

Werk

Jahr: 1941

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:17

Werk Id: PPN101433392X_0017

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PID=PPN101433392X_0017 | LOG_0054

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Beispiele für die Anwendung von Anaglyphen-Raumbildern in der Geophysik

Von Heinrich Jung, Physik. Inst. Clausthal. — (Mit 4 Abbild. und 4 Raumbildern)

Nach einigen allgemeinen Vorbemerkungen werden Konstruktionsverfahren für Anaglyphen-Raumbilder mit Projektion auf die waagerechte Tischfläche beschrieben und Anweisungen zur Betrachtung solcher Bilder gegeben. Als Beispiele werden vier Raumbilder aus der Geophysik beigelegt und erläutert: Wirkung einer störenden Masse auf die Drehwaage, Verteilung von Zug und Stoß bei den ersten Einsätzen der P -Wellen eines Scherungsbebens, Bestimmung der Herdtiefe aus der Zug- und Stoßverteilung der ersten P -Einsätze, Schwerstörungen im Wiener Becken.

A. Allgemeiner Teil

1. Vorbemerkungen. Raumbildliche Darstellungen können, wenn räumliche Modelle nicht zur Verfügung stehen, in vielen Fällen zur Unterstützung des Raumansehungsvermögens wertvolle Dienste leisten. Auch kann man graphische Darstellungen, für die zwei Dimensionen nicht ausreichen, mitunter dreidimensional als Raumbilder konstruieren. Letztere Möglichkeit wurde für die Geophysik bereits von J. Bartels [1] ausgenutzt. In den von Bartels konstruierten, mit dem Stereoskop zu betrachtenden Bildern, werden zeitliche magnetische Variationen in dreidimensionalen Diagrammen dargestellt. In der gleichen Arbeit veröffentlichte Bartels ein schematisches Raumbild zur Ableitung der bei der Berechnung der stereoskopischen Raumbilder anzuwendenden Formeln, ein die Lage der magnetischen Observatorien auf der Erdkugel zeigendes Raumbild und eine räumliche Darstellung der Windrichtungs- und -geschwindigkeitsänderung mit der Höhe über Apia (Samoa). Außer dem zu den Bildern gehörigen Text enthält der Aufsatz von Bartels eine ausführliche Anleitung zur Berechnung und Konstruktion der Raumbilder. Auf die Möglichkeit, statt der stereoskopischen Betrachtung das Anaglyphenverfahren (Rot-Grün-Druck und Betrachtung durch eine rot-grüne Brille) anzuwenden, wird hingewiesen.

Angeregt durch die sehr anschaulichen mathematischen Anaglyphenbilder von O. Köhler, U. Graf und C. Calov [2–3] wurden in den letzten Jahren zu verschiedenen Zwecken Raumbilder konstruiert und zum Teil veröffentlicht [4–8]. Unter ihnen befinden sich auch zwei Beispiele aus der Geophysik*). Diese sollen jetzt durch einige weitere ergänzt werden. Angewandt wurde in den genannten Arbeiten und wird auch in der vorliegenden ein Konstruktionsverfahren, das zwar nur bei Anaglyphenbildern brauchbar ist (also nicht bei Betrachtung mit dem

*) Weg der seismischen Strahlen beim Refraktionsverfahren bei geneigter Grenzfläche [4], Linien gleicher magnetischer Vertikalintensität in der Umgebung von Braunschweig [7].

Stereoskop), sich aber leicht ausführen läßt und besonders anschauliche und ansprechende Raumbilder ergibt*). Dieses soll zunächst erläutert werden.

Sieht man von der wegen des mehrfarbigen Druckes umständlicheren und teureren Herstellung ab, so weist das Anaglyphen-Raumbild an sich gegenüber dem Stereoskop-Doppelbild gewisse Vorteile auf. Zur Betrachtung ist kein Gerät erforderlich. Die Anaglyphenbrille ist leicht und billig herzustellen und läßt sich bequem überallhin mitnehmen. Der Bildgröße ist keine Schranke gesetzt, während Stereoskopbilder im allgemeinen nicht größer als 6×6 cm (bei Verwendung von Spiegelstereoskopen 18×24 cm) sein dürfen. An der Bergakademie Clausthal und an verschiedenen Markscheidereien in Bergbaugebieten ausgeführte Anaglyphenbilder von 100×100 cm und mehr ließen sich, aus angemessener Entfernung betrachtet, noch vorzüglich übersehen und gaben einen guten Raumeindruck. Schließlich sei hervorgehoben, daß bei Anaglyphenbildern vollkommene Freiheit in bezug auf die gegenseitige räumliche Lage zwischen dem Bild und den betrachtenden Augen besteht, während bei Stereoskop-Doppelbildern die Hauptsehstrahlen stets durch die Bildmitten gehen und senkrecht auf der Bildebene stehen müssen. Unter Ausnutzung dieser Möglichkeit werden die Anaglyphenbilder so konstruiert, daß die Betrachtung unter möglichst einfachen und natürlichen Bedingungen erfolgen kann. Das Bild liegt flach auf dem Tisch und wird von dem sitzenden Beobachter in normaler Haltung mit schräg abwärts geneigter Blickrichtung durch die Brille betrachtet. Dabei kann das Bild so gezeichnet werden, daß der im Raumbild dargestellte Gegenstand auf dem Tisch zu stehen scheint. Dadurch ergibt sich eine sehr enge räumliche Beziehung des gesehenen Raummodells zu seiner Umgebung (dem Tisch) und ein besonders anschauliches greifbar plastisches Bild.

2. Konstruktion von Raumbildern mit Projektion auf die waagerechte Tischfläche. a) *Zentralperspektivische Raumbilder.* Das durch die Betrachtung des Anaglyphenbildes entstehende Raummodell des dargestellten Gegenstandes ist diesem selbst kongruent, wenn die zu den einzelnen Bildpunkten gehörigen geradlinigen Sehstrahlen in jedem Auge ein Strahlenbündel bilden, das dem entsprechenden bei der Betrachtung des wirklichen räumlichen Gegenstandes gleich ist. Überdies müssen die beiden Strahlenbündel die gleiche gegenseitige Orientierung haben. Hieraus ergibt sich ganz allgemein, daß man Raumbilder herstellen kann, indem die einzelnen Punkte des Gegenstandes in Gedanken von den beiden Punkten aus, in denen sich die Augen befinden, auf eine beliebige Bildfläche geradlinig projiziert und bei der Betrachtung der so entstehenden beiden Teilbilder die Augen an die Stelle der Projektionsmittelpunkte gebracht werden. Dabei ist jedem Auge nur das zu ihm gehörige Teilbild darzubieten. Für die im vorigen Abschnitt beschriebene Konstruktions- und Betrachtungsweise bedeutet dies, daß

*) Meines Wissens erstmalig angewandt von H. Vuibert [9]. Eine anderslautende Bemerkung in meinem Aufsatz in „Natur und Volk“ [7] bedarf einer entsprechenden Berichtigung.

der darzustellende Gegenstand von den Projektionsmittelpunkten aus, die sich an der Stelle der Augen befinden, auf die waagerechte Tischfläche zu projizieren ist. Die Durchstoßpunkte der Projektionsstrahlen in der Tischfläche liefern dann die Bildpunkte. Das zum linken Auge gehörige Bild wird grün, das zum rechten Auge gehörige rot gefärbt. Bei der Betrachtung ist das grüne Brillenfilter vor das rechte Auge, das rote vor das linke Auge zu halten.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich fast von selbst eine einfache punktweise Konstruktion solcher Anaglyphenbilder, die immer anwendbar ist, wenn die darzustellenden Punkte des räumlichen Gegenstandes nach Grundriß und Höhe über der Tischfläche (bzw. Tiefe unter der Tischfläche) bekannt sind. In der perspektivischen Fig. 1a*) bedeuten A_r und A_l die Projektionsmittelpunkte, von der

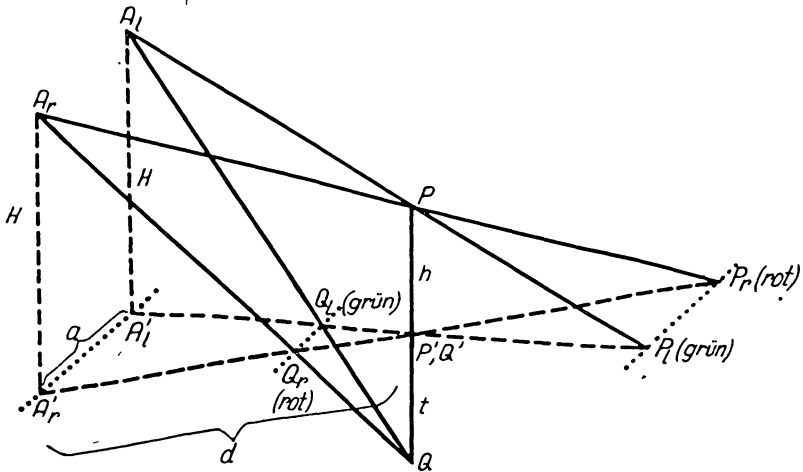


Fig. 1a. Zur Erläuterung der punktweisen Konstruktion zentralperspektivischer Anaglyphenbilder

aus zunächst der in der Höhe h über der Tischfläche gelegene Punkt P mit dem Grundriß P' auf die Tischfläche projiziert werden soll. Die gesuchten Bilder des Punktes P sind P_r (für das rechte Auge) und P_l (für das linke Auge). A'_r und A'_l sind die im folgenden als Augenpunkte bezeichneten Projektionen von A_r und A_l auf die Tischfläche. Die Verbindungsgerade zwischen A'_r und A'_l ist die „Augenbasis“. H bedeutet die Augenhöhe über dem Tisch, die für beide Augen als gleich angenommen wird, wie es der normalen Kopfhaltung entspricht. Zunächst ist zu sehen, daß jeder Bildpunkt (P_r bzw. P_l) mit dem zugehörigen Augenpunkt (A'_r bzw. A'_l) und dem Grundriß P' in einer Geraden liegt, und zwar, von den Augenpunkten aus gesehen, hinter dem Grundriß P' . Bezeichnet man mit d die Entfernung zwischen A'_r und P' , so ergeben einfache geometrische Betrachtungen

*) Ein Raumbild, das diese Verhältnisse plastisch zeigt, befindet sich in „Natur und Volk“ [7] (Bild 1).

tungen für den Abstand $P'P_r$ zwischen Grundriß und Bildpunkt für das rechte Auge den Ausdruck

$$P'P_r = \frac{h}{H-h} \cdot d,$$

nach welchem $P'P_r$ leicht berechnet werden kann, da H und h bekannt sind und d mit einem Maßstab meßbar ist.

Die praktische Ausführung der Zeichnung zeigt Fig. 1b. Zuerst legt man die Augpunkte A_r und A_l fest. Ihr Abstand wird zweckmäßig gleich dem normalen

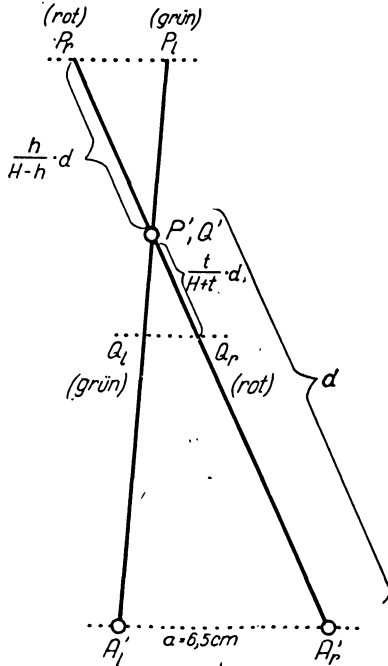


Fig. 1b. Ausführung der punktweisen Konstruktion zentralperspektivischer Anaglyphenbilder

Augenabstand gewählt (6,5 cm). Nach Eintragung des Grundrisses P' des darzustellenden Punktes wird P' mit A_r verbunden und diese Gerade hinreichend weit über P' hinaus verlängert. Sodann mißt man die Strecke $A_r P'$, berechnet $P'P_r$ nach der oben angegebenen Formel und setzt diese Strecke auf der Verlängerung von $A_r P'$ von P' aus ab*). Damit ist der rot zu zeichnende Bildpunkt für das rechte Auge gefunden. Die Konstruktion des grünen Bildpunktes P_l kann auf die gleiche Weise erfolgen, nur daß bei der Berechnung von $P'P_l$ nach der obigen Formel für d jetzt die Entfernung $A_l P'$ zu nehmen ist. Beachtet man aber, daß — wie aus Fig. 1a entnommen werden kann — die Verbindungsgerade der Bildpunkte P_r und P_l der Augenbasis $A_r A_l$ parallel ist, so ergibt sich, nachdem P_r gemäß der oben angegebenen Vorschrift gefunden ist, P_l einfacher als Schnittpunkt der Verlängerung von $A_l P'$ über P' hinaus mit der Parallelen zur Augenbasis $A_r A_l$ durch P_r .

Die Bildpunkte für einen unter der Tischfläche gelegenen Punkt Q des darzustellenden Gegenstandes werden in entsprechender Weise konstruiert. Nur ist, wie Fig. 1a und 1b zeigen, die Strecke $Q'Q_r$ in Richtung auf den Augpunkt A_r von Q' aus abzutragen**). Ihre Länge ist

$$Q'Q_r = \frac{t}{H+t} \cdot d,$$

worin t die Tiefe des Punktes Q unter der Tischfläche bedeutet.

*) Bei der Berechnung von $P'P_r$ ist H zweckmäßig zu wählen (für sitzenden Beobachter etwa 35 cm und für größere Bilder, die aus weiterer Entfernung im Stehen betrachtet werden müssen, etwa 60 cm). An bestimmte Werte ist man nicht gebunden.

**) Um die Abbildung nicht zu überlasten, ist der Punkt Q so gezeichnet, daß sein Grundriß Q' mit dem Grundriß P' des Punktes P zusammenfällt.

Bei Punkten über dem Tisch befindet sich das rote Teilbild links vom grünen, bei Punkten unter dem Tisch rechts vom grünen. Für Punkte der Tischfläche fallen beide Teilbilder in den Grundriß und können einfach schwarz gezeichnet werden. Umgekehrt werden bei der Betrachtung schwarze Punkte bzw. solche, bei denen rotes und grünes Teilbild zusammenfallen, als Punkte der Tischfläche gesehen.

Unter Ausnutzung geometrischer Eigenschaften des darzustellenden Gegenstandes läßt sich die Konstruktion der Raumbilder in vielen Fällen erheblich vereinfachen. Besonders hingewiesen sei auf folgendes:

1. Die Bilder senkrechter Geraden gehen durch die Augenpunkte A'_r bzw. A'_l .

2. Horizontale Figuren werden in wahrer Gestalt und Orientierung abgebildet (bei Figuren über der Tischfläche vergrößert, bei solchen unter der Tischfläche verkleinert). Die Vergrößerung bzw. Verkleinerung bei dem roten und grünen Teilbild ein und derselben horizontalen Figur ist gleich, d. h. beide Teilbilder sind kongruent*). Eins geht aus dem anderen durch Verschiebung parallel zur Augenbasis hervor. Der Betrag dieser Verschiebung (die Parallaxe) hängt nur von der Höhe der horizontalen Figur über bzw. ihrer Tiefe unter der Tischfläche ab**). Aus letzterem ergibt sich:

3. Die Parallaxe ist bei allen Punkten mit gleicher Höhe über bzw. gleicher Tiefe unter dem Tisch dieselbe***).

Als Spezialfall von 2. sei noch besonders hervorgehoben:

2'. Die Teilbilder waagerechter Geraden laufen diesen selbst bzw. ihren Grundrissen parallel.

Wichtig ist, daß unter allen Umständen trotz etwa auftretender Zeichengenauigkeiten die Verbindung der beiden Teilbilder jedes im Bild dargestellten Raumpunktes parallel zur Augenbasis verläuft. Wird diese Bedingung nicht erfüllt, so kann der räumliche Eindruck beim Betrachten des Bildes stark beeinträchtigt, wenn nicht sogar ganz verhindert werden. Insbesondere ist hierauf bei Schnittpunkten von sich im Raum schneidenden Linien des dargestellten Gegenstandes zu achten.

*) Dies alles ergibt sich ohne weiteres daraus, daß die beiden von den (den Augen entsprechenden) Projektionsmittelpunkten ausgehenden Projektionskegel durch zwei parallele Ebenen (die Ebene, die die horizontale Figur enthält, und die waagerechte Tischfläche) geschnitten werden und daß die Abstände des Projektionszentrums von diesen beiden Ebenen für das rechte und das linke Auge dieselben sind.

***) Die Parallaxe ist $\frac{h}{H-h} \cdot a$ bzw. $\frac{t}{H+t} \cdot a$, worin a die Länge der Augenbasis $A'_r A'_l$ bedeutet.

****) Hingegen unterscheidet sich die Parallaxe zweier Punkte, die in gleichem Abstand von der Tischfläche über und unter dieser liegen, nicht nur der Richtung, sondern auch der Größe nach. Die Parallaxe des oberhalb der Tischfläche gelegenen Punktes ist die größere. — Punkte der Tischfläche haben die Parallaxe Null.

Es ist klar, daß das im vorhergehenden beschriebene graphisch-rechnerische Konstruktionsverfahren für die punktweise Konstruktion nicht das einzig mögliche ist. Es läßt sich ohne weiteres durch ganz-rechnerische oder ganz-zeichnerische Methoden ersetzen. Doch hat es sich in der Praxis gut bewährt, und es liegt daher hier kein Bedürfnis vor, ein anderes Verfahren dafür auszuarbeiten und mitzuteilen.

Dagegen wird man bei Raumbildern mit Höhenlinien, die aus Höhenlinienkarten (im weitesten Sinn; also auch Karten mit Linien gleicher Schwerebeschleunigung, gleicher magnetischer Vertikalintensität usw., überhaupt aller „Iso“linien) zu konstruieren sind, nach Möglichkeit nicht die punktweise, sondern eine linienweise Konstruktionsmethode anwenden, die sofort die Höhenlinien liefert. Dies ist möglich, wenn ein Pantograph zur Verfügung steht. Da die Höhenschichten horizontal liegen, sind die Bilder der Höhenlinien diesen ähnlich, also nur Vergrößerungen (bei „Höhen“linien über der Tischfläche) bzw. Verkleinerungen (bei „Tiefen“linien unter der Tischfläche) der Schichtlinien in der Karte. Der Vergrößerungsfaktor ergibt sich aus Fig. 1a zu

$$\frac{H}{H - h} \text{ bei Höhenlinien in der Höhe } h$$

und

$$\frac{H}{H + t} \text{ bei Tiefenlinien in der Tiefe } t.$$

Zweckmäßig ist es, zunächst für jede Schicht die Teilbilder von wenigstens zwei Punkten genau nach dem punktweisen Verfahren zu konstruieren und in diese Bildpunkte die Vergrößerung bzw. Verkleinerung der Höhenlinie einzupassen. Der Pol des Pantographen muß dabei auf dem Augenpunkt A_r bzw. A_l stehen, der zu dem in Konstruktion befindlichen Teilbild gehört. Die Paßpunkte brauchen nicht auf der Schichtlinie zu liegen. Sie müssen nur zu derselben Schicht gehören. Am einfachsten ist es, für alle Höhen und Tiefen Punkte mit gleichem Grundriß zu nehmen, z. B. die vier Bildecken. Beachtet man, daß nach den Ausführungen auf S. 295 das rote und das grüne Teilbild ein und derselben Schichtlinie einander kongruent sind und nur um die Parallaxe parallel zur Augenbasis verschoben, so kann man die Hälfte der Vergrößerungen bzw. Verkleinerungen sparen und durch Übertragung der Kurven von einem Teilbild in das andere nach einem Pausverfahren ersetzen. — Nach dieser Methode konstruierte zentralperspektivische Raumbilder mit Schichtlinien sind in dem Aufsatz von O. Rellensmann und mir in „Glückauf“ [4] (Abb. 6) und in meiner Abhandlung in „Natur und Volk“ [7] (Bild 4 und 8) wiedergegeben.

Zum Schluß dieses Abschnitts mögen noch einige Hinweise bezüglich der allgemeinen Anlage von Raumbildern mit Projektion auf die waagerechte Tischfläche folgen.

Zunächst ist festzustellen, daß nur solche Gegenstände, deren Höhe über dem Tisch die Augenhöhe H nicht erreicht, nach den erläuterten Verfahren im Raum-

bild dargestellt werden können. Zweckmäßig wird man kaum über ein Drittel der Augenhöhe hinausgehen. Für Punkte unter der Tischfläche gibt es in dieser Hinsicht keine Beschränkung. Der Abstand der Bildpunkte vom Grundriß des darzustellenden Punktes ($P'P_r, P'P_l$) wächst beträchtlich mit zunehmender Höhe des Punktes über der Tischfläche, wachsender Entfernung des Grundrisses von der Augenbasis und abnehmender Augenhöhe. Gleiches gilt für Punkte unter der Tischfläche, nur in wesentlich geringerem Ausmaß. Hierauf ist bei der Anlage eines Bildes Rücksicht zu nehmen, wenn aus irgendwelchen Gründen die Gesamtgröße des Bildes beschränkt werden muß (z. B. für den Druck in Büchern und Zeitschriften). Ungünstig sind Linien, die am räumlichen Gegenstand parallel der Augenbasis verlaufen. Bei ihnen ist die Zuordnung der Teilbilder für die einzelnen Punkte nicht eindeutig, die Parallaxe und damit der Raumeindruck beim Betrachten unbestimmt*). Bei regelmäßigen Körpern, wo solche Linien häufig auftreten können, umgeht man sie durch „Übereckstellung“ des Gegenstandes. Ebenso sind Linien und Flächen, die selbst bzw. deren Grundriß in ihrer Verlängerung die Augenbasis zwischen den Augenpunkten A_r' und A_l' schneiden, wenigstens an wichtigen Stellen des Bildes möglichst zu vermeiden*). Sie bieten sich den beiden Augen von verschiedenen Seiten dar und ergeben dadurch keinen Raumeindruck. Man sieht beide Teilbilder getrennt**). In dieser Hinsicht ist es günstig, den Maßstab des Raummodells möglichst groß zu wählen, da dieser ungünstige Fall dann seltener eintritt als bei kleinem Maßstab.

b) *Parallelperspektivische Raumbilder.* Wie bei ebenen Darstellungen sind auch bei Raumbildern parallelperspektivische Bilder erheblich einfacher zu konstruieren als zentralperspektivische. Die Projektionszentren und mit ihnen die Augenpunkte rücken ins Unendliche. Damit für das rechte und das linke Auge überhaupt die für ein plastisches Raumbild nötigen verschiedenen Ansichten des darzustellenden Gegenstandes zustande kommen, müssen beiden Teilbildern verschiedene Blickrichtungen zugeordnet werden. Es entstehen demnach Bilder, wie sie etwa ein schielender Riese sehen würde, der aus großer Entfernung den Gegenstand betrachtet.

Bei normaler Kopfhaltung zu betrachtende aufrechte Raummodelle ergeben sich, wenn die Blickrichtungen symmetrisch zum Lot auf der Augenbasis des Beobachters liegen und gleiche Neigung haben. Das Dreieck $P'P_rP_l$ bzw. $Q'Q_rQ_l$ wird dann gleichschenkelig mit der Basis parallel zur Augenbasis des Betrachters und der Spitze in P' bzw. Q' (Fig. 2). Der Winkel an der Spitze darf nicht größer als etwa 15° sein, da andernfalls die beiden Teilbilder so verschieden ausfallen, daß kein Raumeindruck entsteht. Ein Winkel von ungefähr 10° zwischen den

*) Hierauf hat bereits J. Bartels aufmerksam gemacht ([1], S. 191).

***) Dies ist nicht dem Anaglyphenverfahren zur Last zu legen. Man kann es bei aufmerksamer Beobachtung auch in der Natur bei zweiäugigem Sehen bemerken. Doch fällt es meistens nicht auf, weil ungünstige Stellungen gegenüber den betrachteten Gegenständen leicht und oft unbewußt durch Änderung der Kopfhaltung beseitigt werden.

beiden Blickrichtungen hat sich im allgemeinen gut bewährt. Die Schenkel $P'P_r$, $P'P_l$ bzw. $Q'Q_r$, $Q'Q_l$ sind jetzt proportional der Höhe h bzw. der Tiefe t . Der Proportionalitätsfaktor ist der Kotangens des Neigungswinkels der Projektionsstrahlen. Wählt man diesen zu 45° , so ist jener Faktor gleich 1, und die von P' , bzw. Q' abzusetzenden Strecken sind überhaupt gleich den Höhen bzw. Tiefen der zu konstruierenden Punkte. Diese Festsetzung des Neigungswinkels der Projektionsstrahlen ist bequem und liefert meist gute Bilder. Sie ist aber nicht notwendig.

Die geometrischen Eigenschaften der Teilbilder, die zur weiteren Erleichterung der Konstruktion dienen können, vereinfachen sich noch beträchtlich gegenüber

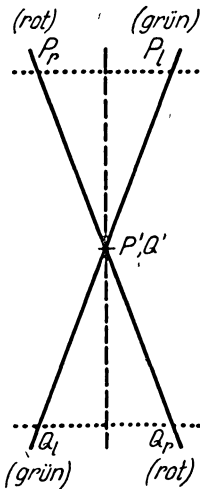


Fig. 2. Grundriß und Teilbilder, von Raumpunkten bei parallelperspektivischer Darstellung

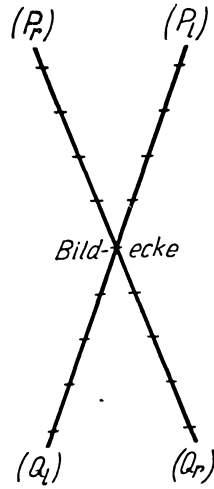


Fig. 3. Hilfsschema für die Konstruktion parallelperspektivischer Raumbilder mit Schichtlinien

den zentralperspektivischen Bildern. So sind die Bilder senkrechter Geraden in jedem Teilbild parallel, und zwar parallel der zugehörigen Blickrichtung*). Horizontale Figuren werden nicht nur ähnlich, sondern sogar kongruent abgebildet, d. h. die Bilder haben gleiche Gestalt und gleiche Größe wie die Figuren im Raum. Die Parallaxe ist gleich

$$2 \lambda h \cdot \sin \frac{\varepsilon}{2} \quad \text{bzw.} \quad 2 \lambda t \cdot \sin \frac{\varepsilon}{2},$$

worin λ den Kotangens des Neigungswinkels der Projektionsstrahlen und ε den Winkel zwischen den der Konstruktion zugrunde gelegten Blickrichtungen be-

*) Überhaupt sind, wie stets bei parallelperspektivischen Abbildungen auf ebene Bildflächen, die Bilder paralleler Geraden einander parallel.

deutet. Hieraus folgt, daß für zwei Punkte, die in gleichem Abstand von der Tischfläche über und unter dieser liegen, die Parallaxe der Größe nach gleich ist.

Wesentlich ist die Vereinfachung, die bei Bildern mit Höhenlinien erzielt wird. Da sich alle horizontalen Figuren, also auch die Höhen- und Tiefenlinien, in wahrer Größe abbilden, ist kein Pantograph mehr erforderlich. Die Schichtlinien können einfach auf durchsichtiges Pauspapier gezeichnet werden. Es empfiehlt sich dann, das ganze Bild auf dem durchsichtigen Papier zu entwerfen, indem das Papier über der Karte so verschoben wird, daß die durchgezeichneten Höhen- und Tiefenlinien an die richtige Stelle kommen. Dies gelingt, indem man z. B. auf dem Pauspapier an den Bildecken gleichabständige Leitern nach dem Schema der Fig. 3 anbringt, die wie in Fig. 2, symmetrisch zum Lot auf der Augenbasis des Betrachters liegen*). Die einzelnen Punkte auf den Leitern entsprechen den Höhen- und Tiefenschichten. Der Schnittpunkt der Leitern, der in der betreffenden Bildecke des Pauspapiers liegt, ist der Tischfläche zugeordnet. Soll nun beispielsweise das zum rechten Auge gehörige Teilbild der dritten Schicht über der Tischfläche gezeichnet werden, so ist an den Bildecken der vom Schnittpunkt der Leitern als Nullpunkt gezählte dritte Punkt der P_r -Leiter (links oben) des Pauspapiers auf die betreffende Ecke der Karte zu legen. Dann befindet sich das Blatt in der richtigen Lage, und das Teilbild der Schichtlinie kann durchgezeichnet werden. Entsprechend wird bei den übrigen Höhen- und Tiefenlinien sowie bei dem anderen Teilbild verfahren. Diese Methode verlangt eine gewisse Aufmerksamkeit, damit keine Verwechslungen vorkommen (zwischen rechtem und linkem Auge, rot und grün, Höhe und Tiefe, Durchzeichnen einer falschen Schichtlinie). Nach einiger Übung läßt es sich jedoch ziemlich mechanisch durchführen. — Das beigegefügte Raumbild 3 ist nach diesem Verfahren entworfen.

Beim Betrachten eines parallelperspektivischen Anaglyphenbildes kann naturgemäß kein geometrisch richtiges Raummodell entstehen, da es nicht möglich ist, die Augen in die ins Unendliche gerückten Projektionszentren zu bringen. Das Modell ist gegenüber dem dargestellten Gegenstand verzerrt. Diese Verzerrung ist eingehend von U. Graf untersucht worden [11—12]. Hier genügt es, die augenfälligsten Merkmale zu erwähnen: Senkrechte Geraden des Gegenstandes divergieren im Raummodell nach unten. Oben gehen ihre Verlängerungen durch einen einzigen bestimmten Punkt in Augenhöhe über dem Mittellot der Augenbasis. Außerdem nimmt nach unten hin der Höhenmaßstab zu.

Hierdurch wird die Anwendbarkeit parallelperspektivischer Raumbilder eingeschränkt. Trotz ihrer äußerst einfachen Herstellungsweise sind sie nur zu empfehlen, wenn die Verzerrungen tragbar sind. Befinden sich an dem dargestellten Gegenstand mehrere ausgesprochene Senkrechten an auffälliger Stelle — wie z. B. bei Grubenbauen mit mehreren Schächten —, so wird sich das Divergieren senkrechter Geraden nach unten häufig so störend bemerkbar machen, daß

*) Man kann diese Leitern auch an den Ecken der Karte anbringen. Nur vertauschen dann P und Q ihre Rolle.

man das Raumbild unbedingt zentralperspektivisch entwerfen muß, wenn ein ansprechender Eindruck erzielt werden soll. Treten keine ausgesprochenen Senkrechten auf, so sind die Verzerrungen des parallelperspektivischen Raumbildes mitunter so unerheblich, daß man mit Vorteil von der einfachen Konstruktionsweise Gebrauch machen kann. Ein Beispiel hierfür zeigt Raumbild 3. In „Glückauf“ [4], Abb. 6 und 7 ist derselbe Gegenstand zentralperspektivisch und parallelperspektivisch nebeneinander wiedergegeben. Der Vergleich beider Bilder zeigt deutlich die beim parallelperspektivischen Entwurf auftretenden Verzerrungen.

3. Anleitung zur Betrachtung von Anaglyphen-Raumbildern mit Projektion auf die waagerechte Tischfläche. Bei der Betrachtung von Anaglyphen-Raumbildern ist darauf zu achten, daß die mit der Brille bewaffneten Augen (rotes Filter vor dem linken, grünes vor dem rechten Auge!) in die richtige Lage zum Bild kommen. Der Raumeindruck ist bei zentralperspektivischen Bildern geometrisch richtig, wenn man die Augen genau in die bei der Konstruktion verwendeten Projektionsmittelpunkte A_r und A_l bringt. Hierzu muß für jedes Bild die Lage der Augenpunkte und die Augenhöhe bekannt sein*). Da die Bilder nur für einen normalen Augenabstand (in der Regel 6.5 cm) entworfen werden können, ist es für Beobachter mit anderem Augenabstand nicht möglich, die Augen genau in die richtigen Punkte zu bringen. Die hierdurch am Raummodell auftretenden Verzerrungen sind sehr gering und treten kaum störend in Erscheinung. Auf jeden Fall muß die Augenbasis parallel der Verbindungslinie der beiden Teilbilder jedes dargestellten Raumpunktes sein, und beide Augen müssen gleiche Höhe über dem Tisch haben. Andernfalls ergibt sich kein räumlicher Eindruck. Sind diese Bedingungen erfüllt, ist im übrigen aber die richtige Lage der Augen zum Bild noch nicht erreicht, so wird das Bild räumlich gesehen, aber verzerrt. Seitliche Verschiebung der Augen aus der richtigen Lage bewirkt ein Umfallen des Raummodells nach der Seite, nach welcher die Augen verschoben sind, falscher Abstand der Augenbasis vom Bild entsprechend ein Umkippen nach vorn oder hinten. Änderung der Augenhöhe hat nur eine Veränderung des Höhenmaßstabes zur Folge, und zwar Stauchung bei Senken und Dehnung bei Heben der Augen. Die richtige Lage der Augen gegenüber dem Bild (abgesehen von der Augenhöhe) ist erreicht, wenn lotrechte Linien und Flächen auch wirklich lotrecht erscheinen.

Bei parallelperspektivischen Bildern ist nur darauf zu achten, daß die Augenbasis parallel der Verbindungslinie der beiden Teilbilder jedes Raumpunktes ist und daß die Augen gleiche Höhe über dem Tisch haben. Die Augenhöhe ist bei der Betrachtung zweckmäßig so zu wählen, daß der Blickneigungswinkel zur Bildmitte etwa gleich der Neigung der bei der Konstruktion verwendeten Projektionsstrahlen ist.

*) Bei den Raumbildern, die diesem Aufsatz und dem folgenden von G. Angenheister beigelegt sind, befindet sich die Augenbasis vor der Bildmitte in 20 cm Entfernung vom unteren Bildrand. Sie ist dem oberen und dem unteren Bildrand parallel. Der Abstand der Augenpunkte beträgt 6.5 cm, die Augenhöhe 35 cm.

Ob der Betrachter das Raumbild wirklich räumlich sieht, kann durch das Umkippen des Raummodells bei Verschieben des Kopfes geprüft werden. Solange dieses Bewegungsphänomen nicht eintritt, ist der beabsichtigte Raumeindruck, der sich bei geübten Betrachtern sofort, bei ungeübten nach einiger Zeit (etwa eine halbe bis eine Minute) einstellt, noch nicht vorhanden. Ist der Raumeindruck da, so tritt das Raumbild so greifbar plastisch in Erscheinung, daß es möglich ist, Linien in dem über der Tischfläche gelegenen Teil des Raummodells mit dem Finger im Raum entlang zu fahren. Auch dies kann zur Prüfung der Raumwirkung dienen.

4. Schlußbemerkungen. Bisher wurde nur über die geometrische Konstruktion der Raumbilder und die Betrachtungsweise gesprochen*). Es müssen nun noch einige Bemerkungen über die Ausführung der Bilder folgen.

Bereits ganz einfache Skizzen, die mit karminrotem und hellgrünem Farbstift gezeichnet sind, ergeben gute Raumbilder. Es ist nur darauf zu achten, daß, da der grüne Strich noch leicht durch das grüne Brillenfilter zu sehen ist, das grüne Teilbild genügend schwach gezeichnet wird. Von dieser Möglichkeit, einfache Raumbildskizzen rasch herzustellen, habe ich in meinen Vorlesungen an der Bergakademie Clausthal in verschiedenen Lehrfächern (Geophysik, Photogrammetrie, Mathematik) mit gutem Erfolg Gebrauch gemacht. Die Bilder wurden auf dem Tisch des Hörsaals ausgelegt und konnten von den Hörern vor und nach der Vorlesung betrachtet werden.

Besser ist die Ausführung in Tusche. Auch hier ist das Grün genügend schwach zu halten. Weiterhin ist es möglich, auch Flächen farbig anzulegen**). Durch verschiedene Stärke der roten und grünen Flächen lassen sich mehrere Farbabstufungen am Raummodell von rötlichen über violette zu bläulichen Tönen hin erzielen. Außerdem hat sich bei praktischen Versuchen herausgestellt, daß gelbe Farbe vom roten Brillenfilter nicht durchgelassen und durch das grüne Filter gelb gesehen wird. Demnach können Flächen im roten Teilbild (rechtes Auge) auch gelb angelegt werden. Bei zweiäugigem Sehen entsteht der Gesamteindruck „Gelb“. Dieser kann noch mit den vorher angegebenen Farbtönen zu weiteren Mischungen verwendet werden. Bei einem von einem Studierenden der Bergakademie in Clausthal gezeichneten bergmännisch-geologischen Raumbild wurden auf diese Weise bis zu etwa zehn deutlich unterscheidbare Farbtöne erreicht. Natürlich kann im Anaglyphenbild eine so reichhaltige Farbskala, wie sie etwa eine geologische Karte aufweist, nicht erzielt werden.

Bei Anaglyphendruckern kann sich das Durchschlagen der grünen Farbe ebenfalls noch recht störend bemerkbar machen. Durch ein patentiertes Verfahren von Oberstudienrat O. Köhler (Berlin), von dem auch bei den diesem Aufsatz

*) Weitere theoretische Untersuchungen über die geometrischen Eigenschaften zentralperspektivischer und parallelperspektivischer Raumbilder hat U. Graf durchgeführt [10—14].

***) Für die Flächen verwendet man am besten Wasserfarbe.

beigefügten Raumbildern Gebrauch gemacht wird, läßt sich dies nahezu restlos verhindern. Versuche zum Druck von Raumbildern mit farbigen (auch gelben) Flächen sind im Gange und erfolgversprechend. Wegen des teuren Preises werden solche Drucke jedoch vorerst nur selten Anwendung finden können.

Mitunter ist es erwünscht, für den Druck bestimmte Raumbilder in anderer Größe zu entwerfen, als sie hernach verwendet werden. In diesem Fall ist zu beachten, daß zentralperspektivische Raumbilder keine erhebliche Größenänderung vertragen. Mit einer Vergrößerung oder Verkleinerung ändert sich nämlich in gleicher Weise die Länge der Augenbasis. Daher sind die Bilder so anzulegen, daß erst in der endgültigen Größe die Augenbasis die Länge 6.5 cm erhält. Wird z. B. ein Bild in doppelter Größe gezeichnet, so müssen bei der Konstruktion die Augenpunkte 13 cm Abstand haben, damit sich hernach bei der Verkleinerung auf die Hälfte 6.5 cm ergeben. Ebenso ist der Abstand des Bildgrundrisses von der Augenbasis doppelt so groß zu nehmen, als er hernach betragen soll. Auf die Formeln zur Berechnung von $P'P_r$ bzw. $Q'Q_r$ wirkt sich eine Größenänderung nicht aus, da sich die Vergrößerungs- bzw. Verkleinerungsfaktoren für H , h und t in den Formeln wegheben und d in der Zeichnung bereits in dem für die Rechnung zu verwendenden Maßstab gemessen wird. Gleiches gilt für eine etwaige Berechnung der Parallaxen, wenn unter a der Abstand der Augenpunkte in der Zeichnung verstanden wird. Nur die Vergrößerungs- bzw. Verkleinerungsfaktoren für Schichtlinien müssen dem Maßstab der Zeichnung angepaßt werden. — Nachteilig bei diesem Verfahren ist, daß man während der Konstruktionsarbeit nur einen verzerrten Raumeindruck erhält, der die Kontrolle der Zeichnung erschwert*). Daher wird man, wenn möglich, die Bilder in der endgültigen Größe entwerfen. Kleine Größenänderungen, etwa von einigen Prozenten, fallen nicht auf und können ohne weiteres bei Raumbildern vorgenommen werden.

Da es bei parallelperspektivischen Raumbildern nur auf die Richtung der Projektionsstrahlen ankommt, vertragen solche Bilder jede Größenänderung. Beim Entwurf ist nur auf den veränderten Höhenmaßstab Rücksicht zu nehmen.

B. Erläuterungen zu den beigefügten Raumbildern

Die Raumbilder 1, 2a und 2b wurden gemeinsam mit G. Angenheister (Göttingen) ausgewählt. Dabei war der Gesichtspunkt maßgebend, daß man zwar vieles im Raumbild darstellen kann, daß sich aber die Konstruktion eines Raumbildes nur lohnt, wenn es sich um Vorgänge oder Gegenstände handelt, die ohne räumliche Darstellung nur schwer zu erfassen sind. Hierzu gehört die Wirkung einer störenden Masse auf die Drehwaage (Raumbild 1), die Verteilung von Zug und Stoß bei den ersten Einsätzen der P -Wellen eines Scherungsbebens (Raum-

*) Ein auf dem Prinzip des Scherenfernrohrs beruhender Apparat, mit welchem Raumbilder, deren Augenbasis nicht gleich dem Augenabstand ist, dennoch unverzerrt gesehen werden können, wird von U. Graf angegeben [11].

bild 2a) und die Herdtiefenbestimmung aus der Zug- und Stoßverteilung der ersten P -Einsätze (Raumbild 2b). Raumbild 3 (Schwerestörungen im Wiener Becken) ist beigelegt, um ein Beispiel mit Höhen- und Tiefenlinien zu zeigen.

Beim Betrachten dieser Raumbilder ist das grüne Brillenfilter vor das rechte Auge zu halten, das rote Filter vor das linke Auge. Die Augenpunkte befinden sich 20 cm vom unteren Bildrand entfernt vor der Mitte des Bildes, Augenbasis parallel zum oberen und unteren Bildrand. Die Höhe der Augen über der Tischfläche beträgt 35 cm.

Raumbild 1. Wirkung einer störenden Masse auf die Drehwaage. Vorn links (unter dem Punkt K' in der Tiefe t) befindet sich der als Kugel K dargestellte Störungskörper, der die Gewichte A und B der Drehwaage anzieht. Die diese Anziehung darstellenden dick ausgezogenen Vektorpfeile sind von A und B nach dem Mittelpunkt der Kugel K gerichtet. Der Anziehungsvektor bei A ist größer als der bei B , da die Entfernung der anziehenden Kugel vom Gewicht A kleiner ist als die Entfernung zwischen K und B .

Der gestrichelte Pfeil bei M stellt die Anziehung der Kugel K auf den Schwerpunkt M des Drehwaagegehänges dar. Diese wird durch die Aufhängung des Instruments kompensiert, tritt also nicht in Erscheinung und ist dementsprechend von den dicken Vektorpfeilen bei A und B abzuziehen. Der gestrichelte Pfeil von M wird in gleicher Größe und Richtung nach A und B übertragen (ebenfalls gestrichelt). Die dritten Seiten der Vektordreiecke bei A und B stellen dann die wirksamen Kräfte dar. Sind die Abmessungen des Instruments klein gegen die räumliche Ausdehnung der Inhomogenitäten des Schwerfeldes, so kann letzteres innerhalb der Drehwaage als linear veränderlich angesehen werden. Dann ist bei symmetrischem Bau des Instruments, d. h. wenn der Schwerpunkt M in der Mitte der Verbindungsstrecke der Gewichte A und B liegt, der gestrichelte Pfeil das vektorielle arithmetische Mittel zwischen den dick ausgezogenen Anziehungsvektoren bei A und B , die wirksamen Restkräfte bei A und B haben gleiche Größe, aber entgegengesetzte Richtung (im Raumbild 1 bei A nach links vorn unten, bei B nach rechts hinten oben) und bilden daher ein Kräftepaar. Dieses wird ersetzt durch ein Kräftepaar, dessen Angriffspunkte sich in den Enden A' und B' des waagerechten Drehwaagebalkens befinden*). Hier erfolgt die Zerlegung in folgende drei Komponenten:

1. Waagerecht in Richtung des Waagebalkens (im Raumbild bei A' nach links, bei B' nach rechts),

*) Ein solches Kräftepaar, das dem ursprünglichen in A und B angreifenden mechanisch vollkommen gleichwertig ist, gibt es im allgemeinen nicht. Gleichwertigkeit ist aber stets zu erreichen, wenn man ein passendes zusätzliches Kräftepaar hinzunimmt, das einer Drehung um $A'B'$ als Achse entspricht. Da diese für die Drehwaagemessungen bedeutungslos ist, soll es bei den folgenden Untersuchungen weggelassen werden.

2. senkrecht (im Raumbild bei A' nach unten, bei B' nach oben),
3. waagrecht, rechtwinklig auf 1. und 2. (im Raumbild bei A' nach vorn, bei B' nach hinten).

Die erste Komponente bewirkt eine geringe Dehnung oder Stauchung des Drehwaagebalkens, ist also für die Bewegung des Instruments unwirksam. Komponente 2. hat eine Kippung des Gehänges zur Folge, die aber in der Praxis nicht beobachtet wird. Die dritte Komponente endlich verursacht eine Drehung des Gehänges um eine senkrechte Achse, die so lange anhält, bis das von der Verdrehung des Aufhängefadens herrührende Drehmoment dem der dritten Komponente gleich ist und Gleichgewicht eintritt. Die Ruhelage wird in bekannter Weise beobachtet bzw. registriert.

Raumbild 2a und 2b. Verteilung von Zug und Stoß bei den ersten Einsätzen der P -Wellen eines Scherungsbebens; Bestimmung der Herdtiefe aus der Zug- und Stoßverteilung der ersten P -Einsätze. Bei den ersten Einsätzen der direkten longitudinalen Wellen von Scherungsbeben verteilen sich Zug und Stoß an der Erdoberfläche im allgemeinen derart auf vier Quadranten, die durch zwei sich in einem Punkt (Pol) schneidenden Geraden (Knotenlinien) begrenzt werden*), daß in einem Paar gegenüberliegender Quadranten Zug, im anderen Paar Stoß herrscht [15—18]. Wie diese Zug- und Stoßverteilung zustande kommt, soll Raumbild 2a erläutern.

Im Punkt H , der den Herd darstellt, wirkt ein Scherungskräftepaar, das, wie aus der Elastizitätstheorie bekannt, zwangsläufig mit einem zweiten, in derselben Ebene auf dem ersten senkrecht stehenden Kräftepaar gekoppelt ist. Die Ebene dieser beiden im Bild dick ausgezogenen Kräftepaare liegt in der Tischfläche. Das Doppelkräftepaar läßt sich durch ein Doppelpaar von Zug- und Druckkräften ersetzen, das ebenfalls im Punkt H angreift und in der Tischfläche liegt, dessen Einzelkräfte aber mit den Richtungen des ursprünglichen Scherungskräfte-Doppelpaares Winkel von 45° bilden. Das Zug-Druck-Doppelpaar ist durch dicke gestrichelte Pfeile angedeutet. Errichtet man auf der Tischfläche zwei senkrechte Ebenen (Knotenflächen) durch den Herdpunkt H und in Richtung der beiden Scherungskräftepaare (im Raumbild 2a von links vorn nach rechts hinten und von rechts vorn nach links hinten), so teilen diese den gesamten Raum in vier kongruente Teilräume. In jedem solchen Teilraum befindet sich ein gestrichelter Pfeil des Zug-Druck-Doppelkräftepaares. Denkt man sich zunächst den ganzen Raum mit schwingungsfähiger Materie erfüllt, so ist bei einem Scherungsbeben im Herd H die erste Bewegung der P -Wellen in jedem Punkt auf den Herd zu oder

*) Unter Vernachlässigung der Krümmung der Erdoberfläche (wie bei Nahbeben meist zulässig). Auf die Sonderfälle, daß der Pol im Unendlichen liegt, die Knotenlinien parallel und somit nur drei Gebiete zu unterscheiden sind, oder daß nur eine Knotenlinie und zwei Gebiete vorliegen, soll im folgenden nicht eingegangen werden.

von diesem weg gerichtet, und zwar in jedem der vier Teilräume im Sinne des in diesem Teilraum befindlichen gestrichelten Pfeiles. In dem im Raumbild 2a dargestellten Beispiel findet demgemäß im vorderen und hinteren Teilraum Bewegung vom Herd weg (Stoß) statt, im rechten und linken Teilraum hingegen Bewegung zum Herd hin (Zug)*).

Diese räumlichen Verhältnisse sind im Raumbild 2a mit Hilfe einer um den Herd als Mittelpunkt gelegten Halbkugel veranschaulicht. Die Halbkugel ist dargestellt durch drei Horizontalkreise (Grundkreis in der Tischfläche und zwei dünn ausgezogene Kreise darüber). Weiter sieht man dick ausgezogen die beiden senkrechten Schnitt-Halbkreise der beiden Knotenebenen mit der Halbkugel. Die Pfeile an den Horizontalkreisen deuten die Richtung der ersten Bewegung der longitudinalen Wellen an, wie sie bei unbegrenztem Medium stattfinden würde**). Sie ist gemäß den obigen Ausführungen vorn und hinten vom Herd weg, rechts und links zum Herd hin gerichtet. In den Knotenebenen, die die verschiedenen Teilgebiete voneinander trennen, findet keine Bewegung statt.

Im begrenzten Raum bleiben die Verhältnisse qualitativ die gleichen. Man erhält die Zug- und Stoßverteilung auf der Erdoberfläche, indem man den im Raumbild 2a dargestellten Raum durch eine die Oberfläche darstellende Ebene schneidet. Im Raumbild 2a wird diese Schnittebene im allgemeinen schief liegen, da sich die Kräftepaare in der horizontalen Tischfläche befinden und im allgemeinen die Kräftepaarebene nicht parallel zur Oberfläche ist. Im Raumbild 2a ist die Erdoberfläche als eine von hinten nach vorn abfallende Ebene dargestellt. Sie schneidet die Halbkugel in dem strichpunktiert und dick gezeichneten Kreis und die Knotenebenen in den beiden dicken Geraden, den „Knotenlinien“, die durch den „Pol“ P gehen.

Die Erdoberfläche durchschneidet im allgemeinen alle vier Teilräume. Demgemäß entstehen auf ihr vier Quadranten, die durch die Knotenlinien voneinander getrennt werden. Gegenüberliegende Quadranten weisen gleichartigen, benachbarte Quadranten ungleichen Charakter der ersten Bewegung bei den P -Wellen auf. Im vorderen und hinteren Quadranten herrscht Bewegung vom Herd weg (Stoß), im rechten und linken Quadranten Bewegung zum Herd hin (Zug). Auf den Knotenlinien findet keine Bewegung statt. Um das Bild nicht zu überlasten, wurde davon abgesehen, dies durch besondere Pfeile am strichpunktierten Kreis anzudeuten. Diese Verhältnisse sind leicht zu übersehen, wenn man sich die Bewegungsrichtungen in den vier durch die Knotenebenen erzeugten Teilräumen vergegenwärtigt.

*) Um Mißverständnisse zu vermeiden, sei besonders darauf hingewiesen, daß die den gestrichelten Pfeilen beigeschriebenen Worte „Druck“ und „Zug“ sich auf die Wirkung der Kräfte im Herd beziehen. Zug am Herd bewirkt Stoß im umgebenden Medium, Druck auf den Herd entsprechend Zug in der Umgebung.

***) Um das Bild nicht zu überlasten, sind im hinteren Teilraum die Pfeile am Grundkreis der Halbkugel weggelassen. Sie müßten nach hinten (vom Herd weg) gerichtet sein.

Fällt man vom Herd H das strichpunktiert gezeichnete Lot auf die Erdoberfläche, so ist der Fußpunkt das Epizentrum E (Mittelpunkt des strichpunktierten Schnittkreises zwischen Oberflächenebene und Halbkugel). Die gestrichelte Verbindungslinie des Pols P mit dem Epizentrum E ist wichtig für die graphische Bestimmung der Herdtiefe nach H. Gräfe [18].

Die Knotenlinien schneiden sich im allgemeinen im Pol P nicht rechtwinklig. Das Epizentrum E liegt im spitzen Winkelraum.

Besondere Spezialfälle (mit sich rechtwinklig schneidenden Knotenlinien, parallelen Knotenlinien oder nur einer Knotenlinie), die bei bestimmter Lage der Kräftepaare in bezug auf die Erdoberfläche auftreten, sollen nicht besprochen werden. Sie sind eingehend von H. Gräfe [18] untersucht und bieten hier nur wenig Interesse, da bei ihnen entweder die Bestimmung der Herdtiefe nicht möglich oder so einfach ist, daß die dabei gültigen räumlichen Beziehungen leicht zu übersehen sind und sich eine Darstellung im Raumbild erübrigt.

Die für die von H. Gräfe in der Zeitschrift für Geophysik **10**, 23—26 (1934) angegebene Herdtiefenbestimmung in Betracht kommenden räumlichen Beziehungen sind im Raumbild 2b dargestellt, das genau der Fig. 11a von H. Gräfe entspricht. Es entsteht aus dem oben ausführlich besprochenen Raumbild 2a durch Weglassung der Halbkugel, die ja nur zur räumlichen Darstellung der durch die Knotenebenen entstehenden Teilräume gebraucht wurde, und durch Drehung, so daß jetzt die Erdoberfläche in die Tischfläche fällt. H , P und E sind wie im Raumbild 2a Herd, Pol und Epizentrum. Die übrigen Punkte sind die gleichen wie die mit denselben Buchstaben bezeichneten in der Abb. 11a von H. Gräfe. Neu hinzu kommen die punktierten Linien HB' und HC' , die die Richtungen der im Herd H angebrachten Scherungskräftepaare angeben. Sie stehen im Raum rechtwinklig aufeinander und auf der Verbindungsgerade HP des Herdes mit dem Pol, dem Schnittpunkt der dick ausgezogenen Knotenlinien auf der Erdoberfläche. Das im Raumbild 2a gestrichelt gezeichnete Zug-Druck-Doppelkräftepaar ist weggelassen, um nicht zuviel in das Bild zu zeichnen. Die Zugpfeile müßten ungefähr oben und unten angebracht werden, die Druckpfeile rechts und links. Die an der Oberfläche nach H hin oder von H weg zeigenden Pfeile geben nach Größe und Richtung die Bodenbewegung der ersten ankommenden P -Welle an, ohne Rücksicht auf die Änderungen, die durch Überlagerung mit den an der Oberfläche entstehenden reflektierten Wellen eintreten. Hierdurch wird zwar Richtung und Größe der Bodenbewegung beeinflußt, eine Veränderung des Charakters als Zug oder Stoß tritt jedoch nicht ein.

Durch das Epizentrum E wird eine Ebene senkrecht zur Verbindungslinie HP des Herdes mit dem Pol gelegt. Sie schneidet die Knotenlinien und die Gerade HP in den Punkten B , C und D . Demnach steht BC senkrecht auf PE und ED senkrecht auf PH . Da die Knotenebenen PHB' und PHC' einen rechten Winkel einschließen, ist auch der Winkel BDC im Raum ein rechter. DB und DC sind parallel zu HB' und HC' .

Hieraus ergibt sich folgender Weg für die Bestimmung der Herdtiefe: Nachdem aus der Zug- und Stoßverteilung an der Erdoberfläche die Knotenlinien und ihr Schnittpunkt P bestimmt sind, errichtet man im ebenfalls als bekannt angenommenen Epizentrum E das Lot BC auf PE . Sodann wird das bei D rechtwinklige Dreieck BDC mit dem Höhenfußpunkt E konstruiert und schließlich das bei E rechtwinklige Dreieck HEP , in welchem die aus dem vorher konstruierten Dreieck zu entnehmende Strecke DE die Höhe auf die Hypotenuse darstellt. Im Dreieck HEP ist die Kathete HE die gesuchte Herdtiefe. Die praktische Ausführung der Konstruktion ist von H. Gräfe [18] in allen Einzelheiten beschrieben.

Raumbild 3. Schwerestörungen im Wiener Becken. Dieses Bild ist gedacht als Beispiel für die parallelperspektivische räumliche Darstellung von Höhenlinien. Es stellt die Linien gleicher Bougueranomalien im nördlichen Wiener Becken dar und ist entworfen nach einem Ausschnitt der Karte von G. Siemens [19], die die Ergebnisse neuerer Gravimetermessungen im deutschen Teil des Wiener Beckens wiedergibt.

Der Abstand der ausgezogenen Linien entspricht 10 Milligal. Dazwischen sind kurz gestrichelt 5 mgal-Linien eingeschaltet. Unsichere Linienführung bei den 10-mgal-Linien ist durch längere Strichelung angedeutet.

Das Niveau der gesamten Schwerewerte wurde so gewählt, daß die niedrigsten Werte in den negativen Bereich fallen. Eine allen Stationen gemeinsame additive Konstante ist noch unbestimmt.

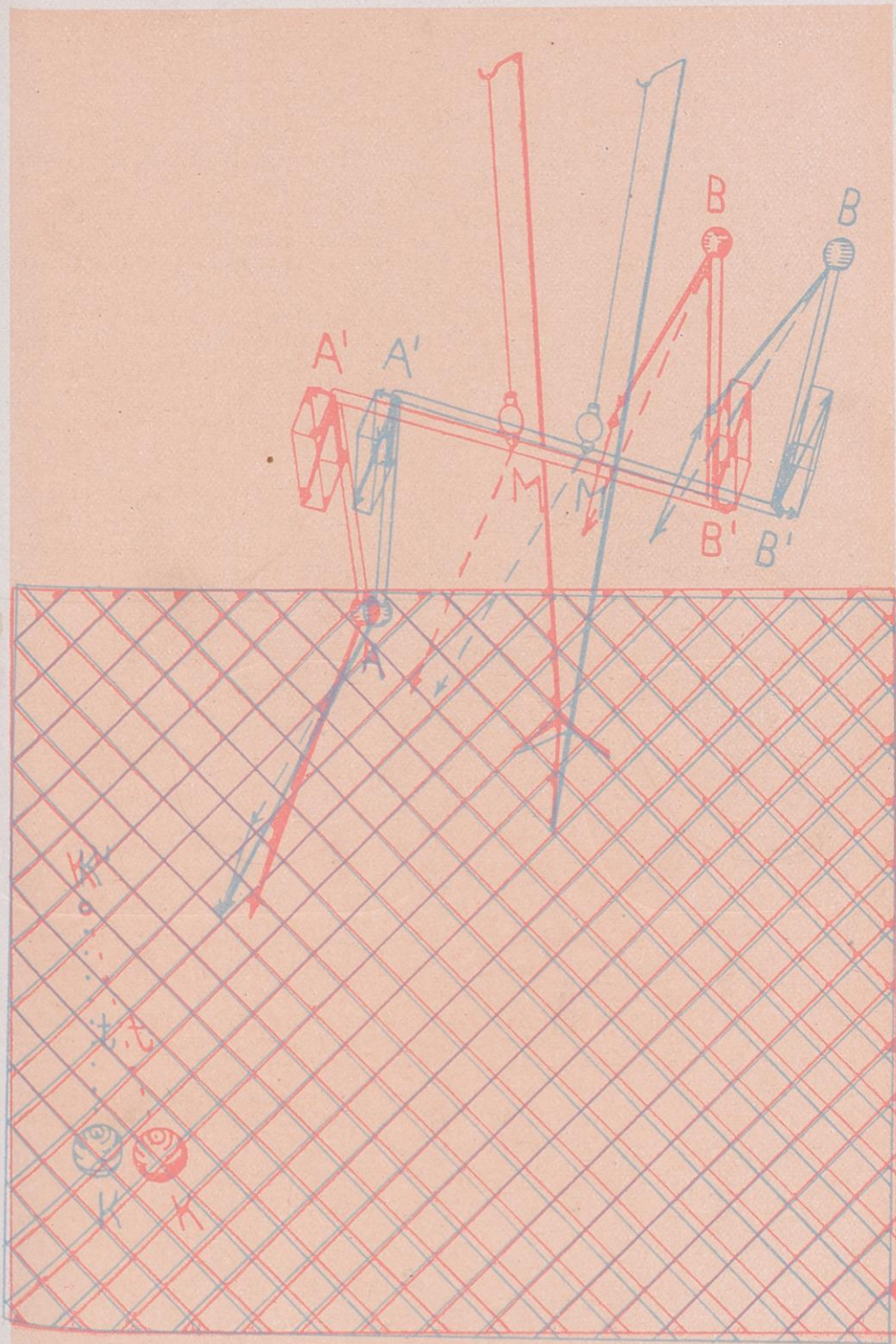
Da nach den Ausführungen von G. Siemens das Schweredefizit des Wiener Beckens im wesentlichen von der im Vergleich zu den Gesteinen des Alpenkörpers leichten Tertiärausfüllung des Beckens herrührt, gibt das Schwerebild in großen Zügen das Relief des Beckenuntergrundes wieder. In dem im Raumbild 3 dargestellten Ausschnitt ist die Querschwelle bei Mitterndorf bemerkenswert, die im Osten anscheinend mit dem Leitha-Gebirge in Verbindung steht. Sie trennt das im Süden gelegene Becken von Wiener-Neustadt als selbständige Einheit vom eigentlichen Wiener Becken ab. Als weitere auffällige Erscheinung ist südlich Wien das Schwerehoch von Oberlaa-Achau zu erwähnen. Es entspricht einem geologisch bekannten Horst. Der steile Grädiert im Osten fällt mit dem Leopoldsdorfer Sprung zusammen. Eine Beziehung zwischen dem Horst von Oberlaa-Achau und der Mitterndorfer Schwelle besteht nicht.

Bezüglich weiterer Einzelheiten muß auf die Originalabhandlung von G. Siemens verwiesen werden.

Zum Schluß danke ich Herrn Prof. Dr. G. Angenheister (Göttingen) für seine freundliche Mitwirkung bei der Auswahl der Raumbilder und für die Begutachtung der ersten Entwürfe, Herrn Bergvermessungsinspektor H. Hoffmann (Oberbergamt Clausthal) für die Ausführung der Reinzeichnungen, vor allem aber der Deutschen Forschungsgemeinschaft für ihren Beitrag zu den Druckkosten der Anaglyphenbilder.

Schrifttum

- [1] J. Bartels: Geophysical Stereograms. Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity, September 1931.
- [2] O. Köhler, U. Graf, C. Calov: Mathematische Raumbilder. Berlin 1938.
- [3] O. Köhler, U. Graf, C. Calov: Mathematisch-naturwissenschaftliche Raumbilder. Dresden, Verlag L. Ehlermann. — Bisher erschienen Reihe A: Mathematische Raumbilder, Mappe I bis VI.
- [4] O. Rellensmann u. H. Jung: Das Anaglyphen-Raumbild als Hilfsmittel für die Veranschaulichung bergmännischer Aufgaben. Glückauf **75**, 530—533 (1939).
- [5] O. Rellensmann: Die Bedeutung des Anaglyphen-Raumbildes für das Grubenrißwesen im Erzbergbau. Metall und Erz **37**, Heft 12 (1940).
- [6] M. Linhard: Die räumliche Darstellung von physikalisch-chemischen Prozessen von Schmelz- und Reduktionsvorgängen nach dem Anaglyphenverfahren. Ebenda **37**, Heft 12 (1940).
- [7] H. Jung: Das Anaglyphen-Raumbild in Unterricht, Wissenschaft und Technik. Natur und Volk (Senckenbergische Gesellschaft, Frankfurt a. M.) **72**, 100—118 (1942).
- [8] Rißmuster für Markscheidewesen. Herausgeg. vom Fachnormenausschuß für Bergbau (Faberg). Essen, Verlag Glückauf G. m. b. H., 1942.
- [9] H. Vuibert: Les anaglyphes géométriques. 3. Aufl. Paris, Librairie Vuibert, Boulevard St. Germain 63, 1912.
- [10] U. Graf: Anaglyphenbilder und Reliefperspektive. Deutsche Mathematik **3**, 438 (1938).
- [11] U. Graf: Anaglyphenbilder als Affin- und Projektivmodelle. Ebenda **4**, 432—448 (1939).
- [12] U. Graf: Anaglyphenbilder aus parallelprojizierten Teilbildern. Ebenda **5**, 317—321 (1940).
- [13] U. Graf: Der Einfluß des Horizontal-Parallaxen-Fehlers bei Anaglyphendruckern. Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie **1**, 199—202 (1940).
- [14] U. Graf: Konstruierte Anaglyphen. Bildmessung und Luftbildwesen **16**, 59—66 (1941).
- [15] A. E. H. Love: Mathematical Theory of Elasticity. 4. Aufl., S. 82 und 304.
- [16] M. Hasegawa: Die erste Bewegung bei einem Erdbeben. Gerlands Beitr. z. Geophys. **27**, 102 (1927).
- [17] H. Gräfe: Das Nordtiroler Beben vom 8. Oktober 1930, II. Teil (Die Kräfte im Herd des Bebens). Zeitschr. f. Geophys. **9**, 31—43 (1933). (Seismische Untersuchungen des Geophysik. Instituts in Göttingen, Nr. VIII.)
- [18] H. Gräfe: Über die Deformation der Erdoberfläche durch Scherungskräfte im Herd von Erdbeben. Ebenda **10**, 17—26 (1934). (Seismische Untersuchungen des Geophysik. Instituts in Göttingen Nr. XIV.)
- [19] Günter Siemens: Das Schwerebild des Wiener Beckens. Beitr. zur angew. Geophysik **8**, 227—242 (1940).
-



Plastoreoskopdruck DRP 701 167

Raumbild 1. Wirkung einer störenden Masse auf die Drehwaage.

