

Nederlandsch Boschbouw-Tijdschrift

Orgaan van de

Nederlandsche Boschbouwvereniging

Oprichter Dr. J. R. Beversluis

2e Jaargang

No. 11

November 1929

Oorspronkelijke Bijdragen

LUCHTFOTOGRAMMETRIE

Voordracht gehouden door den Heer H. F. VAN RIEL tijdens den 5en Wetenschappelijken Cursus te Wageningen op 26, 27 en 28 September 1929

Het onderwerp, dat ik heden voor U zal behandelen, draagt tot titel: „Luchtfotogrammetrie”. Men verstaat er onder, het maken van kaarten, met behulp van foto's, die uit vliegtuigen of luchtschepen zijn opgenomen.

Een vrij nieuwe zaak dus. Wel is waar is de fotografie al zoo ongeveer een eeuw oud, maar met de toestellen en ingrediënten uit den eersten tijd van deze techniek, zou op het gebied, dat wij hier bespreken, weinig zijn uit te richten geweest. Eerst met de ontwikkeling, die de fotografie in de laatste 25-jaar heeft bereikt, is het mogelijk geworden, vraagstukken als die der luchtfotogrammetrie, ter hand te nemen. Daarbij komt natuurlijk, dat de kunst, om zich boven de aarde in de lucht op te houden, en zich langs een bepaalde, te voren gekozen weg te verplaatsen, eerst mogelijk geworden is door de ontwikkeling van de aviatiek in den wereldoorlog.

De toepassing van de luchtfotogrammetrie loopt dus nog maar over weinige jaren. En toch is al heel wat bereikt. Overal op de wereld worden proeven genomen of wordt de methode als regelmatige wijze van opneming erkend. De werkers aan dit onderwerp zijn internationaal georganiseerd; geregeld worden congressen gehouden, waarop steeds veel nieuws en wetenwaardigs wordt openbaar gemaakt. De tijdschrift-litteratuur over deze zaak is reeds zeer omvangrijk.

Het wordt dan ook hoe langer hoe meer erkend als een onderwerp van zeer groote beteekenis, omdat het wijde vooruitzichten opent en nieuwe wegen baant tot het verkrijgen van kennis van ons aardoppervlak, ten slotte geconsolideerd in goede kaarten.

De toepassing van de fotografie uit de lucht beteekent een revolutie in de landmeetkunde. Met de talrijke methoden van opmetingen, die men zoo in den loop der jaren heeft ont-

worpen, is men nooit verder gekomen dan tot *puntsgewijze* opmeting. Zelfs de meest ingewikkelde kaarten die bestaan zijn puntsgewijze opgemeten. Van kadasterkaarten is dit aantal detailpunten zoo groot, dat zij door rechte lijnen verbonden, zoo goed mogelijk de kromme lijnen van het terrein voorstellen, op topografische kaarten is het aantal opgenomen punten geringer; men verkrijgt dan een beeld van het terrein door de grenzen in te schetsen.

Nu de fotografie in de opneming wordt betrokken, is het geheel anders geworden. In $\frac{1}{100}$ tot $\frac{1}{200}$ seconde worden op de fotografische plaat alle punten ineens afgebeeld die zich voor de lens op het oogenblik der opname vertoonden. Bij eerste kennismaking, wanneer men dat beeld heeft leeren begrijpen, schijnt het zelfs alsof die foto's direct als kaart zouden kunnen dienst doen. Wat een vooruitgang! Maar nog meer! Na eenige seconden is het toestel opnieuw tot opneming gereed, en is het vliegtuig zooveel verder gekomen, dat het aangrenzende gebied zich op de plaat zal afbeelden. Een nieuwe foto kan worden genomen en zoo kan men verder gaan; geheele series kunnen aanelkander worden geregen, het hangt van het tijdsinterval af hoe groot de overlapping zal zijn, men kan het binnen zekere grenzen regelen. Het hangt van de vlieghoogte af, hoeveel op één plaat wordt afgebeeld. Ik heb voorbeelden van foto's, die op ruim 4000 m hoogte zijn opgenomen; de schaal ervan is ongeveer 1 : 20.000. Op elke foto is een terrein van 8 km² of 800 ha afgebeeld. Als wij het eens precies zouden opnemen dat de randen der opvolgende foto's aan elkaar sloten, dan zouden wij met \pm 4200 foto's geheel Nederland kunnen bedekken.

Reken per minuut één foto, dan zouden 70 uur in de lucht voldoende zijn om een fotografisch beeld van ons land te verkrijgen. Er zijn in de praktijk wel wat bezwaren tegen deze rekening. Maar zij illustreert toch, hoe snel deze methode kan werken, en hoe weinig personeel en materieel er noodig is, om het gewenschte fotomateriaal te verkrijgen. De uitwerking tot kaarten, de terrestrische arbeid, eischt het leeuwendel van den tijd op. Dat is eigenlijk maar goed, want voor het bedrijf in de lucht moet er weer zijn, dat bij ons in sommige tijden van het jaar, uitzondering is. Wil men op groote hoogte seriën fotografeeren, dan mag er geen wolkje aan de lucht zijn. Ook zelfs dunne nevels, die hier zoo veelvuldig voorkomen, leggen een sluier over het op te nemen landschap, zij maken het fotografeeren moeilijker, dikwijls onmogelijk. Een lichtfilter kan soms nog uitkomst brengen.

Behalve het economisch voordeel, dat aan de groote snelheid, waarmede gewerkt wordt, verbonden is, levert de fotogrammetrie de mogelijkheid, een bijzonderen toestand, die op een zeker oogenblik heerschte, vast te leggen en in kaart te brengen. Ik denk daarbij aan rampen die hun invloed

over een groot oppervlak doen gelden, als overstromingen, boschbranden, stormschade e.d. Niet alleen een vluchtige indruk van den omvang van de ramp is daarmee spoedig te verkrijgen, maar bovendien, de documenten, om daarvan een tot in bijzonderheden betrouwbare kaart te vervaardigen.

Wij zullen beginnen met de toestellen, die voor de opname worden gebruikt, nader te beschouwen. Het zijn camera's van bijzondere constructie. Om dan de beelden te kunnen opmeten is het noodig dat lens en plaat een zeer vasten stand tegenover elkaar innemen. Daarom is de geheele camera van metaal (aluminium) gemaakt. De lens die aan hooge eischen moet voldoen, voor wat betreft de lichtsterkte en de kwaliteit van het beeld (men dient als eisch te stellen dat punten steeds als punten en rechte lijnen als rechte lijnen worden afgebeeld) is daarin vast verbonden. De plaat krijgt een vasten stand door ze tegen een metalen raam aan te persen; instellen is niet noodig omdat de voorwerpen steeds op grooten afstand zijn verwijderd, waardoor het beeld practisch op brandpuntsafstand wordt gevormd.

Men denke aan de formule $xx' = f^2$.

De brandpuntsafstand varieert tegenwoordig bij de verschillende fabrikaten van 21 tot 13.5 c.m.; de relatieve opening is 1 à 4.5 of 1 à 5.

Het is voor vele verdere bewerkingen noodig dat de stand dien de plaat op het oogenblik der opname innam in de camera, wordt opgeteekend. Daartoe zijn in de camera merken aangebracht, die een afdruk geven op de plaat. Door de merkpunten te verbinden construeert men op de plaat het doorgangspunt van de optische as.

Ik spreek telkens van platen. Men neemt of gewone glazen platen of welspiegelglasplaten, om zeker te zijn van een volkomen glad oppervlak. Zij worden meestal in een wisselcassette geborgen, waardoor het wisselen in een oogenblik kan geschieden. In den laatsten tijd worden vele proeven met films verricht. Het voordeel ligt voor de hand; gering gewicht, niet de breekbaarheid van glazen platen. Glassplinters kunnen gemakkelijk een wisselinrichting defect maken. Nadeel van films is evenwel, dat zij in de baden van afmetingen veranderen en daarmee ook het beeld, dat er op voorkomt en dat uitgemeten moet worden. Was die lengteverandering regelmatig dan was het bezwaar zoo groot niet. Het beteekent alleen dat de schaal wat anders schijnt, dan zij is, wat ook aldus kan worden opgevat dat de brandpuntsafstand wat anders is. Maar juist de onregelmatige veranderingen van de filmafmetingen leveren de moeilijkheden. In den laatsten tijd is vooral in Deutsche fabrieken veel gedaan, om dit bezwaar te vermijden. Proeven hebben geleerd, dat er voor ons doel bruikbare films gemaakt kunnen worden. Men vreest evenwel dat er op een filmrol

gedeelten zullen voorkomen die niet bruikbaar zijn, in dat geval moet opnieuw worden gevlogen, wat de zaak kostbaar en, vooral bij opname van onbewoonde streken, zeer bezwaarlijk maakt. De vooruitgang die in de laatste jaren te boeken valt, doet hopen dat de film nog eens definitief in de fotogrammetrie haar intrede zal doen.

Toestellen voor films ingericht :

Hugershoff. 12×12 cm, f. 13.5 cm, \pm 350 opnamen.

Zeiss. 18×18 cm, f. 21 cm, \pm 290 opnamen.

Het vlak houden van deze films is een probleem op zich zelf.

Zeiss lost dit op door wegzuigen van lucht door een plaat achter de film.

Hugershoff drukt de gevoelige kant eenvoudig op een planparallele glazen plaat en fotografeert dus, door deze plaat heen.

Bij de verdere bewerking moet met deze omstandigheid worden rekening gehouden.

Nog iets over de formaten.

Den eersten tijd volgde men eenvoudig de gewone handelsformaten 9×12 , 13×18 , 18×24 enz. Deze hebben hun ontstaan te danken aan aesthetische eischen aan een foto met horizontale as opgenomen te stellen. Deze eisch heeft in ons geval geen kracht; men benut veel beter het totaal van wat de lens praesteeren kan, met vierkante platen, daarom gaat men in den laatsten tijd over tot de formaten 18×18 *Zeiss*, 12×12 *Hugershoff*, 13×13 *Wild*.

Wij zullen nu zien wat met de fototoestellen wordt verkregen.

De gewone houding die wij het fototoestel bij terrestrische opnemingen laten aannemen, heeft hier niets dan nadeelen. Meer, dan de helft van de plaat zou de lucht afbeelden, bovendien verschaffen zulke foto's weinig inzicht in het terrein. Men geeft derhalve of aan de as een willekeurige scherpe hoek met de verticaal, of wel een zeer kleine hoek, liefst ongeveer 0° . Voor de eerste wijze van opneming is geen bijzondere opstelling noodig. Men fotografeert over boord.

De aldus genomen foto's lijken nog veel op de gewone terrestrische. Men kan ze herkennen aan de afwijking, die als fout wel eens voorkomt aan gewone foto's, dat verticale lijnen convergeeren in een enkel punt. Deze foto's hebben in den regel weinig beteekenis voor ons doel. Men kan nog te weinig in het terrein inzien (vooral bij gebouwen en gebergten).

Thans worden bijna uitsluitend voor fotogrammetrie foto's gebruikt, die met nagenoeg verticale as zijn opgenomen. *Nagenoeg*, want de zuiver verticale stand kan alleen door toeval worden verkregen. Met een onzekerheid van eenige graden kan het doel worden bereikt.

Men fotografeert door een luik in den bodem van het vliegtuig. Bij voorkeur is het toestel dan in een stellage vastgezet.

Wat hebben wij zodoende verkregen? De nu verkregen foto's lijken wel iets op een kaart. Wegen, huizen, grenzen van cultuur zijn er gemakkelijk op te onderscheiden, dank zij de gevoeligheid van de plaat voor kleurnuances van het terrein.

Ons valt op: het groot aantal details; iedere boom heeft zijn afbeelding, ieder greppeltje, ieder toevallig terrein-voorzwerp dat wat afsteekt tegen de omgeving. De eerste gedachte is: wat een rijkdom aan details, Maar nadere kennis-making doet spoedig verlangen naar schematisering, naar een teekening met minder details, maar met beter overzicht. Men ziet direct, dat in handen van den kaartenmaker, den topograaf, een rijke bron van gegevens gevallen is. Als maar de figuur die wij voor ons hebben aan deze eischen voldoet, dat zij gelijkvormig is met het terrein en dat ze op een bepaalde schaal is voorgesteld. Maar aan beide eischen hapert het. Er zou aan te voldoen zijn, wanneer precies op een bepaalde hoogte werd gevlogen en wanneer bij het fotografeeren de as der camera precies verticaal werd gericht. Aan geen van beide eischen kan in die mate worden voldaan, dat de fouten die door de afwijkingen ontstaan, onschadelijk zijn. Men moet naderhand op de foto's nog bewerkingen toepassen, waarover wij het spoedig zullen hebben.

Eerst nog eenige mededeelingen over hetgeen de foto's ons nog meer kunnen geven. Niet alleen den tegenwoordigen toestand van den grond, ook sporen van vroeger gebruik. In vele opzichten is het aardoppervlak te beschouwen als een palimpsest, een perkament dat in de oudheid met wijsheid werd volgeschreven, in de middeleeuwen werd schoon-gekrabd om weer voor het noteeren van andere wijsheid te worden gebezigd.

Eeuwen geleden zijn volken ten ondergegaan, er is iets overgebleven van hun gebouwen. Gedeeltelijk onder het zand bedolven zijn er resten van steden zichtbaar langs de Euphraat en Tigris. De luchtfoto geeft beter dan elk ander middel een overzicht van wat er van die steden over is.

(1e voorbeeld: *paleis te Hatra*, bloeiende \pm Chr. geb., waar duidelijk zichtbaar is dat het paleis is ingebouwd in een oudere stad. 2e voorbeeld: *stad tusschen Mosoel en Bagdad*, waarvan de identiteit nog moet worden vastgesteld).

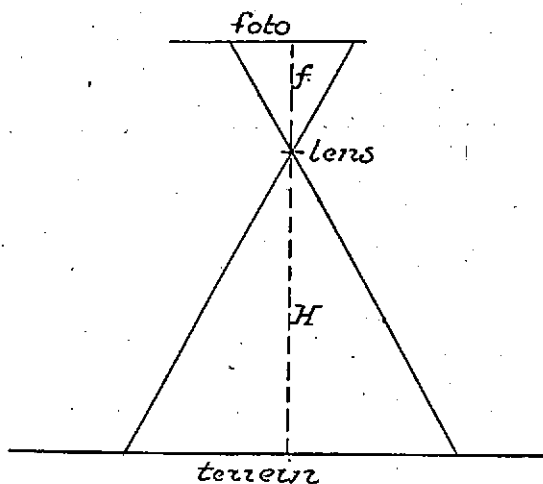
Hier kunnen de luchtfoto's den archeoloog leiden bij het richten van opgravingen. Waar geen huizen meer aanwezig zijn, geven soms overblijfselen van omwallingen de ligging en den vorm van de akker-indeeling aan. Interessant is dat in Engeland, waar op vele plaatsen een Keltische indeeling met meer vierkante percelen voorafging aan de Saksische inbezitting met langwerpiger akkers.

Waar ook alle uiterlijke teekenen van vroegere nederzetting zijn uitgewischt, kunnen in de kleur of in den aard van het gewas nog lange jaren sporen zichtbaar zijn van vroegere

slooten of watergangen. (Als voorbeeld werd hiervoor gedemonstreerd een luchtk kaart van Dorchester, waar op de foto een duidelijke donkere ring waarneembaar was. Bij onderzoek bleek dat er hier vroeger een gracht geweest moet zijn, die met waterdoorlatend materiaal is opgevuld, terwijl de ondergrond van den verderen akker uit veel minder doorlatend materiaal bestaat. Dat heeft invloed op den groei van het gewas op bepaalde momenten, het resultaat is zichtbaar).

In ons land zijn op foto's van de Haarlemmermeer op dezelfde wijze sporen terug te vinden van den vroegeren toestand vóór de droogmaking.

Ik kom thans op het eigenlijke onderwerp terug: Hoe kunnen deze foto's nu dienen om daarvan kaarten samen te stellen. Wij zeiden reeds, en een tekening kan dat duidelijk maken: Fig. 1: wanneer we te doen hebben met effen terrein, wanneer de foto wordt opgenomen met verticale as, is de tekening op de plaat gelijkvormig met die van het terrein op de schaal $\frac{f}{H}$ (f bv. 0,20 m, $H = 2000$ m, schaal $\frac{0,20}{2000} = \frac{1}{10.000}$). Wordt een volgende foto van de serie weer met verticale as opgenomen dan is de schaal daarvan $\frac{f}{H'}$, want het is niet mogelijk een bepaalde hoogte met groote nauwkeurigheid vast te houden.



Figuur 1.

Deze foto's kunnen niet aan elkaar worden gepast. Eerst moeten zij op een zelfde grootte worden herleid, liefst op ronde schaal. Daarvoor is noodig dat in iedere foto van 2 punten de afstand bekend is b.v. door opmeting. In een gewoon vergrootingstoestel kan men dan zoolang de instelling veranderen tot de gewenschte afmeting bereikt is. Aldus kan

een willekeurig aantal foto's met verticale as opgenomen, op dezelfde schaal worden gebracht en aan elkaar worden gepast tot een geheel. Zulk een samenvoeging, noemen wij *foto-kaart* er wel bij denkende, dat er een eigenlijke kaart van gemaakt wordt als men vele details weglaat en andere dingen door bijzondere teekens meer naar den voorgrond brengt.

Is het doel meer een terreinverkenning dan een kaart, komt het minder op nauwkeurige aansluiting aan, dan op het verkrijgen van een overzicht over de terreinvoorwerpen die aanwezig zijn, dan kan men trachten de foto's rauwweg — zonder bewerking dus. — aan elkaar te passen. Er ontstaan noodzakelijker wijze dan hiaten op de z.g. aansluitende randen. V.b. *Boschbrandkaarten* van bosschen bij Beekbergen en Kootwijk, verkenningsfoto over Wageningen.

Vooraf wanneer verschillende series aan elkaar gepast moeten worden, is er heel wat kunst nodig om de gappingen weg te werken..

Men onthoude wel dat aldus nooit meer dan een schets kan worden verkregen. In Engelsche kolonien heeft men betere aansluiting trachten te verkrijgen, door het papier der foto's in vochtigen toestand op de gewenschte lengte te rekken. Op dezelfde wijze werden zelfs correcties aangebracht voor den scheeven stand van de as der camera. Ook heb ik voor eenige jaren deze zelfde methode aangetroffen bij enkele Duitsche particuliere luchtvaartmaatschappijen, die aldus op een koopje prentjes maakten voor hunne niet veel eischende klanten. Hoe het ook wordt aangepakt, een fotokaart, waarop gemeten zou kunnen worden, kan aldus niet worden verkregen.

Er zijn twee zaken die dat beletten.

1e De as der camera is niet verticaal.

2e Het aanpassen van verschillende foto's aan elkander uitsluitend op de figuratie kan niet zoo nauwkeurig geschieden, dat er op den duur geen draaiingen der foto's ten opzichte van elkander ontstaan.

In het laatste bezwaar is het gemakkelijkst te voorzien. Men bepaalt op iedere foto enkele punten in coördinaten door gewone landmeetkundige opmetingen. Men zet de coördinaten uit op een groot vel papier op een tekenbord gespannen. Zet in de uitgezette punten korten fijne naaldjes rechtop, prikt op de overeenkomstige punten op de foto's door en schuift de foto's zoo op de naaldjes, dat de punten op hun plaats komen en plakt met een plakmiddel, dat niet vochtig gemaakt behoeft te worden, elke foto stuk voor stuk op zijn plaats op het papier. Aldus is de juiste stand van elke foto gewaarborgd.

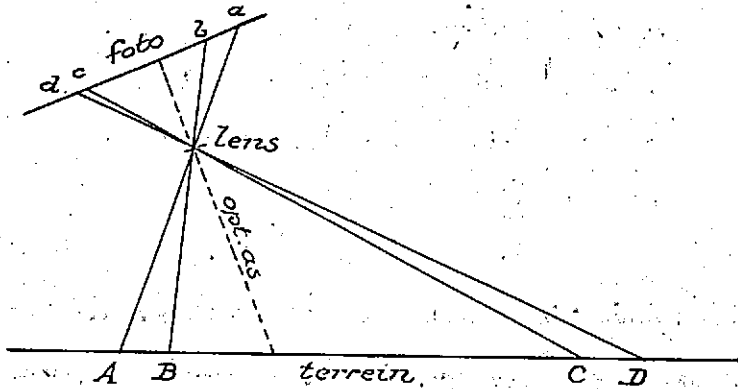
Dit kan echter alleen wanneer de foto op de juiste schaal is en de as verticaal was gericht bij de opname.

Is dit niet het geval dan moet de foto eerst een bewerking ondergaan, die wij *herleiding* zullen noemen, in de Neder-

landsche militaire litteratuur wel „onthoeking” en in Indië „ontshranking” genoemd.

Wij moeten daarvoor iets nader ingaan op de gevolgen, die het fotografeeren met scheeve as heeft. De plaat is dan niet meer gelijkvormig met het terrein.

Uit de teekening, fig. 2, blijkt, dat dan de schaal waarop AB is afgebeeld groter is dan die waarop CD is afgebeeld. Theoretische beschouwingen leeren evenwel dat rechte lijnen steeds recht blijven, dat een schaar evenwijdige lijnen op het terrein



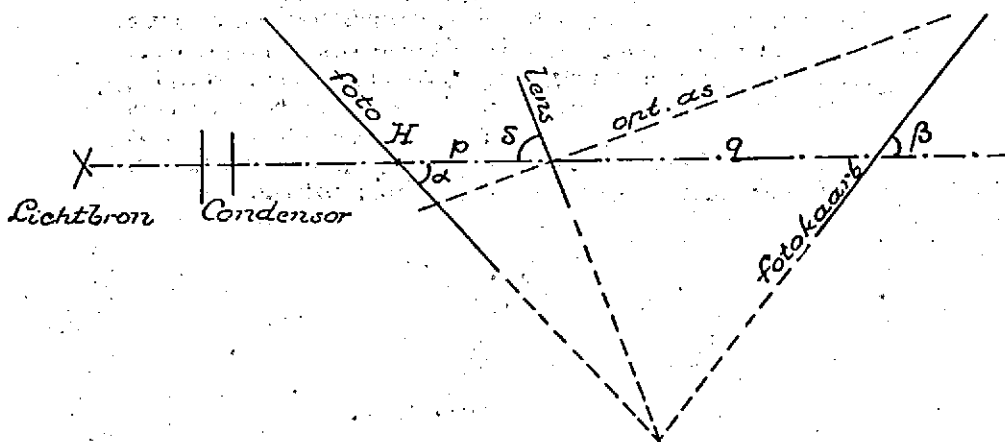
Figuur 2.

overgaat in een schaar rechten, die in een enkel punt samenloopen. De verhouding waarin een afstand van 2 punten door een derde punt wordt gedeeld, verandert in de afbeelding.

Slechts een veel dieper liggende metrische betrekking tusschen vier punten op een rechte gelegen, verandert door deze afbeelding niet. De afbeelding is een in de wiskunde goed bekende en goed bestudeerde relatie. Zij heet *projectieve afbeelding*. De belangrijkste eigenschap, waarvan voor ons doel gebruik gemaakt kan worden, is deze, dat een projectieve afbeelding van een projectieve afbeelding weer een projectieve afbeelding is. Nu behoort de gelijkvormige afbeelding van terrein tot fotokaart ook tot de projectieve afbeeldingen (wel een bijzondere). Om dus een gelijkvormig beeld van het terrein te krijgen moet de opgenomen foto een projectieve vervorming ondergaan van een zeer bijzondere soort. Men kan die teweeg brengen door de opgenomen foto opnieuw te fotografeeren met een soort vergrootings toestel, waarbij opgenomen foto, en de toekomstige fotokaart bepaalde hoeken maken met de optische as van de camera lens. Men kan daarbij tegelijk verkrijgen, dat de fotokaart, die ontstaat de gewenschte schaal heeft.

De teekening, fig. 3, stelt een doorsnede voor van dit toestel.

Men plaatst het foto-negatief in het vlak met foto aangeduid, brengt op de plaats van „fotokaart” een stuk broomzilverpapier, zorgt nu dat het punt H , het middelpunt van de foto, (zie fig. 3) zoo komt te liggen dat hoek α een bepaalde waarde heeft, evenzoo β , dat de afstanden p en q eveneens een bepaalde waarde hebben, dat het vlak van de lens door de snijlijn van de vlakken : foto en fotokaart gaat, wat verkregen wordt door δ een bepaalde waarde te geven, en eindelijk dat de foto zóó wordt gedraaid om H dat de z.g. horizon



Figuur 3.

dat is de afbeelding van de oneindig verre terreinpunten in de foto evenwijdig aan de snijlijn S komt; dan is de projectie op het bromide papier een gelijkvormig beeld van het terrein op een te voren vastgestelde schaal.

De grootheden p q α β δ moeten worden bepaald uit de vlieghoogte H en de helling der camera-as i .

Wij hebben echter in het begin opgemerkt, dat geen der beide grootheden voor nauwkeurige bepaling vatbaar is.

Hiermede schijnt ons instrument onbruikbaar.

Maar men kan zich anders redden. Als men van 4 punten van het terrein, die op de foto voorkomen, de onderlinge plaats landmeetkundig bepaalt en deze vier punten op de schaal waarop de fotokaart wordt verlangd, uitzet op papier, dit papier legt op de plaats van de toekomstige fotokaart, dan kan men door probeeren en natuurlijk liefst systematisch probeeren α β δ p q vinden, en door draaiing van het negatief om H en verschuiving en draaiing van het vel met vaste punten zulk een stand vinden, dat de 4 punten van de foto juist geprojecteerd worden op de uitgezette punten op het papier.

De bewerking die ik beschreef kan werkelijk worden uit-

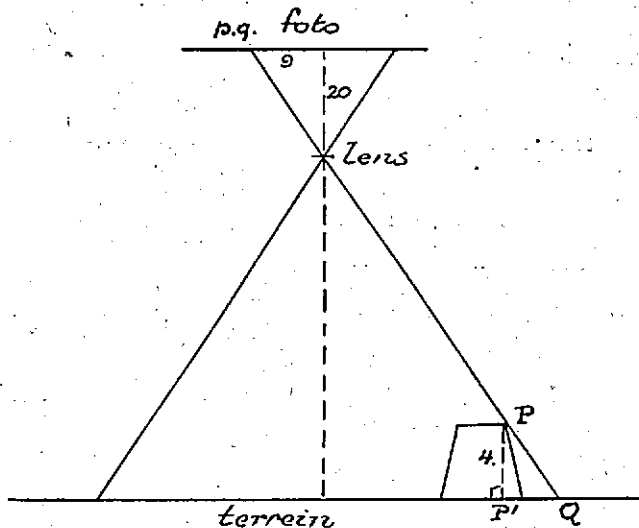
gevoerd en in verrassend korten tijd, als men alle manipulaties in aanmerking neemt ($\frac{1}{2}$ à 1 uur).

In Soesterberg heeft men daarvoor een toestel, ontworpen door den Franschman Roussilhe. (Nieuwere Deutsche toestellen Aschenbrenner, Zeiss, Hugershoff).

Enkele der grootheden zooals p en q ; δ , β en α hangen eenvoudig van elkander af. Men heeft het nu in de nieuwste toestellen zoo ingericht, dat een verandering van p automatisch door een van q wordt gevolgd; evenzoo dat de verandering van α en β verandering van δ automatisch meebrengt.

Over het voordeel van de automatisering denkt men verschillend. In elk geval een belangrijke verbetering is de verticale stand van de optische as in de Deutsche toestellen, waardoor het vasthouden van de fotokaart veel gemakkelijker wordt.

Met de beschreven toestellen is opgelost het vraagstuk van een vlak terrein een fotokaart te maken op een zekere gewenschte schaal. Moet men een gewone kaart hebben, dan moet het noodige op papier worden overgebracht.



Figuur 4.

In Frankrijk heeft men dat aldus gedaan, dat de fotokaart, op mat papier gefotografeerd, werd overgeteekend in O.-I. inkt, waarna het fotografisch beeld werd weggebleekt. Deze methode leent zich beter voor kaarten op grooter schaal dan b.v. voor topografische kaarten op schaal 1 à 10.000 en kleiner. Bij de proeven, die in ons land hebben plaats gehad, is het overbrengen geschied door overteekenen, waaraan veel en minutieus werk verbonden is. Het voordeel in tijd en moeite, dat bij het vervaardigen van de fotokaart zoo groot leek, ver-

mindert heel wat, als die kaart als gewone kaart moet worden overgeteekend.

Men verlieze verder niet uit het oog, dat voor de herleiding van iedere foto 4 punten landmeetkundig moeten worden opgemeten en in coördinaten moeten worden uitgerekend.

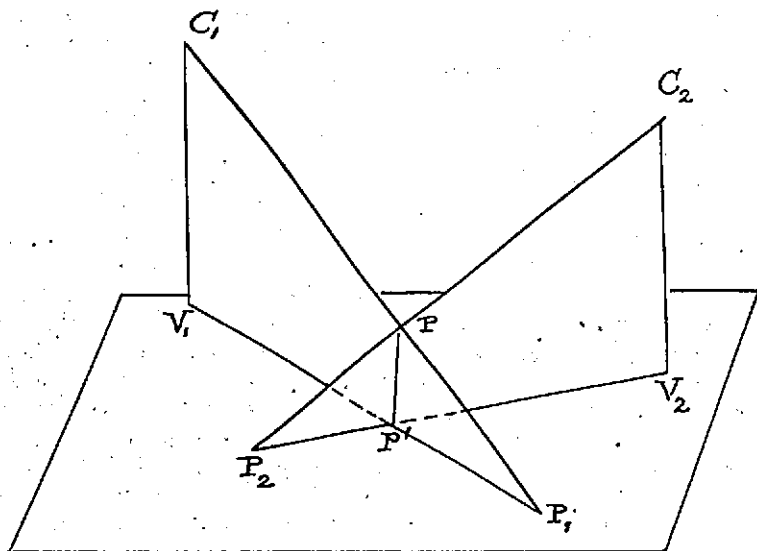
Er is aan de methode nog een ander bezwaar verbonden. Een terrein is niet altijd vlak, in ons land heeft men in vlak land dijken, huizen, kerktorens en boomen die boven het maaiveld uitsteken. Beschouwen wij het geval van een dijk, die op de rand van een plaat voorkomt. Fig. 4.

Een punt P van de kruin van den dijk en een punt Q van het maaiveld worden in de plaat als een zelfde punt p q afgebeeld. Het punt P schijnt dus over den afstand P'Q verschoven. Is de dijk b.v. 4 m hoog dan berekenen wij direct uit de gelijkvormige driehoeken $20 : 9 = 4 : x$; $P'Q = \frac{36}{20} = 1,80$.

Een punt 4 m boven het maaiveld schijnt 1.80 m verschoven, een kerktooren van 40 m hoog schijnt plat te liggen, de spits ligt 18 m van zijn plaats. Bij heuvels doet zich hetzelfde voor. Een rechte weg over een heuvel aan de grens van de foto schijnt krom. In het midden der foto doet zich deze fout niet voor.

Zij is ernstig genoeg om deze methode in bergland onbruikbaar te maken. Bij kleiner hoogte verschil kan men den invloed verminderen, door smalle strooken van het midden van de foto te gebruiken. De methode wordt daardoor veel minder economisch. Roussilhe heeft het volgende verzonnen om de kwaal te verhelpen.

Hij neemt een tweede foto van hetzelfde terrein op een andere standplaats. Fig. 5.



Figuur 5

Terwijl op de eerst P in P_1 wordt afgebeeld, is dat op de tweede in P_2 het geval. Men zoekt P' de projectie van P . Deze is te vinden als snijpunt van $V_1 P_1$ en $V_2 P_2$. De punten V_1 en V_2 zijn vrij gemakkelijk in de kaart te construeeren. Het zijn de punten, waar de afbeeldingen der verticale lijn in samenkomen.

De beide kaarten worden over elkaar gelegd; en wanneer afwijkingen als P_1 en P_2 gevonden worden, wordt het punt P' door constructie afgebeeld.

Er zijn eenige bezwaren aan deze werkwijze verbonden:

1e vordert zij veel werk; het teekenen moet weer punts-gewijze gebeuren, waardoor van het aantrekkelijke der methode veel verloren gaat.

2e, ieder verschil wordt als hoogte-verschil geïnterpreteerd, terwijl er natuurlijk veel meer redenen zijn aan te geven, waarom kaarten met verschillende gegevens samengesteld, niet precies op elkaar zullen passen.

Gasser teekent de kaarten niet afzonderlijk, maar projecteert ze over elkaar, en belicht de beide negatieven beurtelings. Punten die niet in hetzelfde niveauvlak liggen als de vaste punten, schijnen dan zich te bewegen op het scherm, men verplaatst het scherm in verticalen zin zoolang, tot de beweging ophoudt. Het is geen aangenaam werken met dit toestel, alles draait voor de oogen, waardoor het bewerken buitengewone inspanning vordert.

Met wat wij bespraken, is een kaart van heuvelland nog wel tot stand te brengen. Voor bergland wordt de toepassing te bezwaarlijk. Toch heeft men ook voor dit terrein een oplossing gevonden, zoo algemeen bruikbaar, dat zij ook in vlak land naast de besproken methoden een plaats heeft ingenomen en om verschillende redenen voor het maken van kaarten zelfs de voorkeur verdient.

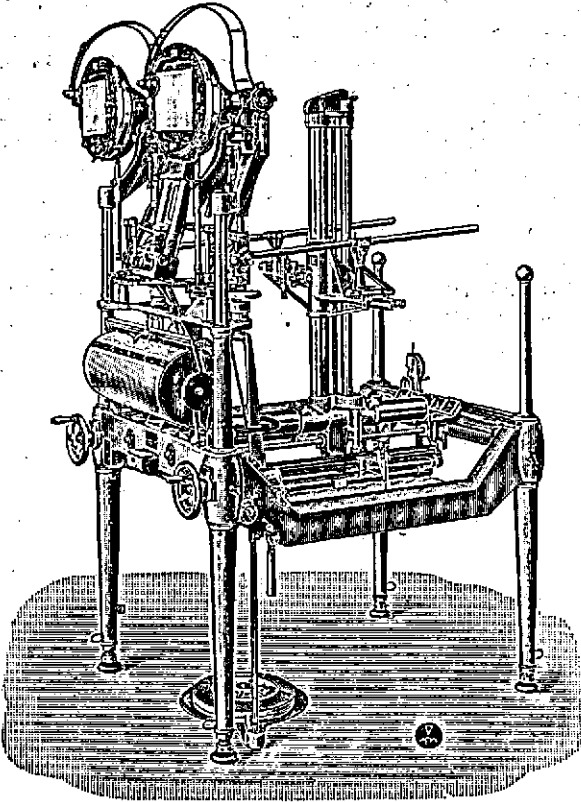
Er zijn zeer ingewikkelde toestellen voor noodig, die natuurlijk niet goedkoop zijn. (Stereoplanigraph van Zeiss, Autograph van Wild, Aerokartograph van Hegershoff). (Fig. 6).

Het uiterlijk zegt al voldoende dat deze toestellen kostbaar moeten zijn. Het beginsel berust op het volgende:

Wij denken een punt op aarde P dat op het oogenblik der belichtingen lichtstralen uitzendt naar alle richtingen. Die welke op de lens vallen zijn nagenoeg evenwijdig en worden gebroken naar het beeldpunt p .

Wanneer we nu de camera opnieuw den stand geven dien ze innam in de lucht en de foto op dezelfde wijze als bij de opname daarin bevestigen en de foto verlichten, dan zendt het punt p weer naar alle kanten stralen uit, waarvan er enkele op de lens vallen. Deze treden uit op dezelfde wijze als zij bij de belichting binnen kwamen, als evenwijdige bundel. Nu beschouwen wij een theodoliet-kijker. Wanneer daarin evenwijdige stralen vallen worden ze door het objectief

samengebracht in een enkel punt. Men kan het veld van de kruisdraden zoo plaatsen, dat het beeldpunt in dat veld valt. Men ziet dan tegelijk draden en beeldpunt scherp en



Figuur 6. Aerokartograph van Hegershoff.

beoordeelt het samen vallen van punt en vlak nauwkeurig door het constateeren van afwezigheid van parallax. Loopen de evenwijdige stralen evenwijdig met de optische as van den kijker, dan ziet men het beeldpunt op het snijpunt der kruisdraden. Van deze eigenschap maakt men nu gebruik. Men richt een bijzonder geconstrueerde theodoliet-kijker tot men het punt p ziet samenvallen met de kruisdraden en weet nu dat de optische as dezelfde richting heeft als de stralen, die uit de camera treden. Deze hadden dezelfde richting als die welke het beeld vormden bij de opname. Er is dus bereikt, dat een materieel ding als een kijkeras denzelfden stand verkrijgt in de ruimte als de voerstraal van een punt op aarde naar de camera op het oogenblik van de opname.

Bij Zeiss krijgt werkelijk de kijkeras dezen stand. Bij

Wild en Huger shoff zijn het stangen die met de kijkeras vast zijn verbonden.

Men zou nu de hoeken met het horizontale en verticale vlak kunnen aflezen en verder door berekening de plaats op aarde kunnen vinden, wanneer nog zoo'n straal vanuit een ander opname-punt naar eenzelfde terrein-punt werd getrokken. Deze kan worden afgeleid uit een tweede foto, waarop hetzelfde terreinpunt voorkomt.

Het is een groot voordeel, wanneer beide foto's gelijktijdig zouden kunnen worden bewerkt. Maar hoe kan men tegelijkertijd in twee theodolieten kijken, die geheel verschillend zijn gericht? De tegenwoordige optische techniek lost dat vraagstuk gemakkelijk op; met prismastelsels worden de stralen in de theodolietkijkers zoo afgeleid dat zij als ongeveer evenwijdige bundels op oogafstand op de plaats van den waarnemer voor den dag komen. (Figuur 7).

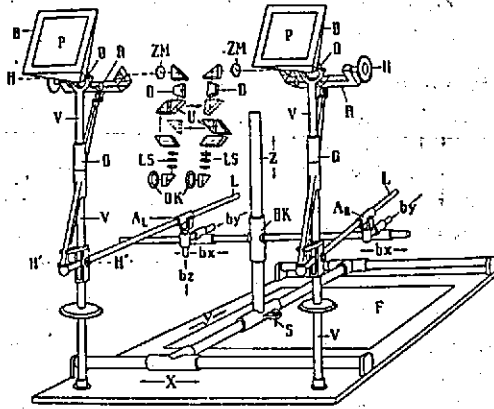


Fig. 7. Schematische tekening van den Aerokartograph.

Het voordeel bestaat niet alleen in de besparing van tijd, maar tevens daarin, dat het toestel werkt als een stereoscoop. Daardoor krijgt men in de eerste plaats een veel beteren indruk van het terrein, dat men beziet, maar bovendien is de stereoscoop het allerbeste middel dat wij hebben, om in de beide foto's op precies hetzelfde punt te richten. Zijn we er even naast, dan schijnt het beeld van de kruisdraden precies als bij de parallax in den kijker voor of achter het punt te vallen. Deze z.g. stereoscopische parallax die geheel moet worden weggewerkt, is een kostbaar middel, om de nauwkeurigheid van het richten te vergrooten.

Wij zijn nu zoover gekomen, dat de beide stangen die corresponderen met de beide kijkerassen de richting der voerstralen geven van C_1 en C_2 naar P (fig. 5). Inplaats van den stand der stangen af te lezen, heeft men nu een mechanisme bedacht, dat zoo is ingericht dat een potloodpunt op een vel papier de

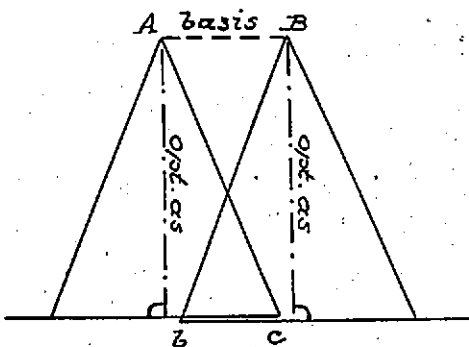
plaats van P in horizontale projectie op een bepaalde schaal teekent terwijl de hoogte van P boven een vergelijkingsvlak op een schaalverdeling wordt afgelezen. Volgt men dus een figuur op de beide foto's dan teekent de stift de horizontale projectie daarvan op de gewenschte schaal, terwijl op de schaalverdeling de hoogte van elk punt kan worden afgelezen.

Zet men den index van de hoogte op een bepaald cijfer vast, dan kan men niet meer alle punten van de foto bereiken, alleen die welke de bepaalde gekozen hoogte hebben. Zoeken wij deze op, dan beschrijft de potloodstift de horizontale projectie van deze punten, dus de z.g. hoogtelijnen.

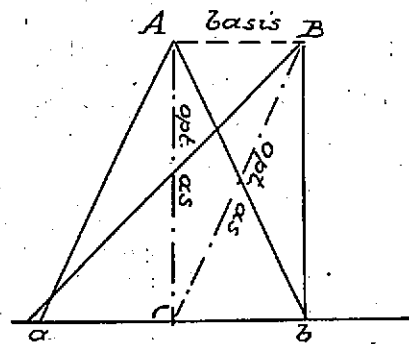
Aan het toestel komt de topograaf te zitten. Hij richt met zijn handels de kijkers op de diverse punten, die hij wenscht voor te stellen. Het potlood teekent de kaart, op de schaal verdeling kan de hoogte worden afgelezen. Het resultaat is dus direct een kaart; de keuze van de voor te stellen terrein voorwerpen wordt bij de aanschouwing van de foto's gedaan.

Ik heb het toestel maar zeer onvolledig kunnen beschrijven. Ik hoop U toch van de hoofdzaken een indruk te hebben gegeven. Natuurlijk rijst bij U de vraag: maar hoe is het mogelijk de camera denzelfden stand te geven, dien zij in de lucht innam? Directe metingen daartoe zijn niet mogelijk maar men doet dat weer als bij de fotografische herleiding. Men bepaalt van eenige punten (3) welke op een paar foto's voorkomen de coördinaten landmeetkundig en past zoo lang tot in het toestel op deze punten gericht, juist de bekende coördinaten worden afgelezen.

De foto's die tegelijkertijd bekeken moeten worden, dienen, om een stereoscopisch effect te vertoonen, op vrij grooten afstand van elkaar te worden opgenomen. Men noemt dien afstand de basis. Neemt men nu evenwel de basis te groot, dan overlappen de foto's elkander slechts voor een klein gedeelte, en juist dit gedeelte alleen vertoont het stereoscopische effect. (Figuur 8a de afstand b c).



Figuur 8a.



Figuur 8b.

Daarom stelt Wild voor, één foto met verticale as en de daaropvolgende met scheeve as op te nemen, zóó dat de beelden elkaar voor 100 % bedekken. (fig. 8 b). A en B zijn de beide foto stations; op beide foto's werd het gebied a-b opgenomen, in A met verticale as, in B met scheeve as.

Ook Zeiss heeft bijzondere inrichtingen geconstrueerd om de basis zoo groot mogelijk te maken.

Wij hebben gezien, dat bij de exacte verwerking van foto's tot een kaart steeds vaste punten noodig zijn, die landmeetkundig moeten worden bepaald. Het is duidelijk dat deze eisch tot moeilijkheden leidt, als men kaarten wil vervaardigen van gebieden waar elke driehoeksmeting mankeert. Onder alle omstandigheden werkt men goedkooper, naarmate meer landmeetkundig werk wordt uitgeschakeld. Nu bevatten, bij voldoende overlapping de foto's voldoende gegevens in zich zelf om althans 2 aan elkander grenzende foto's zoo goed mogelijk aan elkaar te sluiten, er komen moeilijkheden als men aan de aldus gevormde figuur nog een derde, een vierde, enz. wil verbinden. Dan komen er spoedig verbuigingen in het verband, die de zaak bederven. Men heeft daarom gezocht naar middelen, om de aansluiting zoo nauwkeurig te maken, dat de verbuigingen zich niet onmiddellijk doen gevoelen. Hugerhoff stelt voor als aansluiting *alle* punten te gebruiken die op de opvolgende foto's gemeenschappelijk aanwezig zijn; een vernuftige optische inrichting maakt het mogelijk deze aansluiting met de grootst mogelijke zekerheid tot stand te brengen.

Von Gruber wil aan de foto's de gegevens ontleenen voor een grafische triangulatie, die eerst wordt uitgerekend en vereffend met zooveel mogelijke contróle. Als de plaats van deze driehoekspunten zoo goed mogelijk is vastgesteld, worden de foto's zoo goed mogelijk om de aldus verkregen punten gegroepeerd. Van geen van beide maatregelen kan de beteekenis ten volle worden overzien uit gebrek aan gecontroleerde proeven.

Wij hebben nu de diverse methoden van bewerking doorloopen en zullen nagaan, wat men er in de praktijk aan heeft.

Ik merk eerst op, dat in de kaart die met luchtfotografie wordt vervaardigd alleen kan worden voorgesteld, wat men uit de lucht ziet. Zichtbare grenzen dus; voor kadasterkaarten met eigendomsgrenzen die niet direct zichtbaar zijn of met steenen en derg. zijn afgebakend, welke op de foto wegvallen, is de methode alleen bruikbaar als de grenspunten op bijzondere wijze zichtbaar gemaakt worden, met kalkkruisen of cirkels, planken enz.

Veel te omslachtig dus, om in het groot te worden toegepast.

Voor topografische kaarten, technische kaarten voor het ontwerpen van plannen, als de kennis van de ligging der

terreinvorwerpen hoofdzaak is, is de toepassingsmogelijkheid aanwezig.

Een andere kwestie is de schaal. Voor kaarten op groote schaal 1 à 1000 b.v. moeten de foto's ook op groote schaal gemaakt zijn, men kan hoogstens 3 à 4 maal vergrooten. Dit beteekent een klein terreinoppervlak per foto, een groot aantal foto's dus en voor iedere foto de vereischte vaste punten om te kunnen herleiden of stereoscopisch te verwerken. Het aantal punten, dat bepaald moet worden kan zoo groot worden dat de toepassing niet meer economisch wordt. Dit is thans in den regel het geval bij kaarten op grooter schaal dan 1 à 5000. Een te kleine schaal is evenmin goed. De vlieghoogte laat zich maar tot zeker bedrag opvoeren, dus ook het oppervlak dat op een plaat wordt afgebeeld. Wenscht men nu een kaart op kleine schaal dan moet het beeld worden verkleind, technisch natuurlijk zeer goed mogelijk. Maar dan kan men voor hetzelfde geld een kaart op grooter schaal krijgen. Vandaar dat er een gunstigste schaal is voor de fotogrammetrie die ligt tusschen 1 à 5000 en 1 à 25000 en die ik op 1 à 10.000 zou willen stellen. Op deze schaal kunnen nog alle terreinvorwerpen van beteekenis op juiste afmeting worden afgebeeld.

Naar kaarten op deze schaal is in de laatste jaren veel vraag. In het buitenland wordt de schaal 1 à 10.000 veelal als grondkaart voor topografisch werk beschouwd, naar aanleiding van de ervaringen in den wereldoorlog opgedaan.

In dit opzicht blijken de fotogrammetrische methoden direct aan de vraag te kunnen voldoen.

Voor U, geachte toehoorders, is natuurlijk deze vraag de belangrijkste: wat is het nut van de fotogrammetrie voor het boschwezen?

De toepassing is op velerlei wijze mogelijk.

In de eerste plaats in onbewoonde, onbekende streken.

Een verkenningsvlucht die een seriebeeld van het terrein geeft, als ik U zoo straks liet zien, alleen door aaneenhechten der foto's, zonder herleiding of uitmeting, levert wel geen kaart, maar toch wel iets dat voldoende is als basis voor exploratieplannen.

De nieuwere filmcamera's met het groot aantal opnamen dat daarmee mogelijk is, leveren daarvoor geschikt materiaal.

Dergelijke gegevens zijn evenzeer geschikt als verkenningsmateriaal bij het samenstellen van een boschstatistiek.

Tot een fotokaart herleide luchtfoto's van bosschen kunnen goeden dienst doen als exploitatiekaart. De afwijkingen door hoogteverschillen, waarover ik sprak, zijn in vele terreinen niet van overwegend bezwaar. Fotokaarten hebben vooral voor het boschwezen groote voordeelen, omdat men met weinig moeite kan generaliseeren zoover als noodig is. De wegen die duidelijk zichtbaar zijn geven de indeeling in blokken gemakkelijk weer. Wil men binnen zoo'n blok meer

details bestudeeren, dan leveren de foto's daarvoor evenzeer het materiaal. En is de overlapping der verschillende foto's genoeg groot genomen, dan kan stereoscopische beschouwing nog veel meer details leeren.

Een fotokaart als exploitatiekaart is daarom zeer goed dienstig, omdat er in den regel niet veel afdrukken voor noodig zijn; immers groote oplagen van fotografieën zijn kostbaar.

Op een matten afdruk, waarop de details natuurlijk wel minder scherp zichtbaar zijn, kan gemakkelijk worden geteekend en geschreven.

Als nieuwste publicatie over dergelijk werk noem ik het in 1929 verschenen opstel van Kurd Slawik getiteld „*Forstvermessung mittels Luftbild*“, dat een verslag geeft over het vervaardigen van boschkaarten over een opp. van 280 km² in het Reuzengebergte, in 1927 opgenomen. Het maken van een fotokaart 1 à 10.000 is hier bijzonder moeilijk omdat er hoogteverschillen voorkomen tot ruim 1000 m. Deze moeilijkheid is opgelost door sterke overlapping en door van iedere foto slechts een zeer smalle strook in het midden te gebruiken (200 m).

Uit het verslag blijkt, dat de hoogteverschillen een ernstig beletsel zijn geweest om tot een goede kaart te komen, maar dat desondanks het bezit van de foto's de zaak van de herziening van het exploitatieplan belangrijk heeft gesteund.

Men kan tenslotte, nog meer aan deze foto's ontleenen met behulp van de stereoscopische methode. Wij zagen reeds dat deze methode leert kennen de horizontale projectie en de hoogte der verschillende punten. Wanneer het bosch nu niet geheel gesloten is, kan men met behulp van ons toestel het hoogteverschil meten tusschen den bodem en de toppen der boomen, m.a.w. de hoogte van de boomen, ook de doorsnede der kronen laten zich bepalen en met deze beide factoren is, zooals U natuurlijk bekend is, een massaberekening van den opstand uit te voeren.

Men kan daarvoor zooveel boomen meten als men belieft of een gemiddelde hoogte afleiden uit de gemiddelde hoogte der kronen en die van het terrein boven een zeker vergelijkingsvlak.

Op deze wijze is in 1928 door Erich Zieger een proef genomen, waarover door hem een proefschrift is bewerkt. (De studie is opgenomen in de *Mitt. aus der Sächsischen forstlichen Versuchsanstalt zu Tharandt*). De foto's zijn genomen van het boschgebied „Weisser Hirsch“ nabij Dresden op een hoogte van ± 1500 m.

De onderzoeken betreffen uitsluitend sparren van 60 tot 100 jaar oud. De oppervlakten, die aldus zijn bepaald werden ter vergelijking opgemeten volgens de methode van Urich.

De middelbare onzekerheid van de bepaling van de kroon-

doorsnede bleek 0.30 m in aangesloten bosch, 0.27 m bij alleenstaande boomen, in de boomhoogtebe paling ongeveer 0.5 %, de middelbare afwijking met de contrôle bleek tusschen 6 en 7 % te liggen, als gemiddelde van vrij sterk uiteenlopende waarden.

Deze proef als grondslag voor een dissertatie opgezet, geeft natuurlijk nog weinig houvast voor de praktijk, toch is ze interessant genoeg omdat zij goed illustreert hoe groot het aantal gegevens is, dat aan deze luchtfoto's kan worden ontleend.

Geachte toehoorders. Langzaam maar zeker wint de fotogrammetrische methode veld als middel tot het in kaart brengen van allerlei terreinen. Er is natuurlijk heel wat weerstand te overwinnen. Men ontmoet daarbij natuurlijk menschen, die zich niet kunnen voorstellen dat er iets anders gevonden zou kunnen worden, dan hetgeen waarmede zij groot zijn geworden. Zij vormen uit den aard der zaak een stevige rem. Maar ook voor degenen, die een welwillend oog voor verbeteringen hebben wordt een beslissing niet gemakkelijk gemaakt. De litteratuur is zoo weinig betrouwbaar. Eenerzijds prijzen fabrikanten hunne instrumenten met zooveel overdrijving aan, dat men alle houvast kwijt raakt, anderzijds komt het oordeel in gunstigen of ongunstigen zin over de prestaties dikwijls van lieden, die eens een enkele maal aan de ingewikkelde toestellen hebben gedraaid.

Laat ons toch niet vergeten dat de toestellen alleen dan prima resultaten geven, als zij bediend worden door personeel, dat voldoende ervaring heeft gekregen en weet, wat eruit gehaald kan worden. Dat geldt evenzeer voor de vliegers, die de foto's maken als voor de kartografen, achter de kaarteertoestellen.

En dan vind ik het een verblijdend teeken, dat nog meer zegt dan alle reclameliteratuur, dat ernstig werkende diensten, waar het personeel geleidelijk de vereischte ervaring heeft verkregen hoe langer hoe meer zich van de fotogrammetrie bedienen. Sterk komt dat uit bij het Deutsche Reichsamt für Landesaufnahme, waar deze techniek na den oorlog eerst als ondergeschikt hulpmiddel werd toegelaten, maar hoe langer hoe meer een plaats van beteekenis is gaan innemen.

Ook bij den Zwitserschen topografischen dienst speelt de fotogrammetrie een steeds belangrijker rol. Vele andere landen zijn nog te noemen, waar van bekend is dat de toepassing hoe langer hoe meer op den voorgrond komt. Hongarije, Frankrijk enz.

Ook ons land blijft wat proefnemingen betreft, niet achter. De foto's te Soesterberg gemaakt door de kapiteins Sar en Wijn, zeggen U voldoende, dat op dit gebied de noodige ervaring is verkregen. Onder leiding van de Triangulatie-commissie, waarvan Prof. Dieperink te Wageningen voorzitter is, worden de verschillende beschreven methoden bestudeerd en de beteekenis ervan voor ons land nagegaan, wordt contact gezocht met ervaren werkers in het buitenland, en daardoor de invoering als „regular” kaartenmethode voorbereid.