

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik =  
Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières

**Herausgeber:** Schweizerischer Geometerverein = Association suisse des géomètres

**Band:** 30 (1932)

**Heft:** 1

  

**Artikel:** Die Entzerrung von Fliegeraufnahmen [Schluss]

**Autor:** Grubenmann, E.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-193354>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# SCHWEIZERISCHE Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik

ORGAN DES SCHWEIZ. GEOMETERVEREINS

REVUE TECHNIQUE SUISSE DES MENSURATIONS ET AMÉLIORATIONS FONCIÈRES

ORGANE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES GÉOMÈTRES

Redaktion: Dr. h. c. C. F. BAESCHLIN, Professor, Zollikon (Zürich)

Ständiger Mitarbeiter für Kulturtechnik: Dr. H. FLUCK, Dipl. Kulturingenieur, Villa Lepontia, Bellinzona-Ravecchia. — Redaktionsschluß: Am 1. jeden Monats.

Expedition, Inseraten- und Abonnements-Annahme:

BUCHDRUCKEREI WINTERTHUR VORM. G. BINKERT, WINTERTHUR

Erscheinend am 2. Dienstag jeden Monats	<b>No. 1</b> des XXX. Jahrganges der „Schweiz. Geometerzeitung“.	Abonnemente: Schweiz . . . Fr. 12.— jährlich Ausland . . . „ 15.— „
Inserate: 50 Cts. per 1spaltige Nonp.-Zeile	<b>12. Januar 1932</b>	Unentgeltlich für Mitglieder des Schweiz. Geometervereins

## Die Entzerrung von Fliegeraufnahmen.

Mitteilung der Landestopographie, Bern.

Bearbeitet von Dipl.-Ing. E. Grubenmann.

(Schluß.)

Der endgültige Flugauftrag verlangte, das Gebiet in Streifen, die sich gegenseitig ca. 30 % überlappen, zu photographieren, und zwar sollte jeder Geländeteil durch ein Plattenpaar aufgenommen werden, dessen Plattenachsen in der Vertikalebene durch die Flugrichtung gleichmäßig vorwärts resp. rückwärts gekippt waren, so daß sie einen Konvergenzwinkel von ca. 20° einschließen. Flughöhe ca. 3000 m ü. Grund, was einer Höhe ü. M. von 3500—4000 m entsprach. Es sollte durch diese Aufnahmedisposition abgeklärt werden, ob die hierdurch ermöglichte stereoskopische Betrachtung (ohne Ausmessung des Geländes) einen wesentlichen Vorteil biete bei der Ausarbeitung der Photokarte zum Plan und damit den komplizierten Flugplan, den Mehraufwand an Platten und die entzerrungstechnisch ungünstigeren Verhältnisse lohnen würde. Es wurde symmetrische Neigung verlangt und nicht etwa bei der einen Platte des Paares Neigung von 0° und bei der andern eine solche von 20°, um wenn nötig alle Platten unter entzerrungstechnisch ähnlichen Verhältnissen entzerren zu können. Es wurde aber festgestellt, daß bei guten Aufnahmen der Vorteil der stereoskopischen Betrachtung den Mehraufwand an Zeit und Material nicht aufwiegt. Für die weitem Arbeiten wurden daher nur noch Senkrechtaufnahmen mit minimaler Ueberlappung verlangt, wobei je nach den Windverhältnissen und der Uebung der Aufnahmeequipe die Ueberlappung mehr oder weniger weit reduziert werden kann. Der vorgesehene mittlere Aufnahmemaßstab (Brennweite der Aufnahmekamera dividiert durch Flughöhe) von 1 : 15 000 stellte sich als recht günstig heraus; denn er gab bei der mittleren Situationshäufung des

schweizerischen Mittellandes gerade noch genügenden Detailreichtum. Für größere Siedelungen wurden in Ergänzung der eigentlichen Reihen-  
aufnahmen noch Ergänzungsaufnahmen im Maßstab 1 : 5000 gemacht,  
welche reinen Betrachtungszwecken dienten. Die Art des Flugauftrages  
und die noch mangelnde Uebung der Fliegerequipe hatten zur Folge,  
daß für dieses Gebiet von 630 km<sup>2</sup> 23 Streifen mit total ca. 850 Platten  
aufgenommen wurden; dabei sind Wiederholungen infolge kleiner  
Lücken zwischen den Streifen oder Paaren mitgezählt.

Dazu kamen noch ca. 400 Detailaufnahmen, welche zum großen  
Teil zur stereoskopischen Betrachtung als Plattenpaare gruppiert waren;  
es wurden hier bewußt zuviel Aufnahmen angeordnet; so war man in  
der Lage, gestützt auf Beispiele, für künftige Arbeiten die Grenze des  
unbedingt Erforderlichen festzusetzen.

Leider konnte im Jahre 1928 kein Flugzeug vom Typ „Zepp“  
mehr zur Verfügung gestellt werden, und man mußte sich bis heute  
mit dem für unsere Zwecke wesentlich ungünstigeren Typ D. H. 5  
behelfen, da besser geeignete Flugzeuge nicht durch Einbau einer Auf-  
hängevorrichtung in den Boden umgebaut werden durften. D. H. 5 ist  
ein Beobachterflugzeug (Doppeldecker Häfeli mit Stahlrohrumpf),  
konstruiert in der eidgenössischen Konstruktionswerkstätte in Thun,  
Steigfähigkeit bis ca. 4000 m in 45 Minuten, Reisegeschwindigkeit 160  
km/Std., Geschwindigkeit bei der Aufnahme 125 km/Std. = 35 m/sek.  
Der Rumpf ist enger als beim Typ „Zepp“, so daß der Einbau der Auf-  
hängevorrichtung ziemlich schwierig war.

Die gemachten Erfahrungen erlauben nun aber, für ein eventuell  
anzuschaffendes Flugzeug genaue Angaben machen zu können. Immer-  
hin hätte ein solches auch der Stereophotogrammetrie aus der Luft zu  
dienen, wodurch weitere Forderungen zu denjenigen der Einzelbild-  
aufnahme kommen.

#### β) Aufnahmegeräte.

Als Aufnahmegerät wurde bei der erwähnten Aufnahme zuerst  
eine Meßkamera von Heyde ( $f = 18$  cm, Format 13/18) verwendet,  
welche für die Aufnahme in einer im Boden des Flugzeuges angebrachten  
Vorrichtung aufgehängt wurde. Leider kamen beim Kassettenwechsel  
oft Störungen im Plattenmagazin vor.

Später wurde außerdem die einfacher zu handhabende Zeiß-Flieger-  
kamera ( $f = 21$  cm, Format 13/18) verwendet, welche recht befriedigte,  
abgesehen von gelegentlichen Pannen des Objektivverschlusses in großen  
Flughöhen, infolge Kälte.

Ab Herbst 1927 konnte auch ein einheimisches Fabrikat, die  
Fliegerkamera Wild ( $f = 165$  mm, Format 10/15 cm) verwendet wer-  
den, und im Jahre 1928 war zu derselben eine gut funktionierende Auf-  
hängung gebrauchsfähig. Außerdem brachte die Firma Wild im Herbst  
1929 eine Fliegerkamera mit demselben Objektivtypus aber quadrati-  
schem Bildformat 13/13 cm auf den Markt, welches speziell zur Ein-  
deckung eines bestimmten Gebietes mit Senkrechtaufnahmen vorteil-  
haft ist, da sich die Anzahl der Streifen reduziert.

### γ) Platten.

Als Plattenmaterial wurde anfangs die allgemein im Handel erhältliche Hauff-Flavin-Platte verwendet, welche photographisch gute Resultate ergab. Da es im Betrieb vorteilhaft ist, für die Einzelaufnahmen und für die Stereoaufnahmen aus der Luft dasselbe Plattenmaterial zu verwenden, mußte Spiegelglas verwendet werden als Schichtträger, und zudem war auch für die Entzerrung feineres Korn erwünscht. Direkt vom Glasfabrikanten bezogenes Spiegelglasmaterial wurde von Perutz in München mit der Emulsion der panchromatischen Platten begossen, welche für Entzerrungszwecke bisher die besten Resultate ergaben. Die Perutz orthochromatisch hochempfindliche Spezial-Fliegerplatte, die noch feineres Plattenkorn besitzt als die letztgenannte, scheint bei etwas dunstigem Wetter nicht mehr gleich brillante Negative zu ergeben.

## 2. Die Anwendungsmöglichkeiten der Entzerrungs-Methode in der Schweiz.

### a) Nachführung der bestehenden Karte.

Untersuchungen über die Genauigkeit des bestehenden Kartenwerkes haben ergeben, daß bei gewissenhafter Innehaltung der Vertikalstellung der optischen Achse der Aufnahmekamera innerhalb  $\pm 3^\circ$ , was vom Fliegerphotographen leicht bewerkstelligt werden kann, die Fehler infolge Verzerrung der Aufnahmen vernachlässigt werden können. Es werden die Fliegeraufnahmen deshalb ohne Entzerrung verwendet; für eventuelle Höhenreduktion gilt der Plattenhauptpunkt als Nadirpunkt; der Plattenmaßstab ergibt sich aus Vergleich zwischen einigen, dem nachzutragenden Objekt benachbarter identischer Strecken auf Karte und Photographie. Zur Uebertragung der Nachträge in die Karte wird der Reduktionszirkel verwendet.

Sollen ausgedehntere Objekte mit größerer Genauigkeit in die Karte übertragen werden, wird also eine regelrechte Entzerrung verlangt, so setzt dies in der Regel schon vorhandene großmaßstäbliche Pläne (Kataster- oder Grundbuchübersichtspläne) voraus, welche auf einfache Art die Entnahme eines genügend genauen Paßpunktrahmens erlauben, oder es müssen auf dem Felde Paßpunkte eingemessen werden. Letztere Maßnahme gestaltet die Nachtragsarbeit nach entzerrten Fliegeraufnahmen unter Umständen unwirtschaftlich.

Unsere Nachtragsarbeiten mit Fliegeraufnahmen beschränken sich zurzeit noch auf Hochebene und Hügelland. Ein nachzutragendes Blatt des topographischen Atlases wird bei Verwendung der Fliegerkamera Wild 10/15 cm,  $f = 165$  mm, in 6 Streifen à 6 Senkrechtaufnahmen eingedeckt bei gegenseitiger Ueberlappung der Aufnahmen eines Streifens und der Streifen unter sich von je 30 %. Flughöhe über Grund ist 2500 m; somit mittlerer Plattenmaßstab  $\frac{0.165 \text{ m}}{2500 \text{ m}} = \text{ca. } 1 : 15\,000$  und Plattenbedarf per Blatt des topographischen Atlases 36 Platten. Dazu kommen in der Regel noch einige wenige Detailaufnahmen (Maß-

stab 1 : 5000) von Siedelungen oder andern wichtigen Objekten, so daß mit einem durchschnittlichen Plattenbedarf von 40 Platten per Blatt des topographischen Atlases gerechnet werden kann.

Das Format Wild 13/13 cm der neuesten Wildschen Fliegerkamera erlaubt die Anzahl der Streifen per Blatt des topographischen Atlases auf 4 zu reduzieren, so daß bei etwas knapperer Ueberlappung der Platten in der Flugrichtung, was bei guter Einübung der Fliegerequipe gewagt werden darf, ohne Lücken zu bekommen, ein Minimalplattenbedarf von  $4 \times 5 = 20$  Platten per Blatt des topographischen Atlases (ohne Detailaufnahme) angenommen werden kann.

Auf die oben geschilderte Art wurden im Jahre 1929 durch dieselbe Fliegerequipe 40 Blätter des topographischen Atlases für Nachtragszwecke lückenlos überflogen, das entspricht einer Fläche von 2100 km<sup>2</sup>.

Die Erfahrung lehrte, daß der oben erwähnte Flugplan am besten innegehalten werden kann, wenn direkt gegen den Wind geflogen wird. Da westliche Winde vorherrschen, ist es der Arbeit der Flieger günstig, daß die Längenausdehnung unserer topographischen Blätter und damit die Aufnahmeflugrichtung West-Ost oder umgekehrt ist. Die Einfachheit des Flugplanes ermöglicht allerdings, daß er bei gutem Zusammenarbeiten der Fliegerequipe auch bei ziemlich starkem Seitenwind innegehalten werden kann; das ist zurzeit noch ein wesentlicher Vorteil gegenüber den komplizierten Flugplänen der Stereophotogrammetrie. Es kann somit der für alle topographischen Blätter des Flach- und Hügellandes identische Flugplan ein für allemal auf eine Cellonfolie gezeichnet und für den Flug auf das aufzunehmende Kartenblatt gelegt werden und zwar im allgemeinen so, daß die Streifenrichtung parallel dem längern Blattrand ist.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Arbeit der Flieger ist außer dem Plattenverbrauch auch die aufzuwendende Flugzeit wichtig,

Um die Aufnahmehöhe von 2500 m über Flugplatz zu erreichen, ist bei dem Flugzeug D. H. 5 eine Weglänge von ca. 30 km abzufliegen, was einer Flugzeit von ca. 25 Minuten entspricht. Das Abfliegen des Blattes erfordert ca. 25 Minuten. Für außerhalb des 30 km-Kreises liegende Blätter kommt ihre Distanz Flugplatz minus 30 km in Betracht. Zu dieser minimalen Reise- und Aufnahmedauer kommt der Zeitaufwand für eventuelle Detailaufnahmen und Rekognoszierungsflüge über aufzunehmende Blätter hinzu.

Trotz vorhandener Fliegeraufnahmen wird der mit der Nachführung beauftragte Topograph eine Feldbegehung machen müssen, um in der Photographie enthaltene Unklarheiten an Ort und Stelle aufzunehmen, z. B. Zustand von Straßen und Brücken. Es wird jedoch diese Arbeit bei vorliegenden Fliegeraufnahmen zuverlässiger und der Zeitaufwand um mindestens die Hälfte reduziert.

#### b) *Entzerrung für Kartenneuaufnahme.*

Für die Kartenneuaufnahme wird das Einzelfliegerbild und seine Entzerrung und Zusammenstellung zur Photokarte überall dort mit

Vorteil angewendet, wo nahezu ebenes Gelände gleichzeitig eine Häufung von darzustellenden Objekten aufweist. Die wenigen Höhenkurven in solchen Gebieten werden in der Regel durch Stereophotogrammetrie aus der Luft nicht mit genügender Lagerichtigkeit gegeben, andererseits sind terrestrische Photogrammetrie und Meßtischaufnahme in der Situationswiedergabe im Nachteil. Die Methode der Entzerrung jedoch, welche von vornherein auf die Wiedergabe der Kurven verzichtet, dürfte hier wegen ihrer Einfachheit gegeben sein in Verbindung mit einer andern Methode zur Kurvenaufnahme. Durch das direkte Zusammenkopieren der Aufnahmen zu einem Photoplan, der nicht nach Genauigkeit, wohl aber nach Größe dem Maßstab von meist 1 : 10 000 entspricht, wird neben dem eigentlichen Zwecke der Erstellung des Planes zur Kartenerstellung auch eine sehr erwünschte Darstellung des Gebietes erzielt, die oft für wirtschaftliche und technische Untersuchungen und Projektstudien der abstrakten Karte vorgezogen wird.

Es wurde erwähnt, daß teilweise noch zu Versuchszwecken in den Jahren 1925/26 zwölf Blätter des topographischen Atlases aus der Luft aufgenommen worden sind. Die heute noch angewendete Entzerrungsmethode des direkten Zusammenkopierens im Zeißschen Entzerrungsgerät wurde bei 4 Blättern dieser Aufnahme erstmals angewendet zur Erstellung einer Neuaufnahme der Situation im Maßstab 1 : 15 000. 2 Blätter (Aadorf und Bichelsee) wurden auf dem Terrain überprüft mit Hilfe des Meßtisches, und es wurde im Arbeitsmaßstab 1 : 10 000 ein mittlerer Lagefehler der durch Entzerrung gewonnenen Situation gefunden von:  $\pm 0,67$  mm resp.  $\pm 0,45$  mm. Bei Reduktion in den Maßstab 1 : 25 000, für welchen die Situationsaufnahme zu dienen hatte, resultierte:  $\pm 0,27$  mm resp.  $\pm 0,18$  mm als mittlerer Lagefehler. Eines der untersuchten Blätter (Bichelsee) enthielt einen Talboden, der bis 200 m tiefer lag als die ihn unmittelbar begleitenden Höhen. Da das Anbringen der Höhenreduktionen eine recht mühsame Arbeit ist, muß weniger aus genauigkeitstechnischen als aus wirtschaftlichen Gründen das Geländereief dieses Blattes als die äußerste Grenze angesehen werden, bis zu welcher die Entzerrungsmethode noch angewendet werden soll.

Im Jahre 1927 wurden Aare- und Gürbetal zwischen Thunersee und Bern überflogen und aufgenommen; über nahezu 150 km<sup>2</sup> dieses Gebietes erstellte man im Jahre 1928 eine Situationskarte 1 : 25 000. Durch Aufnahme der Höhenkurven mit Meßtisch wurden ca. 40 km<sup>2</sup> dieser Situationskarte weiter verarbeitet. Die Photokarte bot der Kurvenaufnahme manche Vorteile, z. B. durch Erleichterung der Stationsbestimmung infolge Detailreichtums der Unterlage und durch daß im Bild schon vorhandene Geländereief wegen der Schattwirkung auf der Photographie.

Für die beiden erwähnten Arbeiten war die Photokarte im Arbeitsmaßstab 1 : 10 000 eingeteilt in Meßtischblätter, die je  $\frac{1}{4}$  eines Blattes des topographischen Atlases enthielten. Nach Auszeichnung der Situation wurde das photographische Bild auf chemischem Wege ent-

fernt, und es blieb die Strichzeichnung im Arbeitsmaßstab, welche durch Reduktion und Zusammensetzung weiter verwendet werden konnte. Zur Erhaltung der Photokarte wurde diese vor dem Ausfixieren photographiert. Weitere Photopläne wurden u. a. erstellt vom Talboden von Lauterbrunnen und Brienz-Meiringen. Da es sich bei diesen letzteren um kleinere Aufnahmen handelte, welche mit autogrammetrischen Aufnahmen kombiniert werden sollten, wurde die im Felde ergänzte Photokarte mit Hilfe des Pantographen in das Meßtischblatt übertragen, auf welchem bereits die Ergebnisse der terrestrischen Photogrammetrie der angrenzenden Gebiete enthalten war.

Im Jahre 1930 sind in gleicher Weise ähnliche Aufnahmen in Arbeit genommen worden, u. a. die Talböden der Rhone bei Visp und der Sarine zwischen Château-d'Oex und Bulle.

Die Ebene von Interlaken, das sogenannte Bödéli zwischen Briener- und Thunersee, wurde entzerrt in eine Photokarte vom Maßstab 1 : 10 000. Auf derselben wurden anlässlich der Feldbegehung die Höhenkurven nach der Meßtischmethode aufgenommen und die Aufnahme nach den Vorschriften des Uebersichtsplanes ausgearbeitet. Da das Ergebnis fertig vorlag, bevor die Kartierung der umliegenden Gegend erfolgte, konnte dasselbe auf photographischem Wege auf das in Arbeit befindliche Meßtischblatt 1 : 50 000 übertragen werden. Man sparte sich so die oft ungenaue und mühsame Arbeit der Pantographenübertragung.

Diese zweckmäßigste Verwendung der Entzerrungsergebnisse muß bei gleichzeitiger Erstellung von Photoplan und Kurvenaufnahme am Autographen etwas modifiziert werden. Man wird dann eine Kopie des Photoplanes ohne Feldbegehung zum Plan in Strichzeichnung ausarbeiten und mit der anstoßenden Autographenaufnahme für die Feldbegehung zusammenkopieren. Als Hilfsmittel für die Ergänzung des Entzerrungsergebnisses auf dem Felde wird eine weitere Kopie oder das Original des Photoplanes verwendet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß, trotzdem in einem ausgesprochenen Gebirgsland wie der Schweiz die Verwertung der Einzelfliegeraufnahme gegenüber den andern photogrammetrischen Aufnahmemethoden niemals die überragende Bedeutung haben kann wie in flachen Ländern, sie doch auch hier im Rahmen der Landesvermessung und für wirtschaftliche und technische Zwecke vorteilhafte und interessante Anwendungsgebiete vorfindet.

### **3. Das Entzerrungsgerät.**

#### *Die verschiedenen Typen der Entzerrungsgeräte.*

Es sollen unter dem Namen Entzerrungsgeräte nur solche Instrumente verstanden werden, welche durch Projektion einer photographischen Aufnahme auf eine Schirmebene, diese Zentralprojektion derart zu transformieren gestatten, daß sie ähnlich wird einer Zentralprojektion vom gleichen Aufnahmeort, aber anders gerichteter optischer Achse. Es fallen somit alle Geräte außer Betracht, welche diese Transformation

mechanisch und punktweise durchführen, wie z. B. vereinfachte Formen von Aeroautographen. Unter den Entzerrungsgeräten sind zwei verschiedene Typen möglich, die beide in bestimmten Ausführungsformen vorhanden sind:

1. Die für die Projektion wesentlichen Ebenen werden für eine bestimmte Platte derart eingestellt, daß die Umprojektion derselben auf einmal geschehen kann.

2. Die Platte wird sukzessive streifenweise projiziert. Für jeden Streifen besteht eine andere relative Lage von Platte, Objektivhauptebene und Schirmebene.

Beim zweiten Typus können Platten-, Objektivhaupt- und Schirmebene während des Entzerrungsvorgangs zueinander parallel bleiben. Wird die Platte in Streifen unterteilt parallel zum Plattenhorizont, d. h. der Schnittgeraden der Horizontalebene durch das Aufnahmeobjektiv mit der Platte im Moment der Aufnahme, so kann ein bestimmtes Vergrößerungsverhältnis für jeden Plattenstreifen angenommen werden. Je genauer die Entzerrung sein soll und je größer der Neigungswinkel der Plattenebene bei der Aufnahme zur Bildebene, in welcher die Aufnahme transformiert werden soll, ist, um so schmaler müssen die Streifen gewählt werden. Es besteht bei diesem Instrumententypus der Nachteil, daß das Bild auf der Schirmebene nicht auf einmal entworfen und betrachtet werden kann und somit ein Einpassen von auf der Platte markierten Punkten in ein entsprechendes Punktsystem des Schirmes nur mit Schwierigkeit möglich ist. Trotz weitgehender Automatisierung ist kaum anzunehmen, daß dieses Ausführungsprinzip in der Entzerrungspraxis große Verbreitung finden wird.

Die zahlreichen verschiedenen Ausführungsformen zu Typus 1 sind alles Projektionsapparate, deren Platten-, Objektivhaupt- und Schirmebene derart gegeneinander neigbar angeordnet sind, daß sie bei der durch den Entzerrungsvorgang geforderten Einstellung durch eine gemeinschaftliche Schnittgerade gelegt werden können oder sich automatisch auf diese sogenannte Scheimpflugbedingung einstellen. Die Einhaltung dieser Bedingung ist Voraussetzung für scharfes Bild. Beinahe bei allen bekannten Formen besteht weiter die Möglichkeit, die Platte in ihrer Ebene um den Plattenhauptpunkt zu verdrehen, es kann dadurch die Kantung der Platte bei der Aufnahme eingestellt werden, d. h. der Winkel um den die Horizontalachse des Plattenachsenkreuzes im entgegengesetzten Sinne des Uhrzeigers zu drehen ist, bis sie in den Plattenhorizont hineinfällt. Diese Drehungsmöglichkeit des Plattenrahmens ist nur dann überflüssig, wenn mindestens zwei der bei der Umprojektion wesentlichen Ebenen (Platten-, Objektivhaupt- und Schirmebene) nicht nur um eine, sondern um zwei im allgemeinen zueinander senkrechte Achsen neigbar sind; dann ist es nämlich ohne Drehung der Platte möglich, die gemeinschaftliche Schnittgerade der drei Ebenen parallel zu legen zum Plattenhorizont bei horizontalem Gelände, bei beliebig geneigtem Terrain aber zur Schnittgeraden Gelände-Plattenebene bei der Aufnahme. Die Parallelität ist Bedingung für



richtige Umprojektion, da diese Schnittgerade Gelände-Plattenebene sich selbst entspricht bei der Aufnahme und Parallele zu ihr auch bei der Umprojektion parallel bleiben müssen. Im übrigen aber wird die Umprojektion der Platte auf die verschiedensten Arten erreicht. Die zurzeit häufigst angewendeten Geräte beruhen auf dem Prinzip der optischen Bank, bei der die Kippachsen von Platten-, Objektivhaupt- und Schirmebene in einer Ebene liegen und in derselben unter Wahrung ihrer Parallelität gegeneinander verschiebbar sind. Der Scheimpflug-sche Universaltransformator jedoch hat die drei Achsen starr miteinander verbunden, beim Finsterwalderschen Photokartographen und dem Ernemannschen Grundrißbildner sind zwei von ihnen in zur Objektivhauptebene parallelen Ebenen parallel zu sich selbst verschiebbar, wobei die Bedingung, daß die drei Achsen in einer Ebene liegen, zwangsläufig gewahrt wird. Als weitere Verschiebungsmöglichkeiten von Platte und Projektion gegeneinander und damit neu hinzukommende Freiheitsgrade des Geräts sind ausgeführt: Verschiebung der Platte in ihrer Ebene senkrecht zur Kippachse und Verschiebung derselben parallel zur Kippachse. Diese letztere Verschiebungsmöglichkeit ersetzt in Verbindung mit der Einstellmöglichkeit für die Kantung die oben als bereits ausgeführt erwähnte Neigungsmöglichkeit von mindestens zwei der Projektionsebenen um je zwei Achsen. Die innere Einrichtung des Bildschirms ist unwesentlich für das Konstruktionsprinzip des Entzerrungsgerätes; werden nur Einzelprojektionen der eingespannten Platte verlangt, so muß lediglich die Möglichkeit bestehen, die vom Gerät entworfene Projektion auf einer lichtempfindlichen Schicht aufzufangen. Sollen die Bilder orientiert in einen gegebenen Punkthaufen (Karte) eingepaßt werden, so muß der Bildträger in seiner Ebene dreh- und verschiebbar sein. Es kann das erreicht werden durch Bewegung eines drehbaren Bildrahmens mittels eines Kreuzschlittens, oder lediglich durch beliebig mögliche Befestigung des Bildträgers auf einer ebenen Unterlage.

Um die verschiedenen Konstruktionstypen beurteilen zu können, ist vorerst festzustellen, welche Verstellungsmöglichkeiten (Freiheitsgrade) von Platte gegenüber Schirmebene nötig und hinreichend sind, um eine bestimmte Entzerrungsaufgabe lösen zu können. Der allgemeinste für die Gerätekonstruktion in Betracht kommende Fall der Entzerrungspraxis besteht darin, aus einer beliebigen photographischen Aufnahme ebenen, aber geneigten Geländes ein Bild zu erzeugen, das kongruent ist einer Orthogonalprojektion (Karte) dieses Geländes in einem bestimmten Maßstab. Der praktisch wichtige Fall unebenen Geländes ist für die Beurteilung der Konstruktionsprinzipien der Geräte vorerst gleichgültig, da es sich dort um individuelle Korrekturen an den einzelnen Bildpunkten handelt und nicht um gesetzmäßige Veränderung des ganzen Bildes.

Bekanntlich sind Karte und Gelände, dieses letztere in der Folge immer als ähnlich in den Maßstab der Karte reduziert angenommen, zueinander affn. Das photographische Bild steht in kollinearem Zu-

sammenhang zum aufgenommenen Gelände. Somit sind auch Bild und Karte einander kollinear zugeordnet. Die gegenseitige Beziehung wird eindeutig festgelegt, wenn auf dem Bild ein Viereck und auf der Karte das ihm zugeordnete gegeben ist. Es sind damit fünf unabhängige Bestimmungsstücke gegeben. Soll irgendein Gerät ermöglichen, Bild und Karte in perspektive Lage zu bringen, so muß es also fünf Freiheitsgrade besitzen. Im speziellen Falle horizontalen Geländes, wo also Gelände und Karte zusammenfallen und das Bild schon bei der Aufnahme zur Karte in perspektiver Lage war, ist der kollineare Zusammenhang nicht mehr ein allgemeiner, sondern der rechte Winkel zwischen Hauptstrahl und Fluchtlinienrichtung auf der Photographie bleibt auch in der Karte erhalten. Es werden also in diesem Falle zur Wiederherstellung der perspektivischen Beziehung Bild/Karte von einem Gerät nur noch vier Freiheitsgrade verlangt. Es soll aber beim Entzerrungsvorgang nicht nur perspektive Beziehung zwischen photographischem Bild und Karte hergestellt werden, sondern es soll dabei durch ein Objektiv ein scharfes Bild auf die Schirmebene projiziert werden. Die Bedingungen hierfür sind:

1. Die Platten-, Objektivhaupt- und Schirmebene müssen durch eine gemeinschaftliche Schnittgerade gehen.

2. Für ein Paar sich entsprechender Punkte der Platten- und Schirmebene muß die Linsengleichung bezüglich des Entzerrungsobjektivs erfüllt sein.

Diese Bedingungen bedeuten für die Konstruktion zwei weitere erforderliche Freiheitsgrade. Um somit den allgemeinen Fall der Entzerrung durchführen zu können, müßte beispielshalber ein Gerät vom Typus der optischen Bank folgende Einstellmöglichkeiten besitzen:

1. Parallele Verschiebung der Plattenebene zur Objektivhauptebene.
2. Parallele Verschiebung der Schirmebene zur Objektivhauptebene.
3. Kippung der Plattenebene um eine horizontale Achse.
4. Kippung der Objektivhauptebene um eine horizontale Achse.
5. Kippung der Schirmebene um eine horizontale Achse.
6. Drehung der Platte in ihrer Ebene.
7. Verschiebung der Platte in ihrer Ebene in der Richtung der Kippachse.

Es liegt auf der Hand, daß das empirische Einpassen eines Punkthaufens des photographischen Bildes in einen solchen der Karte mit einem Geräte, an dem alle diese Einstellungen gemacht werden müßten, im höchsten Grade unwirtschaftlich wäre. Die Möglichkeiten zur Vereinfachung sind:

1. Beschränkung auf Spezialfälle der Entzerrung.
2. Automatisierung des Gerätes oder, speziell für militärische Zwecke, wo einfache Geräte Bedingung sind, Benutzung von Nomogrammen.

Der allgemeine Fall der Entzerrung ebenen geneigten Geländes wird praktisch kaum durchgeführt. Ebenes, geneigtes Gelände existiert kaum in größerer Ausdehnung, je geneigter das Terrain, um so be-

wegter werden im allgemeinen seine Formen infolge der Verwitterung sein. Ist es aber nicht möglich, eine Aufnahme geneigten Geländes restlos mit genügender Genauigkeit in ihr Kartenbild zu entzerren, so ist es vorteilhafter, die Paßpunkte auf eine oder mehrere horizontale Bezugsebenen zu reduzieren und entzerrungstechnisch den Fall horizontalen Geländes anzuwenden. Abgesehen von der Vereinfachung bei der eigentlichen Entzerrung, ist das Zusammensetzen verschiedener Aufnahmen und das Reduzieren nicht in der angenommenen Bezugsebene liegender Punkte in die Karte ganz bedeutend einfacher.

In der Vermessungspraxis kann man sich auf Steilaufnahmen beschränken. Schrägaufnahmen eignen sich infolge des wachsenden Einflusses der relativen Höhenlage der aufzunehmenden Objekte nicht zur Entzerrung, sie dürften höchstens für militärische Vermessungen in Betracht kommen (Aufnahmen aus dem Fesselballon). Die Verwendung von gekoppelten Aufnahmeapparaten ist für die Situationsaufnahme durch Entzerrung aus dem erwähnten Grunde unvorteilhaft.

Die Entzerrung wird bedeutend vereinfacht durch Automatisierung des Geräts. Die beiden Scharfabbildungsbedingungen werden in mehreren Konstruktionen zwangsläufig erfüllt, bekannt sind hierfür: Universaltransformator von Scheimpflug, Photokartograph von S. Finsterwalder, Grundrißbildner von Ernemann, automatische Entzerrungsgeräte von C. Zeiß und von Aschenbrenner (Photogrammetrie G.m.b.H., München).

Den vier für Aufnahmen horizontalen Geländes dann noch erforderlichen Freiheitsgraden der Geräte entsprechen als unabhängige Variable der Aufnahme:

1. Brennweite der Aufnahmeapparate,
2. Flughöhe,
3. Neigungswinkel der Platte bei der Aufnahme (Nadirdistanz der optischen Achse),
4. Kantung der Platte.

Sind diese Werte bekannt, so können aus ihnen die Apparateneinstellungen berechnet werden; für empirische Einpassung mit Punkthaufen sind mindestens vier sich auf Platte und Bild entsprechende Punkte notwendig, welche allerdings fünf unabhängige Elemente, also ein überschüssiges Element geben. In der Regel wird aber die Aufnahmebrennweite bekannt sein und sich für eine größere Anzahl von Aufnahmen gleich bleiben. Ermöglicht eine Gerätekonstruktion die Einstellung dieser Aufnahmebrennweite, so benötigt sie zur Entzerrung horizontalen Geländes nur noch drei Freiheitsgrade. Das automatische Gerät von Aschenbrenner, das sich allerdings auf den weitaus wichtigsten Fall von Steilaufnahmen mit Nadirdistanz der optischen Achse kleiner als  $15^\circ$  beschränkt, erlaubt durch eine einmalige Einstellung, der Aufnahmebrennweite Rechnung zu tragen und die Entzerrung der einzelnen Platte erfordert nur noch drei Einstellungen. Es sind daher auf Bild und Karte nur je drei zugeordnete Punkte zur eindeutigen Entzerrung nötig. Der Universaltransformator von Scheimpflug,

der auch mit drei Einstellungen auskommt, beschränkt sich darauf, eine Schrägaufnahme in eine Senkrechtaufnahme gleicher Aufnahmebrennweite umzuformen. Er erstrebt also keine Variationsmöglichkeit im Bildmaßstab und kann aus diesem Grunde auf einen vierten Freiheitsgrad verzichten. Durch denselben Verzicht benötigt auch der Ernemannsche Grundrißbildner nur drei Freiheitsgrade. Die Ausführungsformen von Ica und Jäger-Liesegang geben die Scharfeinstellung nicht automatisch. Das erstere, das außer den zwei für die Scharfabbildung nötigen nur noch drei Freiheitsgrade hat, gibt nur Entzerrung in einem sogenannten wilden Maßstab. Alle Geräte welche keine unabhängige Variation des Bildmaßstabes zulassen, eignen sich nicht für das Entzerren von Fliegeraufnahmen durch Einpassen eines Punkthaufens der Platte in einen solchen der Projektion, da ja der Maßstab dieses letztern sich erst aus den Entzerrungsdaten ergibt. Besonders der Scheimpflugsche Universaltransformator ist für wesentlich andere Aufnahmebedingungen (Aufnahme aus dem Ballon mit gekoppelten Kammern) gebaut worden, als sie heute, wo hauptsächlich Flugzeuge verwendet werden, gebräuchlich sind. Das Gerät Jäger-Liesegang, welches übrigens vom gleichen Typus ist, wie das von Roussilhe verwendete, erlaubt mit seinen vier Freiheitsgraden Entzerrungen in beliebige Maßstäbe auch von Schrägaufnahmen. Für die praktische Arbeit an diesem Gerät sind Nomogramme unerlässlich.

Das automatische Zeiß-Gerät, das vier Freiheitsgrade besitzt, welche für jede Entzerrung ausgenützt werden müssen, da die Aufnahmebrennweite nicht ein für allemal berücksichtigt werden kann, soll nach Angabe der Firma auch für den allgemeinsten Fall mit einem fünften Freiheitsgrade ausgestattet werden, durch Ermöglichung der Verschiebung der Platte in ihrer Ebene parallel der Kippachse.

Endlich sei darauf aufmerksam gemacht, daß für die praktische Entzerrung ein Gerät, das alle wichtigsten Aufnahmefälle in beliebigem Kartenmaßstab zu entzerren erlaubt, um so wertvoller wird, je weniger Freiheitsgrade für die einzelne Entzerrung noch übrig bleiben.

---

## **Der reduzierende Doppelbild-Tachymeter Kern.**

Von *Alfred Aregger*, Grundbuchgeometer, Pfeffikon.

### 1. Fortsetzung.

Nach dieser allgemeinen Beschreibung des Instrumentes wollen wir auf einige konstruktive Einzelheiten eintreten.

*Allgemeines über Mittel zur Erzeugung der Doppelbilder ohne und mit veränderlicher Parallaxe.*

Zur Erzeugung von Doppelbildern für die optische Distanzmessung verwendet man heute fast ausschließlich achromatische Glaskeile, welche vor das Fernrohrobjektiv angebracht werden und welche nur etwa die Hälfte desselben überdecken. Die Ablenkung wird meistens zu ca. 1% oder rund 34 Minuten 23 Sekunden gewählt. Aus Gründen der Bild-