

# DIE VERTIKALEN ERDKRUSTENBEWEGUNGEN UND SÄKULARVARIATIONEN DES ERDSCHWEREFELDES

Von

P. BIRÓ

Lehrstuhl für Höhere Geodäsie, Technische Universität Budapest

(Eingegangen am 31. Mai 1971)

Vorgelegt von Prof. Dr. I. HAZAY

Die Bestimmung von rezenten vertikalen Erdkrustenbewegungen rückt immer mehr in den Vordergrund des Interessenkreises der heutigen dynamischen Geodäsie. Die Einzelheiten der Bestimmungsmethode, wie die Gestaltung des Untersuchungsnetzes, die Vermarkung der Höhenfestpunkte, die Meßtechnologie, die rechentechnischen Fragen usw., werden vielseitig analysiert und diskutiert. Die Meinungen verschiedener Verfasser stimmen darin überein, daß die vertikalen Erdkrustenbewegungen durch den Vergleich der von wiederholten Nivellements abgeleiteten Änderungen der Höhenunterschiede benachbarter Festpunkte prinzipiell abgeleitet werden können, d. h. daß die durch wiederholte Nivellements bestimmten relativen Höhenänderungen der Untersuchungspunkte die wirklichen Erdkrustenbewegungen zeigen würden. Im Lichte der neuesten Erkenntnisse über die Physik der festen Erde halten wir es aber für nötig, diese prinzipielle Frage etwas eingehender zu überprüfen.

Von der bekannten *asymmetrischen Struktur des erdmagnetischen Feldes* schloß der ungarische Geophysiker Prof. Barta auf eine exzentrische Lage des Erdkerns. Diese exzentrische Lage der Masse des Erdkerns muß sich auch in der *Asymmetrie des Erdschwerfeldes*, d. h. in der Gestalt der Niveauflächen der Erde äußern. Dieser Gedanke wird neben den geophysikalischen Überlegungen auch durch eine kurze Betrachtung der Äquatorschnitte einiger mittels der Satellitengeodäsie bestimmter Niveauflächen des Erdpotentials unterstützt.

Abb. 1 bzw. Abb. 2 zeigen den Äquatorschnitt des Geoids von »Smithsonian Standard Earth 1969« bzw. der Niveaufläche des Erdschwerfeldes in 10 000 km Höhe; die gestrichelte Linie stellt die Richtung des Mittelpunktes des exzentrischen magnetischen Dipols bzw. des exzentrischen Erdkerns dar.

Auch die *säkularen Änderungen des erdmagnetischen Feldes* sind seit lange bekannt und wurden beobachtet. Prof. Barta findet die Ursache dieser Erscheinung in der säkularen Wanderung des ferromagnetischen Erdkerns. In diesem Falle muß aber auch das Gravitationsfeld der Erde, d. h. die Größe

der Schwerkraftbeschleunigung, der Wert des Erdpotentials sowie die Gestalt seiner Niveauflächen Säkularvariationen unterworfen sein. Diese Erscheinung beeinflusst unsere Erdkrustenbewegungsuntersuchungen folgenderweise.

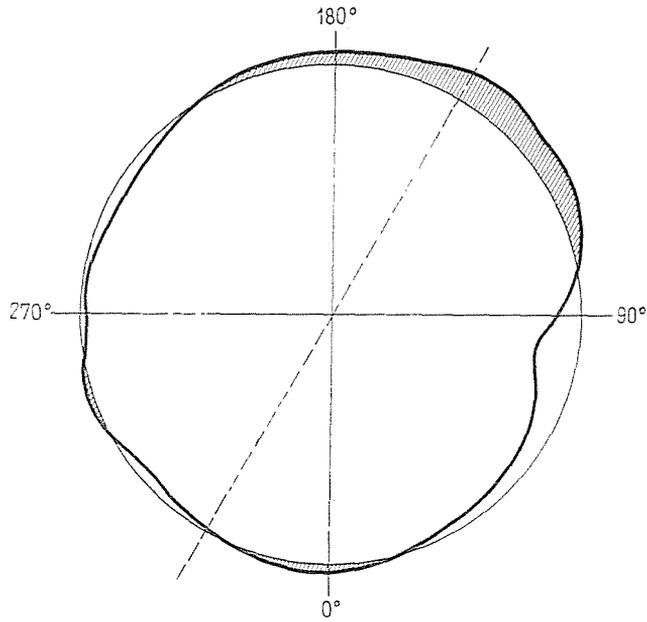


Abb. 1

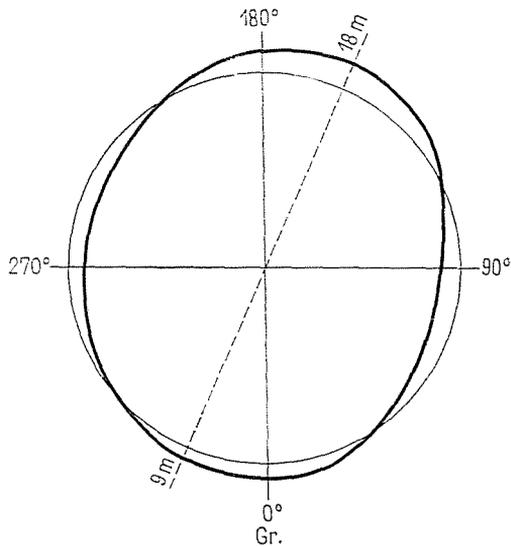


Abb. 2

Durch Nivellementsarbeiten lassen sich Deformationen der Erdkruste bzw. der physikalischen Erdoberfläche *im Verhältnis zu den Niveauflächen der Erde* bestimmen. Grundannahme ist, daß die Gestalten der Potentialflächen im Laufe der Zeit *unverändert bleiben*.

Sind jedoch die Niveauflächen säkularen Formänderungen unterworfen, so muß man sich dessen bewußt sein, daß die beim Nivellement beobachteten relativen Lageänderungen der physikalischen Erdoberfläche und der Äquipotenzflächen der Erde *keine absoluten Oberflächen- bzw. Erdkrustendeformationen darstellen*.

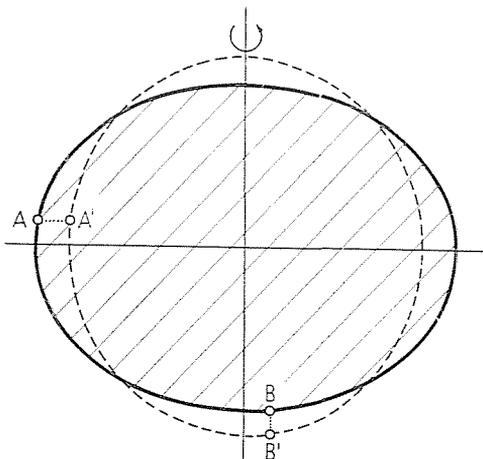


Abb. 3

Um die Verhältnisse besser zu erklären, sollen nun zwei Extremfälle betrachtet werden. Im ersten Falle stellen wir uns die Erde aus *idealer Flüssigkeit* aufgebaut vor.

In Abb. 3 ist ein Meridianschnitt dieser flüssigen Erde dargestellt. Die freie Oberfläche ist natürlich mit einer Niveaufläche der Erdmasse in hydrostatischem Gleichgewicht identisch. Punkte *A* und *B* sind Oberflächenpunkte der Erde auf derselben Niveaufläche (Höhenunterschied  $\Delta H_{AB} = 0$ ).

Auf eine durch irgendwelche Ursache herbeigeführte Änderung der Gestalt der Potentialflächen würde in diesem Falle sofort dieselbe Änderung der physikalischen Erdfigur folgen. Der Meridianschnitt der veränderten Niveaufläche ist in Abb. 3 durch eine gestrichelte Linie dargestellt. Die Oberflächenpunkte *A* und *B* würden in die Lage *A'* bzw. *B'* verschoben, werden aber noch immer auf derselben Niveaufläche (Höhenunterschied  $\Delta H_{A'B'} = 0$ ) liegen.

Wäre also die Erdmasse eine ideale Flüssigkeit, würden wiederholte Nivellements *keine relativen Lageänderungen* zeigen, obwohl *wesentliche ab-*

*solute Oberflächendformationen* vorhanden sein könnten, die sich jedoch durch das Nivellement nicht nachweisen lassen würden. Über vertikale Erdkrustenbewegungen im bisherigen Sinne könnte überhaupt nicht gesprochen werden.

Im zweiten Extremfalle, wenn die Erde *ganz starr* wäre, wäre die Möglichkeit von Deformationen jeder Art völlig ausgeschlossen. In Abb. 4 ist der Äquatorschnitt der die ursprünglich auf derselben Niveaufläche befindlichen Oberflächenpunkte *A* und *B* schneidenden Potentialfläche des starren Erdkörpers dargestellt (Höhenunterschied  $\Delta H_{AB} = 0$ ).

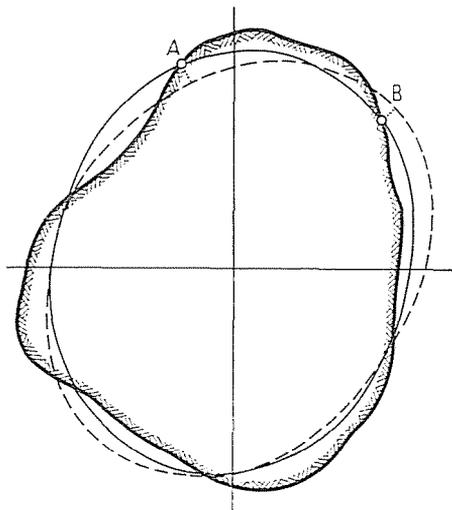


Abb. 4

Die Schnittlinie nach einer Deformation dieser Niveaufläche ist mit einer gestrichelten Linie ausgezogen.

Solche Deformationen der Potentialflächen der Erde können durch die vorausgesetzten säkularen Änderungen des Erdschwerefeldes hervorgerufen werden. Die Richtung des Mittelpunkts des erdmagnetischen Feldes weist eine bestimmte säkulare Drehung nach West von etwa 0,2 Grad/Jahr auf, die höchstwahrscheinlich einen materialbedingten Grund hat. In diesem Falle ist eine ähnliche Erscheinung auch in bezug auf das Erdschwerefeld zu erwarten.

Die Oberflächenpunkte *A* und *B* des starren Erdkörpers würden unverändert bleiben, ihr Höhenunterschied wäre aber nicht mehr gleich Null.

Wiederholte Nivellements würden wegen der Säkularvariationen der Gestalt der Niveauflächen *beträchtliche Lageänderungen* zeigen, *obwohl keine Oberflächendformationen vorhanden sein könnten*. Die ganze so erhaltene relative Lageänderung würde nach der bisherigen Auffassung als Erdkrustenbewegung betrachtet werden.

Um die Bedeutung der Frage richtig zu beurteilen, sei erwähnt, daß die jährliche vertikale Lageänderung der Potentialflächen der Erde (etwa im Meeresniveau) nach den Abschätzungen der Geophysiker in einer sich langsam nach West verschiebenden, systematischen Verteilung auf der Erdoberfläche sogar einige Dezimeter betragen kann.

In Wirklichkeit ist die Erde keine Flüssigkeit, aber auch kein starrer Körper, sondern eine *elastische Masse*, die ein bestimmtes elastisches Deformationsvermögen aufweist. Infolgedessen kann und wird die Oberflächen-

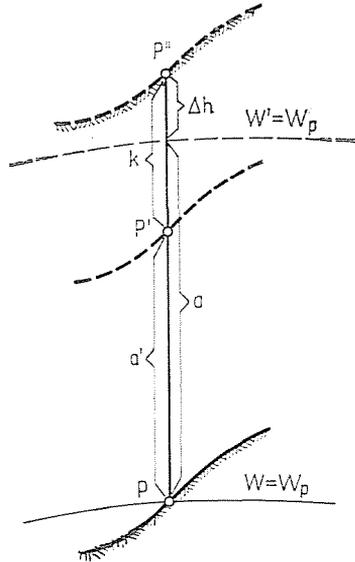


Abb. 5

gestalt der Erde den Säkularvariationen des Erdschwerefeldes in etwa 70 oder noch mehr Prozenten ständig, jedoch mit einer gewissen Verspätung, folgen.

Abb. 5 zeigt den Normalschnitt der *wirklichen Erdoberfläche* im Punkt  $P$  mit der Niveauläche  $W = W_p$ . Infolge der säkularen Änderungen des Erdschwerefeldes wird diese Niveauläche in die mit einer gestrichelten Linie dargestellte Lage verschoben ( $W' = W_p$ ). Die Verschiebung der Niveauläche wird mit  $a$  bezeichnet. Auf diese folgt eine Oberflächendeformation  $a'$  der elastischen Erdmasse, wodurch der Oberflächenpunkt  $P$  in die Lage  $P'$  verschoben wird.

Es bleibt also eine gewisse *relative Lageänderung* ( $\Delta a = a - a' > 0$ ) zwischen Niveaulächen und Erdoberfläche, *unabhängig von den rezenten Erdkrustenbewegungen* im bisherigen Sinne, nur infolge der Säkularvariation des Erdpotentials (wegen der Wanderung des Erdkerns und evtl. anderer Ursachen).

Ist auch noch eine Krustendeformation  $k$  vorhanden, wird der Oberflächenpunkt  $P$  nach  $P''$  verschoben. Das wiederholte Nivellement wird einen Höhenunterschied  $\Delta h$  des Punktes  $P$  zeigen, der weder mit der absoluten Oberflächendeformation ( $\overline{PP''}$ ) der elastischen Erdmasse noch mit der reinen Krustendeformation ( $\overline{P'P''}$ ) identisch ist. Die Ursache ist die relative Lageänderung ( $\Delta a = a - a'$ ) der Erdoberfläche und der Niveaufläche.

Da die so entstandenen relativen Lageänderungen einen regionalen Charakter haben, beeinflussen sie die Nivellementsergebnisse von ausgedehnten Gebieten, wo die tatsächlichen Krustendeformationen durch die Unterschiede der säkularen, relativen Lageänderungen von verschiedenen Teilgebieten überlagert erscheinen.

Aufgrund dieser Feststellungen sind die folgenden Begriffe scharf zu unterscheiden. Die *absolute, vertikale Lageänderung der Erdoberfläche* ist die ganze Größe  $\overline{PP''}$  der vertikalen Verschiebung eines Oberflächenpunktes in einer gewissen Zeit. Sie enthält die reine Krustendeformation  $k$  und die Deformation der Erdmasse  $a'$ , d. h. etwa 70 oder mehr Prozente der Vertikalverschiebung  $a$  der Niveaufläche zufolge der Säkularvariation des Erdschwerefeldes:

$$\overline{PP''} = a' + k = \Delta h + a.$$

Die absolute vertikale Lageänderung der Erdoberfläche läßt sich berechnen, wenn zur durch wiederholte Nivellements bestimmten Höhenänderung  $\Delta h$  des Punktes die Vertikalverschiebung  $a$  der Niveaufläche hinzuge-rechnet wird.

Die *relative vertikale Lageänderung der Erdoberfläche* ist die vertikale Verschiebung des Oberflächenpunktes im Verhältnis zur örtlichen Niveaufläche. Sie besteht aus der reinen Krustendeformation und der Vertikalverschiebung der Niveaufläche zufolge der Säkularvariation des Erdschwerefeldes, der die Erdmasse nicht folgt. Sie läßt sich durch wiederholte Nivellements als einfache Höhenänderung des Punktes berechnen.

Unter *reiner vertikaler Krustendeformation (Krustenbewegung)* werden die vertikalen Bewegungen  $k$  verstanden, die in der Erdkruste zwischen der *Moho*-Fläche und der physikalischen Erdoberfläche vor sich gehen (z. B. Kompaktion, Auflockerung, isostatische, tektonische und ähnliche Bewegungen usw.). Die Krustendeformation wird bestimmt, indem zum durch wiederholte Nivellements ermittelten Höhenunterschied des Punktes die Vertikalverschiebung der Niveaufläche, der die Erdmasse nicht folgt, hinzugerechnet wird:

$$k = \Delta h + \Delta a, \Delta a = a - a' > 0.$$

Es wurde bisher gezeigt, daß durch einfaches Vergleichen der Ergebnisse von wiederholten Nivellements *statt Krustenbewegungen nur die relativen Lage-*

änderungen der Erdoberfläche bestimmt werden können, die den geringsten geophysikalischen Inhalt haben und am wenigsten charakteristisch sind.

Es kann festgestellt werden, daß wenn mit Säkularvariationen des Erdschwerefeldes gerechnet werden muß, *die Bestimmung allein der Änderungen der Normal- bzw. orthometrischen Höhenunterschiede der benachbarten Höhenfestpunkte zur Bestimmung weder der vertikalen Erdkrustenbewegungen noch der absoluten Lageänderungen der Erdoberfläche genügt.*

Es wäre notwendig, auch die durch Säkularvariationen des Erdschwerefeldes hervorgerufene Verschiebung der Niveaufläche genau zu kennen. Dazu fehlen noch die Kenntnisse über die Elastizitätsverhältnisse des Erdkörpers unter einem säkularen Einfluß, um den Unterschied  $\Delta a = a - a'$  oder das Verhältnis  $a':a$  zu bestimmen (nicht abzuschätzen).

Es müssen also die Säkularvariation des Erdschwerefeldes sowie die Elastizitätsverhältnisse der festen Erde studiert werden. Solange die Potentialwerte bzw. ihre zeitlichen Veränderungen in den Oberflächenpunkten nicht genau bestimmt werden können, stellt die Bestimmung der absoluten bzw. relativen, zeitlichen Schwerkraftänderungen der Höhenfestpunkte durch regelmäßig wiederholte Schwermessungen von hoher Genauigkeit einen wesentlichen und den einzigen Beitrag zur Lösung dieser Aufgabe dar.

### Zusammenfassung

In der dynamischen Geodäsie von heute rückt die Erforschung der vertikalen Erdkrustenbewegungen immer mehr in den Vordergrund. Der Begriff vertikale Erdkrustenbewegung wurde schon von mehreren Verfassern erörtert. Um zeitgemäß zu verfahren, müssen die Begriffe im Lichte der neuen Erkenntnisse wiederholt überprüft und verfeinert werden.

Im Beitrag werden die Auswirkungen der Säkularvariationen des Erdschwerefeldes auf die Ergebnisse der wiederholten Feinnivellements analysiert. Aufgrund dieser Analyse werden drei Begriffe vorgeschlagen und scharf unterschieden, nämlich die »absolute« bzw. die »relative vertikale Lageänderung der Erdoberfläche« und die »reine vertikale Krusten deformation«. Zur praktischen Bestimmung letzterer ist auch die Kenntnis der Säkularvariation der Niveaufläche des Erdschwerefeldes und die der Elastizitätsverhältnisse der festen Erde unter säkularer Einwirkung nötig.

### Schrifttum

- BARTA, GY.: The Potsdam "g"-value and the displacement of the Earth's core. (Bureau Grav. Int. Bulletin d'Information No 4. Paris 1963).
- BARTA, GY.: Correspondence between the shape of the Earth and some geophysical phenomena. Studia Geoph. et Geod. No 9. Praha 1965.
- BARTA, GY.: The evolution of the idea of the secular variation of the gravity. Boll. di Geof. teor. ed appl. VII. 25, Trieste 1965.
- BARTA, GY.: The asymmetric structure of the earth and its secular processes. Sonderheft 25 der Österr. Z. f. V., Wien 1967.
- BARTA, GY.: On the hypothesis of the secular variation of gravity field. Bureau Grav. Int. Bulletin d'Information No 25. Paris 1970.
- VOGEL, A.: The question of secular variations in the Earth's gravity field. Bulletin Géodésique No 88. Paris 1968.

Dozent Dr.-Ing. Peter BIRÓ, Budapest XI., Műgyetem rkp. 3, Ungarn