

Paper-ID: VGI_194814



Über Stereogramme in der Kartographie

Leonhard Brandstätter

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **36** (5–6), S. 128–139

1948

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Brandstaetter_VGI_194814,  
Title = {\U}ber Stereogramme in der Kartographie},  
Author = {Brandst{"a}ttter, Leonhard},  
Journal = {\O}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessungswesen},  
Pages = {128--139},  
Number = {5--6},  
Year = {1948},  
Volume = {36}  
}
```



es im Muster 46 des B. A. f. E. u. V. vorgesehen ist. Die Kontrollrechnung erfolgt infolge des raschen Arbeitslaufes am einfachsten durch unabhängiges, zweifaches Rechnen.

Koorapid hat nicht die Aufgabe zu erfüllen, die Rechenmaschinen zu verdrängen, sondern soll im modernen Vermessungswesen eine empfundene Lücke schließen und wieder einen Beitrag Österreichs für den allgemeinen Fortschritt bedeuten.

Obwohl sich auch ausländische Firmen um das Erzeugungsrecht bewarben, übertrugen es die Patentinhaber der bekannten Wiener Firma R. u. A. R o s t, welche nunmehr den Apparat sowohl für Altgrad- als auch für Neugradteilung herstellt.

Über Stereogramme in der Kartographie

Von Dipl.-Ing. L. Brandstätter

A. Stereo-Luftbild und Stereogramm

Eine stereoskopische Darstellung kann als eine kartographische Darstellung angesprochen werden, wenn neben dem selbstverständlichen geographischen Inhalt einige innere Bedingungen und eine äußere Bedingung erfüllt sind. Die inneren Bedingungen lauten: Horizontierung, geographische Orientierung und geometrisch-sachliche Erläuterung des plastischen Erscheinungsbildes. Die äußere Bedingung ist die unbegrenzte Reproduzierbarkeit der Darstellung.

Zwei Arten stereoskopischer Darstellungen sind in der zeitgemäßen Kartographie von Bedeutung. Die eine Art gründet sich auf das Stereo-Luftbild, die andere auf das handgezeichnete Stereogramm. Jede Art kennen wir in verschiedenen Entwicklungsformen.

Die gestuften Formen des phototechnischen Weges sind:

1. Das Luftbildpaar aus genäherten Senkrechtaufnahmen. Die Betrachtung durch das Spiegelstereoskop ergibt ein annähernd horizontiertes, annähernd orientiertes, nicht erläutertes Modell.

2. Das Luftbildpaar aus umgebildeten strengen Senkrechtaufnahmen; Betrachtung durch das Spiegelstereoskop oder Herstellung von Anaglyphendruckten (bzw. -kopien) und Betrachtung durch die Anaglyphenbrille; Modell erscheint exakt horizontiert und annähernd orientiert.

3. Der Raumbildplan; Anaglyphen-Mosaik aus horizontierten und orientierten Modellblöcken; unbeschränkter Umfang, keine Erläuterung.

4. Die Raumbildkarte; wie vorhin mit Beschriftung und Kartengitter¹⁾. Sie ist die vollendetste Form phototechnischer kartographischer Darstellungen.

¹⁾ Vgl. H. Kasper: „Der Raumbildplan, eine neue Form kartographischer Darstellung“; Zeitschrift „Industrie und Technik“ 1947.

Die Anschaulichkeit und die Naturtreue aller Darstellungen, die sich auf das Stereo-Luftbild gründen, kann durch kein anderes Darstellungsverfahren überboten werden. Für die Erdwissenschaften sind daher Stereo-Luftbilder unentbehrliches Grundlagen- und Forschungsmaterial.

Dennoch fällt auch dem handgezeichneten Stereogramm eine wichtige Rolle zu. Sein Gebiet ist die vereinfachte Zweckdarstellung, die Erläuterung der Höhe, das Sichtbarmachen des Unsichtbaren. Besondere Aufgaben stellt die angewandte Kartographie mit der Veranschaulichung von Vorgängen auf der Erdoberfläche in ihrer zeitlich-räumlichen Bedingtheit. Hier steht für das Stereogramm noch manche Entwicklungsmöglichkeit offen.

B. Formen und Wirkungsweise der Stereogramme

Bekanntlich entsteht ein stereoskopisches Bild, wenn von ein und demselben Gegenstand dem rechten Auge eine Ansicht etwas von rechts, dem linken Auge eine Ansicht etwas von links, gleichzeitig getrennt und im Sinne der Aufnahme orientiert zugeführt wird. Beide Ansichten müssen in annähernd gleichem Bildmaßstab und mit etwas konvergenten oder gleichgerichteten Bildachsen aufgenommen oder gezeichnet sein. Die gedachte Verbindungsstrecke zwischen den Aufnahmepunkten heißt *Basis*. In der Aufnahme-richtung weisen die Teilbilder Verschiebungen — *Parallaxen* — auf, welche bewirken, daß sich die Sehstrahlen zu den identen Punkten im Raume schneiden. Verschiedenheiten quer zur Basisrichtung (*Querparallaxen*) verursachen Verschmelzungsstörungen.

Stereogramme können entweder als Doppelbilder für die Betrachtung durch Linsengeräte oder als Anaglyphen ausgebildet werden. In der Konstruktion ergeben sich keine wesentlichen Unterschiede.

Das Spiegelstereoskop, das größte der gebräuchlichen Linsengeräte, beschränkt die Darstellung auf das Format von etwa 26×26 cm. Ein Bildpaar im Äußerstformat kann mit einer mittleren Betrachtungsstellung nur schwer ganz überblickt werden. Es ist möglich, Schwarz- und Halbtonzeichnungen sowie auch farbige Darstellungen zu betrachten. Besonders überzeugend plastisch erscheinen Negative von Schwarzzeichnungen am Leuchttisch.

Beim Anaglyphenverfahren werden die beiden Teilbilder in rot und blaugrün übereinander gedruckt oder kopiert und mit der komplementärfarbigem Anaglyphenbrille betrachtet. Die Bildtrennung wird also durch Farbfilterung bewirkt. Anaglyphen sind unabhängig vom Format und ergeben selbst aus sehr schräger Betrachtungsrichtung heraus noch ein plastisches Bild. Sie eignen sich daher auch für die plastische Projektion, die einem größeren Zuschauerkreis plastische Bilder vermittelt. Die Betrachtungsweise ist überlegen einfach, doch ändern sich die Erscheinungsbilder mit der Änderung der Betrachtungsstellung²⁾. Die Komplementärfarbfilterung läßt nur Erscheinungsbilder in der Grauskala zu.

²⁾ U. Graf: „Über das subjektive Erscheinungsbild bei der plastischen Projektion“; Zeitschrift für Instrumentenkunde 1943.

Nach U. Graf unterscheiden wir *e c h t e* und *u n e c h t e* Stereogramme. Ein *e c h t e s* Stereogramm erzielt man durch Verschmelzung konstruierter zentralperspektivischer Teilbilder³⁾; ein *u n e c h t e s* Stereogramm entsteht durch Vereinigung parallelperspektivischer Teilbilder⁴⁾.

Beide Konstruktionsformen ergeben in der Betrachtung meistens verzeichnete Modelle, d. h. die Erscheinungsbilder sind gegenüber dem Objekt nicht nur ähnlich verkleinert, sondern auch in anderer Weise deformiert. Das Erscheinen eines streng raumtreu veränderten Modells ist an folgende Bedingungen geknüpft:

1. Es müssen zentralperspektivische Teilbilder vorliegen.
2. Die Betrachtung muß in den Bildachsen erfolgen.
3. Die ursprünglichen Strahlenwinkel dürfen bei der Betrachtung nicht verändert werden.

Diese Bedingungen werden recht selten erfüllt. Im Fall der Konstruktion unechter Stereogramme begeben wir uns völlig der Möglichkeit, raumtreue Modelle zu erhalten.

In der Kartographie handelt es sich zumeist um Darstellung sehr verwickelter Raumgebilde und die Konstruktion zentralperspektivischer Teilbilder ist zwar möglich, aber schwierig und langwierig. Sie erfordert eine mit der Höhe hyperbolisch zunehmende Maßstabs- und Parallaxenfolge. Stereogramme dienen in erster Linie der Anschauung. Modellverzeichnungen fallen daher nicht so sehr ins Gewicht. Das unechte Stereogramm kommt für kartographische Zwecke vorwiegend in Frage. Die Konstruktionsweise ist denkbar einfach: Der Maßstab bleibt in allen Höhenlagen derselbe und die Parallaxen werden den Höhen linear proportional gesetzt.

Gemäß der A. Gahnschen Systematik (1940) verarbeiten wir Grundrisse zu folgenden Stereogrammformen:

a) zu *L o t s i c h t - S t e r e o g r a m m e n*, gewonnen aus je um die halbe Parallaxe entgegengesetzt verschobenen Teilbildern (Vereinigung zweier klinogonaler Projektionen);

b) zu *S t e i l s i c h t - S t e r e o g r a m m e n*, gewonnen aus dem Normalgrundriß und einem um die volle Parallaxe verschobenen Teilbild (Vereinigung einer orthogonalen und einer klinogonalen Projektion; einfachste Konstruktionsweise);

c) zu *S c h r ä g s i c h t - S t e r e o g r a m m e n*, gewonnen aus zwei schiefaxonometrischen, parallaktisch verschobenen Teilbildern (räumliche Kavalierperspektive).

³⁾ Siehe „Mathematische Raumbilder“ von O. Köhler, U. Graf und C. Calov; Verlag L. Ehlermann, Dresden 1940.

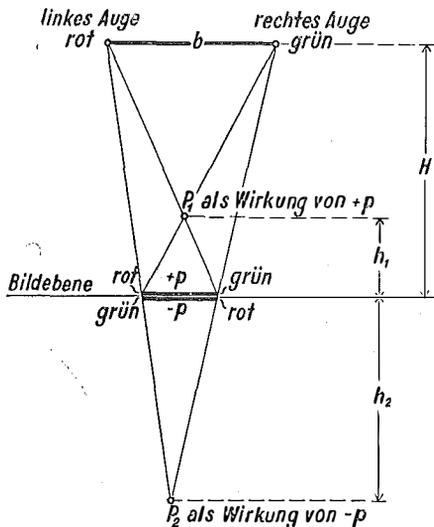
⁴⁾ Vgl. C. Calov: „Geometrisch-physiologische Grundlagen der Konstruktion parallelperspektivischer Geländestereogramme“; Allgemeine Vermessungsnachrichten, Berlin 1939/40.

Aus der Mißachtung der zentralperspektivischen Gesetze bei der Konstruktion der Teilbilder erhalten wir verkehrt perspektivisch wirkende Modelle: Parallele Raumgrade erhalten ihren Fluchtpunkt in der zur Bildebene parallelen Betrachtungsebene (Verschwindungsebene); der Modellgrund erscheint an Ausdehnung und relativer Höhe vergrößert, der Modellfirst dementsprechend verjüngt und gedrückt. Die Raumwirkung nimmt in der Richtung zum Auge ab. Der Modellmaßstab ist uneinheitlich. Durch Darstellung genügender geometrisch ausgezeichnete Linien kann die verkehrt perspektivische Wirkung, wenn schon nicht tatsächlich, so doch in der Vorstellung behoben werden.

C. Parallaxe und Maßstab

Wir denken uns die Parallaxen zusammengesetzt aus einem festen Grundwert und aus wechselnden Werten, die von diesem Grundwert weg wirken. Ersterer, die Stellungsparallaxe p_0 , bestimmt die räumliche Stellung des Gesamtmodells zur Bildebene, letztere, die Parallaxenunterschiede Δp , entscheiden über die Plastik des Modells an sich.

Abb. 1 erläutert die Parallaxenwirkung am Anaglyphenbild.



- b = Augenbasis
- p = Parallaxe
- H = Betrachtungshöhe
- h_1 = Höhe des Punktes P_1
- h_2 = Höhe des Punktes P_2

Abb. 1

Aus ähnlichen Dreiecken ersehen wir, daß die vorgegebene Parallaxe $+p$, bzw. $-p$ umgemünzt wird zur Höhe über der Bildebene

$$h_1 = \frac{H \cdot p}{b + p}, \text{ bzw. zur Höhe unter der Bildebene } h_2 = \frac{H \cdot p}{b - p}$$

(anaglyphische Höhenformel). Die Parallaxe p erzeugt einen virtuellen Bildpunkt vor der Bildebene, wenn rot und grün bezüglich der Farbe der Betrachtungsfilter parallel liegen; die Parallaxe p erzeugt einen virtuellen Bildpunkt hinter der Bildebene, wenn die Farben gekreuzt liegen. Ist $p = 0$, bleibt der Bildpunkt in der Bildebene haften.

Als Stellungsparallaxe p_0 erklären wir den Abstand, den der tiefste Modellpunkt von Teilbild zu Teilbild aufweist. Je nach der Größe von p_0 unterscheiden wir am Anaglyphenbild mehrere charakteristische Fälle:

1. $p_0 = 0$; das Modell erscheint über der Bildebene aufgebaut; Hochmodell.
2. p_0 ist gleich der Parallaxe der gesamten Modellhöhe p_M , Farben gekreuzt; das Modell erscheint unter die Bildebene hinein versenkt; der höchste Modellpunkt liegt in der Bildebene; Tiefmodell.
3. $p_0 = p_M/2$, Farben gekreuzt; das Modell erscheint teils über, teils unter der Bildebene; Hochtiefmodell.
4. Ein p_0 mit parallelen Farben läßt das Modell über der Bildebene schweben; Schwebemodell.

Analoges ergibt sich für Linsengeräte.

Liegen zwei idente Punkte des Bildpaares genau im Abstand der optischen Betrachtungsachse, so entsteht ein virtueller Bildpunkt in der Bildebene. Ist der Abstand identer Punkte kleiner als der Achsenabstand, schwebt der Bildpunkt über der Bildebene; bei größerem Abstand taucht der Bildpunkt unter die Bildebene.

Am Spiegelstereoskop von Zeiß-Aerotopograph beträgt der Abstand der optischen Betrachtungsachsen 26 cm. Hier gilt:

1. $p_0 = 26 \text{ cm}$ Hochmodell.
2. $p_0 > 26 \text{ cm}$ Hochtief- oder Tiefmodell.
3. $p_0 < 26 \text{ cm}$ Schwebemodell.

Durch bloßes Verschieben der Teilbilder im Sinne der Basis ändert sich die vertikale Stellung des Gesamtmodells und, wie H. Kasper gezeigt hat, auch der virtuelle Modellmaßstab, welcher mit der Modellentfernung wächst.

Die Stellungsparallaxe wählen wir am besten so, daß das Modell möglichst in der deutlichen Sehweite (25–30 cm) erscheint. Es wird dadurch eine allgemein günstige Konvergenzstellung der Augachsen erzielt.

Das Modell soll aber auch in optimaler Plastik entstehen. Damit erhebt sich die Frage: Welchen äußersten Parallaxenunterschied vermögen wir störungsfrei stereoskopisch zu verschmelzen?

Entscheidend ist nicht so sehr die Größe der Parallaxenunterschiede an sich, als vielmehr ihre Veränderungsgeschwindigkeit. Die Parallaxenunterschiede zwingen die Augen zu dauerndem Konvergenz- und Akkommodationswechsel. Wenn dieser Wechsel allzu plötzlich verlangt wird, entstehen Störungen in Gestalt von Doppelbildern.

Die Erfahrung mit Luftbildern in der Spiegelstereoskop- oder Anaglyphenbetrachtung lehrt, daß die Summe aller Parallaxenunterschiede vom tiefsten bis zum höchsten Punkt $\Sigma \Delta p$ im Fall allmählicher Überleitungen bis zu 25 mm betragen darf⁵⁾. Je sprunghafter der Höhenwechsel erfolgt, desto

⁵⁾ Ein Beispiel: Flughöhe über Grund 6000 m, Aufnahmekammer 20/30/30, Überdeckung 60%, Bildmaßstab in der Grundebene 1:30.000. Ein 1000 m hoher Berg erzeugt unter diesen Bedingungen in der Grundebene einen Parallaxenunterschied von 24 mm. Die stereoskopische Verschmelzung dieser Parallaxenspanne bereitet keine Schwierigkeiten, wenn sich der Berg nicht allzu steil aus der Ebene erhebt.

schwerer fällt es, Parallaxenspannen, d. h. also Konvergenzdifferenzen, einwandfrei als Höhenunterschiede wahrzunehmen. C. Calov gibt eine maximale Konvergenzdifferenz von $\delta_{\max} = 70'$ an (Abb. 2). Hiernach errechnen wir die

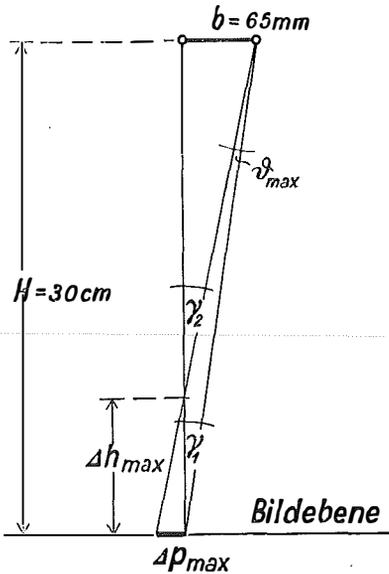


Abb. 2

äußerste Parallaxenspanne für sprunghafte Höhenunterschiede mit $\Delta p_{\max} = 6,42 \text{ mm}$.

Wie groß die von diesen Parallaxenspannen bewirkten virtuellen Höhenunterschiede am Modell wirklich erscheinen, das interessiert nur am Rande. Mangels eines einheitlichen Maßstabs am unechten Stereogramm kommt es vorwiegend nur darauf an, die Grenzspannen nicht zu überschreiten.

Zweckmäßig wählen wir den Parallaxenunterschied zwischen dem höchsten und dem tiefsten Modellpunkt kleiner als 20 mm . Die Unterteilung dieses Betrages in viele gleiche Einheiten ergibt den parallaktischen Verschiebemaßstab für in sich gleiche Höheneinheiten. Plötzliche Höhenunterschiede dürfen keine größeren Verschiebungen als etwa 6 mm erzeugen. Andernfalls sind der Grundlagenmaßstab und der Verschiebemaßstab zu verringern.

Beachtung verdient der Maßstabschwund am unechten Modell in der Richtung zur Betrachtungsbasis. Am Anaglyphen-Hochmodell mit den Ausgangswerten: Stellungsparallaxe = 0, Augenbasis = 65 mm , Modellhöhe = 100 mm (als Wirkung von $\Sigma \Delta p = 25 \text{ mm}$ bei einer Betrachtungshöhe von 360 mm) beträgt nach einer Berechnung des Verfassers der virtuelle Maßstab in der Ebene der Modellhöhe nur 72% vom Maßstab in der Bildebene (hier der Grundlagenmaßstab); der Maßstabsschwund ist somit 28% . — Bilden wir die gleiche Anaglyphenzeichnung durch einfache Änderung der Stellungsparallaxe als Tiefmodell aus, so erhalten wir am Modellfirst den Grundlagenmaßstab und am Modellgrund den virtuellen, mehr als 1.6-fachen Grundlagenmaßstab; der Maßstabschwund vom Grund zum First beträgt hier $37,5\%$!

Daraus schließen wir:

1. Hochmodelle wirken günstiger als Tiefmodelle.
2. Kleinerer Maßstab mildert Parallaxenspannen und innere Verzeichnungen.

D. Darstellungsprinzipien

Wo dreidimensionale Gebilde darzustellen sind, fällt der Kartographie allgemein eine doppelte Aufgabe zu: Sie hat einerseits den Ablauf der dritten Dimension bildlich vor Augen zu führen, andererseits diesen Ablauf genügend geometrisch zu erläutern. Liegen verwickelte Fälle vor, ist es schwierig, beide

Aufgaben gleichgewichtig zu lösen. In der ebenen Kartographie gibt man daher bald dem einen, bald dem anderen Gesichtspunkt den Vorrang. Die Stereokartographie, deren Einsatz sich ja nur in darstellerisch verwickelten Fällen lohnt, läßt eine gleichgewichtige Lösung beider Aufgaben zu, doch muß mit anderen Prinzipien als den bisher in der ebenen Kartographie üblichen darauf hingearbeitet werden.

a) Die bildliche Aufgabe

Ein optisches Modell entsteht als Folge der möglichst lückenlosen parallaxtischen Punktfixierung. Mit totaler parallaxtischer Punktfixierung arbeitet nur das gut durchgezeichnete Stereo-Lichtbild⁶⁾. Handgezeichnete Stereogramme müssen sich von vorneherein beschränken auf die dürftigste Andeutung des Raumes durch gewisse hervorstechende Punkte und Linienzüge. Der Kunstkniff der Stereokartographie besteht im wesentlichen darin, den Raum mittels l e e r e r Flächen vorzutäuschen.

Das totalparallaxtische Stereo-Lichtbild weist den Weg. Untersuchen wir z. B. ein senkrecht aufgenommenes Stereo-Luftbild auf das Zustandekommen seiner Plastik, so beobachten wir, daß sich die Plastik nach bestimmten Kraftlinien zu entwickeln beginnt. Erst dann, wenn sich d i e s e Linien überzeugend mitgeteilt haben, findet das Tausenderlei dazwischen ebenfalls seine eindeutige räumliche Ordnung. An dieses gestaffelte Werden eines totalparallaxtischen Modells knüpfen wir ein Gedankenexperiment: Könnten wir alles sekundär Erscheinende weglöschen, so bräche das Modell keineswegs zusammen, sondern es bliebe das Gerüst der plastischen Kraftlinien bestehen und die „Luft“ dazwischen würde unsere Phantasie ohne weiteres sinnentsprechend in die bereits erzwungene Raumvorstellung mit hineinbauen. Ein solches Modell bestünde zweifellos aus dem bildlichen Minimum, dem wir zuzustreben haben.

Die Natur der plastischen Kraftlinien ist leicht zu ergründen. Wir finden überall da den ersten räumlichen Halt, wo sich Flächen ändern. Je plötzlicher die Flächenänderung vor sich geht, desto mehr plastische Kraft strahlt von ihr aus. Am klarsten steht die scharf ausgeprägte Kante vor uns. Die Kraftlinien der Plastik sind also ident mit den Flächenübergängen. Wir fassen sie unter dem Begriff *Ü b e r g a n g s l i n i e n* zusammen.

Es ist klar, daß ein bildliches Minimum in der Stereodarstellung nur durch direkte Wiedergabe der Übergangslinien erreicht werden kann. Die wichtigste Rolle spielen naturgemäß die ausgesprochenen Kantenlinien. Wir müssen sie mit scharfer Linie nachzeichnen. Die milderer Übergänge kennzeichnen wir je nach ihrer Ausprägung mittels abgestufter Halbtonstreifen. Auf diese Weise gelangen wir zu einem in der Kartographie neuen Darstellungsprinzip, welches wir allgemein als das *K a n t e n p r i n z i p* bezeichnen wollen.

⁶⁾ Zeichnungslose Flächen, wie Schnee, Wasser, Schatten usw. löschen am Stereo-Lichtbild den meßbaren Raumeffekt partiell aus.

Übergangslinien sind in der Regel Linien veränderlicher Parallaxe und ihre stereographische Darstellung setzt die raumgeometrische Fixierung des abzubildenden Körpers voraus. Daß a l l e i n mit dem Kantenprinzip der bildliche Teil unserer Aufgabe gelöst werden kann, beweist die Beilage I.

b) Die geometrische Aufgabe

Die Ausstattung des Modells mit den erforderlichen Höhendaten geschieht mittels Linien konstanter Parallaxe. Im weiteren kartographischen Sinne können dies die verschiedensten Linien sein, wie Isohypsen, Isothermen, Isogonen, Isobaren usw. Räumlich werden sie alle irgendwie als Höhenlinien aufgefaßt.

Das Schichtlinienprinzip der ebenen Kartographie „je steiler, desto mehr Liniengedränge“ verliert an Geltung⁷⁾. Kraft der räumlichen Linienstaffelung kommt das „steiler“ und „flacher“ auch zum Vorschein, wenn wir Höhenlinien in unregelmäßigen vertikalen Abständen zeichnen. Die Liniendichte wird von zwei Gesichtspunkten her bestimmt: 1. Die Höhe soll möglichst durchlaufend in Zahlen ablesbar sein; 2. größere Flächen geringster Änderung sind mittels Höhenlinien oder anderer Linien konstanter Parallaxe genügend räumlich festzulegen.

Als Maß für die Höhenfolge der Linien legt man sich eine den vorherrschenden Neigungen gemäße Äquidistanz zurecht und ändert von dieser Mitte aus die Liniendichte, wenn sich die Neigung den Extremen nähert.

Die Näherung an die Horizontale würde einen Mangel an äquidistanten Linien hervorrufen. Um größere Flächen ohne parallaktischen Halt zu vermeiden, ist hier die Linienfolge zu verdichten. In der idealen Ebene bringen wir F a n g l i n i e n an, das sind willkürliche Linien konstanter Parallaxe.

Die Näherung an die Vertikale würde hingegen ein Gedränge äquidistanter Linien erzeugen. Wir werden Liniengedränge jedenfalls vermeiden und Steilwände überhaupt von Höhenlinien freihalten. Unsere Phantasie füllt die „Luft“ in der Steilwand ohne weiteres sinngerecht aus.

Hiermit ist das H ö h e n l i n i e n p r i n z i p der stereographischen Darstellung bereits umrissen. Es lautet zusammengefaßt: Je flacher, desto mehr Linien; je steiler, desto weniger Linien; an Abstürzen grundsätzlich „Luft“, (Beilage II).

c) Die Vereinigung

Übergangslinien wirken im Stereogramm bildlich primär und geometrisch, weil in der Höhe nicht erläutert, sekundär. Höhenlinien wirken hingegen geometrisch primär und bildlich, weil Übergangslinien nur indirekt andeutend, sekundär. Die Vereinigung beider Liniengruppen ergibt für viele Zwecke eine ideale kartographische Darstellungsweise.

⁷⁾ Wir unterscheiden Schichtlinien und Höhenlinien folgend: Schichtlinien sind Linien gleicher Höhe in konstanten vertikalem Abstand (Äquidistanz), Höhenlinien sind Linien gleicher Höhe in unregelmäßigen vertikalen Abständen.

E. Die Ordnung des Raumes

Stereogramme ermöglichen nicht nur verwickelte Oberflächen räumlich darzustellen, sondern darüber hinaus, räumliche Abläufe gleichzeitig in mehreren Lagen übereinander sichtbar zu machen. Allerdings müssen einige optisch-physiologische Voraussetzungen beachtet werden.

Drucken wir auf den Druck einer einfachen, einwandfrei durchgezeichneten Geländeanaglyphe dieselbe noch einmal verkehrt darauf, so erhalten wir aller Voraussicht nach eine oder mehrere krummflächig begrenzte Vollraum-linsen. Betrachtend müssen wir jedoch feststellen, daß das räumliche Erfassen dieses ungewohnten Körpers Schwierigkeiten bereitet. Es gelingt nur schwer, eine Fläche für sich allein zu erfassen; es gelingt nicht, durchgehends beide Flächen zugleich aufzunehmen, und auch nicht, die räumliche Linsenverschneidung abzulesen. Verfolgen wir möglichst zwanglos eine der Flächen, so werden wir entdecken, daß wir meist an der oberen Fläche hängen bleiben. Das Erfassen der unteren Fläche erfordert ausgesprochenen Gehirnzwang.

Bei gleichgewichtiger Zeichnung, wie sie im geschilderten Versuch gegeben ist, erweist sich das Raumgewicht der unteren Fläche als zu gering. Um dies wettzumachen, stellen wir die untere Fläche gegenüber der oberen mit stärkerem parallaktischen Halt aus.

Das Schweben von Linien oder Flächen nimmt das Gehirn weit williger auf wie das Eintauchen. Wir versuchen daher die tiefste Fläche durch kräftige Zeichnung als Bezugsfläche für alle darüber gelagerten Höhen auszubilden. Es tritt dann für alles Höhere der psychologisch günstige Schwebezustand ein. Wir nennen diese Ordnung das Prinzip des Übereinander.

Das gleichgewichtige Erfassen zweier Flächen übereinander hängt ferner davon ab, ob die Lotdifferenz kontinuierlich gezogen werden kann. Wie oben ausgeführt, liegt die Grenze etwa bei $\Delta p_{\max} = 6 \text{ mm}$. Stehen also zwei unterschiedliche Raumflächen zueinander in einer gewissen natürlichen Beziehung, werden sie weiters nach dem Prinzip des Übereinander gezeichnet, so muß innerhalb der Höhenunterschiedszone $\Delta p \leq 6 \text{ mm}$ ein verständliches Doppelmodell entstehen. Allfällige Durchdringungskanten sind selbstredend darzustellen.

Die absolute Zwangssteuerung der Sehstrahlen ist für das Erfassen komplizierter Modelle Bedingung. Unter dem Spiegelstereoskop kann sie an Hand des durchleuchteten Negativs auf jeden Fall erreicht werden. Beim Anaglyphenverfahren ist sie nur dann gewährleistet, wenn die Parallelfarbe restlos wegfiltert. C. Calov hat das Problem durch Vortönung der Druckfläche gelöst ⁸⁾.

Zur räumlichen Ordnung des Modells gehört auch das Einsetzen der Namen, Zahlen und sonstigen Beschriftung. Wir werden schriftliche Erläuterungen keinesfalls an die Modellfläche kleben, sondern sie eben und schwebend in zugeordneter Höhe zum Objekt anbringen. Damit ist eine klare Unterscheidung zwischen dem Objekt und dem dazu Gedachten getroffen.

⁸⁾ Vgl. „Mathematische Raumbilder“.

F. Anwendungsbereiche

a) Die naturgetreue Geländedarstellung

Auf Grund der exakten photogrammetrischen Schichtlinien ist es möglich, naturgetreue Stereogramme von jedem beliebig zerklüfteten Gelände herzustellen. Der Anschauungswert solcher Stereogramme aber ist doch nur beschränkt: Anschaulich bietet das Stereo-Luftbild viel mehr, geometrisch sagt die ebene Geländekarte mindestens ebensoviel.

Hingegen besitzt das naturgetreue Geländestereogramm einen hohen Instruktionwert für die Kartographie selbst, weil es klar auf das Geländedarstellungsproblem von heute hinführt. Die photogrammetrischen Schichtlinien allein sind in der Geländedarstellung zu wenig anschaulich. Ein bloßes Schichtlinien-Stereogramm führt noch besser als der ebene Schichtlinienplan vor Augen, daß Schichtlinien eben nur *u n w i r k l i c h e* Geländelinien sind und daß die Darstellung erst *Natürlichkeit* gewinnen kann, wenn *w i r k l i c h e* Geländelinien hinzutreten. Die wirklichen Geländelinien aber sind die Übergangslinien.

Der Verfasser hat versucht, die entscheidende Rolle, welche das Kantenprinzip in der Geländedarstellung spielt, durch die Beilage I besonders zu beleuchten. Die ebene Kartographie kann mit dem Kantenprinzip allein nichts beginnen. Doch, indem wir das Schichtlinienprinzip mit dem Kantenprinzip vereinen, werden wir endlich auch in unseren gewöhnlichen Geländekarten zu einer Darstellung gelangen, welche auf Geometrie *u n d* Anschaulichkeit gleichgewichtig Bedacht nehmen kann.

b) Die schematische Geländedarstellung

Mit Erfolg läßt sich das Stereogramm für kleinmaßstäbige schematische Gebirgsdarstellungen verwenden. Geographisch-morphologische Übersichts-skizzen kompliziert gebauter Gebirge mit Sichtbarmachen der gegenseitigen Höhenbeziehung zwischen Kamm- und Tallinien, zwischen Gipfeln und Glazialtrögen, zwischen Hochflächenschollen, zwischen Terrassenniveaus usw. haben Bedeutung nicht nur für die geographische Wissenschaft, sondern auch für Wirtschaft, Verkehr und Touristik.

Höhenlinien eignen sich wenig als Darstellungsmittel, weil sie der Massenzusammenfassung und -vereinfachung nur hinderlich sind und weil die Kennzeichnung der absoluten Höhe nicht in allen Teilen wichtig ist. So wird dieses Aufgabenfeld erst durch das Kantenprinzip richtig erschlossen. Es erlaubt schematische Gestaltung in jeder Abstufung und veranschaulicht relative Höhen besser als die Höhenlinienmethode.

c) Untertagdarstellung

Auf dem Gebiet des Bergbaues gebraucht man die stereographischen Verfahren zur Darstellung von Grubenrissen. Eine räumliche Mitdarstellung der Erdoberfläche ist bisher nicht bekannt geworden. Sie wäre aber in gebirgigen Grubengebieten entschieden von Belang und ist praktisch jedenfalls gut ausführbar. Mit Steigerung der stereographischen Technik und Erfahrung erscheint

selbst die Darstellung unterirdischer Lagerungsverhältnisse mit Beziehung zur Erdoberfläche aussichtsreich. Der zweckmäßige Einsatz des Kantenprinzips eröffnet neue Möglichkeiten.

Die Höhlenkartographie wird um neue Darstellungsformen bereichert. Bedeutung haben u. a. kleinmaßstäbige Höhlenkarten, die das Höhlensystem und die Gebirgsoberfläche unter einem räumlich aufzeigen (beispielsweise das Tennengebirge und sein Höhlensystem). Die großmaßstäbige Darstellung von Höhlenräumen geschieht vorteilhafter nach einem von K. Killian angegebenen Verfahren mittels Gipsmodellen und Stereophotographie.

d) Darstellung von Erdoberflächenveränderungen

Der Möglichkeit des Mehrfachmodells bedienen wir uns für die Darstellung des Gestaltwandels der Erdoberflächenform.

Eine wichtige Aufgabe dieser Art stellen die Gletscher. Schichtlinienkartierungen von verschiedenen Stadien eines Gletschers können im Stereogramm übereinander gelegt werden, so daß die Differenzvolumina unmittelbar erscheinen. Beispielsweise würde die Darstellung des Schwundvolumens am Vernagtferner (Tirol) zwischen den Jahren 1889 und 1938 an Hand der Kartierung von S. Finsterwalder (1889) und der Kartierung des Alpenvereines (1938) ein wertvoller Beitrag zur Gletscherkunde sein und allgemeines Interesse finden. An sich verträgt ein solches Stereogramm auch noch die Aufnahme des Gletscherbettes, doch setzt dies voraus, daß genügend Eisdickemessungen vorhanden sind (Bohrung, Echolot, Hochfrequenz).

Es ist selten, daß namhafte Erdoberflächenveränderungen unter systematischer, kartographischer Kontrolle stehen. Grundlage für entsprechend schematisierte Mehrfachmodelle aber sind auch schlechte Kartierungen und selbst Hypothesen. Der geographischen Forschung leisten Mehrfachmodelle gute Dienste. Wir denken an Veranschaulichung von Vulkanstadien, verwinkelten Ablagerungs- und Ausräumungsvorgängen, Deckentheorien, morphologischen Hypothesen usw.

e) Darstellung von Zustandsdifferenzen in der angewandten Kartographie

In seinem Aufsatz „Statische und dynamische Kartographie“ betrachtet W. Behrmann⁹⁾ die bisher geübten Methoden der Darstellung zeitlicher Veränderungen in statistischen Karten und Kartogrammen aller Art. Er kommt zu dem Schluß, daß fast alle diese Methoden die Veränderung nicht zwangsläufig klar machen, sondern als Mittelwertsdarstellung im Grunde nur eine Überführung der Dynamik in die Statik sind. Es wären daher Methoden zu ersinnen, die dem Beschauer der Karten ohne viel Nachdenken sofort das wahre Bild der Bewegung vermitteln, so „wie es der Künstler bei seinen Darstellungen schon seit langem vermag“.

An kartographischen Bewegungsdarstellungen fällt die an sich statische Darstellungsmethode immer viel stärker ins Auge wie an den Werken der

⁹⁾ Jahrbuch der Kartographie 1941, Verlag Bibl. Institut, Leipzig.

bildenden Kunst, weil bei ersteren die Bewegungsabläufe außerhalb des Erfahrungsbereiches unmittelbar sinnlicher Wahrnehmung liegen.

Doch überlegen wir, wie wir z.B. eine Volksdichtekarte mit Darstellung von Dichteänderungen innerhalb eines Zeitabschnittes im Anaglyphenverfahren gestalten können:

Wir entwerfen über dem *G r a u d r u c k* einer vollständigen topographischen Karte ein stereoskopisches Gebirge, bestehend aus Bevölkerungspunkten nach der absoluten Dichte-Darstellungsmethode (z. B. pro 100 Einwohner ein Punkt). Ein engmaschiges Kilometernetz lassen wir als Ebene über der Grundlagenkarte schweben; es ist die Bezugsebene für das Bevölkerungsgebirge. Die Dichteänderungen fassen wir als Parallaxen auf und teilen sie den Punkten mit. Zunahmen bilden wir als Erhebungen über der Netzebene aus, Abnahmen als Depressionen unter dieser Ebene. Linien gleicher Veränderungen dimensionieren das Gebirge in der Höhe.

Unter der Voraussetzung einer allerdings gleichförmigen Veränderung innerhalb des angenommenen Zeitabschnittes lassen sich die Dichten für dazwischenliegende Zeitpunkte aus dem Vertikalabstand der Bevölkerungspunkte von der Netzebene ermitteln und auf Grund des Netzes auch in die relative Dichte überführen. Die gesamte Darstellung ist durch die topographische Grundlagenkarte einwandfrei lokalisiert. Die Grundlagenkarte in grau bleibt bei anaglyphischer Betrachtung in der Bildebene liegen und stört das als Schwebemodell ausgebildete Punktgebirge in keiner Weise.

Damit sind zwei beachtliche Fortschritte gegenüber den ebenen Dichte-Darstellungsmethoden erzielt: 1. Die Dichteänderung ist unmittelbar und fließend dargestellt; 2. der Einfluß der Landschaftsgliederung auf die Bevölkerungsdichte geht klar hervor.

Ähnliche Veränderungsdarstellungen fordern Wetterkunde, Klimakunde, Wirtschaftsgeographie usw. Besondere Schwierigkeiten liegen in der Darstellung unregelmäßiger und sprunghafter Veränderungen. Mit Zuhilfenahme der dritten Dimension ist aber in allen Fällen eine gegenüber der ebenen Kartographie überlegene Ausgangsbasis gewonnen.

f) Darstellungen für Großbauten

Manche Großbauten verändern in auffallender Weise die Landschaft. Stereographische Kleinaufgaben, welche die Ausführung von Großbauvorhaben im Gebirge begleiten, sind: Schrägsichten von geplanten Objekten, Übersichten der räumlichen Anordnung weitverzweigter Baustellen, Untergrundpläne zur Klärung von Fundamentierungsfragen usw. Die Hauptaufgabe aber besteht darin, u n t e r e i n e m Urzustand und Endzustand urkundenmäßig räumlich festzulegen, wie die Darstellung des Abbauvolumens im Tagebergbau (z. B. Eisenerzer Erzberg) oder die Darstellung des Staukörper- und Aufstauvolumens an Stauanlagen (z. B. Staumauer Kops der Vorarlberger Illwerke, Beilage II).

Für Großbauten im Gebirge mit vorwiegend linearer Erstreckung hat eine andere Art stereographischer Darstellung Bedeutung: der *R a u m p r o s p e k t*. Er führt in Verbindung mit einer schematischen, aber treffenden Geländezeichnung die räumliche Anordnung der Anlage überzeugend besser vor Augen, als es andere Abbildungsverfahren sonst vermögen. Es ist wahrscheinlich, daß der Raumprospekt in der Werbung für Straßen, Bergbahnen, E-Werksanlagen, Wasserleitungen usw. bald eine Rolle spielen wird.