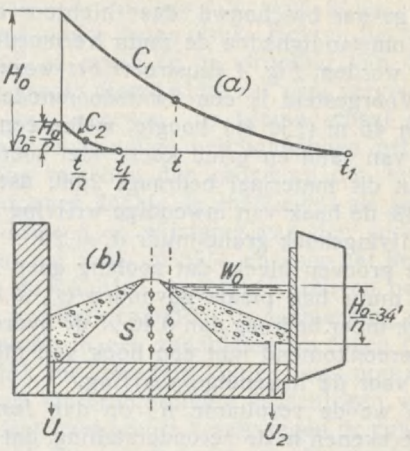


Fig. 3.

tevoren plotseling was geledigd. Hieruit concludeeren we aan de hand van *fig. 2c*, dat de kruin van de verweekingslijn gedurende het ledigen van het reservoir van de oorspronkelijke hoogte van + 650 tot ongeveer + 613 ft. is gezakt; de verweekingslijn in *fig. 2a* komt ongeveer met dat stadium overeen. Uit vergelijking (1) kan de modelwet afgeleid worden om het probleem door een proef op verkleinde schaal op te lossen. Daar deze afleiding tot de elementaire hydraulica behoort, kan hier worden volstaan met mededeeling van het resultaat, aangegeven in *fig. 3a*. In deze figuur geeft de kromme C_1 het verband tusschen den tijd en het reservoirpeil. Indien we een model maken met hetzelfde materiaal, maar n-maal verkleind, moet het modelreservoir op dezelfde wijze, maar in een tijd $\frac{t_1}{n}$ geledigd worden (kromme C_2).

In dat geval geldt het volgende: indien, ten tijde $\frac{t}{n}$ na het begin van de proef, de kruin der verweekingslijn in het model op een hoogte h boven de fundeering ligt, zal de overeenkomstige hoogte in den werkelijken dam $H = n \cdot h$ ten tijde t zijn.

De proeven konden op eenvoudige wijze uitgevoerd worden in den bak, welke voor de gronddrukproeven werd gebruikt. Bij het begin van de proef is de waterspiegel W_o, zie *fig. 3b*. Het water sijpelt door de kern en vloeit af door U_1. Vervolgens wordt door het openen van U_2 de waterspiegel verlaagd in een tijd $\frac{t_1}{n}$, overeenkomstig kromme C_2 in *fig. 3a*. De opeenvolgende standen van de kruin der verweekingslijn worden waargenomen met behulp van de peilbuizen S. De resultaten der waarnemingen kunnen vervolgens in een diagram overeenkomstig *fig. 2b* en *fig. 2c* worden uitgezet. De ordinaat van het punt, dat correspondeert met den tijd $\frac{t_1}{n}$, is de waarde h.

Invloed van de stijfheid van den muur.

Vraag 4 betrof den invloed van de stijfheid van den muur op de grootte van den gronddruk. Door den schrijver werd deze invloed als de bron van het

grootste gevaar beschouwd, daar hierdoor onder ongunstige omstandigheden de muur vermoedelijk vernield zal worden. *Fig. 4* illustreert het wezen van dit gevaar. Voorgesteld is een dwarsdoorsnede van een muur van 46 m (150 ft.) hoogte, welke een compact mengsel van zand en grind keert. Het soortelijk gewicht van dit materiaal bedraagt 2,08, dat van het beton 2,35, de hoek van inwendige wrijving $\varphi = 34°$ en de wrijvingshoek grond-muur $\delta = 29°$.

Uit de proeven bleek, dat zoolang geen beweging van den muur had plaats gevonden ($\triangle\ l = 0$), de gronddruk meer bedroeg dan 0,40 × de hydrostatische druk, overeenkomend met een hoek van minder dan 26° (φ) voor de inwendige wrijving.

Indien we de resultante R_2 op den fundeeringsbodem berekenen in de veronderstelling, dat $\varphi = 26°$ en $\delta = 0$, blijkt dadelijk, dat de muur niet in evenwicht kan zijn, daar R_2 buiten het grondvlak van den muur valt (*fig. 4a*). De muur zal dus meegeven door te kantelen, waardoor de zijdelingsche druk afneemt. Indien de muur en de fundeeringsbodem volkomen stijf waren, zou door het kantelen de druk langs den buitenvoet zoo hoog oploopen, dat de muur op de in de figuur aangegeven wijze zou scheuren. Anderzijds zal, indien de muur reeds tijdens de grondophooging zooveel meegeeft, dat de inwendige wrijving van den grond volledig in werking treedt, de resultante R_1 juist binnen de kern blijven, en krijgen we de gevaarlooze drukverdeeling als aangegeven in *fig. 4b*.

In verband daarmee rijst dus de vraag of de elasticiteit van den muur voldoende is om het aan groote stijfheid verbonden gevaar te elemineeren. Volgens het eerste der serie artikelen over gronddruk, zie *De Ingenieur in N.-I.* No. 11 — 1934, is een gemiddelde doorbuiging van ongeveer 0,0002 H van den modelkeermuur voldoende om de inwendige wrijving van den grond voor het grootste deel in werking te doen treden. Volgens de gelijkvormigheidswetten voor zand zonder cohaesie is deze verhouding bij benadering onafhankelijk van de waarde van H. Hieruit is gemakkelijk de drukkracht af te leiden, welke op den teen van den muur werkt. In *fig. 4c* stelt de horizontale lijn $a_1\ a_2$ een deel van het grondvlak van den muur voor. Op grond van de resultaten der proeven met droog compact zand kon de grootte van den gronddruk worden bepaald, welke overeenkomt met verschillende gemiddelde verplaatsingen $\triangle\ l$ van den muur. Deze gevonden waarden zijn samengesteld met het gewicht van den muur, waardoor de groote en de richting van de op het grondvlak werkende kracht R bij verschillende waarden voor de gemiddelde doorbuiging $\triangle\ l$ werden gevonden. Door de waarden van $\triangle\ l$, de verticale component V van R en den kantdruk boven het aangrijpingspunt van R uit te zetten, werden de krommen C_1 (voor $\triangle\ l$), $b_1\ b_2$ (voor V) en C (voor den kantdruk σ) verkregen.

Uit de zoo verkregen krommen kan het volgende geconcludeerd worden: Indien de muur doorbuigt over een gemiddelden afstand van meer dan $\triangle\ l_c$ (*fig. 4c*, kromme C_1) zal de grootste kantdruk minder zijn dan de toelaatbare (waarde σ_c, aangenomen op 25 kg per cm²) en de muur zal dus de verlangde veiligheid bezitten. Anderzijds zal de muur breken, indien de doorbuiging minder is dan $\triangle\ l_r$, aangezien de kantdruk

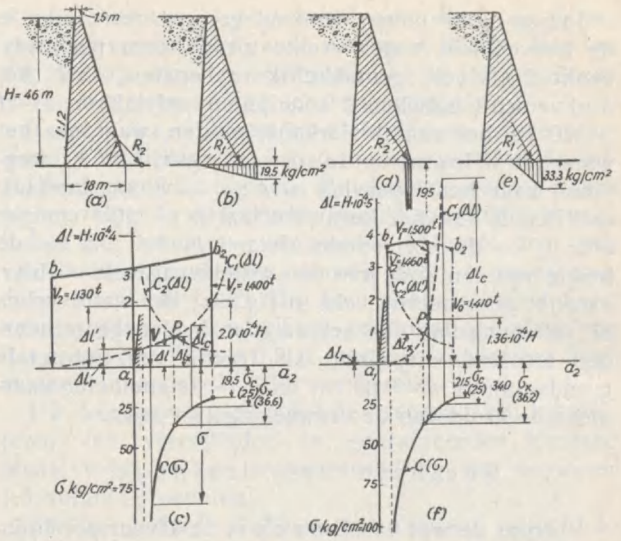


Fig. 4.

grooter wordt dan de drukvastheid van het beton (140 kg per cm²). De veiligheidscoëfficiënt zal dus afhangen van de elasticiteitsmoduli van den fundeeringsbodem en den muur.

De berekening van den optredenden kantdruk werd opgezet met de volgende ongunstige aannamen. De rots, waarop de muur is gefundeerd, is volkomen onelastisch en de elasticiteitsmodulus van het beton is 200 000 kg per cm². Verwaarloosd werd voorts dat deel van de doorbuiging, dat een gevolg is van de vervorming van de bovenste muurhelft.

Tot goed begrip van de gevolgde methode diene het volgende.

Aangenomen wordt, dat de resultante R het grondvlak van den muur in een willekeurig punt a (*fig. 4c*) snijdt. De resultante zal echter slechts dan door a gaan, indien de muur over een gemiddelden afstand $\triangle\ l$ (ordinaat van de kromme C_1) is uitgeweken. Door de gemiddelde uitwijking $\triangle\ l'$ te berekenen, welke de muur door de resultante R ondergaat en deze uit te zetten boven a, vinden we een punt van de kromme C_2. In het algemeen zal $\triangle\ l'$ niet gelijk zijn aan $\triangle\ l$. De werkelijke buiging van den muur wordt bepaald uit de voorwaarde $\triangle\ l = \triangle\ l'$. De onbekende grootheden $\triangle\ l_x$, V_x en σ_x worden bepaald door de grootte der ordinaten, welke door het snijpunt P van de krommen C_1 en C_2 gaan.

In *fig. 4e* en *4f* zijn de resultaten van een gelijksoortige berekening voorgesteld onder aanname, dat de muur droog, los zand heeft te keeren (s.g. = 1,98). De waarden voor de wrijving, welke afgeleid zijn uit de gegevens in het eerste artikel over den gronddruk, zijn: $\varphi = 32°$, $\delta = 27°\ 30'$. Voor een volkomen stijven muur zijn ze: $\varphi = 20°$, $\delta = 20°$, en nadat de muur gemiddeld 0,000 136 H is uitgeweken wordt gevonden: $\varphi = 24°\ 30'$ en $\delta = 27°\ 30'$.

Uit de *fig. 4c* en *fig. 4f* is de volgende belangrijke gevolgtrekking te maken, welke zoowel voor aangestampten als voor lossen grond geldt: het beton is samendrukbaar genoeg om breuk als gevolg van onvoldoende buigzaamheid, zelfs bij een massieven betonnen keermuur, uit te sluiten. Als de kantdruk wordt berekend, zonder rekening te houden met den invloed

der stijfheid van den muur op den gronddruk, kan de werkelijk optredende kantdruk nooit meer dan het dubbele zijn van de theoretische waarde. Voor den Fifteen-Mile Falls dam kon worden geconcludeerd, dat de kantdruk nooit meer kan zijn dan de voor beton toelaatbare waarden.

Vraag 5 betreft de waarden van de wrijvingscoëfficiënten voor grond-grond en grond-muur, welke bij de berekening van den muur ingevoerd moeten worden. Het antwoord op deze vraag eischte om twee redenen een uitvoerige beschouwing van de resultaten der proefnemingen. Eenerzijds bleek n.l. uit de proeven met aangestampten grond, dat de wrijvingscoëfficiënt, welke langs het glijdvlak optrad (gemiddelde normaaldruk tusschen 0,025 en 0,045 kg per cm^2), veel grooter was dan de waarden, welke bij middelbare en hooge drukken (meer dan 1 kg per cm^2) veel grooter was dan de waarden, welke bij proeven aan, dat deze groote wrijvingskrachten, welke door het uitbuigen van den muur ontstonden, nooit lang bleven bestaan. In den loop van den tijd naderde de wrijvingscoëfficiënt een lagere waarde. Door den grond afwisselend nat en droog te maken, werd dit verschijnsel versneld en meer geaccentueerd. De laagste waarde van φ bleek zonder uitzondering iets kleiner te zijn dan de uit proeven bij hoogen druk gevonden waarde.

De volgende gegevens illustreeren dit verschijnsel zeer duidelijk:

Zand (Plum Island):

φ_{max}=53°50′(1,37) φ_{min}=37°0′(0,75) φ=32°20′(0,63)
δ_{max}=36°40′(0,74) δ_{min}=32°50′(0,645) δ=12°20′(0,22)

Keileem:

φ_{max}=43°30′(0,95) φ_{min}=32°40′(0,64) φ=29°0′(0,55)
δ_{max}=33°50′(0,67) δ_{min}=32°40′(0,64) δ=16°10′(0,29)

Aant.: Tusschen haakjes zijn de waarden gegeven van den tangens.

Volgens de meening van den schrijver staan deze beide verschijnselen — n.l. de groote wrijving bij lagen druk en de neiging tot vermindering in den loop van den tijd — nauw met elkaar in verband.

Bij zeer lage drukken (druk op het glijdvlak minder dan 0,1 kg per cm^2) zijn de kritische schuifkrachten ook zeer klein; microscopische onregelmatigheden van het oppervlak der korrels zijn in staat om verdere beweging te voorkomen. Maar het zoo verkregen evenwicht is zeer labiel. Kleine uitwendige oorzaken, zooals een lichte trilling, zijn voldoende om te maken, dat de gronddeeltjes zich in een meer stabielen stand stellen, waardoor een deel van de inwendige krachten buiten werking wordt gesteld. Bij infiltratie of drainage zijn de korrels onderhevig aan kleine hydrostatische krachten, welke eveneens een herschikking van de korrels en een vermindering van de wrijvingskrachten veroorzaken.

In tegenstelling hiermede zullen in een grondmassa onder hoogen druk, welke op afschuiving wordt belast, de kleine oneffenheden der korrels eenvoudig afgeslepen worden, zoodat de wrijvingscoëfficiënt lager is dan voor denzelfden grond onder zeer lagen druk. Tevens worden de gronddeeltjes op hun plaats gehouden door veel grootere wrijvingskrachten. De hydrostatische krachten, welke op de deeltjes werken bij infiltratie of drainage zijn even groot als in een grondmassa onder lagen druk. Het is dus duidelijk, dat de invloed ervan op de structuur van de grondmassa bij groote diepte klein zal zijn, vergeleken met hetgeen bij proeven op kleine schaal gevonden wordt. Overeenkomstige beschouwingen gelden voor de wrijving tusschen den grond en den muur. Volgens de proeven daalde de coëfficiënt als gevolg van den tijds-invloed en wijziging van den vochtigheidsgraad voor het zand tot 35% en voor het keileem tot 45% van de waarden, welke bij proeven onder hoogen druk werden gevonden. In aanmerking genomen, dat de korrels in een zandmassa bij lagen druk zeer gemakkelijk tot beweging komen, was niet anders te verwachten. Op groote diepte daarentegen worden de gronddeeltjes met groote kracht tegen de ruwe achterzijde van den muur gedrukt, en als gevolg daarvan zullen zij uiteraard veel minder gauw in beweging komen. Bovendien is er in een dergelijke grondmassa nog een bron van wrijving tegen den muur, welke bij een proef op betrekkelijk kleine schaal niet aanwezig is, n.l. de beweging van den grond ten opzichte van den muur als gevolg van de inklinking. De schrijver meent daarom, dat de wrijving tusschen grond en muur bij een hoogen muur (meer dan 100 ft.) effectiever en meer permanent zal zijn dan bij een lagen muur.

In verband met de voorgaande beschouwing beveelt de schrijver voor algemeen gebruik de volgende veilige waarden aan:

coëfficiënt voor de inwendige wrijving = 0,85 tg φ
„ voor de wrijving op den muur = 0,35 tg δ,

waarbij φ en δ de waarden zijn, welke gevonden worden uit proeven bij een druk van minstens 5 kg per cm^2 en bij een dichtheid van het materiaal, welke bij benadering gelijk is aan die, welke in de werkelijkheid zal optreden.

In het bovenbeschreven geval had de muur twee verschillende grondsoorten te keeren, n.l. een gewalst mengsel van zand-grind (taluds) en keileem (kern). Voor het mengsel van zand en grind waren de gegevens:

tg φ = tg 42° 40′ = 0,92; 0,85 tg φ = 0,78
tg δ = tg 33° 0′ = 0,65; 0,35 tg δ = 0,23.

Met het oog op een spoedige uitvoering moest over de bij het project aan te nemen waarden een beslissing genomen worden vóór de proeven waren beëindigd. De schrijver beval toen aan de coëfficiënten 0,674 en 0,55, resp. voor de inwendige wrijving en voor die tegen den muur. De eerste waarde was te laag, de tweede te hoog, met het resultaat, dat de veiligheid ongeveer 5% grooter werd.

Voor het keileem werd bij de proeven gevonden:

tg φ = tg 32° 40′ = 0,64; 0,85 tg φ = 0,55
tg δ = tg 32° 40′ = 0,64; 0,35 tg δ = 0,22. [3])

Het middengedeelte van den muur, dat het keileem keert, verkeert onder ongewone omstandigheden. Het rechterdeel ervan steunt tegen de betonconstructie voor de aftapping. Het linkergedeelte moest bere-

3) Aant. v. d. vertaler. Waarschijnlijk deed zich dus hier het geval voor, dat de wrijving tusschen grond en muur, hoewel theoretisch misschien grooter dan de inwendige wrijving in den grond, nooit tot een grootere waarde in werking kan treden.

kend worden op den hydrostatischen druk, welke gedurende korten tijd optreedt in het misschien nooit voorkomende geval, dat het volle reservoir zoo snel mogelijk wordt leeg gemaakt. Daarom werden reeds dadelijk hoogere waarden aangenomen dan onder normale omstandigheden is aan te bevelen, n.l. 0,58 voor de inwendige wrijving en 0,55 voor de wrijving op den muur. Daar de druk, welke door den grond wordt uitgeoefend minder dan 25% van de totalen druk uitmaakt, is het verschil tusschen de met de normale coëfficiënten berekende krachten en de aangenomene minder dan 4% van het totaal.

Methode van berekening.

Ter beantwoording van vraag 6 was het noodig de verschillende gronddruktheorieën aan een nadere beschouwing te onderwerpen.

De theorie van Rankine werd reeds dadelijk uitgeschakeld, daar ze niet in overeenstemming is met welbewezen feiten betreffende de wrijving van den grond op den muur. De theorie van Coulomb heeft twee zwakke plekken: Ze gaat uit van platte glijdvlakken en geeft verder een verkeerde voorstelling van de drukverdeeling op de achterzijde van den muur en de ligging van de drukresultante. De resultaten der meer moderne gronddruktheorieën (Kötter) blijven echter vrijwel even ver van de uit proeven gebleken waarheid als die van de eenvoudige theorie van Coulomb, en de fout, welke voortspruit uit de aanname van platte glijdvlakken is klein, vergeleken bij de onzekerheid in de keuze van de wrijvingscoëfficiënten. Het tweede gebrek van de theorie van Coulomb kan gemakkelijk hersteld worden op grond van de resultaten der proefnemingen. Door den schrijver werd daarom aanbevolen den keermuur te berekenen volgens Coulomb, met deze restrictie, dat de druk, uitgeoefend door den drogen grond (zonder hydrostatischen druk) aangrijpt op 0,42 *H* boven het grondvlak van den muur in plaats van op 0,33 *H*.

Ten tijde van het eerste ontwerp van den muur (herfst 1928) waren de meeningen over den door waterverzadigd keileem uitgeoefenden druk hopeloos verdeeld, terwijl niemand zich kon beroepen op waarnemingen. Aan de hand van de resultaten der proeven werd het duidelijk, dat het ontwerp volgens *fig. 1b* een aanzienlijke besparing beteekende t.o.v. dat volgens *fig. 1a*, aangenomen dat voor beide oplossingen dezelfde veiligheidscoëfficiënt werd aangehouden.

De theorie der grondmechanica liet vermoeden, dat de gronddruk op een volkomen stijven muur 2 à 3 keer zoo groot zou zijn, dan de met de theorie van Coulomb berekende. Dit vermoeden werd door de proeven volkomen bewaarheid. In 1928 kon door niemand worden aangegeven, hoeveel de muur moest doorbuigen om de inwendige wrijving in den grond in werking te doen treden. De proeven leverden echter alle gegevens, welke voor de berekening noodig waren, zoodat het niet noodig was om een overdreven grooten veiligheidsfactor in te voeren.

Het derde punt van meeningsverschil betrof het aangrijpingspunt van de gronddrukresultante. Vóór 1928 waren terzake geen betrouwbare proeven genomen met gewalste ophoogingen. Volgens Coulomb zou het aangrijpingspunt op 0,33 *H* liggen, en volgens de moderne theorieën, welke gebaseerd zijn op gebogen glijdvlakken, op ongeveer 0,36 H. De proeven wezen uit, dat het aangrijpingspunt tusschen 0,40 en 0,45 *H* boven het grondvlak ligt. De onjuiste theoretische waarden zijn een gevolg van het feit, dat de theorieën de boogwerking, welke aan de eerste schuiving vooraf gaat, buiten beschouwing laten.

Men kan zeggen, dat de gronddrukproeven genomen door de New England Construction Co. in samenwerking met de M. I. T. behooren tot de best rendeerende beleggingen op het gebied van proefnemingen op groote schaal. Ze leidden tot aanzienlijke besparingen, losten de pijnlijke onzekerheden op, welke aan het ontwerp van een ongewone constructie waren verbonden en leverden belangrijke gegevens over den druk van drogen en verweekten grond.

v. S.

Onderzoek naar het statisch gedrag van cohaerente grondsoorten.

In de *Schweizerische Bauzeitung* van 21 April 1934 komt een bijdrage betreffende bovengenoemd onderwerp voor van de hand van dr. H. E. Gruner en Ing. R. Haefeli, waaraan het volgende ontleend is:

Om den invloed van den spanningstoestand van het water in de poriën op het evenwicht en de inwendige krachten in cohaerenten verzadigden grond te verduidelijken, worden twee voorbeelden beschouwd.

1. Verandering van zekerheid tegen afschuiving van damtaluds door plotselinge daling van den waterspiegel. De beschouwde aarden dam rust op een weinig doorlatenden grondslag van vast afgezet grindzand. Het damlichaam bestaat uit een kern van cohaerent materiaal (klei) en verder uit cohaesieloos materiaal, dat door een doorlatende bekleeding tegen aantasting door het water beschermd wordt. De afmetingen en taluds, zoomede de door bodemphysische onderzoekingen bepaalde materiaaleigenschappen, die aan de berekening ten grondslag hebben gelegen zijn, in *fig. 1* gegeven.

Uit de ervaring en de theorie is bekend, dat bij afschuiving van homogeen materiaal gebogen glijdvlakken ontstaan, waarvan men den vorm onder ze-

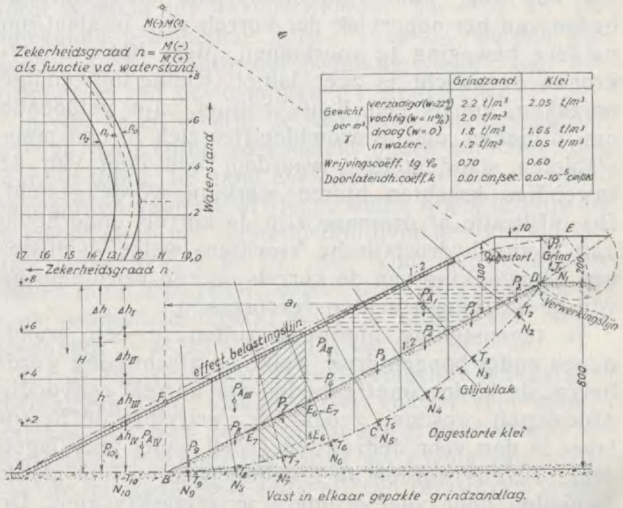


Fig. 1.

kere voorwaarden mathematisch bepalen kan [1]). In de practijk kan men echter voor het statisch onderzoek met voldoende nauwkeurigheid ermede volstaan voor den vorm van het glijdvlak cirkelbogen of gebroken lijnen aan te nemen. Op grond van bepaalde overwegingen wordt dan onder de mogelijke glijdvlakken een keuze gedaan en voor ieder daarvan een statisch onderzoek verricht betreffende de zekerheid tegen afschuiving, om dusdoende het denkbaar ongunstigste glijdvlak te vinden [2]).

In het onderhavig geval wordt aangenomen, dat het glijdvlak gevormd wordt door het gedeelte *A-B*, dat de grens vormt tusschen het ongeroerde en het opgestorte grindzand, den geheel binnen de kleikern verloopenden boog *B-C-D* met middelpunt *O* en de strekking *D-E*, waarvan de ongunstigste helling met behulp van de gronddruktheorie wordt gevonden. In elk punt van dit glijdvlak heersche bij den hoogst toelaatbaren waterstand, welke gelijk is genomen aan den bovenkant van de kern, de totale hydrostatische waterdruk. Wij verwaarloozen eerst het statisch gunstig werkend drukverlies door de strooming van het water door het boven het glijdvlak liggend materiaal. Verder zij nog vooropgesteld, dat in de kleikern het bij dezen spanningstoestand behoorende natuurlijke poriënwater aanwezig is.

Beschouwen wij nu het grensgeval van evenwicht voor den hoogst toelaatbaren waterstand, dan werken op het boven het glijdvlak liggend damgedeelte de volgende krachten.

Het eigengewicht *G* van de afzonderlijke deelen van de afschuivende massa, de opwaartsche druk *A* van de deelen, voor zoover deze met water in aanrakring zijn, alsmede de normaal en tangentiaal op het glijdvlak werkende oplegreacties *N* en *T*. Voor de bepaling van laatstgenoemde reacties wordt volgens K r e y [3]) onder verwaarloozing van de zich gedeeltelijk opheffende gronddrukken op de zijdelingsche grensvlakken van de elementen voorloopig aangenomen, dat de op ieder element werkende reactie met het door eigengewicht en opwaartschen druk bepaalde gewicht *P* overeenkomt. De normaalkrachten *N* kunnen als komponenten van *P* loodrecht op het glijdvlak bepaald worden, de wrijvingskrachten *T* worden voor het grensgeval van het evenwicht, waarbij de afschuiving begint, benaderend berekend uit:

$$T = N \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

De afschuiving heeft plaats om het middelpunt *O* als bewegingscentrum. Noemen we $M_{(+)}$ het moment van alle krachten om dit centrum, welke in de draairichting van de afschuiving werken (hier volgens de wijzers van een uurwerk) en $M_{(-)}$ het moment van alle deze afschuiving tegenwerkende krachten, zoo kan de zekerheid tegen afschuiving worden uitgedrukt als volgt:

$$n = \frac{M_{(-)}}{M_{(+)}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

1) M. F r o n t a r d. Comptes rendus de l'Académie des Sciences 1922: pg. 526, 740, 930, 1928: pg. 1597 — le Congrès des Grands Barrages 1933: rapport No. 28.

2) W. F e l l e n i u s: Erdstatische Berechnungen mit Reibung und Kohäsion (Adhäsion) und unter Annahme kreiszylindrischer Gleitflächen.

3) K r e y: Erddruck, Erdwiderstand.

Daalt de waterspiegel in het kanaal snel over een hoogte $\triangle h_1$, dan volgt de kwellijn in de doorlatende grindlaag deze beweging, terwijl zij in de kleikern zich slechts langzaam aan den veranderden toestand aanpast, zoodat zij op het tijdstip van geheele lediging van het kanaal aan de luchtzijde bijna nog onveranderd is en aan de waterzijde langs de begrenzing van den kleikern verloopt. Doordat het grind in de zône, waarover de waterstand is verlaagd, geen opwaartschen druk meer ondervindt, ontstaat een gewichtstoename P_{A1}, waardoor in het poriënwater van het glijdvlak der kleikern een spanning wordt opgewekt. Zij veroorzaakt een toename van de normaalkrachten *N* zonder dat de wrijvingskrachten *T* grooter worden, aangezien de drukverhooging alleen door het poriënwater opgenomen wordt. Het moment $M_{(-)}$ blijft dus ongewijzigd, het moment $M_{(+)}$ neemt echter toe met $P_{A1} \cdot a_1$, hetgeen een reductie van den zekerheidsgraad *n* tengevolge heeft. Eerst dan, wanneer de waterspiegel onder punt *F* daalt, neemt ook $M_{(-)}$ toe, omdat dan in den driehoek *A B F*, welke uit doorlatend materiaal bestaat, iedere door het vervallen van den opwaartschen druk veroorzaakte gewichtstoename door onmiddellijke ontspanning van het poriënwater een overeenkomstige verhooging van de wrijving mogelijk maakt. Het gevolg is, dat de voor een daling van den waterspiegel van + 8 tot 0 geteekende *n*-krommen bij een bepaalden waterstand een minimum aanwijzen. Hoe dikker de grindlaag is, des te hooger ligt de kritische waterspiegel. Deze verandering van den zekerheidsgraad *n* geldt natuurlijk slechts voor het als onveranderd beschouwde glijdvlak *A, B, C, D, E*. Het is denkbaar, dat voor een gewijzigden waterstand andere glijdvlakken een ongunstiger resultaat geven.

Ten aanzien van de keuze van de glijdvlakken zij verder opgemerkt, dat in het beschouwde geval de zekerheidsgraad voor den hoogsten waterstand nauwelijks verandert, wanneer men aanneemt, dat het glijdvlak tusschen de punten *B* en *D* rechtlijnig (d.i. direct onder de begrenzing van den kleikern) verloopt instede van cirkelvormig. De reden, waarom niettemin van het cirkelvormige glijdvlak is uitgegaan, is, dat een in het inwendige van den kleikern verloopend glijdvlak meer in overeenstemming is met het ontstaan van gespannen poriënwater dan een in de directe nabijheid van de doorlatende laag gelegen vlak en bovendien beter overeenkomt met de ervaring, volgens welke afschuivingen steeds plaats hebben volgens gebogen vlakken. De inwendige weerstanden, welke de scherpe richtingsveranderingen van gebroken glijdvlakken tengevolge hebben, worden bij de berekening van de zekerheid tegen afschuiving verwaarloosd.

De voor bovengenoemde aannamen berekende zekerheidscoëfficiënten zijn in de n_0-krommen gegeven. Bij exacter berekening moeten nu nog met de beide volgende in gunstigen zin werkende factoren rekening worden gehouden, welke overzichtelijkheidshalve voorloopig buiten beschouwing werden gelaten. De eerste der bedoelde factoren houdt verband met het feit, dat in werkelijkheid de overdracht van het gewicht op het schuifvlak niet precies zoo geschiedt, dat in ieder deel van het vlak het gewicht van het loodrecht daarboven gelegen materiaalprisma wordt

overgebracht. Dit komt doordat, behalve het gewicht, op een dergelijke prisma ook nog zijdelingsche, scheef gerichte gronddrukken E werken, die elkaar slechts bij uitzondering geheel opheffen, doch normaal een belastende of ontlastende komponente opleveren. Om dezen invloed voor het beschouwde geval te onderzoeken, is het werkelijke belastingvlak benaderd berekend en aangegeven. Er heeft een verschuiving van de belasting plaats zoodanig, dat deze in het benedenste vlakkere gedeelte van het schuifvlak toeneemt, terwijl het bovenste steilere gedeelte eenigszins ontlast wordt. Houdt men rekening met de daardoor veroorzaakte veranderingen der momenten $M_{(+)}$, ontstaan eenerzijds door de verticale positieve en negatieve toegevoegde gewichten en anderzijds door de toegevoegde wrijvingskrachten, dan krijgt men, indien eenvoudigheidshalve wordt aangenomen, dat de daling van den waterspiegel zonder wezenlijken invloed op de gewichtsverplaatsing is, voor den zekerheidsgraad de n_1-kromme, welke ongeveer parallel loopt aan de n_o-kromme.

De andere, eveneens gunstig werkende invloed is een gevolg daarvan, dat de doorstrooming door het boven het schuifvlak liggende damgedeelte een zeker drukverlies veroorzaakt. De in het schuifvlak aanwezige waterdruk is derhalve iets kleiner dan de hydrostatische druk. Deze afwijking, die toegevoegde normaal- en wrijvingskrachten veroorzaakt in het schuifvlak, kan schattenderwijze berekend worden op grond van het stroombeeld van het kwelwater, indien de doorlaatcoëfficiënten k van het materiaal bekend zijn. De n_2-kromme toont zoowel den invloed van de gewichtsvermindering als van het drukverlies van het kwelwater. Bij het talud aan de luchtzijde is de invloed van het drukverlies op de stabiliteit daarentegen ongunstig.

2. Grenswaarden van den zijdelingschen druk in cohaerenten met water verzadigden grond. Onderzocht zullen worden de grenswaarden van den met den tijd veranderlijken spanningstoestand in een oneindig uitgestrekte grondmassa met horizontale boven- en benedenbegrenzing, waarvan de specie versch is ingebracht. Het bovenvlak laat een vrije uittrede van het poriënwater toe, de onderlaag is ondoorlatend. Het homogene, quasi-isotrope materiaal is op een daartoe geëigende wijze, b.v. door opspoelen of door zorgvuldig walsen in dunne lagen, luchtvrij gemaakt.

Uit verrichte proeven zijn de volgende materiaaleigenschappen bekend (zie *fig. 2*):

γ_o = gewicht in t/m³
w_o = natuurlijk poriënwatergehalte in % } als functie van den verticaaldruk bij verhinderde zijdelingsche uitzetting.

φ_o = hoek van natuurlijke inwendige wrijving.

Verder zijn de volgende waarden bepaald:

w' = gemiddeld watergehalte in %
γ' = gemiddeld gewicht in t/m³ } van het versch ingebrachte materiaal.

Voorts gelden de volgende notaties.

h = loodrechte afstand van een punt in m, gemeten vanaf het horizontale bovenvlak (diepte);
σ_I = eerste hoofdspanning in t/m² (verticaaldruk);
σ_{II} = tweede hoofdspanning in t/m² (zijdelingsche druk);
σ = normaalspanning in t/m² } in willekeurige
τ = schuifspanning in t/m² } doorsnede.

Beschouwen we eerst den spanningstoestand in de grondlaag op het tijdstip $t = 0$, d.i. dadelijk na het inbrengen van het materiaal, onder aanname, dat dan in alle punten hetzelfde vochtgehalte $w = w'$ en het gelijke kubieke gewicht $\gamma = \gamma'$ aanwezig is. Bij een bepaalde dikte van de bovenlaag $h = h_o$ komt dit vochtgehalte overeen met het natuurlijk poriënwater. Het op deze diepte h_o liggende horizontale vlak verdeelt het damlichaam in twee zônes: een bovenzône, waarin het poriënwater niet bijdraagt tot overbrenging van den druk, en een benedenzône met poriënwater onder spanning. In het verdeelvlak $h = h_o$ is de verticaal gerichte hoofdspanning $\sigma_{I\,o} = \gamma' \cdot h_o$. De horizontale hoofdspanning $\sigma_{II\,o}$ is gelijk aan de minimum waarde, die vereischt is voor het evenwicht bij verhindering van de zijdelingsche uitzetting. Zij wordt bepaald door de voorwaarde, dat de verhouding van schuif- en normaalspanning de waarde van de inwendige wrijving in geen enkele doorsnede mag overschrijden.

$$\frac{\tau}{\sigma} \leq \text{tg}\,\varphi_o \qquad (3)$$

Teekent men in het punt C den bij de diepte h_o behoorenden M o h r'schen cirkel, waarbij aan boven-

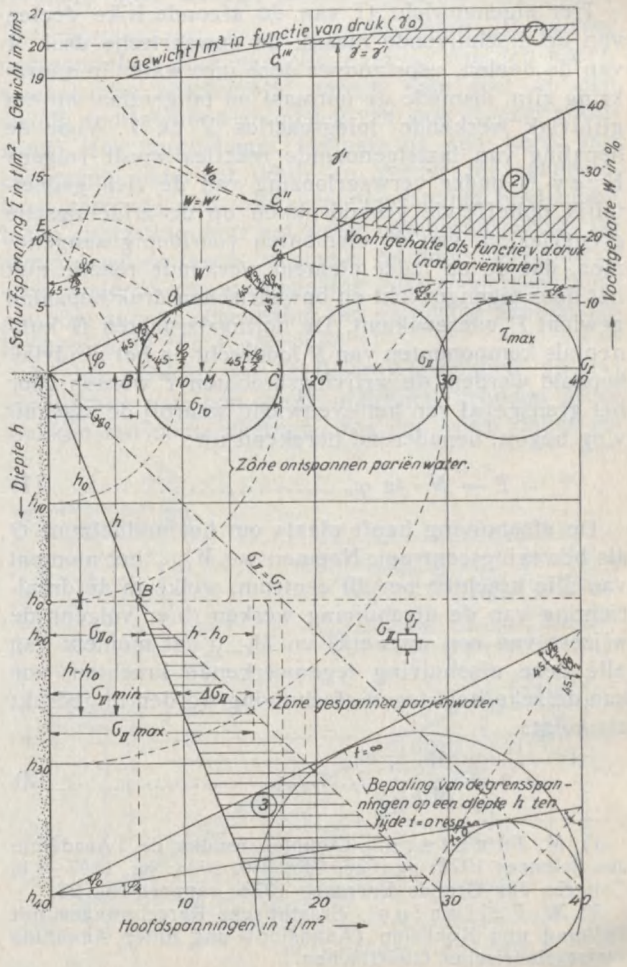


Fig. 2.

staande voorwaarde wordt voldaan, doordat deze aan het bovenbeen van den hoek φ_o raakt, dan is:

$$\sigma_{II_o} = \overline{AB} = \overline{AE} \cdot \text{tg}\,(45 - \frac{\varphi_o}{2}) = \overline{AC} \cdot \text{tg}^2\,(45 - \frac{\varphi_o}{2})$$

$$\sigma_{II_o} = \gamma' \cdot h_o \cdot \text{tg}^2\,(45 - \frac{\varphi_o}{2}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

De uit de constructie van den spanningscirkel volgens Mohr gevonden zijdelingsche druk σ_{II_o} komt dus overeen met den volgens de gebruikelijke berekeningsmethode bepaalden gronddruk voor het geval, dat de wrijving op het muurvlak 0 is en de natuurlijke hellingshoek gelijk is aan φ_o.

De boven het vlak $h = h_o$ gelegen zône gedraagt zich wat betreft den zijdelingschen druk bij verhinderde zijdelingsche uitzetting als een elastisch materiaal, d.w.z. de zijdelingsche druk neemt proportioneel met de diepte h_o toe, zoodat de verhouding der hoofdspanningen $n = \frac{\sigma_{II}}{\sigma_I}$ constant blijft. De coëfficiënt voor zijdelingsche samentrekking of constante van Poisson, m, wordt gevonden uit de volgende betrekking:

$$\frac{1}{m} = n = \text{tg}^2\,(45 - \frac{\varphi_o}{2}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

In de onder het vlak $h = h_o$ gelegen zône, wordt op het tijdstip $t = 0$ door de vaste stof slechts het gewicht gedragen van de boven het vlak h_o gelegen grondlaag. De onder dat vlak gelegen grondmassa's belasten hoofdzakelijk het poriënwater. Hieruit volgt, dat in alle punten, welke beneden de diepte h_o liggen, de door de vaste stof van korrel op korrel overgedragen drukken dezelfde zijn.

Daar zoowel de vaste stof als het poriënwater een aandeel leveren voor de hoofdspanningen, kunnen deze voor de bedoelde punten als volgt bepaald worden:

$$\sigma_I = \gamma' \cdot h_o + \gamma' \cdot (h - h_o) = \gamma' \cdot h \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

$$\sigma_{II\max} = \sigma_{II_o} + \gamma' \cdot (h - h_o) =$$

$$= \gamma' \cdot h_o \cdot \text{tg}^2\,(45 - \frac{\varphi_o}{2}) + \gamma' \cdot (h - h_o) \quad (7)$$

De diameter van den spanningscirkel volgens Mohr is, als zijnde het verschil der hoofdspanningen, constant, d.w.z. onafhankelijk van de diepte; hetzelfde geldt ook voor de maximale schuifspanning $\tau_{\max}$, die hier slechts van den spanningstoestand in de vaste stof afhangt.

Thans zal in het algemeen beschouwd worden de met den tijd veranderlijken spanningstoestand, welke door de strooming van het water in de poriën ontstaat.

Door de boven het vlak $h = h_o$ gelegen zône stroomt het uit de daaronder liggende laag opkwellende poriënwater. Is de oppervlakte-verdamping kleiner, dan de door het vlak h_o opstijgende waterhoeveelheid, dan heeft in de bovenzône een watertoename plaats, waarvan het maximum bepaald wordt door het natuurlijke poriënwater, en welke een uitzetting van het materiaal tengevolge heeft, zonder dat de zijdelingsche druk de boven berekende grenswaarde overschrijdt.

Als de verdamping aan de oppervlakte daarentegen grooter is dan de de door het vlak h_o stroomende waterhoeveelheid, dan droogt de beschouwde laag langzaam uit, hetgeen er toe kan leiden, dat de oppervlakte-verdamping plaats heeft binnen in de grondmassa. Er ontstaan dan krimpscheuren, die den spanningstoestand volledig wijzigen, doordat de zijdelingsche druk 0 wordt in de laag, waarin deze scheuren optreden (lineaire spanningstoestand).

In de zône, gelegen onder het niveau $h = h_o$, heeft door het afvloeien poriënwater een geleidelijke ontlasting van het vloeibare gedeelte en een overeenkomstige extra-belasting van het vaste gedeelte der grondmassa plaats. De verticale hoofdspanning σ_I ondervindt geen invloed van deze verandering. Daarentegen neemt de zijdelingsche druk langzaam af en bereikt, bij verwaarloozing van de door de samendrukking veroorzaakte veranderingen van het gewicht per m³ en van de lengten, na een theoretisch oneindig langen tijd, d.i. na volledige ontspanning van het poriënwater, de onderste grenswaarde, welke met den specifieken gronddruk volgens de gebruikelijke gronddrukberekening overeenstemt.

$$\sigma_{II\,\min} = \gamma' \cdot h \cdot \text{tg}^2\,(45 - \frac{\varphi_o}{2}) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

Als $\triangle\ \sigma_{II}$ het verschil voorstelt tusschen de maximum en minimum waarden van σ_{II}, dus $\triangle\ \sigma_{II} = \sigma_{II\max} - \sigma_{II\min}$, dan is dus:

$$\sigma_{II\max} = \sigma_{II\min} + \triangle\ \sigma_{II} =$$

$$= \sigma_{II\min} + \gamma' \cdot (h - h_o) \cdot \left[1 - \text{tg}^2\,(45 - \frac{\varphi_o}{2})\right] \quad (9)$$

Hiermede zijn alle theoretische grenswaarden van den zijdelingschen druk bepaald, welke voor het statisch onderzoek van belang zijn. De berekening van het verloop van den met den tijd veranderlijken spanningstoestand is van mindere beteekenis. Deze kan bij een bekende doorlaatcoëfficiënt plaats hebben op de door v. Terzaghi voor soortgelijke gevallen aangegeven wijze („Näherungsverfahren für die rechnerische Behandlung des Spanningsausgleiches in bindigem Bodem", v. Terzaghi: Erdbaumechanik 1925, S. 155).

In de practijk is zelden voldaan aan de bij de theoretische beschouwing onderstelde voorwaarde van een horizontale bovenbegrenzing. Voor grondlagen met een hellend bovenvlak en parallel verloop der dieper liggende lagen, kan echter op dezelfde gronden een soortgelijke oplossing gelden. Voor het verticale symmetrievlak van aardmassa's met vlakke taluds (kernen in aarden dammen) geldt benaderend de voor een horizontaal bovenvlak gevonden spanningstoestand, met inachtneming van de veranderde stroomingsverhoudingen van het poriënwater. Door constructieve maatregelen kan de ontspanning van het poriënwater reeds gedurende den bouwtijd verhaast en daardoor de maximum waarde van den zijdelingschen druk aanzienlijk gereduceerd worden.

H.