

# GLÜCKAUF

## Berg- und Hüttenmännische Zeitschrift

Nr. 18

4. Mai 1940

76. Jahrg.

### Die Frage der Hebungen bei Bodenbewegungen infolge Bergbaues.

Von Professor Dr. K. Oberste-Brink, Essen.

Die Frage, ob bei Bodenbewegungen infolge Bergbaues Hebungen stattfinden können, ist, seitdem Buntzel<sup>1</sup> sie — wohl zum ersten Male im Schrifttum — im Jahre 1911 angeschnitten hat, nicht wieder zur Ruhe gekommen, namentlich nachdem Buntzel<sup>2</sup> und Goldreich<sup>3</sup> sie im Jahre 1913 bejahten. Später sprachen sich namentlich Lehmann<sup>4</sup> und in neuerer Zeit Quiring<sup>5</sup> und Kampers<sup>6</sup> für Bodenhebungen aus, während Grond<sup>7</sup> und der Verfasser<sup>8</sup> sie ablehnten.

#### Hebungen am Rande von Senkungsmulden.

Buntzel hat bei seiner Veröffentlichung im Jahre 1911 lediglich festgestellt, daß durch Höhenmessungen bei Bodensenkungsbeobachtungen in Oberschlesien eine höhere Lage von Festpunkten am Rande von Senkungsmulden ermittelt wurde. Er hielt damals die vorliegenden Unterlagen nicht für ausreichend, um beurteilen zu können, ob es sich um wirkliche Hebungen oder um Fehler der Höhenmessungen oder um scheinbare Hebungen infolge Senkung des Ausgangspunktes der Höhenmessungen handelte. In der Beilage zur Festschrift zum Bergmannstag in Breslau 1913 hat sich Buntzel aber noch einmal mit der Frage befaßt und ist damals zu der Erkenntnis gekommen, »daß an den Rändern der durch Spülversatzabbau hervorgerufenen Senkungsmulden tatsächlich zuweilen schollenartige Hebungen der Erdoberfläche vorkommen«. Die größte von Buntzel angegebene Hebung beläuft sich auf 150 mm, in zwei weiteren Fällen werden 60 und 70 mm festgestellt, im allgemeinen überschreiten die Hebungen 40 mm aber nicht.

Goldreich kam in erster Linie auf Grund theoretischer Erwägungen zu der Annahme absoluter Hebungen am Rande von Senkungsmulden. Bekanntlich beruht seine Bodensenkungstheorie auf der Rebhannschen Theorie vom Erddruck. Der über dem Abbau liegende Gebirgsblock wird von Goldreich als Stützmauer aufgefaßt, die über dem Abbau im Deckgebirge senkrecht nachsinkt, wobei die Schichten des Deckgebirges zunächst an einer Begrenzungsebene, die zwischen der »gefährlichen« Böschung des aktiven Erddruckes und der natürlichen Böschung liegt, abrutschen. In dem Augenblick jedoch, in dem der Mittelblock zur Ruhe kommt, wird der passive Erddruck Rebhanns ausgelöst, der das Bestreben hat, Teile des

Deckgebirges rückwärts in die Höhe zu schieben. Diese Rückwärtsbewegung erfolgt unter der Voraussetzung des Wegfalles der Kohäsion zwischen den Winkeln  $\gamma = 45^\circ + \frac{\beta}{2}$  und  $\delta = 45^\circ - \frac{\beta}{2}$ , wobei  $\beta$  der natürliche Böschungswinkel ist (Abb. 1). Die Folge dieser Rückwärtsbewegung ist eine Hebung der Tagesoberfläche. Je größer der natürliche Böschungswinkel ist, desto weiter wird die geschilderte Wirkung reichen. Goldreich wurde in seiner Ansicht durch eine Eisenbahn-Höhenmessung bestärkt, die an den Rändern einer Senkungsmulde Hebungen von Höhenpunkten bis zu 0,297 m Größe auswies. Auch in jüngeren Veröffentlichungen<sup>1</sup> stellt sich Goldreich auf den Standpunkt, daß absolute Hebungen beim Bodenbewegungsvorgang stattfinden, die auf dieselbe Weise erklärt werden wie im Jahre 1913. Allerdings sind sie wesentlich kleiner und betragen im Höchstfalle nur 0,06 m.

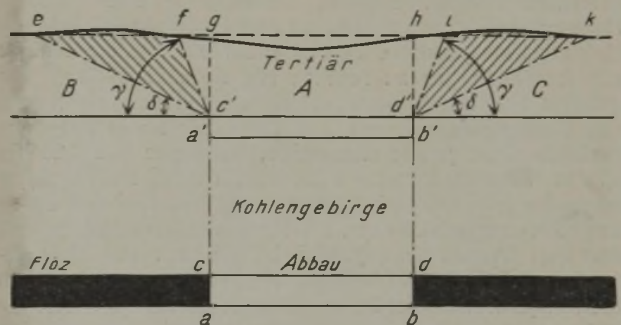


Abb. 1. Der Hebungsvorgang nach Goldreich.

Lehmann<sup>2</sup> lehnt 1919 die theoretischen Erklärungen Goldreichs für die Hebungen ab, absolute Hebungen selbst werden aber auch von ihm nicht bestritten. Er erklärt die Erscheinung wie folgt: »Ich möchte in dem Bewegungsvorgang einen kleinen Faltenwurf sehen, wobei die Überhöhung den wenn auch nur schwachen Sattel zur Senkungsmulde darstellt. Dabei mag eine geringe Drehbewegung mitspielen, die erklärlich wird, wenn man den sinkenden Körper als eine Schicht betrachtet, die sich wie ein in der Mitte belastetes Brett durchbiegt und sich dabei außerhalb der Auflagerungspunkte als Gegenwirkung nach oben wölbt (Abb. 2). Auch die Annahme würde gerechtfertigt erscheinen, daß sich der Verband der Schichten mit dem



Abb. 2. Der Hebungsvorgang nach Lehmann.

<sup>1</sup> Buntzel: Über die in Oberschlesien beim Abbau mit Spülversatz beobachteten Erdsenkungen, Z. Berg-, Hütt.- u. Sal.-Wes. 59 (1911) S. 333.

<sup>2</sup> Buntzel: Über die in Oberschlesien beim Abbau mit Spülversatz beobachteten Erdsenkungen, Beil. Festschr. Bergmannstag Breslau 1913 S. 77.

<sup>3</sup> Goldreich: Theorie der Bodensenkungen in Kohlengebieten, Berlin 1913.

<sup>4</sup> Lehmann: Bewegungsvorgänge bei der Bildung von Pingen und Trögen, Glückauf 55 (1919) S. 936.

<sup>5</sup> Quiring: Hebungen am Rande und im Innern bergbaulicher Senkungsmulden, Z. Berg-, Hütt.- u. Sal.-Wes. 86 (1938) S. 413.

<sup>6</sup> Kampers: Hebungen am Rande bergbaulicher Senkungsmulden infolge Aufwölbungen von Satteltuppen, Kohle u. Erz 36 (1939) Sp. 521; Über Aufwölbungen am Rande und im Innern bergbaulicher Senkungsmulden, Techn. Bl. (Düsseld.) 30 (1940) S. 31.

<sup>7</sup> Grond: Gebirgsbewegungen beim Steinkohlenbergbau, Diss. Münster 1926 S. 39.

<sup>8</sup> Oberste-Brink: Markscheidewesen und Bergschadenkunde, Mitt. Markscheidewes. 37 (1926) S. 34; Das Wesen des Bewegungsvorganges bei Bodensenkungen infolge von Einwirkungen des Bergbaus, Glückauf 65 (1929) S. 128.

<sup>1</sup> Goldreich: Die bergbauliche Beeinflussung der Tagesoberfläche, Montan. Rdsch. 29 (1937) S. 1; Die Erdbewegungen im Kohlenrevier, Schlägel u. Eisen (Brux) 35 (1937) S. 123.

<sup>2</sup> a. a. O. S. 936.



Absinken an den Bruchflächen entlang teilweise oder völlig löst, wodurch die vorher gebundene Spannung frei wird und als Expansionskraft nach der Richtung des geringsten Widerstandes, also nach oben, strebt.«

Quiring beschränkt die Hebungen auf solche Fälle, bei denen über den Abbauräumen feste Schichten liegen. Es kommt dann nach seiner Auffassung unter Wahrung des Zusammenhanges über dem Abbau zu einer Durchbiegung der Schichten, bei der den Senkungen im Innern der Senkungsmulde Hebungen am Rande gegenüberstehen. Schematisch-theoretisch läßt sich nach Quiring der Vorgang so erklären, wie die Abb. 3 veranschaulicht. Der sich einbiegende Gesteinskörper ist in eine nördliche und eine südliche Schrägscholle aufgeteilt, die durch Kippung im Pressungsdreieck Druck und an den Muldenrändern bei der Kippung Hebung und Zerrung verursachen.



Abb. 3. Der Hebungsvorgang nach Quiring.

Quiring kommt, indem er von dem in der Abb. 4 dargestellten Beispiel ausgeht, bei dem er eine absolute Hebung von 0,33 m annimmt, zu dem Ergebnis, daß bei dem Entstehen bergbaulicher Senkungsmulden in festem Gebirge mit Randhebungen zu rechnen ist, die etwa 5–15 % der größten Senkungen betragen. Es würden also am Rande von Senkungsmulden von 5 m Tiefe, wie sie in Bergbaubezirken nicht gerade selten sind, Hebungen von 0,25 bis 0,75 m Höhe zu erwarten sein. Im einzelnen stellt Quiring folgendes fest: Die Hebungzone liegt zwischen dem durch den »Senkungswinkel« von 75–85° bestimmten Muldenrand und dem »Abbauwirkungswinkel«, der nach dem oben angeführten Beispiel 36° beträgt. Die Senkungszone ist desto breiter, je breiter die Senkungsmulde ist und je tiefer der Abbau umgeht. Geht beispielsweise ein weitflächiger Bergbau in 1000 m Tiefe um, so liegt der Rand der Senkungsmulde in etwa 200 m horizontaler Entfernung vom Rand des Abbaues. Die Hebungs- und Aufwölbungszone kann dagegen, entsprechend der Breite der Senkungsmulde, bis zu 1500 m horizontal über den Abbaurand hinausreichen. Die Randhebung ist mit Zerrungen quer zur Aufwölbungszone, also

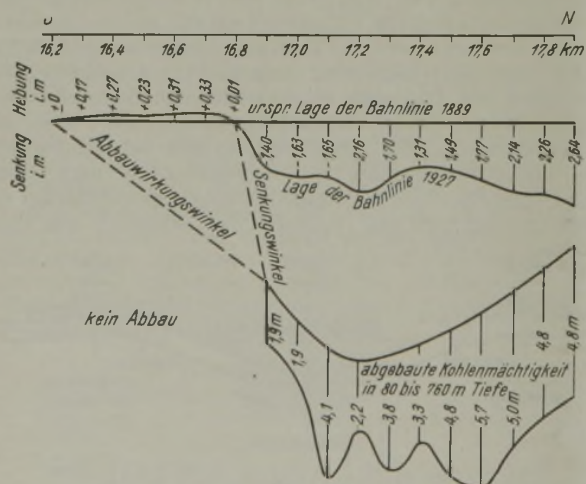


Abb. 4. Veränderung der Höhenlage einer quer zu einer bergbaulichen Senkungsmulde verlaufenden Eisenbahnstrecke im Ruhrkohlenbecken von 1889 bis 1927 (nach Quiring).

quer zum Rand der Senkungsmulde, verknüpft. Das Maß der Zerrung ist abhängig von der Höhe und Breite der Hebungzone. Im Gegensatz zu den im Innern der Senkungsmulden feststellbaren Hebungen erfolgt die Randhebung nicht nachträglich, sondern gleichzeitig mit der Einbiegung der Senkungsmulde.

Die jüngste sich mit Hebungen beim Bodenbewegungsvorgang befassende Abhandlung stammt von Kampers, der sich aber auch schon 1939 mit der Erscheinung befaßt hat. Die Abb. 5 und 6 geben nach der Abhandlung aus dem Jahre 1940 seine Auffassung über den Hebungsvorgang wieder. Er ist der Ansicht, »daß die die abgebauten Flöze überlagernden Sandsteinschichten infolge ihrer elastischen Eigenschaften allmählich zusammengebogen werden, wodurch die Sattelpuppe unter gewissen näher bezeichneten Voraussetzungen übertage eine geringe Hebung hervorruft. Diese Zusammenbiegung ist ihrerseits wieder durch die ungeheuren Druckericherungen bedingt, die gerade im Innern einer abgebauten bzw. in Abbau begriffenen Flözmulde herrschen und bei ihrer allmählichen Entspannung sich nach allen Seiten auswirkend auch auf die Muldenflügel einen kräftigen Seitendruck ausüben.«

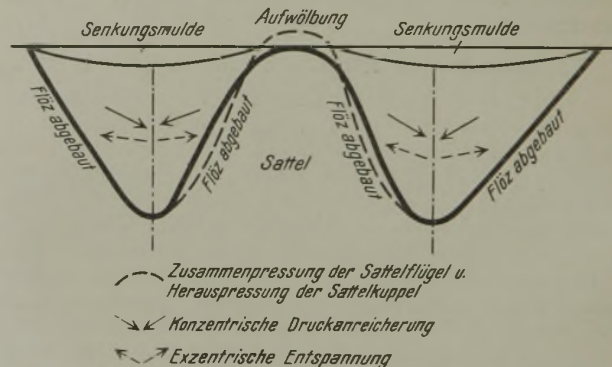


Abb. 5. Schematisches Profil für die beiderseitige Aufwölbung einer Sattelpuppe bei überwiegend elastischen Sandsteinschichten infolge Abbaues zweier Flözmulden (nach Kampers).

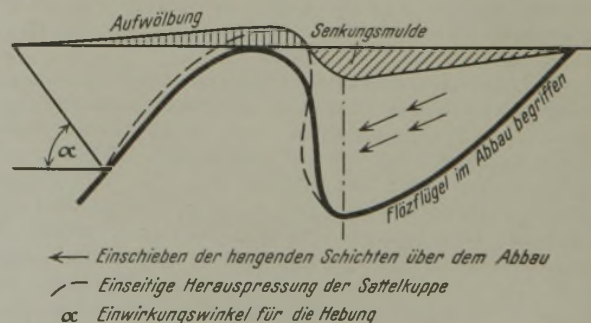


Abb. 6. Schematisches Profil für die einseitige Aufwölbung einer Sattelpuppe bei überwiegend elastischen Sandsteinschichten infolge intensiven Abbaues eines dem Sattel gegenüber liegenden Muldenflügels (nach Kampers).

Wird, wie Abb. 6 andeutet, nur auf einer Seite einer Mulde abgebaut, der Sattel also unter einseitigen Druck gesetzt, so kann sich nach Kampers die Aufbiegung auch auf den Sattelgegenflügel erstrecken und hier weitreichende Hebungen der Tagesoberfläche hervorrufen, welche in der Abb. 6 schematisch wiedergegeben sind.

Mit der Widerlegung der Hebungstheorie von Goldreich hat sich schon Eckardt<sup>1</sup> und, wie oben bemerkt, später auch Lehmann befaßt. Beide weisen mit vollem Recht darauf hin, daß bei Bodenbewegungen infolge Bergbaues nur ein Zuwandern von Bodenteilen zum Innern von Senkungsmulden festgestellt worden ist, aber niemals eine

<sup>1</sup> Eckardt: Der Einfluß des Abbaues auf die Tagesoberfläche, Glückauf 50 (1914) S. 455.



Bewegung rückwärts, was die theoretische Annahme Goldreichs unmöglich macht. Die Ansicht Lehmanns von der Hebelwirkung wird 1926 von Grond behandelt und ihre Richtigkeit bestritten. Ihr steht außer den von Grond genannten Gründen m. E. entgegen, daß schon die den Zusammenhang unterbindende Klüftigkeit der Gesteine einem zu weit gehenden Vergleich mit einer starren Platte oder einem Balken und damit einer Hebung bei Kippung widerspricht. Wäre die Ansicht Quirings von der Schrägschollenkippung richtig, so hätte irgendwo in einem Steinkohlenbecken an der unteren Grenze der gekippten Schrägschollen schon einmal eine Ablösungsfläche angetroffen sein müssen. Eine solche ist, obwohl man nachträglich sehr häufig derartige Stellen in Steinkohlengebieten durchörtert hat, bisher aber niemals festgestellt worden. Namentlich bei den von Quiring angeführten außerordentlich großen Hebungsmaßen hätten sich solche Erscheinungen zeigen müssen. Der Ansicht Kampers widerspricht, daß auch bei seiner Theorie an der Tagesoberfläche vom Innern der Senkungsmulde rückwärts gerichtete Bewegungen auftreten müssen, die man aber an Beobachtungslinien niemals nachgewiesen hat (vgl. z. B. die einer Abhandlung von Keinhorst<sup>1</sup> entnommene Abb. 7, in der zwei Senkungsmulden nebeneinander liegen).

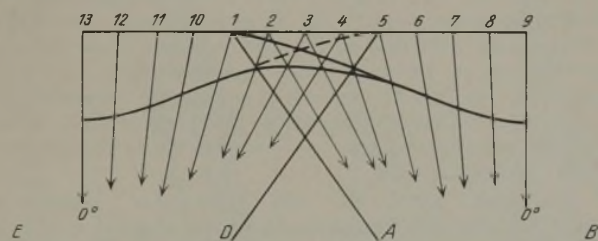


Abb. 7. Die Bodenbewegungen in einer Senkungsmulde nach Keinhorst.

Schon aus theoretischen Erwägungen sind also Hebungen unwahrscheinlich. Der Verfasser hat aber auf Grund eines umfangreichen Höhenmessungsmaterials, wie schon früher, nochmals auch eine auf Beobachtungen beruhende Prüfung vorgenommen, ob beim Bodenbewegungsvorgang absolute Hebungen eintreten. Diese Untersuchung, die übrigens in keinem Falle ein Höherliegen von Messungspunkten um mehr als wenige Zentimeter ergab, hat ihm erneut bestätigt, daß solche Hebungen nicht stattfinden.

Wenn es auch im Rahmen dieser Abhandlung nicht möglich ist, sämtliche Untersuchungsergebnisse anzuführen, so soll doch wenigstens ein bemerkenswerter Fall angeblicher Hebungen am Rande einer Senkungsmulde etwas ausführlicher behandelt werden. Er betrifft in jüngster Zeit durchgeführte Beobachtungsmessungen über einem Abbau in der Emscher-Mulde in einer Teufe von 200–250 m dicht unter dem Deckgebirge, das eine Mächtigkeit von rd. 200 m hat. In den Monaten Juli, September, November und Dezember 1939 sowie Februar 1940 wurde eine Reihe gut vermarkter Festpunkte bestimmt, wobei man die aus der nachstehenden Zahlentafel zu ersiehenden scheinbaren Hebungen bis zu 19 mm Größe festgestellt hat.

Punkt	Höhenlage in m					Höhenunterschiede gegenüber der Anfangslage in mm			
	Juli 1939	Sept. 1939	Nov. 1939	Dez. 1939	Febr. 1940	7. 9. 1939	9. 11. 1939	11. 12. 1939	12. 2. 1940
238	40,279	40,279	40,286	40,279	40,277	—	+ 7	—	— 2
280	40,420	40,397	40,361	40,363	40,363	— 23	— 59	— 57	— 57
320	40,296	40,300	40,309	40,313	40,315	+ 4	+ 13	+ 17	+ 19
360	40,515	40,520	40,490	40,484	40,491	+ 5	— 25	— 31	— 24
400	40,906	40,911	40,411	40,907	40,909	+ 5	+ 5	+ 1	+ 3
438	41,159	41,159	41,162	41,165	41,170	—	+ 3	+ 6	+ 11
482	—	41,192	41,197	41,196	41,198	—	+ 5	+ 4	+ 6
525	42,273	42,274	42,279	42,276	42,276	+ 1	+ 6	+ 3	+ 3

Abb. 8 gibt die Lage der Höhenpunkte auf dem Rande der Senkungsmulde, die in der Abbildung weiter rechts

<sup>1</sup> Keinhorst: Bei Bodensenkungen auftretende Bodenverschiebungen und Bodenspannungen, Glückauf 64 (1928) S. 1144.

liegt, wieder. An den Punkten 280 und 360 sind nachträglich Änderungen vorgenommen worden; sie müssen daher bei der Betrachtung ausscheiden. Namentlich bei den Punkten 320 und 438 zeigte sich eine im Laufe der Zeit stets wachsende Höhenlage, die eine Hebung vortäuschte. Nun waren aber neben den Höhenmessungen gleichzeitig auch Horizontalmessungen durchgeführt worden, die an der für die Hebungen in Frage kommenden Stelle auf etwa 40 m Länge Zerrungen bis zu 19 mm Größe ergaben, die die Abb. 8 ebenfalls veranschaulicht. Auch bei tatsächlich vorliegenden Hebungen würden diese Dehnungen erklärlich sein, eine Untersuchung auf die Standfestigkeit des Ausgangspunktes der Höhenmessungen ergab aber schon bald, daß er in bergunsicherem Gelände lag und daß hierauf die angeblichen Hebungen zurückzuführen waren.

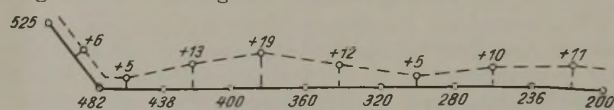


Abb. 8. Zerrungen in einem angeblichen Hebungsgebiet auf dem Rande einer Senkungsmulde im Ruhrkohlenbecken.

Ein zweites Beispiel behandelt eine scheinbare Hebung in Oberschlesien, über die mir Unterlagen zur Verfügung gestellt worden sind. Hier wurden in den Jahren 1914 bis 1919 über einem in den Jahren 1915 bis 1917 geführten Abbau Beobachtungsmessungen vorgenommen, die in den Jahren 1914 bis 1916 die in Abb. 9 dargestellte höhere Lage der Messungspunkte bis zu 4 cm ergaben. Der Abbau konnte kaum vor Mitte 1915 Einwirkungen auf die Tagesoberfläche ausüben. Es zeigten sich aber schon bei der Wiederholung der Höhenmessung im April 1915 Hebungen, die sich, wie aus der nachstehenden Zahlentafel hervorgeht, bis in das Jahr 1916 hinein ständig vergrößerten.

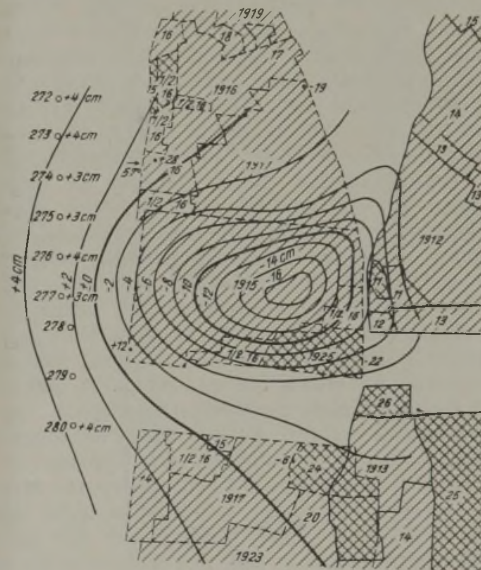


Abb. 9. Angebliche Randhebungen über einem Abbau in Oberschlesien.

Zeitpunkt der Messung	Abweichung von der vorhergehenden Messung in mm bei Punkt								
	272	273	274	275	276	277	278	279	280
August 1914	—	—	—	—	—	—	—	—	—
April 1915	+ 16	+ 20	+ 18	+ 14	+ 16	+ 16	+ 12	—	+ 18
Oktober 1915	+ 3	— 5	+ 3	+ 4	+ 8	+ 6	—	—	+ 3
Juli 1916	+ 19	+ 27	+ 14	+ 17	+ 9	+ 15	—	+ 29	+ 12
insges.	+ 38	+ 42	+ 35	+ 35	+ 33	+ 37	+ 12	+ 29	+ 33

Nachträglich ergab sich aber, daß die Höhenlage des Anschließpunktes unsicher war. Wird sie berichtigt und, wie in der nächsten Zahlentafel geschehen, die Höhenmessung entsprechend umgerechnet, so ergeben sich schon wesentlich geringere »Hebungen«, die jetzt im Höchstfall nur noch 22 mm betragen.



Zeitpunkt der Messung	Abweichung von der vorhergehenden Messung in mm bei Punkt								
	272	273	274	275	276	277	278	279	280
August 1914	—	—	—	—	—	—	—	—	—
April 1915	+ 4	+ 8	+ 6	+ 1	+ 3	+ 3	— 1	—	—
Oktober 1915	+ 6	+ 2	+ 5	+ 7	+ 10	+ 9	—	—	—
Juli 1916	+ 9	+ 16	+ 5	+ 7	+ 0	+ 5	—	+ 8	—
insges.	+ 19	+ 22	+ 16	+ 15	+ 13	+ 17	— 1	+ 8	—

Nun ist aber festgestellt, daß die Messung vom Juli 1916 zwischen den Punkten B 1 — 280 — 272 — B 1 eine große Abschlußdifferenz aufwies; sonst wären die Hebungen schon damals praktisch ausgeglichen gewesen. Im Jahre 1917 gerieten sämtliche Punkte leider unter die Einwirkung des Abbaues, so daß von diesem Zeitpunkt an Ermittlungen hinsichtlich der Hebungen nicht mehr möglich sind.

Wo scheinbare Hebungen beobachtet wurden, ergab sich bei einer Prüfung der Höhenmessungen und der Lage ihrer Ausgangspunkte in den von mir untersuchten Fällen jedenfalls stets, daß sie auf vermeidlichen oder unvermeidlichen Fehlern beruhten. Auch Keinhorst, der bei seiner obengenannten Abhandlung aus dem Jahre 1928 nichts von Bodenhebungen erwähnt, bestätigt mir auf Anfrage noch einmal ausdrücklich, daß das umfangreiche Höhenmessungsmaterial der Emschergerossenschaft in Essen bis heute keinen Anhaltspunkt für das Vorliegen von Hebungen geliefert hat. Ich habe auch in keinem Falle festzustellen vermocht, daß die von Quiring angegebenen Beziehungen zwischen der Tiefe von Senkungsmulden, der Tiefe oder Breite des Abbaues und der Größe der Hebungen bestehen.

Wenn man Hebungen bzw. Änderungen der Lage von Höhenpunkten nach oben von größerem Ausmaße beobachtet, ist, wie schon bei dem von Grond angeführten Beispiel, stets eine Untersuchung am Platze, ob der Ausgangspunkt der Höhenmessungen noch standsicher ist oder die Höhenpunkte selbst eine Änderung erfahren haben. Bei dem von Quiring im Jahre 1938 und dem von Goldreich im Jahre 1913 angeführten Beispiel hätte dem erfahrenen Messungssachverständigen schon die große Änderung der Höhenlage nach oben von 0,33 bzw. 0,30 m, die in keinem Bergbaubezirk bei sorgfältig ausgeführten Höhenmessungen am Rande von Senkungsmulden durch Bergbau je nachgewiesen worden ist, zu denken gegeben. Auch ohne die Fälle im einzelnen zu kennen, kann man annehmen, daß die »Hebungen« nicht auf Messungsfehlern, sondern zweifellos auf Änderungen der Festpunkte, d. h. einer Anhöhung der Strecke oder dem Absinken des Ausgangspunktes der Höhenmessung beruhen müssen. Dem von Quiring angeführten Beispiel, das eine Hebung bis zu 0,33 m zeigt (s. Abb. 4), konnte ich nachgehen. In diesem Falle ist aus bautechnischen Gründen nachträglich eine Aufhöhung der Strecke erfolgt, die sich durch Senkungen infolge Bergbaues wieder bis auf das von Quiring angegebene Hebungshöchstmaß von 0,33 m verringerte. Man hätte also die heutige Höhenlage der Strecke nicht mit derjenigen aus dem Jahre 1889, sondern nur mit dem Bauprofil nach der Anhöhung der Strecke vergleichen dürfen.

Der Rahmen dieser Arbeit verbietet leider, die Frage der scheinbaren Hebungen am Rande von Senkungsmulden an Hand weiterer Beispiele zu erörtern. Es ist aber erwünscht, daß dieses Problem von messungssachverständiger Seite noch eingehender geprüft wird, wobei auch dem Gesichtspunkte Aufmerksamkeit zu widmen ist, daß die täglichen Abschlußpunkte größerer Höhenmessungen in senkungsfreiem Gebiet liegen müssen, wenn scheinbare Hebungen nicht auftreten sollen. In manchen Bergbaubezirken wird diese Forderung schwer zu erfüllen sein.

### Hebungen im Innern von Senkungsmulden.

Außer den Hebungen am Rande von Senkungsmulden bleiben noch die von Quiring angegebenen Hebungen im Innern von Senkungsmulden zu behandeln, die natürlich nur als relative Hebungen auftreten können. Theoretisch sind sie bei den im Innern der Senkungsmulden auftretenden Bodenpressungen, besonders in Sonderfällen, denkbar, wenn auch wenig wahrscheinlich. Praktisch sind sie durch Höhenmessungen bisher nicht nachgewiesen worden, da die durch Druck möglicherweise entstehende Aufpressung im Tiefsten der Mulden wohl in allen Fällen durch das Maß der Absenkung so stark übertroffen werden dürfte, daß während des Bewegungsvorganges selbst eintretende Hebungen nicht zu erkennen sind. Im allgemeinen haben Senkungsmulden auch die Form, daß sie vom Rande bis zu einem Höchstwert im Innern der Senkungsmulde stetig zunehmen.

Man wird sich hüten müssen, Senkungsprofile, wie das nach Klose<sup>1</sup> in Abb. 10 dargestellte vom 17. 6. 1909, durch Hebungen im Innern einer Senkungsmulde zu erklären. In solchen Fällen zeigt sich stets, daß Einwirkungen zweier getrennter Mulden vorliegen, die sich zum Teil überdecken, worauf Klose hinweist. Auch das Aufsteigen von Gegenständen an der Tagesoberfläche, z. B. das Aufschnellen von Straßenbahngleisen und das Herauswachsen von Rohrleitungen aus dem Boden, braucht nicht auf einer Hebung des Bodens zu beruhen. Diese Erscheinungen sind eine Folge der im Innern einer Senkungsmulde herrschenden waagerechten Pressungen, denen die Gegenstände durch Kürzung oder Ausweichen — sei es nach der Seite oder nach oben — folgen müssen.

So kann auch die von Kampers<sup>2</sup> angeführte Durchbiegung eines Haussockels erklärt werden, wenn ich auch das von ihm angegebene Ausmaß für zu hoch halte, so daß das Höherliegen der Mitte des Haussockels gegenüber den Hausecken vermutlich noch auf andere Ursachen zurückzuführen ist.

Quiring läßt es dahingestellt sein, ob die Schiebung des Bodens zur Mitte der Senkungsmulde noch andauert, wenn die Senkung bereits beendet ist, und bemerkt an anderer Stelle, daß er das von Krusch angenommene nachträgliche »Einschieben« zur Senkungsmulde für fraglich hält. Er sieht also nachträgliche Horizontalbewegungen als zweifelhaft an, während er nachträgliche Hebungen im Innern von Senkungsmulden nach Abschluß der Senkungen für erwiesen hält. Er erklärt diese nachträglichen Hebungen dadurch, daß sich die latenten Spannungen des Gebirgskörpers im Pressungsdreieck (Abb. 3) bei der geringen Elastizität der Karbongesteine ganz allmählich unter Aufstau nach oben lösen. Hierzu ist zu bemerken, daß die bisherigen Bodenbewegungsbeobachtungen bei Vorliegen einwandfreier Messungen stets ein gleichzeitiges Beginnen und Aufhören der Senkungen und Schiebungen ergeben haben und daß nach abgeschlossener Senkung im

<sup>1</sup> Klose: Erfahrungen über Bodensenkungen als Folge von Flözabbau, Mitt. Markscheidewes. 24 (1914) S. 114, Tafel 2.

<sup>2</sup> a. a. O. 1940, S. 32.

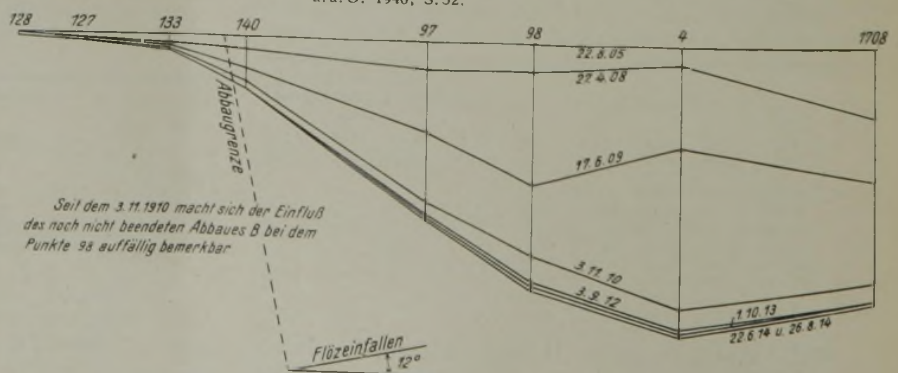


Abb. 10. Querschnitt durch eine Senkungsmulde in Niederschlesien (nach Klose).



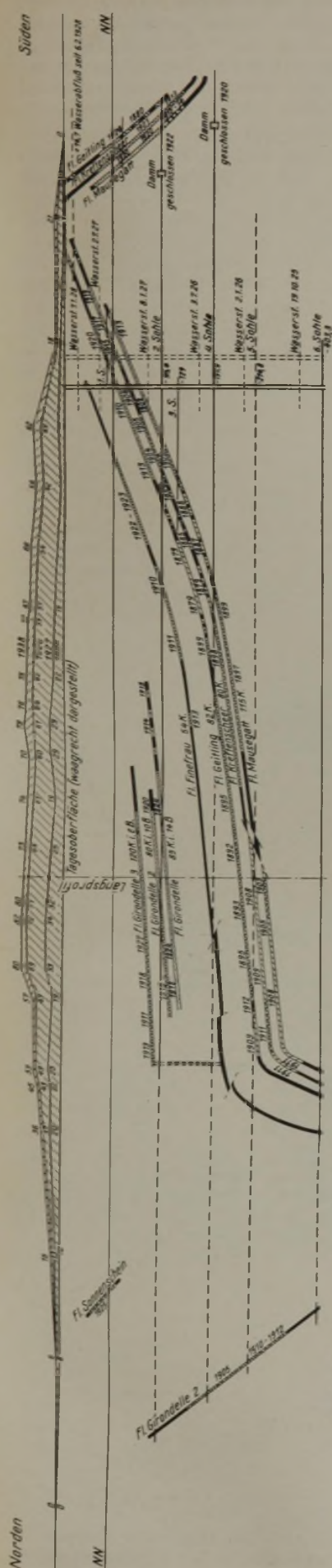


Abb. 11. Querschnitt durch ein stillgelegtes und unter Wasser gekommenes Grubenfeld mit Hebungen (Maßstab für die Längen 1 : 12000).

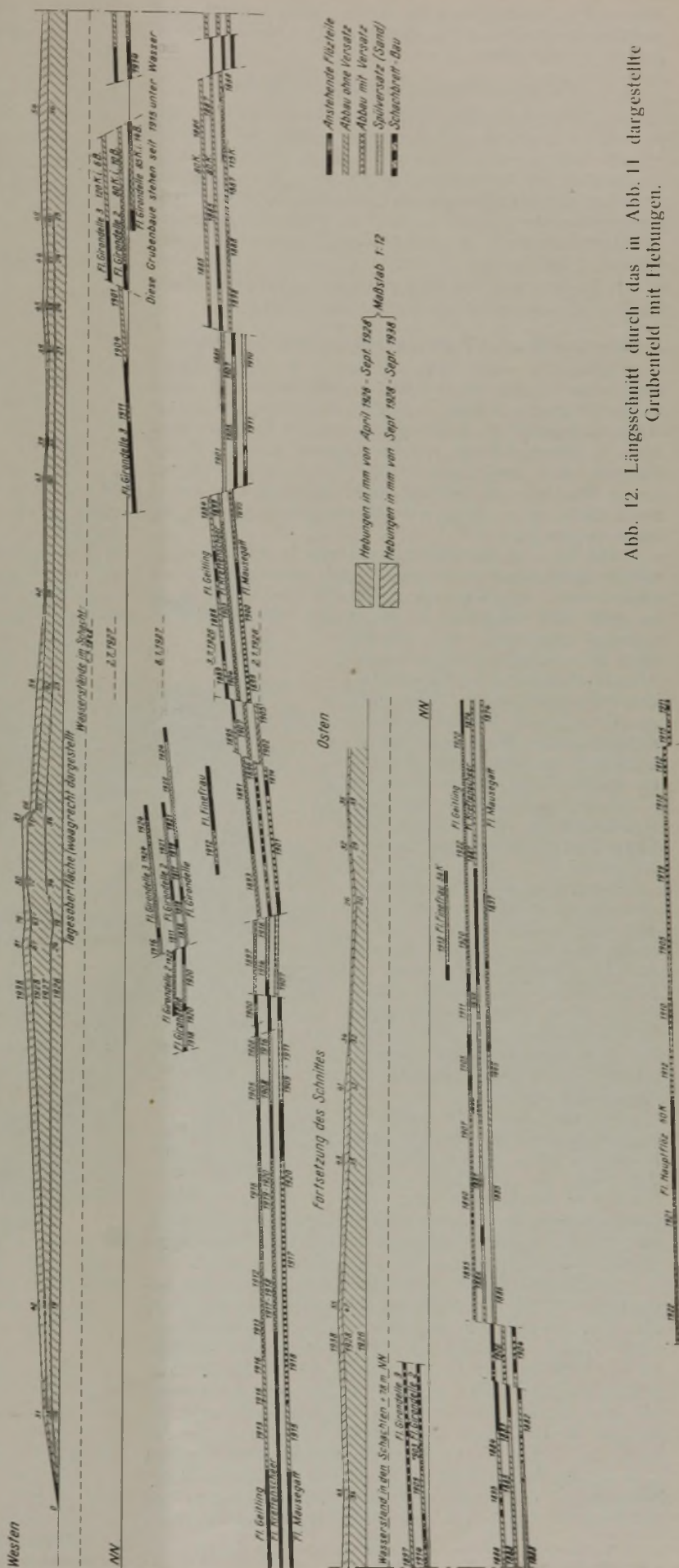


Abb. 12. Längsschnitt durch das in Abb. 11 dargestellte Grubenfeld mit Hebungen.



Innern von Senkungsmulden, wenn nicht einer der nachstehend behandelten Fälle vorlag, niemals Hebungen festgestellt worden sind.

### Absolute Hebungen von Höhenpunkten.

Absolute Hebungen können bei Bodenpunkten, wenn sie nicht tief genug gegründet sind, einmal durch Frost eintreten. Sie können sich ferner ergeben, wenn im Untergrund unter den Höhenmessungspunkten z. B. Tonschichten anstehen, die mit fallendem oder steigendem Wasserstand schrumpfen oder quellen. Hierauf hat bereits Weißner<sup>1</sup> an Hand verschiedener Beispiele hingewiesen, wobei er sich besonders auf Bernd bezieht.

In Bergbaubezirken sind absolute Hebungen sonst nur aus der nachstehend behandelten Ursache bekannt.

### Hebungen in unter Wasser gesetzten Grubengebäuden.

Hebungen, und zwar absolute, in unter Wasser stehenden Grubengebäuden sind im Ruhrbezirk, vor allem in der Wittener Mulde, von den Markscheidern der in Betracht kommenden Grubenfelder mit viel Kleinarbeit seit etwa 10 Jahren verfolgt worden. Quiring ist das in diesen Grubenfeldern festgestellte Beobachtungsmaterial, obwohl er es erwähnt, anscheinend nicht zugänglich gewesen, sonst dürfte er zu anderen Schlüssen gekommen sein, als es geschehen ist.

Abb. 11 zeigt die Hebungen in einem Querschnitt durch ein Steinkohlenfeld der Wittener Mulde, in dem das Karbon ohne jedes Deckgebirge zutage ausgeht. Die Grube wurde im Jahre 1924 stillgelegt und im Herbst 1925 die Wasserhaltung eingestellt. Das Wasser stieg dann schnell, wie aus den in Abb. 11 eingetragenen Wasserständen hervorgeht. Schon Mitte 1927 stand der größte Teil des Grubengebäudes unter Wasser; im Januar 1928 floß der Stollen aus. Nur bis zu dieser Höhe, also bis etwa + 77 m N. N., füllte sich das Grubengebäude mit Wasser. Die Tagesoberfläche liegt im Querschnitt bei rd. + 100 m N. N.

Innerhalb des Grubenfeldes sind nur noch bis zum Jahre 1926 Senkungen festgestellt worden. Die ersten Hebungen zeigten sich, wie Abb. 11 erkennen läßt, schon im Jahre 1927. Im wesentlichen waren sie im Jahre 1928 beendet, praktisch vollständig im Jahre 1933. Die dann noch folgenden Hebungen (1933 bis 1938) betragen im Höchstfalle nur 4 mm.

Wie der Querschnitt in Abb. 11 zeigt, erstrecken sich die Hebungen in einer flachen Aufwölbung, bei der noch die 1000fache Überhöhung zu beachten ist, über den ganzen abgebauten Teil des Grubenfeldes. Nur im Südfeld, das früher abgebaut war und schon 1922 abgedämmt wurde, sind Hebungen nicht nachgewiesen worden.

Einige Einzelheiten des Hebungsvorganges sind bemerkenswert: Die Hebungen erreichen ihren höchsten Wert über dem am stärksten abgebauten Teil des Grubenfeldes, nämlich dort, wo außer den Flözen Mausegatt, Kreftenscheer, Geitling und Finefrau auch die Girondelle-Flözgruppe mit drei Flözen abgebaut wurde. Von dieser Stelle aus, die mit 80 mm das größte Hebungsmaß aufweist, nehmen die Hebungen nach Süden ungefähr bis zu der Stelle, wo in den Jahren 1922 bis 1923 das Flöz Finefrau noch mit abgebaut wurde, auf 56–62 mm ab; dann sinkt das Hebungsmaß verhältnismäßig schnell auf rd. 20 mm südlich der Schächte, um in dem schon 1922 abgedämmten, unter

Wasser stehenden Gebiet auszuklingen, was in Hinsicht auf die späteren Ausführungen zu beachten ist. Der schnelle Abfall von 80 mm auf 57 mm nach Norden liegt genau an der Stelle, an der durch den Ausfall des Abbaues in den beiden Flözen Girondelle 1 und 2 der Abbau von sechs Flözen in einen solchen von vier Flözen übergeht.

Ein Profil in der Streichrichtung der Flöze gibt den in Abb. 12 dargestellten Befund. Auch in diesem Längsschnitt beobachtet man wieder, daß die stärksten Hebungen mit 83 mm dort liegen, wo außer den Flözen Mausegatt, Kreftenscheer und Geitling noch Finefrau und die Girondelle-Flözgruppe abgebaut wurden. Zu beachten ist aber, daß diese Feststellung nicht für den östlichen Teil des Profils zutrifft, wo die Girondelle-Flözgruppe schon seit 1915 abgedämmt ist und unter Wasser steht, worauf weiter unten zurückgekommen wird. Sowohl der Querschnitt wie der Längsschnitt lassen im übrigen erkennen, daß die Hebungen, praktisch gleichmäßig, sowohl über das Innere als auch über die Ränder früherer Senkungsmulden hinweggehen. Die Tiefenlage der Flöze scheint keine Rolle zu spielen.

Daß das Hebungsmaß mit der abgebauten Gesamtflözmächtigkeit bzw. der Zahl der abgebauten Flöze im Zusammenhang steht, veranschaulicht auch Abb. 13. Es handelt sich um die Hebungen in den von Quiring erwähnten Grubenfeldern bei Barop, wo Höchstwerte bis zu 170 mm nachgewiesen wurden. In der Abbildung ist die abgebaute Gesamtflözmächtigkeit in gestrichelten Linien in Metern angegeben; die Hebungen von 1926 bis 1937 sind

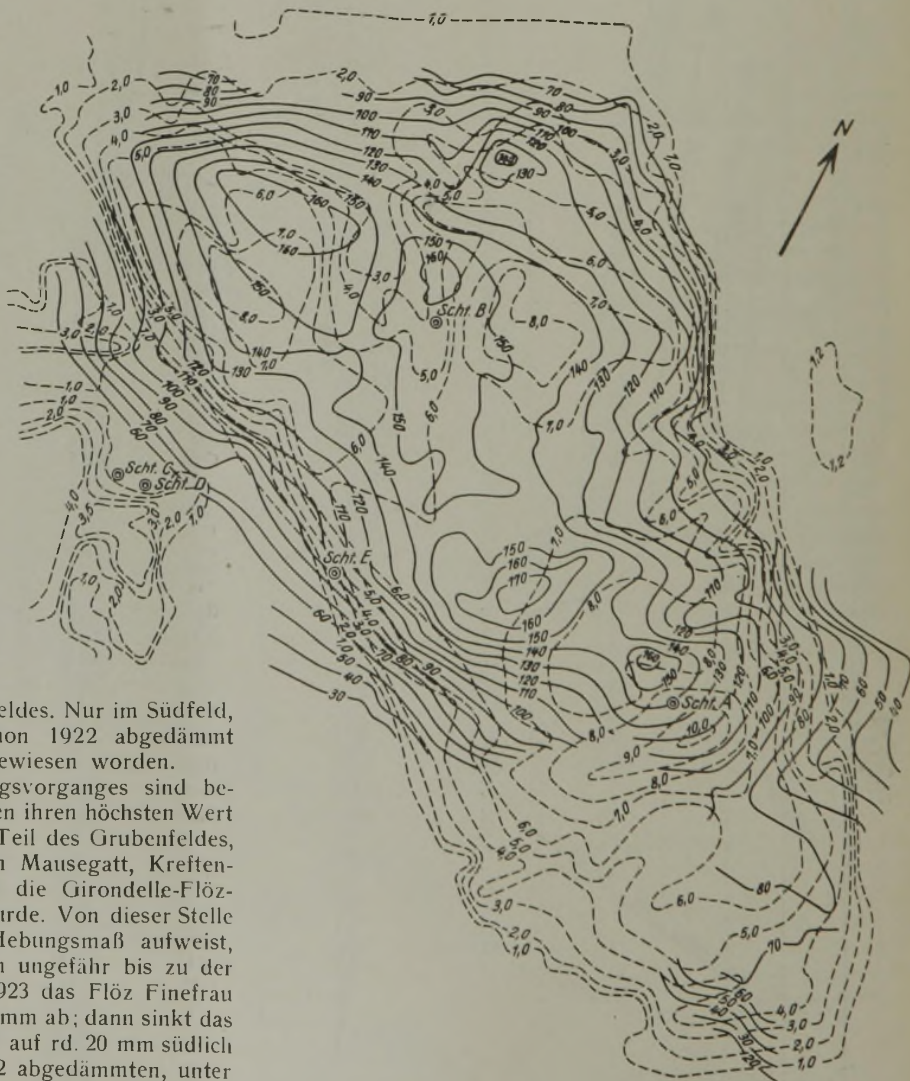


Abb. 13. Beziehungen zwischen abgebauter Gesamtflözmächtigkeit und Hebungen in der Wittener Mulde.

<sup>1</sup> Weißner: Der Nachweis jüngster tektonischer Bodenbewegungen in Rheinland u. Westfalen, Diss. Köln 1929.



mit ausgezogenen Kurven in Zentimetern dargestellt. Die größte abgebaute Gesamtlözmächtigkeit liegt mit 8–10 m beim Schacht A; hier zeigt sich eine größte Hebung von 160 mm. Beim Schacht B entspricht eine größte Hebung von 160 mm einer abgebauten Gesamtlözmächtigkeit von 8 m. Dasselbe ist nördlich der Schächte D und E der Fall. Allerdings decken sich nicht überall die Punkte größter Hebung genau mit den Stellen der größten Gesamtlözmächtigkeit. Das größte ermittelte Senkungsmaß von 170 mm zwischen den Schächten A und B liegt über einem Gebiet, in dem nur 7 m Kohle abgebaut sind. Wie diese aus Abb. 13, aber auch den Abb. 11 und 12 ersichtlichen Unregelmäßigkeiten im einzelnen zu erklären sind, bedarf noch näherer Untersuchung.

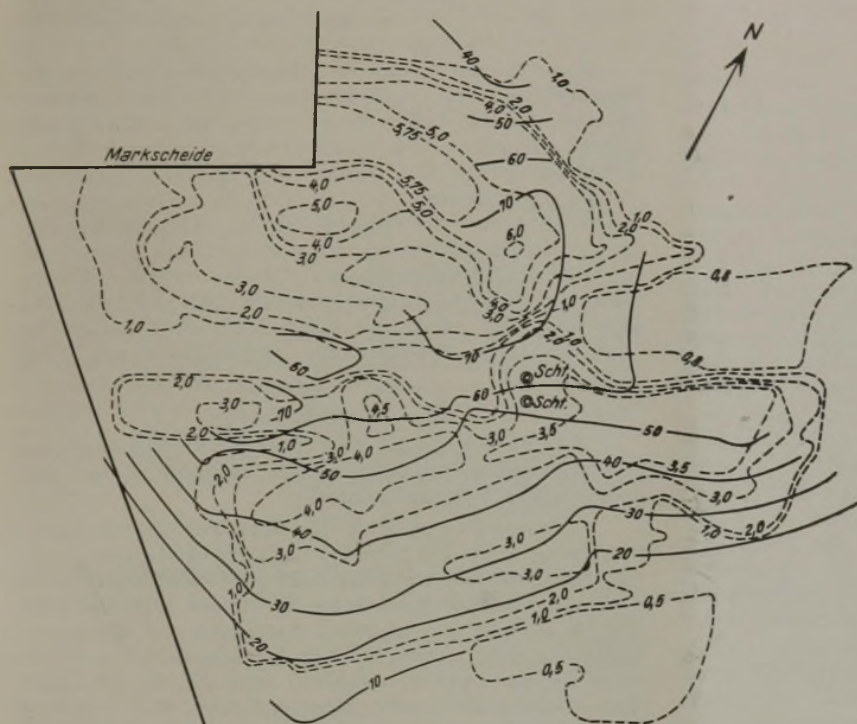


Abb. 14. Beziehungen zwischen abgebauter Gesamtlözmächtigkeit und Hebungen in einem Grubenfeld in der Wittener Mulde.

Auch in diesem Falle gingen die Hebungen mit dem Aufsteigen des Wassers, das im Jahre 1928 seinen höchsten Stand erreichte, in den Jahren 1926 bis 1928 zunächst sehr rasch vor sich, verlangsamt sich dann bis zum Jahre 1932 immer mehr und waren im Jahre 1935 praktisch beendet.

Die Zusammenhänge zwischen der abgebauten Flözmächtigkeit bzw. Flözzahl und dem Hebungsmaß bestätigt ferner Abb. 14 aus einem weiteren unter Wasser gesetzten Grubenfeld in der Wittener Mulde. Weder in diesem noch in dem vorhergehenden Falle konnte allerdings wegen des Fehlens genügender Beobachtungspunkte die Lage des seitlichen Ausklügens der Hebung bestimmt werden.

Für meine Untersuchung stand mir auch noch das von Quiring erwähnte Beobachtungsmaterial aus der Gegend von Massen und solches aus einem stillgelegten Felderbesitz bei Essen zur Verfügung. Da diese Unterlagen aber gegenüber den obigen Beispielen grundsätzlich Neues nicht bieten, sehe ich davon ab, sie zu behandeln.

Wie die von mir angeführten Beispiele zeigen, erstrecken sich die nachträglichen Hebungen nicht nur auf das Innere von Senkungsmulden, für das Quiring sie allein annimmt, sondern auch auf die Ränder. Zu dem ersteren Fall sei erneut bemerkt, daß in nicht unter Wasser gekommenen stillgelegten Grubenfeldern im Innern von Senkungsmulden Hebungen nach dem Abschluß der Senkung niemals nachgewiesen worden sind. Bei den Hebungen auf den Muldenrändern nimmt Quiring an, daß benachbarte junge Baue die Randhebungen verursachen; sie sind aber in den von mir

behandelten Fällen gänzlich ausgeschlossen, da die nächsten Abbaue 1–4 km entfernt liegen.

Die Hebungen stehen damit zweifellos mit dem Aufgehen des Wassers im Zusammenhang, da tektonische Bewegungen, worauf auch Quiring hinweist, in den erörterten Fällen von vornherein ausscheiden, so daß darauf nicht näher eingegangen zu werden braucht. Als Ursache könnte einmal der Gegendruck des im Grubengebäude hochsteigenden Wassers in Frage kommen. Zweifellos ist er der Grund für den vollständigen Abschluß des Senkungsvorganges schon drei Jahre nach Beendigung des Abbaues. In dem in den Abb. 11 und 12 wiedergegebenen Falle standen die Baue auf der 5. Sohle schon im Januar 1927 unter einem Gegendruck bis zu 20 atü und im Januar 1928 unter einem solchen von über 30 atü, die Baue auf der 2. Sohle im Juli 1927 unter einem Gegendruck von 8–12 atü und im Januar 1928 unter einem solchen von 12–16 atü. Dieser Gegendruck dürfte wohl imstande sein, dem weiteren Absinken des Hangenden in den Flözen Einhalt zu gebieten.

Die Hebungen führe ich aber nicht auf Auftrieb, sondern wie auch Nehm<sup>1</sup> auf Quellungen, d. h. Volumenvermehrung durch Wasseraufnahme, zurück. Quellungen sind in der Geologie keine unbekannte Erscheinung. Gips erfährt bei der Umwandlung aus Anhydrit durch Wasseraufnahme eine Volumenvermehrung von 62%. Die dabei eintretenden Drücke verursachen die erheblichen Störungen des Gebirgskörpers in der Umgebung von Gipslagerstätten. Bekannt ist auch, daß Tone bei Wasserabgabe stark schrumpfen und bei Wasseraufnahme quellen. Schwarz gibt von Diluvialton aus dem Wiener Wald eine Quellung auf das Eineinhalbfache an. Wollny ermittelte bei Wasseraufnahme für Lehm 22, für Kaolin 36,5% Volumenvermehrung.

Es handelt sich bei der Schrumpfung und Quellung um kolloidchemische Vorgänge, auf die im Rahmen dieses Aufsatzes nicht näher eingegangen werden kann. Ich verweise hierzu auf das in den

letzten Jahrzehnten erschienene zahlreiche Schrifttum, von dem hier ein kleiner Teil angeführt sei<sup>2</sup>.

Von den Gesteinen des Karbons kommen für eine Quellung nur die Schiefertone, nicht aber die Sandsteine in Betracht, da nur die ersteren Mineralien mit kolloiden Eigenschaften führen. Bekanntlich scheiterte im Ruhrbezirk die Einführung des Spülversatzes vielfach an dem Quellen der Schiefertone. Deren Mineralbestandteile haben also offensichtlich mindestens teilweise noch die Eigenschaft eines Gels, sie sind reversibel, d. h. in der Lage, durch Wasseraufnahme zu quellen.

Bei der vorstehenden Annahme ist allerdings die Frage zu untersuchen, warum bei der Eröffnung des Bergbaues durch die Abtrocknung des Steinkohlengebirges nicht der umgekehrte Vorgang zur Quellung und Hebung, nämlich Schrumpfung und Senkung, eintritt. Solche Senkungen sind bisher bei der Abtrocknung des Karbons nicht festgestellt worden. Das dürfte folgenden Grund haben: Wenn

<sup>1</sup> Notiz in der Rhein.-Westf. Zeitung vom 23. Okt. 1937.

<sup>2</sup> Doelter, Corun und Leitmeier: Bedeutung der Kolloidchemie für Mineralogie und Geologie, 1909; Katz: Die Gesetze der Quellung, 1916; Wiegner: Boden und Bodenbildung in kolloidchemischer Betrachtung, 1918; Ehrenberg: Die Bodenkolloide, 3. Aufl., 1922; Bernauer: Die Kolloidchemie als Hilfswissenschaft der Mineralogie und Lagerstättenlehre und ihre Anwendung auf die metasomatischen Blei-Zink-Lagerstätten, 1924; Zsigmondy: Kolloidchemie, 5. Aufl., 1925; Biltz: Zur Theorie der Quellungs- und Reversibilitätserscheinungen bei Kolloiden, Ergänzungsband zur Kolloid-Zeitschrift, 36 (1925) S. 49; Liesegang: Kolloidchemische Technologie, 1927; Wo. Ostwald: Die Welt der vernachlässigten Dimensionen, 9./10. Aufl., 1927.



die ersten Aufschlüsse im Karbon gemacht werden, sind, wie man immer beobachten kann, die Sandsteinbänke und Störungsspalten, nicht aber die Schiefertone die Träger des Wassers. Die letzteren sind grubenfeucht, praktisch trocken, geben also kaum Wasser ab und haben damit keine Veranlassung zu schrumpfen. Die Sandsteine, die nach dem oben Gesagten keine kolloiden Eigenschaften besitzen und das Wasser auf Klüften und Poren führen, vermögen ebenfalls nicht zu schrumpfen. Es kann also zu einer Senkung nicht kommen.

Tritt nun aber nach der Aufgabe der Wasserhebung das Wasser in das Grubengebäude ein, so findet es einen ganz anderen Gebirgskörper vor. Er ist vielfach durchörtert und durch Abbau zerstört worden. Das steigende Wasser füllt jetzt nicht nur wieder wie früher die Klüfte und Poren im Sandstein, sondern es vermag durch die zahlreichen Querverbindungen des Grubengebäudes, die abgebauten Flöze und die durch den Abbau geschaffenen Klüfte und freigelegten Schichtfugen in ganz anderem Umfange an die Schiefertone heranzutreten als vorher und sie, weil sie reversibel sind, zum Quellen zu bringen. Auch die Quellmöglichkeit des Versatzes ist zu beachten.

Die von Quiring verlangte vorherige Trockenschwindung durch Verminderung der Bergfeuchtigkeit ist also kein Erfordernis für die Quellung. Die Schiefertone können beim Aufschluß des Grubengebäudes gar nicht nennenswert schwinden, weil sie praktisch trocken sind.

Die durch Quellung entstehenden Drucke können sehr erheblich sein. So haben z. B. schon die alten Ägypter den Quellungsdruck ausgenutzt, um mit quellendem Holze Felsblöcke zu sprengen. Allerdings muß man Quiring bestimmen, daß die Frage, wie sich Tongesteine unter Überdruck bei der Wasseraufnahme verhalten, noch nicht bzw. ungenügend geklärt ist. Bei den oben angeführten Hebungsmaßen, die Quiring nicht kannte, halte ich es aber für nicht ganz ausgeschlossen, daß man den Vorgängen auch versuchsmäßig nachgehen kann, obschon ich aus den mir zur Verfügung stehenden günstigsten Unterlagen nur eine Dehnung des gesamten Gebirgskörpers von etwa 1 mm auf 3 m annehmen kann. Es ist aber zu beachten, daß in den oben behandelten Fällen ein Teil der Hebung durch gleichzeitig noch vor sich gehende Senkung aufgehoben sein kann und daß nur die Schiefertone, die lediglich einen Teil des Gebirgskörpers ausmachen, quellen, so daß das vorgenannte Quellungsmaß wesentlich größer sein kann.

Nur selten tritt ein scharfer Abfall der Quellungskurve ein. Es handelt sich bei der Hebung in den stillgelegten Grubenfeldern also um eine sehr gleichmäßige Bewegung, die im allgemeinen nicht imstande sein dürfte, Beschädigungen von Gegenständen der Tagesoberfläche, im besonderen an Gebäuden, hervorzurufen.

Außer der regionalen Verbreitung der Hebung über das ganze Grubengebäude scheint mir vor allem der nicht zu bestreitende Zusammenhang zwischen abgebauter Gesamtflözmächtigkeit bzw. der Zahl der abgebauten Flöze (und der damit verbundenen Stärke der Zerstörung des Gebirgskörpers) und der Größe der Hebung auf Quellung als Ursache der Hebungen hinzuweisen. Durch Quellung würde z. B. in Abb. 11 auch erklärt sein, warum südlich der Schächte die Hebung sehr scharf abnimmt. Es mag das, wie bereits erwähnt, damit zusammenhängen, daß an dieser Stelle der Abbau eines Flözes ausfällt, vielleicht aber auch darauf, daß im Hangenden der abgebauten Flöze an dieser Stelle im wesentlichen nur die konglomeratische Sandsteinzone über Flöz Geitling bzw. im Liegenden von Flöz Finefrau liegt, die nicht zu quellen vermag.

Durch Quellung als Ursache der Hebungen ist schließlich auch erklärt, warum sich in Abb. 12 über demjenigen Teil des Grubengebäudes, in dem die Girondelle-Flöze erst 1926/27 unter Wasser gerieten, verstärkte Hebungen zeigen, während dies über dem seit 1915 unter Wasser stehenden Teil nicht der Fall ist. Hier werden die Hebungen aus dem Unterwasserkommen des oberen Teiles des Grubengebäudes schon früher erfolgt sein. Man hat sie seinerzeit leider nicht durch genaue Höhenmessungen verfolgt. Zu beachten ist in dieser Hinsicht auch, daß in Abb. 11 die Hebungen im Südfeld in dem seit 1922 abgedämmten Teil des Grubenfeldes ausklingen.

Auch der Umstand, daß die Hebung bei der Wasseraufnahme des Gebirgskörpers zunächst recht schnell erfolgt und sich dann rasch verlangsamt, stimmt mit dem Verlauf von Quellungserscheinungen überein.

Wenn allerdings die oben angegebene Erklärung des Hebungs Vorganges durch Quellung, d. h. durch Wasseraufnahme in die Schiefertone, richtig ist, so wird eine spätere Sumpfung der Grubengebäude naturgemäß zur Schrumpfung der Schiefertone und damit zu Senkungserscheinungen führen, die nach dem oben Gesagten beim ersten Aufschluß des Grubengebäudes, weil die Schiefertone praktisch trocken waren, nicht auftreten konnten. In den vor dem Hochgehen des Wassers zuletzt gebauten Teilen des Grubengebäudes kann sich dann gegebenenfalls auch noch der durch den Gegendruck des Wassers im Grubengebäude unterbrochene Senkungsvorgang fortsetzen.

#### Zusammenfassung.

Die Untersuchungen über Hebungserscheinungen bei Bodenbewegungsvorgängen durch Bergbau haben also nachstehendes Ergebnis gebracht:

1. Hebungen an den Rändern von durch bergbauliche Einwirkungen hervorgerufenen Senkungsmulden halten einer kritischen Würdigung nicht stand. Sie sind, wenn sie durch Messungen angeblich festgestellt werden, nur scheinbar vorhanden und auf unvermeidliche oder vermeidliche Messungsfehler zurückzuführen. Erreichen sie größere Ausmaße, so ist immer eine Prüfung auf grobe Messungsfehler, die Änderung der Höhenlage der Ausgangspunkte oder auf eine Änderung der Festpunkte am Platze.

2. Hebungen im Innern von Senkungsmulden sind beim Bodenbewegungsvorgang theoretisch denkbar, aber sicher gering und werden durch die Senkungen überdeckt. Nachträgliche Hebungen im Innern von Senkungsmulden, in denen der Senkungsvorgang abgeschlossen war, sind bisher nicht nachgewiesen worden, es sei denn, daß es sich um die im folgenden behandelten Hebungen handelt.

3. Über abgebauten und unter Wasser gekommenen Grubenräumen sind einwandfrei absolute Hebungen (bis zu 0,17 m Größe) festgestellt worden. Diese Hebungen erstrecken sich regional über die ganzen abgebauten Grubenfelder, also über das Innere wie über die Ränder von Senkungsmulden. Sie werden vom Verfasser der Quellung von Schiefertönen beim Steigen der Grubenwasser zugeschrieben.

4. Abgesehen von dem unter 3 aufgeführten Falle können absolute Hebungen geringen Ausmaßes auch noch auf Frosteinwirkungen und, bei wechselndem Grundwasserstand, auf die Quellung in der Nähe der Tagesoberfläche liegender quellfähiger Bodenschichten zurückgeführt werden.

## U M S C H A U

### Untersuchung der Teerausbeute von Gaserzeugerkohlen.

Bei der Vergasung der Kohle hat der Teergehalt besondere Bedeutung. Die Erfahrung hat gelehrt, daß Kohlen

mit geringem Teergehalt ein Gas mit niedrigem Heizwert ergeben, während ein sehr hoher Teergehalt Verstopfungen in Ventilen und Röhren verursachen kann. Im Hinblick darauf wird von Mott und Spooner<sup>1</sup> eine verhältnismäßig

<sup>1</sup> Assessing the tar yield from producer coals, Fuel 18 (1939) S. 325/28.