

Werk

Jahr: 1937

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:13

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0013

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0013

LOG Id: LOG_0041

LOG Titel: Die Lotabweichungen in der Umgebung des Nanga Parbat und ein Versuch zu ihrer geophysikalischen Deutung

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

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

Die Lotabweichungen in der Umgebung des Nanga Parbat und ein Versuch zu ihrer geophysikalischen Deutung

Von **Heinrich Jung**, Clausthal. — (Mit 7 Abbildungen)

Die nähere Untersuchung der auf der deutschen Himalaya-Expedition 1934 gemessenen Lotabweichungen zeigt, daß diese an einigen Stationen durch das sichtbare Gebirgsrelief zu erklären sind. An anderen Stellen ist eine Deutung durch isostatische Kompensation unter dem Nanga Parbat-Massiv möglich, doch ist es besser, hier Überkompensation anzunehmen. In den Randgebieten sind die gemessenen Lotabweichungen so groß, daß ihre Erklärung durch verborgene Massenunregelmäßigkeiten (Massenüberschuß unter den Randmassiven, Massendefizit unter dem Indus-Tal) schwierig ist, wenn man nicht sehr große Dichteunterschiede annehmen will.

Frühere Messungen von Lotabweichungen in Hochgebirgen haben gezeigt, daß dort mitunter große Unterschiede in der Lotrichtung bei kleiner Stationsentfernung auftreten. So fand R. Schumann in den Karawanken an einer Stelle eine relative Lotabweichung von 9'' bei einem Stationsabstand von 1 km*), während englische Messungen in Kaschmir unweit des Nanga Parbat (Deosai-Gebiet) Unterschiede in den Lotabweichungen von 20'' auf 15 km Entfernung feststellten**). Da solche Lotstörungen auf geodätische Messungen erheblichen Einfluß haben können, wurden auch Lotabweichungsbestimmungen in das wissenschaftliche Programm der Nanga Parbat-Expedition 1934 aufgenommen und durchgeführt. Besonders interessante Ergebnisse waren zu erwarten, da im Expeditionsgebiet große Höhenunterschiede auf verhältnismäßig kleinen Entfernungen auftreten (7000 m auf 25 km), wohl die größten relativen Höhenunterschiede, die es überhaupt auf der Erde gibt. Das endgültige Ergebnis der Lotabweichungsbestimmungen liegt jetzt vor***), und es soll in der vorliegenden Arbeit, soweit möglich, der Versuch einer geophysikalischen Deutung unternommen werden. Die Bearbeitung wurde auf Anregung von Herrn Professor Augenheister (Göttingen) und Herrn Professor R. Finsterwalder (Hannover), dem wissenschaftlichen Leiter der Nanga Parbat-Expedition, im Geophysikalischen Institut zu Göttingen vorgenommen. Besonders Herrn Finsterwalder bin ich sehr zu Dank verpflichtet für die bereitwillige Überlassung seines Materials und das dauernde Interesse, das er an dem Fortgang meiner Untersuchungen nahm.

*) R. Schumann: Vorläufige Untersuchungen über ein astronomisches Nivellement bei Laibach in Krain, Station 58 und 59.

***) Survey of India, Geodetic Report, Vol. III: „Gravity in Kashmir“, Station Deosai I und Deosai III.

***) R. Finsterwalder: Die Bestimmung von Lotabweichungen aus der Trigonomischen Höhenmessung. Zeitschr. f. Vermessungswesen 1937, Heft 13, 14, 16.

1. Die Bestimmung der Lotabweichungen am Nanga Parbat und ihr Ergebnis.
Die Bestimmung der Lotabweichungen geschah nach zwei Methoden:

1. Astronomisch-geodätische Bestimmung der NS-Komponente aus Polhöhen,
2. Bestimmung der Lotabweichung nach Größe und Richtung durch Ausgleichung der trigonometrischen Höhenmessungen.

Die erste Methode ist hinreichend bekannt und bedarf hier keiner weiteren Erläuterung. Die Möglichkeit der zweiten Methode ergab sich erst bei der Auswertung der trigonometrischen Messungen. Für ihren Erfolg ist entscheidend, ob es gelingt, den schädlichen Einfluß der Refraktion auszuschalten oder mindestens mit genügender Genauigkeit in Rechnung zu setzen. Hierfür lagen die Verhältnisse im Gebiet des Nanga Parbat besonders günstig, da in den großen Höhen die dünne Luft nur geringe Refraktion verursacht. Außerdem konnte das trigonometrische

Netz so angelegt werden, daß sich die Sichtstrahlen fast längs ihres ganzen Verlaufs in größerer Höhe über der Erdoberfläche befanden. Eine eingehende Behandlung dieser Frage bringt R. Finsterwalder in der erwähnten Arbeit, auf die überhaupt bezüglich sämtlicher Einzelheiten verwiesen werden muß.

Der Grundgedanke der verwendeten Methode ist folgender: Die Lotstörung an einer Beobachtungsstation des trigonometrischen Netzes muß sich in systematischer Weise bei der Ausgleichung in den Fehlern der Zenitdistanzen der von dieser Station ausgehenden Sicht-

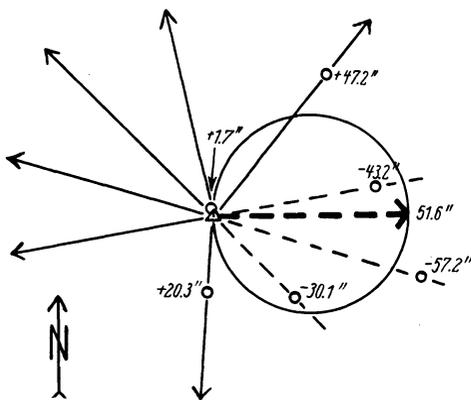


Fig. 1. Fehler der Zenitdistanzen und Lotabweichung an Station 9. Astor Ost (nach R. Finsterwalder)

strahlen bemerkbar machen. Trägt man wie in Fig. 1 die Fehler der Zenitdistanzen unter Berücksichtigung des Vorzeichens auf den einzelnen Strahlen auf (+ bedeutet, daß die gemessene Zenitdistanz größer ist als die ausgeglichene), so müssen, falls keine anderen Fehler vorliegen, die so erhaltenen Punkte auf einem Kreis liegen, der durch das Zentrum des Strahlenbüschels geht. Der zu diesem Zentrum gehörige Durchmesser des Kreises gibt die Lotstörung nach Größe und Richtung an. Fig. 1 zeigt dies für die Station 9. Astor Ost, bei der die größte gemessene Lotabweichung auftrat (52'').

Den Lageplan der Stationen zeigt Fig. 2. Dicke Punkte bezeichnen die „astronomischen Stationen“, an denen die NS-Komponente der Lotstörungen durch Polhöhenmessungen ermittelt wurde, während die „trigonometrischen Stationen“, bei denen die zweite Methode in Anwendung kam, durch Dreiecke bezeichnet sind. Außerdem bringt Fig. 2 sämtliche geographischen Örtlichkeiten,

die in der vorliegenden Arbeit erwähnt werden. Zur genaueren Übersicht muß auf die Expeditionskarten verwiesen werden*).

Die Tabellen 1a und 1b bringen die Ergebnisse der Lotabweichungsbestimmungen**).

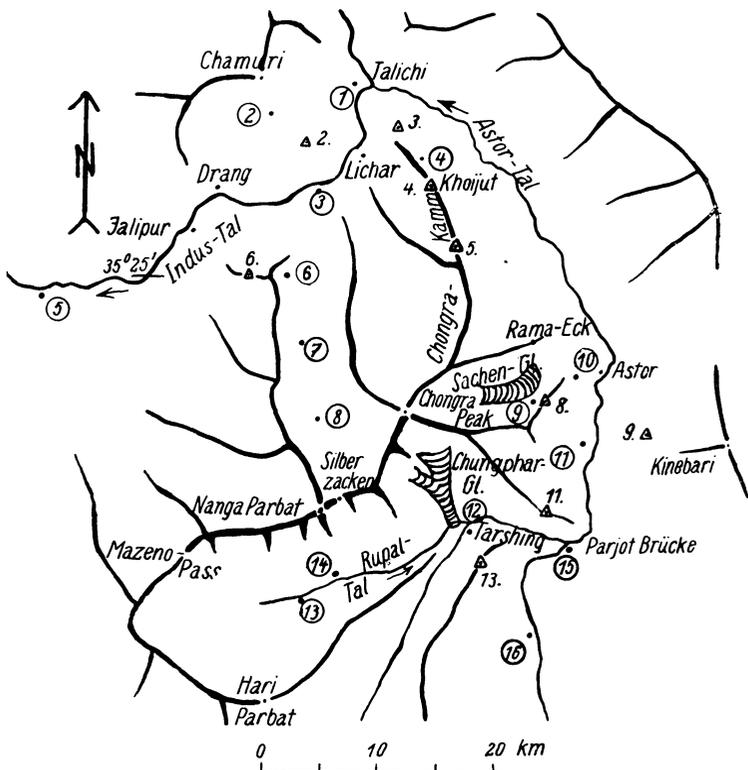


Fig. 2. Übersichtsskizze mit den astronomischen und trigonometrischen Stationen.

(1) Talichi, (2) Lager ob. Gor, (3) Rakhiot-Brücke, (4) Ober Doian, (5) Bunar Bungalow, (6) Bezar Gali, (7) Märchenwiese, (8) Hauptlager, (9) Sango Sar-See, (10) Astar Stein, (11) Guricot, (12) Tarshing, (13) Shaigiri, (14) Nanga Süd, (15) Parjot-Brücke, (16) Rattu; 2. Gor Gali, 3. Hattu Pir, 4. Khoijut, 5. Lichar Peak, 6. Jabardar Peak, 8. Astar West, 9. Astar Ost, 11. Rampur Eck, 13. Chugam Peak

Hierin ist m_z der von R. Finsterwalder geschätzte mittlere Fehler der NS-Komponente. A und B sind die Halbachsen, θ der Richtungswinkel der großen Achse der Fehlerellipse, ebenfalls von R. Finsterwalder bestimmt.

*) Zu beziehen durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Berlin W 35, Matthaeikirchplatz 6.

**) R. Finsterwalder: l. c., Tabelle 9 (System VI) auf S. 475 und Fig. 11 auf S. 489. Die Nummern der angeführten Stationen entsprechen den dortigen Angaben von R. Finsterwalder. Die Richtungen der Lotstörungen sind wie in der Geodäsie üblich von N über E gezählt.

Tabelle 1a. Gemessene Lotabweichungen (NS-Komponenten) an den astronomischen Stationen

Station	Gemessene NS-Komponente der Lotabweichung	m_{ξ}
(1) Talichi	3'' nord	2''
(2) Lager ob. Gor.	38 „	3
(3) Rakhiot-Brücke	6 süd	2
(4) Ober Dojan	31 „	5
(5) Bunar Bungalow	9 nord	5
(6) Bezar Gali	22 süd	5
(7) Märchenwiese	26 „	2
(8) Hauptlager	15 „	2
(9) Sango Sar-See	13 „	2
(10) Astor Stein	30 „	5
(11) Guricot.	9 „	2
(12) Tarshing	10 „	2
(13) Shaigiri.	3 „	3
(14) Nanga Süd	0	2
(15) Parjot-Brücke	6 „	3
(16) Rattu	18 „	5

(Sämtliche Werte abgerundet auf ganze Sekunden.)

Tabelle 1b. Gemessene Lotabweichungen an den trigonometrischen Stationen

Station	Gemessene Lotabweichung		Fehlerellipse		
	Absoluter Betrag	Richtung	A	B	θ
2. Gor Gali	19''	350 ^o	19''	14''	86 ^o
3. Hattu Pir	11	161	4	2	13
4. Khoijut	8	293	6	5	37
5. Lichar Peak	12	208	6	4	53
6. Jabardar Peak	12	130	8	5	126
8. Astor West	11	297	3	3	156
9. Astor Ost	52	89	9	8	60
11. Rampur Eck*)	30	337	—	—	—
13. Chugam Peak*)	11	81	—	—	—

(Absolute Beträge abgerundet auf ganze Sekunden, Richtungen auf ganze Grade.)

Eine kartenmäßige Darstellung bringt Fig. 3. Die Querstriche zu beiden Seiten der Pfeilspitzen bei den astronomisch bestimmten NS-Komponenten veranschaulichen den Fehler m_{ξ} in demselben Maßstab wie die Pfeile. Bei den trigonometrisch bestimmten Lotabweichungen wurden nicht die Fehlerellipsen eingezeichnet, sondern Ellipsen mit den Halbachsen $A \cdot \sqrt{2}$ und $B \cdot \sqrt{2}$ und dem Richtungswinkel θ für die große Achse mit der Pfeilspitze als Mittelpunkt. Nur diese Ellipsen sind mit den Fehlern m_{ξ} vergleichbar**).

*) Die Messungen in Rampur Eck und Chugam Peak sind unsicher. Daher sind auch keine Fehlerellipsen angegeben.

***) Vgl. Jordan-Eggert: Handb. d. Vermessungskde. Bd. I (neue Auflage), S. 460, Formel (30).

Betrachtet man diese Lotabweichungen näher, so fallen, wie schon R. Finsterwalder erwähnt, gewisse systematische Züge auf. Im Indus- und Rupal-Tal sind die Lotabweichungen verhältnismäßig klein, zu beiden Seiten des Astor-Tals divergieren die Lotrichtungen, desgleichen am Indus-Tal, während der Nanga Parbat und vor allem die im Norden, Osten und Süden vorgelagerten Massive

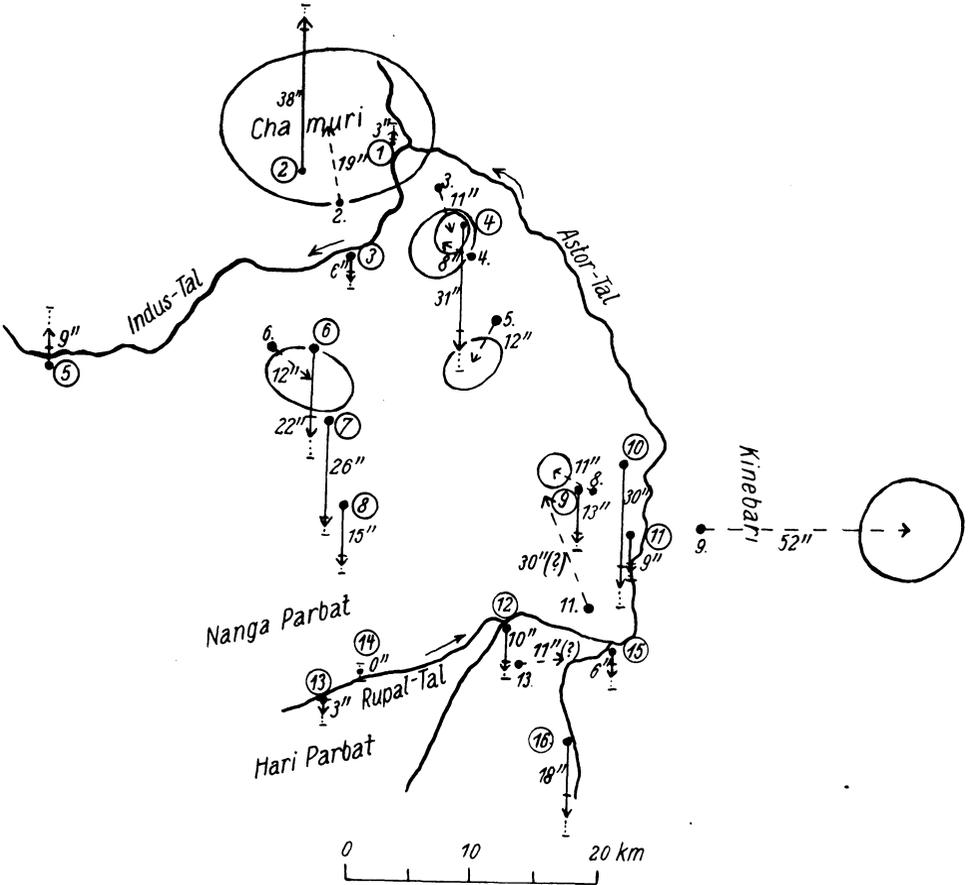


Fig. 3. Gemessene Lotabweichungen. Nummern der Stationen wie in Fig. 2

des Chamuri, Kinebari und Hari Parbat das Lot anziehen. Es scheint demnach, daß die gemessenen Lotabweichungen in der Hauptsache vom sichtbaren Relief herrühren, insbesondere macht sich der Unterschied in den Gesteinen — Gneis von der Dichte 2.9 in der Mitte, basische Tiefengesteine von der Dichte 3.1 in den Randmassiven (vgl. Fig. 5) — durch die starke Einwirkung der randlichen Gebirgsmassive bemerkbar*).

* Vgl. „Forschung am Nanga Parbat“ (Verlag Helwing, Hannover), S. 58 und Abb. 8 (S. 100).

trigonometrischen Höhenmessungen abgeleiteten Lotabweichungen lassen sich gut in ein einheitliches System einordnen. Unregelmäßigkeiten scheinen einigermaßen erklärbar durch die lokale Massenordnung.

2. *Bestimmung der Wirkung des sichtbaren Reliefs.* Diese Verhältnisse müssen nunmehr quantitativ geprüft werden. Es ist die Wirkung der sichtbaren Massenunregelmäßigkeiten auf die Lotrichtung zahlenmäßig abzuschätzen und mit den gemessenen Lotabweichungen zu vergleichen. Wenn die oben geäußerte Ansicht richtig ist, werden nach Abzug der berechneten, vom sichtbaren Relief hervorgerufenen Lotabweichungen von den gemessenen noch Restabweichungen übrig bleiben, die gegebenenfalls Aufschluß über die Massenlagerung in größerer Tiefe, z. B. über den isostatischen Zustand, geben können.

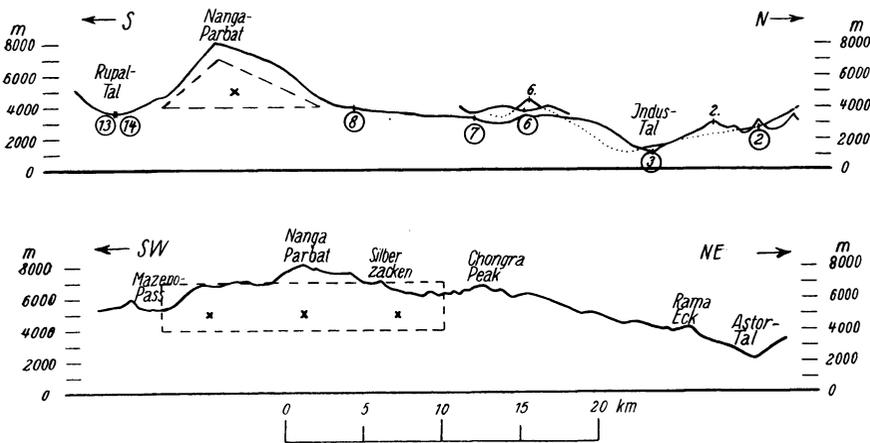


Fig. 4. Profile durch den Nanga Parbat (nicht überhöht).

(2) Lager ob. Gor, (3) Rakhiot-Brücke, (6) Bezar Gali, (7) Märchenwiese, (8) Hauptlager, (13) Shaigiri, (14) Nanga Süd; 2. Gor Gali, 6. Jabardar Peak

Eine genaue Berechnung der durch die sichtbaren Massen verursachten Lotstörungen ist sehr mühsam, und es erweist sich daher als zweckmäßig, zunächst gewisse Vereinfachungen einzuführen. Die Karte des Gebietes zeigt, daß im wesentlichen eine Hochfläche von etwa 4000 m Höhe vorliegt, der die verschiedenen Gipfelmassive aufgesetzt sind und in welcher die Täler mehr oder weniger bedeutende Furchen bilden*). Ein NS-Schnitt durch den Nanga Parbat (Fig. 4) soll dies anschaulich zeigen. Das Profil ist nicht überhöht und zeigt demnach auch die Steilheit der Abhänge im natürlichen Ausmaß.

Als Normalzustand soll daher der folgenden Untersuchung eine Hochfläche von 3000 bis 4000 m Höhe zugrunde gelegt werden. Die Lotstörungen sind dann

*) Vgl. R. Finsterwalder: Die Formen der Nanga Parbat-Gruppe. Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkde. 1936, S. 321.

Tabelle 2. Zur Berechnung der störenden Massen und ihrer Schwerpunkte

Störende Masse	Querschnitt		Länge km	Dichte	Masse g	Schwerpunkt		Bemerkungen
	Grundlinie km	Höhe km				Lage	Höhe m	
Nangra Parbat*)	10	3	18	2.9	$7.8 \cdot 10^{17}$	1 km nördlich des Gipfels	5000	vom Mazeno-Paß bis zum südlichen Chongra Peak
Chongra Peak	9	2.4	5	2.9	$1.6 \cdot 10^{17}$	unter dem Gipfel	4800	—
Chamuri	4	1.5	8	3.1	$7.4 \cdot 10^{16}$	„	4000	—
Kinebari	10	1.5	12	3.1	$2.8 \cdot 10^{17}$	„	4500	—
Hari Parbat	14	2	15	2.9	$6.1 \cdot 10^{17}$	„	4700	—
Indus-Tal I	7	2	12	3.0	$2.5 \cdot 10^{17}$	über der Talsoble bei $x = 467 \text{ km}^{**}$ $y = 937 \text{ }^{**}$	2300	oberhalb Lichar
Indus-Tal II	7	2	12	3.0	$2.5 \cdot 10^{17}$	über der Talsoble bei $y = 461 \text{ km}^{**}$	2300	von Lichar bis Drang
Indus-Tal III	7	2	12	3.0	$2.5 \cdot 10^{17}$	über der Talsoble bei Jalipur	2300	von Drang bis $35^{\circ}25'$ Breite
Astor-Tal	9	1.8	15	3.0	$3.6 \cdot 10^{17}$	über der Talsoble bei $x = 907 \text{ km}^{**}$	3400	vom Knie östlich der Parjot-Brücke bis 1 km nördlich Astor
Rupel-Tal	4	1	8	2.9	$4.6 \cdot 10^{16}$	über der Talsoble bei $y = 479 \text{ km}^{**}$	3200	von Tarshing bis zur Parjot-Brücke

*) Bei der Verteilung der Masse auf drei Punkte wurden je $2.6 \cdot 10^{17}$ g im Schwerpunkt und in zwei Punkten in 6 km Abstand vom Schwerpunkt unter dem Kamm des Massivs, ebenfalls in 5000 m Höhe, angebracht. Das Näherungsprisma mit den drei Punkten ist in Fig. 4 angedeutet. Der Querschnitt des Prismas ist kleiner als der des Nanga Parbat im NS-Profil, da letzteres durch den Hauptgipfel gelegt ist und somit den größten Querschnitt enthält, während zur Berechnung der Masse ein mittlerer verwendet werden muß.

**) Gauß-Krügersche Koordinaten ohne Streifenkennziffer, zu entnehmen aus den Expeditionskarten.

aus den aufgesetzten Massen der Gipfelmassive und den fehlenden Massen der Täler zu berechnen. Massenunregelmäßigkeiten, deren Wirkung auf eine Station kleiner ist als die in Tabelle 1 a und 1 b angegebenen Fehlergrenzen, werden (außer bei 2. Gor Gali) nicht berücksichtigt. Dann kommen nur folgende Massen in Betracht: Die Gipfelmassive des Nanga Parbat, Chamuri, Kinebari und Hari Parbat, sowie das Indus-, Astor und Rupal-Tal. Ferner genügt es, die störenden Massen in ihrem Schwerpunkt vereinigt zu denken. Nur beim Gipfelmassiv des Nanga Parbat wurde für die Berechnung der Lotstörungen bei den näher gelegenen Stationen (8) Hauptlager, (13) Shaigiri und (14) Nanga Süd die Masse zu je einem Drittel auf drei verschiedene Punkte verteilt. Für 8. Astor West wurde außerdem der Chongra Peak als störende Masse in Betracht gezogen. Die Form der Störungsmassen wurde durch ein dreiseitiges Prisma mit horizontaler Grundfläche und Firstkante (bei Massiven oben, bei Tälern unten) angenähert. Im einzelnen ergaben sich für die Berechnung der Massen und der Schwerpunkte die in Tabelle 2 angegebenen Daten.

Nummehr folgte die Berechnung der Lotstörungen nach der Beziehung

$$A_{\xi} = \frac{\kappa \cdot m \cdot \xi}{g \cdot (\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2)^{3/2}} \quad \text{bzw.} \quad A_{\eta} = \frac{\kappa \cdot m \cdot \eta}{g \cdot (\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2)^{3/2}}$$

für die NS- bzw. EW-Komponente. Hierin ist $\kappa = 6.7 \cdot 10^{-8}$ CGS die Gravitationskonstante, m die Störungsmasse und ξ, η, ζ die NS-, EW- und Vertikalkomponente des Abstandes zwischen dem Schwerpunkt der Störungsmasse und dem Beobachtungsort, g die Schwerebeschleunigung ($= 980 \text{ cm/sec}^2$ entsprechend 35° geographischer Breite).

Tabelle 3a. Durch die sichtbaren Störungsmassen hervorgerufene NS-Komponenten der Lotstörungen bei den astronomischen Stationen

Station	Störende Masse	Wirkung auf die NS-Komponente der Lotabweichung	Summe
(2) Lager ob. Gor.	Chamuri	7'' nord	} 11'' nord
	Indus-Tal II	4 ,, (13'')	
(6) Bezar Gali	Nanga Parbat	3 süd (11)	} 9 süd
	Indus-Tal II	6 ,, (13)	
(7) Märchenwiese	Nanga Parbat	4 ,, (12)	} 8 ,,
	Indus-Tal II	4 ,, (9)	
(8) Hauptlager	Nanga Parbat	12 ,, (23)	12 ,,
(13) Shaigiri.	Nanga Parbat	13 nord	} 3 nord
	Hari Parbat	10 süd	
(14) Nanga Süd	Nanga Parbat .	14 nord	} 7 ,,
	Hari Parbat	7 süd	

Die eingeklammerten Zahlen zeigen zum Vergleich die nach F. R. Helmert für unendlich lange Prismen berechneten Werte [Höhere Geodäsie II, S. 298, Formel(1)]. Man sieht, daß die Größenordnung sich richtig ergibt, daß es aber — besonders bei den entfernteren Stationen — nicht zulässig ist, die endliche Länge der Prismen zu vernachlässigen.

Führt man die angegebenen Zahlen ein, so ergibt sich endgültig die Gebrauchsformel:

$$A_i = \frac{1,4 \cdot m \cdot \xi}{(\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2)^{3/2}}$$

und entsprechend für die EW-Komponente, wenn m in 10^{15} g (d. h. bei der Volumenberechnung der Prismen die Längen in Kilometer) und die den Expeditionskarten zu entnehmenden ξ, η, ζ in Kilometer eingesetzt werden.

Die hiernach berechneten Wirkungen der störenden Massen auf die Lotabweichungen bzw. ihre NS-Komponenten sind in Tabelle 3a für die astronomischen Stationen und die Tabelle 3b für die trigonometrischen Stationen zusammengefaßt.

Zunächst fällt auf, daß selbst die große Gipfelmasse des Nanga Parbat verhältnismäßig kleine Lotstörungen verursacht, die nur in nächster Nähe beachtliche Beträge erreichen. Schon in 20 km Entfernung ist die Wirkung unterhalb der Fehlergrenze der gemessenen Werte. Hieraus erklärt sich zum Teil, daß bei den nicht genannten Stationen keine nennenswerten Lotstörungen durch das sichtbare Relief auftreten. Hinzu kommt, daß es sich meist um Tal- oder Gipfelstationen handelt, bei denen auch die in der Nähe gelegenen Massen keine Lotstörungen hervorrufen (z. B. das Indus-Tal bei (3) Rakhjot-

Tabelle 3b. Durch die sichtbaren Störungsmassen hervorgerufene Lotstörungen bei den trigonometrischen Stationen

Station	Störende Masse	Wirkung auf die			Summe		Lotstörung	
		NS-Komponente	EW-Komponente	der Lotabweichung	NS	EW	Absoluter Betrag	Richtung
2. Gor Gali	Chamuri	2'' nord	1'' west	} 13'' nord	} 4'' west	} 14''	} 343°	
	Indus-Tal I	5 süd	6 "					
	Indus-Tal II	16 nord	3 ost					
6. Jabardar Peak	Nanga Parbat	3 süd	1 ost	} 10 süd	} 3 ost	} 10	} 160	
	Indus-Tal II	4 "	3 west					
	Indus-Tal III	3 "	5 ost					
8. Astor West	Nanga Parbat	1 süd	2 west	} 9 nord	} 15 west	} 18	} 301	
	Chongra Peak	0	2 "					
	Kinebari	1	2 ost.					
Astor-Tal	11 nord	13 west						
9. Astor Ost	Kinebari	2 süd	6 ost	} 10 nord	} 38 ost	} 39	} 75	
	Astor-Tal	12 nord	32 ost					

Brücke oder (5) Bunar Bungalow). Bei (1) Talichi liegt die störende Masse des Chamuri westlich, wirkt also nicht auf die NS-Komponente, ebenso der Nanga Parbat bei (10) Astor Stein, (11) Guricot, (12) Tarshing, (15) Parjot-Brücke. Station (1) Talichi liegt etwa in der Mitte des NS-streichenden Teiles des Indus-Tales, so daß auch dieses hier keine Lotstörung verursacht. Das Gleiche gilt für (11) Guricot bezüglich des Astor-Tales, ähnliches bei (10) Astor Stein und (16) Rattu. Bei (4) Ober Doian könnte der nahe gelegene Khoijut störend wirken, doch zeigt eine einfache Überschlagsrechnung, daß diese Wirkung unter der Fehlergrenze bleibt*).

Schwer abzuschätzen sind die Lotstörungen bei (9) Sango Sar-See, da die Massen in der Nähe sehr unregelmäßig verteilt sind und außerdem die Wirkung des nahe gelegenen Sachen-Gletschers ohne Kenntnis des Gletscherbettes nicht zu berechnen ist. Daher soll diese Station von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden.

Nicht berechnet wurden die Lotstörungen in 3. Hattu Pir und 5. Lichar Peak, da die Berechnung wegen unregelmäßiger Verteilung der Massen zu umständlich wäre. Doch lassen sich die in diesen Punkten gemessenen Lotstörungen wohl aus den sichtbaren Massen einigermaßen erklären: bei 3. durch die im Indus-Tal bei Talichi fehlende Masse, im 5. durch die Anziehung des nur 1,5 km entfernten Lichar Peak.

Die Punkte 11. Rampur Eck und 13. Chugam Peak werden nicht berücksichtigt, da dort die gemessenen Lotabweichungen nach R. Finsterwalder unsicher sind.

Die Fehler der hier wiedergegebenen Rechenergebnisse können einige Sekunden betragen. Ein Fehler von 5'' dürfte nach vorsichtiger Schätzung kaum überschritten werden.

3. *Die reduzierten Lotabweichungen.* Subtrahiert man die berechneten, durch das sichtbare Relief verursachten Lotstörungen von den gemessenen Lotabweichungen, so ergibt sich ein System, das einer Hochfläche von 3000 bis 4000 m Höhe entspricht. Nun ist noch zu berücksichtigen, daß ein mittlerer Streifen des Gebietes aus Gesteinen mit der Dichte 2.9 besteht (Nanga-Gneis), während die Randpartien die größere Dichte 3.1 besitzen (basische Tiefengesteine). Es ist demnach, um den Normalzustand herzustellen, der vom Gneis eingenommene Raum mit einer fingierten Masse von der Dichte 0.2 aufzufüllen. Um deren Wirkung zu berechnen, muß eine Annahme über die wirksame Tiefenerstreckung dieser Gneismasse gemacht werden. Sie betrage 4000 m. Zur Rechnung sei weiter vereinfachend angenommen, daß diese Zusatzmasse in 2000 m Höhe als unendlich dünne Fläche kondensiert ist. Ihre horizontale Erstreckung ist aus Fig. 5 zu er-

*) Die Gipfelmasse des Khoijut wurde angenähert durch einen Kreiskegel (Radius der Grundfläche 2,5 km, Höhe 550 m) mit der Dichte 2.9. Der Schwerpunkt wurde unter dem Gipfel in 3900 m Höhe angenommen. Die Wirkung auf die NS-Komponente der Lotabweichung in Ober Doian ist 4'', der Fehler der Messung 5''.

sehen*). Für die Rechnung läßt sie sich in ausreichender Annäherung darstellen durch einen nach Norden und Süden unendlich ausgedehnten Streifen mit der Westgrenze bei $y = 467$ km (Gauß-Krügersche Koordinaten ohne Streifenkennziffer, zu entnehmen aus den Expeditionskarten) und der Ostgrenze bei $y = 486$ km, an den sich westlich ein zweiter Streifen anschließt, dessen Westgrenze bei $y = 445$ km liegt, der im Norden bei $x = 928$ km begrenzt ist und nach Süden ins Unendliche verläuft. Die durch solche plattenförmigen Massen hervorgerufenen Lotstörungen lassen sich durch einfache Integrationen berechnen**). Eine Wirkung auf die Lotabweichungen, die die Fehlergrenze der Messungen übersteigt, tritt in der NS-Komponente nur bei (3) Rakhiot-Brücke auf, in der EW-Komponente nur bei 3. Hattu Pir und 8. Astor West:

- (3) Rakhiot-Brücke . . . 5" süd,
- 3. Hattu Pir 3" ost,
- 8. Astor West 4" west.

Diese Werte sind zu den auf die oben angegebene Weise reduzierten Lotabweichungen zu addieren. Ihre Kleinheit rechtfertigt die vereinfachenden Annahmen. Auch eine unrichtige Festsetzung der Tiefenerstreckung des Nanga-Gneises beeinflusst diese Zahlen nur unerheblich.

Das Ergebnis der Reduktionen zeigen die Tabellen 4a und 4b. Die reduzierten Lotabweichungen entsprechen jetzt dem oben definierten Normalzustand, einer Hochfläche von 3000 bis 4000 m Höhe und überall gleicher Gesteinsdichte (abgesehen natürlich von den zu suchenden verborgenen Massenunregelmäßigkeiten). Bei ungestörter Massenlagerung in größerer Tiefe müssen die Abweichungen von 0 unterhalb der Fehlergrenze liegen, falls nicht in dem reduzierten System ein durch die Wahl des Referenzellipsoids verursachter systematischer Anteil enthalten ist. Diese Frage wurde bereits eingehend von

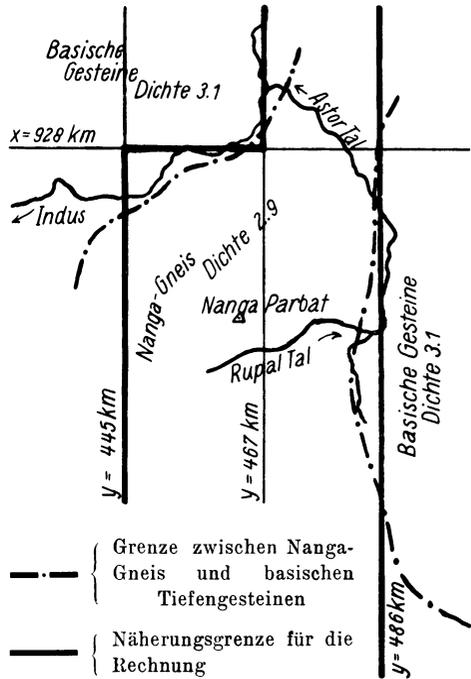


Fig. 5. Skizze der Gebiete des Nanga-Gneises und der basischen Tiefengesteine

*) Entworfen nach „Forschung am Nanga Parbat“, Abb. 8 (S. 100).

***) Vgl. hierzu O. D. Kellogg: Foundation of Potential Theory. Berlin 1929, S. 12. Julius Springer. — Die Umformung der dort angegebenen Formeln für endliche rechteckige Platten auf unendlich ausgedehnte bietet keine Schwierigkeit.

R. Finsterwalder behandelt mit dem Ergebnis, daß durch Einführung einer Korrektion am Referenzellipsoid keine wesentliche Verkleinerung der Lotabweichungen eintritt*). Es können somit die in den Tabellen 4a und 4b angegebenen Reststörungen unmittelbar bei der weiteren Untersuchung verwendet werden.

Tabelle 4a.
Reduzierte Lotabweichungen (NS-Komponenten) an den astronomischen Stationen

Station	Reduzierte NS-Komponente der Lotabweichung	M
(1) Talichi	3'' nord	5''
(2) Lager ob. Gor	27 „	6
(3) Rakhiot-Brücke	11 süd	5
(4) Ober Doian	31 „	7
(5) Bunar Bungalow	9 nord	7
(6) Bezar Gali	13 süd	7
(7) Märchenwiese	18 „	5
(8) Hauptlager	3 „	5
(10) Astor Stein	30 „	7
(11) Guricot	9 „	5
(12) Tarshing	10 „	5
(13) Shaigiri	6 „	6
(14) Nanga Süd	7 „	5
(15) Parjot-Brücke	6 „	6
(16) Rattu	18 „	7

Tabelle 4b. Reduzierte Lotabweichungen an den trigonometrischen Stationen

Station	Reduzierte Lotabweichung				\bar{A}	\bar{B}	θ
	NS-Komponente	EW-Komponente	Absoluter Betrag	Richtung			
2. Gor Gali	6'' nord	4'' ost	7''	34°	27''	20''	86°
3. Hattu Pir	10 süd	7 „	12	146	7	6	12
4. Khoijut	3 nord	7 west	8	293	10	8	37
6. Jabardar Peak	2 „	6 ost	6	74	12	9	126
8. Astor West	4 süd	2 „	5	157	7	6	156
9. Astor Ost	9 „	14 „	17	122	14	13	60

In Fig. 6 sind diese Restlotabweichungen kartenmäßig dargestellt.

Als Fehlergrößen sind in den Tabellen 4a und 4b sowie in Fig. 6 folgende angegeben: An den astronomischen Stationen der nach $M^2 = m^2 + \mu^2$ zu berechnende mittlere Fehler M , worin $\mu = 5''$ der mittlere Fehler der Reduktionsrechnungen ist, und an den trigonometrischen Stationen die hiermit vergleichbare Ellipse mit den Halbachsen $\bar{A} = \sqrt{2A^2 + \mu^2}$ bzw. $\bar{B} = \sqrt{2B^2 + \mu^2}$ und der Richtung θ für die große Halbachse.

Vergleicht man die Reststörungen mit den gemessenen Lotabweichungen (Fig. 3), so zeigt sich, daß sie im ganzen erheblich verringert worden sind. Insbesondere sei auf Station 8. Astor West und 9. Astor Ost hingewiesen. Die ur-

*) R. Finsterwalder: Zeitschr. f. Vermessungswesen 1937.

spröngliche Lotabweichung von über 50 Sekunden ist bei letzterer bis auf einen Rest von 17'' durch das sichtbare Relief erklärt, die Reststörung bei 8. Astor West liegt innerhalb der Fehlergrenze. Im übrigen hat sich das Gesamtbild nicht wesentlich geändert. Die aus Polhöhenbestimmungen abgeleiteten NS-Komponenten sind südlich des Indus-Tals nach Süden gerichtet, nördlich des Indus nach Norden. Der Absolutbetrag der Reststörungen ist im Indus- und Rupal-Tal

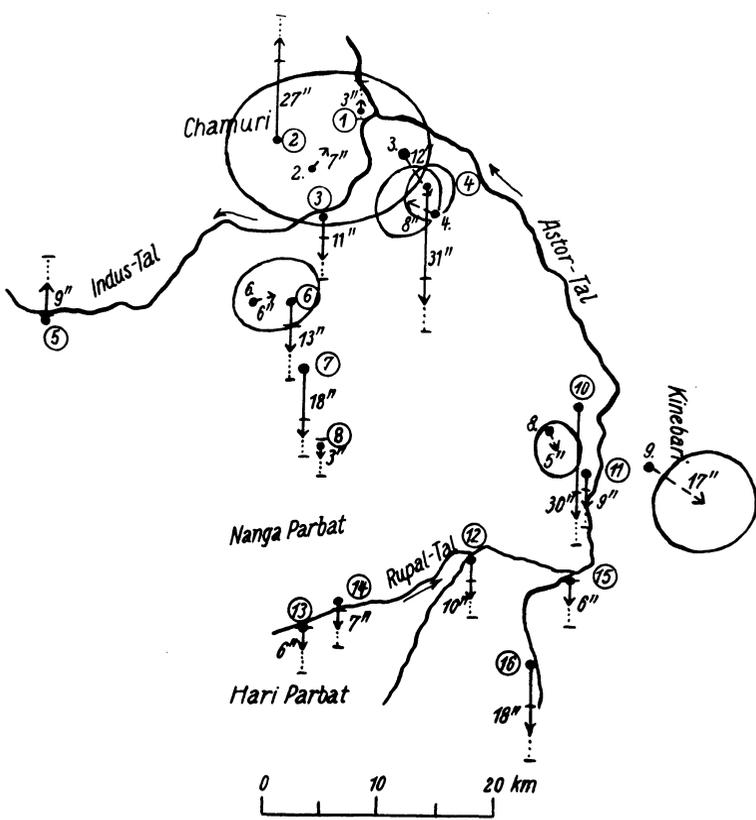


Fig. 6. Reststörungen nach Beseitigung der berechneten Wirkung des sichtbaren Reliefs

verhältnismäßig klein, außerdem verschwindet er praktisch in der Mitte der Hochfläche nördlich des Nanga Parbat [Station (8) Hauptlager]. Hier wären also die gemessenen Lotabweichungen durch das sichtbare Relief zu erklären. Zieht man die Fehlergrenzen in Betracht, so kann ferner die Störung bei 6. Jabardar Peak vollständig als erklärt gelten, diejenige bei 4. Khoijut zum größten Teil. Auch bei 2. Gor Gali liegt nur noch eine kleine Reststörung vor. Bezüglich 3. Hattu Pir sei auf die Bemerkung von S. 214 verwiesen. Bei (4) Ober Doian spielt sicher die bei der Reduktion nicht berücksichtigte Masse des Chongra-Kamms eine beachtliche Rolle.

4. *Versuch einer geophysikalischen Deutung.* Bei isostatischer Kompensation müssen die Reststörungen von den Gebirgsmassiven weg und zu den Tälern hin gerichtet sein. Bei den Stationen im Rupal-Tal südlich des Nanga Parbat-Massivs — (12) Tarshing, (13) Shaigiri, (14) Nanga Süd, (15) Parjot-Brücke — scheint derartige vorzuliegen. Die nach Süden gerichteten Komponenten der Reststörungen von 6 bis 7'' bei (13) und (14) lassen sich erklären durch ein unter dem Gipfel des Nanga Parbat 8 km unter dem Stationsniveau gelegenes punktförmig konzentriertes Massendefizit von der Größe der sichtbaren Gipfelmasse des Nanga Parbat ($7.8 \cdot 10^{17}$ g). Nimmt man als Dichte dieser Masse 0.3 an, was etwa dem Dichteunterschied zwischen Granit und Basalt entspricht, so hat sie Platz in einer Kugel von 4 km Radius. Bei größerer Tiefenlage der negativen Zusatzmasse muß diese zur Erklärung der Reststörungen im Rupal-Tal entsprechend größer angenommen werden. Es würde dann Überkompensation vorliegen. Dies wäre in Übereinstimmung mit geologischen Beobachtungen, die auf einen stärkeren Massenverlust des Nanga Parbat-Massivs in der jüngsten Zeit schließen lassen*). Bei (12) Tarshing ist die Reststörung für diesen Erklärungsversuch allerdings etwas zu groß (10''), doch ist hier zu bedenken, daß die bei der Reduktionsrechnung nicht berücksichtigte Wirkung der fehlenden Masse im Tal des Chungphar-Gletschers an dieser Station die südwärts gerichtete Lotstörung nach roher Schätzung um etwa 2 bis 3'' erhöht, so daß nach Abzug dieses Betrages von der errechneten Reststörung diese Station bei einem Fehler von 5'' nicht mehr allzu sehr aus dem Rahmen der übrigen Stationen des Rupal-Tales herausfällt.

Die Reststörungen an den übrigen Stationen deuten zum Teil auf erhebliche Unterkompensation unter den Randmassiven (insbesondere im Norden und Osten). Dort müssen noch große Massenüberschüsse liegen, unter dem Indus-Tal ein entsprechendes Defizit. Quantitativ sind diese Reststörungen jedoch für eine Deutung durch tief gelegene Zusatzmassen reichlich groß. Bei einer in 10 km Tiefe punktförmig konzentrierten Masse von der Größe des sichtbaren Nanga Parbat-Massivs ($7.8 \cdot 10^{17}$ g) ist an der Erdoberfläche eine Wirkung von im Maximum nur 4'' zu erwarten, und zwar in 7 km Entfernung von dem Punkt der Oberfläche, der über dem Massenpunkt liegt. Mit wachsendem Abstand nimmt die Lotstörung dieser Masse rasch ab. Da die nach der Reduktion übrig bleibenden Reststörungen im Gebiet des Nanga Parbat zum Teil wesentlich größer sind als 4'', müßten zur Erklärung die Massen entsprechend groß angenommen werden.

Läßt man überschlagsweise die Höhenunterschiede der Stationen außer Betracht und nimmt man auch die störenden Massen in gleicher Höhe an, so lassen sich die Reststörungen in 8. Astor West und 9. Astor Ost (5'' und 17'' nach SE) durch eine Masse von $1.1 \cdot 10^{18}$ g ($\frac{4}{3}$ der sichtbaren Gipfelmasse des Nanga Parbat) etwa 9.5 km südöstlich Astor Ost erklären. Diese Masse würde bei (10) Astor Stein eine Südkomponente von 14'' und bei (11) Guricot eine von 17'' hervorrufen. Die Reststörungen nach der Reduktion an diesen Stationen waren 30'' und 9'' nach S.

*) Vgl. R. Finsterwalder: Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkde. Berlin 1936, S. 335.

Fig. 7 zeigt, wo, auch in der Tiefe, punktförmig konzentrierte Massen liegen können, die die Restabweichungen in 8. Astor West (Punkt *A*) und 9. Astor Ost (Punkt *B*) unter den angegebenen vereinfachenden Annahmen erklären. Hierbei gelten die ausgezogenen Kurven, während die gestrichelten in Frage kommen für ein entsprechendes Beispiel, in welchem die Lotabweichung im Punkt *A* die umgekehrte Richtung hat. Die Tabellen 5a und 5b bringen die Daten, die zu den mit Zahlen bezeichneten Punkten der Fig. 7 gehören. Aus der vorletzten Spalte (Radius für die kugelförmig gedachte Störungsmasse von der Dichte 0.3 mit dem Mittelpunkt auf einer der Kurven von Fig. 7) ist ersichtlich, daß es wenigstens für die Dichte 0.3 schwierig sein dürfte, Raum für die zur Erklärung der Lotabweichungen in den Punkten *A* und *B* nötigen Zusatzmassen zu finden, da überall in den Tabellen 5a und 5b der zur Dichte 0.3 gehörige Kugelradius

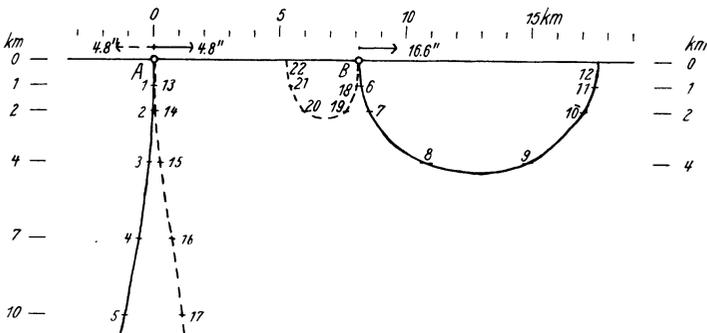


Fig. 7. Mögliche Lagen der störenden Masse (punktförmig konzentriert) für die Erklärung der angegebenen Lotabweichungen in den Punkten *A* und *B*

größer ist als die Tiefe des Mittelpunktes. Günstigere Verhältnisse treten erst ein auf den linken Kurvenästen unterhalb der Punkte 5 und 17 (d. h. in mehr als 10 km Tiefe), da die notwendige Masse mit zunehmender Tiefe des Mittelpunktes erheblich langsamer zunimmt als die dritte Potenz dieser Tiefe. Dann nehmen diese Zusatzmassen ein sehr großes Volumen ein. Ob dies geologisch möglich ist, möchte ich nicht entscheiden. In dem bei den Stationen 8. Astor West und 9. Astor Ost vorliegenden konkreten Beispiel müßte es sich um eine entsprechend große Einlagerung leichteren Gesteins (Dichte 2.6) im Gneis des Nanga Parbat handeln.

Um die Verhältnisse zu übersehen, die eintreten, wenn man nicht an dem Dichteunterschied 0.3 zwischen dem Hauptgestein und der Einlagerung festhält, sind in der letzten Spalte der Tabellen 5a und 5b die Dichten für die Zusatzmassen angegeben, die zu einer kugelförmigen Einlagerung gehören, deren Radius der Tiefe des Mittelpunktes gleich ist (die also gerade noch Platz hat). Aus Tabelle 5a ist für die Stationen 8. Astor West und 9. Astor Ost zu ersehen, daß nur Einlagerungen mit dem Mittelpunkt im Punkt 5 und tiefer oder in der Umgebung des Punktes 8 in Frage kommen. Punkt 4 ist wohl ausgeschlossen, da

hier die Einlagerung eine Dichte von 1.6 (= 2.9 — 1.9) haben müßte, was der Dichte von lockerem Sand entspräche. Punkt 8 bietet gewiß auch Schwierig-

Tabelle 5a. Lage und Größe der in den Punkten der ausgezogenen Kurven von Fig. 7 anzubringenden Massen

Punkt	Entfernung von		Tiefe	Schiefer Abstand		Masse in 10 ¹⁷ Gramm	Kugel- radius für die Dichte 0.3	Dichte, wenn Ra- dius gleich der Tiefe des Mittel- punkts
	A	B		A	B			
	km	km	km	km	km		km	
A	0	8.1	0	0	8.1	— 7.7	8.5	— ∞
1	0	8.1	1	1.0	8.2	— 7.9	8.6	— 189
2	0	8.1	2	2.0	8.4	— 8.5	8.8	— 25
3	0.2	8.3	4	4.0	9.2	— 11.1	9.6	— 4.1
4	0.6	8.7	7	7.0	11.2	— 18.9	11.4	— 1.3
5	1.1	9.2	10	10.1	13.6	— 32.2	13.7	— 0.8
B	8.1	0	0	8.1	0	2.2	5.6	∞
6	8.2	0.1	1	8.2	1.0	2.3	5.7	55
7	8.5	0.4	2	8.7	2.0	2.7	6.0	8.1
8	10.9	2.8	4	11.6	4.9	4.9	7.3	1.8
9	14.8	6.7	4	15.3	7.8	8.4	8.7	3.1
10	17.0	8.9	2	17.1	9.1	10.1	9.3	30
11	17.5	9.4	1	17.5	9.4	10.5	9.4	251
12	17.6	9.5	0	17.6	9.5	10.6	9.5	∞

Tabelle 5b. Lage und Größe der in den Punkten der gestrichelten Kurven von Fig. 7 anzubringenden Massen

Punkt	Entfernung von		Tiefe	Schiefer Abstand		Masse in 10 ¹⁷ Gramm	Kugel- radius für die Dichte 0.3	Dichte, wenn Ra- dius gleich der Tiefe des Mittel- punkts
	A	B		A	B			
	km	km	km	km	km		km	
A	0	8.1	0	0	8.1	7.7	8.5	∞
13	0	8.1	1	1.0	8.2	7.9	8.6	189
14	0	8.1	2	2.0	8.4	8.3	8.7	25
15	0.2	7.9	4	4.0	8.8	10.4	9.4	3.9
16	0.7	7.4	7	7.0	10.2	16.8	11.0	1.2
17	1.1	7.0	10	10.1	12.2	30.6	13.5	0.7
B	8.1	0	0	8.1	0	2.2	5.6	∞
18	8.0	0.1	1	8.1	1.0	2.3	5.7	55
19	7.6	0.5	2	7.9	2.1	2.2	5.6	17
20	5.9	2.2	2	6.2	3.0	1.4	4.8	14
21	5.4	2.7	1	5.5	2.9	1.0	4.4	24
22	5.3	2.8	0	5.3	2.8	0.95	4.2	∞

keiten, da hierzu eine Dichte 4.9 (= 3.1 + 1.8) erforderlich ist, die nur bei schweren Metallerzen vorkommt. Immerhin ist es keine Unmöglichkeit, und die Zulässigkeit müßte der Geologe beurteilen.

Zur Deutung der Reststörungen an den Stationen 2. Gor Gali und (3) Rakhiot-Brücke müßte — wieder bei Vernachlässigung der Höhenunterschiede — eine fehlende Masse von $2.3 \cdot 10^{16}$ g ($\frac{1}{3}$ der Gipfelmasse des Chamuri) 2 km südlich von Station 2 angenommen werden, für das Stationspaar (2) Lager ob. Gor und (6) Bezar Gali wäre eine fehlende Masse von $7.2 \cdot 10^{17}$ g (ungefähr die sichtbare Gipfelmasse des Nanga Parbat) 6 km südlich von (2) erforderlich*).

Faßt man (6) Bezar Gali, (7) Märchenwiese und (8) Hauptlager zu einem einheitlichen Stationstripel zusammen, so sind hier die Reststörungen zu erklären durch eine Masse von $1.5 \cdot 10^{18}$ g (das Doppelte der Gipfelmasse des Nanga Parbat) in 6 km Tiefe, 0.5 km südlich des Hauptlagers. Diese Masse liefert an den genannten Stationen Lotstörungen von 11'', 17'' und 5'' in guter Übereinstimmung mit den errechneten Reststörungen (13'', 18'', 3''). Als Kugel von der Dichte 0.3 müßte sie einen Radius von 5 km haben. Raum für diese Masse wäre demnach vorhanden.

Da nach den vorstehenden Erörterungen in einigen Fällen die Deutung der Reststörungen für Stationspaare wegen der dazu nötigen großen Massen auf Schwierigkeiten stößt, könnte man nunmehr daran denken, für jede einzelne Station eine Erklärung durch lokale, in unmittelbarer Nähe dieser Stationen gelegene, Massenunregelmäßigkeiten zu versuchen. Ganz abgesehen davon, daß die schon erwähnte systematische Anordnung der Reststörungen, insbesondere ihrer Richtungen, gegen lokale Einflüsse spricht — dann wären unregelmäßig verteilte Reststörungen zu erwarten —, führt auch hier die zahlenmäßige Durchrechnung zu großen Massen. Schreibt man der störenden Masse wieder Kugelgestalt zu und legt ihr die Dichte 0.3 bei, so läßt sich zeigen, daß die Horizontalprojektion des Abstandes des Kugelmittelpunktes vom Beobachtungsort bei einer Lotstörung von 10'' größer als 5 km sein muß, wenn der Kugelradius kleiner werden soll als der Abstand des Mittelpunktes von der Station. Bei einer Dichte von 0.5 genügt eine Horizontalprojektion von 3 km**). Die Störungsmasse beträgt im ersten Fall mindestens $1.6 \cdot 10^{17}$ g, im zweiten wenigstens $5.6 \cdot 10^{16}$ g.

5. *Zusammenfassung.* 1. Durch die Messungen im Gebiet des Nanga Parbat wird das Vorkommen sehr großer Lotabweichungen — wie sie früher in den Alpen und in Kaschmir (Deosai-Gebiet) festgestellt wurden — erneut bestätigt.

2. Der Einfluß des sichtbaren Reliefs im Gebiet des Nanga Parbat ist im allgemeinen zu klein, um die beobachteten Lotabweichungen zu erklären. Die

*) Da die Einflüsse der überschüssigen Massen unter den Randgebirgen und der fehlenden Massen unter den Tälern zusammenwirken, ermäßigen sich die in den angegebenen Beispielen erwähnten Massen entsprechend, d. h. ungefähr auf die Hälfte. — Dann läßt sich auch für das Stationspaar 8. Astor West und 9. Astor Ost eine weitere, vielleicht brauchbare, Lösung angeben: eine kugelförmige Zusatzmasse von der Dichte — 0.6 im Punkt 4 der Fig. 7 (Radius 7 km) zusammen mit einer entsprechenden Zusatzmasse von der Dichte 0.9 im Punkt 8 (Radius 4 km). Die Dichten der Einlagerungen wären dann 2.3 im Punkt 4 und 4.0 im Punkt 8. Natürlich sind auch andere Kombinationen denkbar.

**) Diese Angaben verdanke ich einer Mitteilung von R. Finsterwalder und P. Gast (Hannover).

nach Abzug der Wirkung des Reliefs übrigbleibenden Reststörungen liegen nur an wenigen Stationen innerhalb der durch die Ungenauigkeiten der Messung und der Reduktionsrechnung bedingten Fehlergrenzen.

3. Die Reststörungen zeigen qualitativ nahezu dieselbe Anordnung wie die gemessenen, unreduzierten Lotabweichungen. Es liegt also Unterkompensation in der Tiefe vor. Nur im Rupal-Tal lassen sich die Reststörungen durch ein isostatisch kompensierendes Massendefizit unterhalb des Nanga Parbat-Massivs einigermaßen erklären, besser ist es jedoch, hier Überkompensation anzunehmen. An den übrigen Stationen sind zur Deutung der Lotabweichungen Massenüberschüsse unter den Randmassiven und ein Massendefizit unter dem Indus-Tal von einer Größe nötig, die der Erklärung durch tief gelegene Massenunregelmäßigkeiten Schwierigkeit bereiten. Durch lokale Massenunregelmäßigkeiten lassen sich die Reststörungen zum Teil erklären, doch sind auch hier mitunter große Massen erforderlich.

6. *Schlußbemerkungen.* Wegen den Schwierigkeiten, die den Schwere-messungen bei Hochgebirgsexpeditionen heute noch im Wege stehen, ist es erfreulich, daß die Nanga Parbat-Expedition gezeigt hat, wie unter günstigen Umständen ein gewisser Ersatz durch Lotabweichungsbestimmungen aus trigonometrischen Höhenmessungen möglich ist, was einer Messung der horizontalen Schwerekomponente gleichkommt. Beachtet man, daß einer Lotabweichung von 1" eine horizontale Schwerekomponente von 5 mgal entspricht, so ergibt sich hieraus zunächst, daß in Zukunft eine Steigerung der Genauigkeit notwendig ist. Außerdem ist in genügendem Maße auf gegenseitige Kontrolle der verschiedenen Methoden zu achten*). Mit einer größeren Meßgenauigkeit müssen die Reduktionen entsprechend genauer durchgeführt werden. Im Hinblick hierauf wäre es wichtig, die Stationen so auszuwählen, daß unsichere Reduktionen vermieden werden können. Günstig sind Stationen auf Gipfeln und in Tälern, ungünstig solche auf halber Höhe der Hänge oder in unmittelbarer Nähe von sehr unregelmäßig gestaltetem Gelände. Außerdem dürfen Beobachtungsstationen nur dann in die Nähe oder gar an den Rand von Gletschern gelegt werden, wenn es möglich ist, die Dicke des Eises mit einer für die Reduktion ausreichenden Genauigkeit zu bestimmen (der große Dichteunterschied zwischen Eis und Gestein gibt sonst Veranlassung zu größeren Fehlern). Selbstverständlich ist zu beachten, daß die geologische Beschaffenheit der in die Reduktionen eingehenden sichtbaren Massen soweit bekannt ist, daß eine zuverlässige Abschätzung der Gesteinsdichten möglich wird.

Besonderes Interesse dürfte die Frage der sehr großen Lotabweichungen verdienen, die durch Massenunregelmäßigkeiten nicht ohne weiteres zu erklären sind.

Clausthal, Physikalisches Institut, September 1937.

*) Bei der Nanga Parbat-Expedition 1934 wurden auf keiner Station zugleich beide Methoden der Lotabweichungsbestimmung eingesetzt. Hierbei ist zu bedenken, daß die trigonometrische Bestimmung nicht im Expeditionsprogramm enthalten war, sondern daß sie sich erst nachträglich bei der Auswertung des Beobachtungsmaterials als brauchbar erwies.