

81. 1202

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR
Forschungsbereich Geo- und Kosmoswissenschaften
ZENTRALINSTITUT FÜR PHYSIK DER ERDE

Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde
Nr. 64

Q
2548
64

**Geschichte der Seismologie, Seismik
und Erdzeitenforschung**



Tagung in Eisenach vom 5. bis 7. Dezember 1979

Vorträge



Herausgeber: Der Direktor des Zentralinstituts für Physik der Erde Potsdam

Als Manuskript gedruckt Potsdam 1981

F 168 / 81 P 286 / 80

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	4
ADLUNG, A. : Die Entwicklung der Fernübertragung in der Seismologie und Seismik	5
BORMANN, P. : Der Beitrag Immanuel KANTs zur Entwicklung wissenschaftlicher Vorstellungen über die Natur der Erdbeben	17
ELSTNER, C. : Beiträge von Erdgezeitenuntersuchungen zu Vorstellungen über die Struktur des Erdkörpers	25
GERMANN, D. : Die seismische Station an der Universität Jena und die Neugründung einer deutschen Zentralstation für Erdbebenforschung 1923	32
HECKELER, V. : Registrierung und Auswertung von Erdbebenwechselwellen zur Erforschung des Tiefbaus der Erdkruste	39
HURTIG, E. : Ernst August v. Rebeur-Paschwitz und seine Bedeutung für die Entwicklung der Seismologie	54
KESSLER, J. ; ROTTER, D. : Entwicklung der Untersuchung und Bekämpfung von Gas-Salz-Ausbrüchen in der DDR	60
KOWALLE, G. : Entwicklung der Vorstellungen über den Bau des Erdinnern	70
KOZÁK, J. ; SCHMIDT, P. : Abbildungen seismologischen Inhalts in europäischen Drucken des 15. bis 18. Jahrhunderts	86
KÜHN, P. : Zur Geschichte der Erforschung der Seismotektonik des Nordatlantik	99
MEINHOLD, R. : Von den Anfängen der angewandten Seismik in Deutschland	117
MEYER, H. : Die Erdbebenstation Leipzig (1902 - 1934)	130
MEYER, H. ; JACOBS, F. : Zur Entwicklung der Angewandten Seismik an der Karl-Marx-Universität Leipzig	135
NEUNHÖFER, H. ; WEIDERMANN, V. : Seismische Überwachung von Bergbaugebieten, dargestellt am Beispiel der Mansfelder Mulde	138
PÄTZ, H. : Zur Geschichte der Seismik beim Nachweis von Erdöl- und Erdgaslagerstätten - Versuch einer gesellschaftsbezogenen Wichtung	147
REINHARDT, H.-G. : Zur Entwicklung der seismischen Erkundung im VEB Geophysik	153
SAVARENSKI, E. F. : Abriß der 60jährigen Entwicklung der sowjetischen Seismologie (1917 bis 1977)	170
SCHNEIDER, M. M. : Über die Vorgeschichte der experimentellen Erdgezeitenforschung bis zum Ausgang des 19. Jahrhunderts (Zusammenfassung)	177

SPONHEUER, W. ; GRÜNTAL, G. : Das Mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872 178

TEUPSER, Ch. : Seismologische Forschungen in Jena seit 1923 190

TITTEL, B. : Fortschritte des seismologischen Meßprogramms am Geophysikalischen Observatorium Collm (Zusammenfassung) 198

WILSDORF, H. ; SCHMIDT, P. : Erdbebentheorien und Prodigia in der griechisch-römischen Antike und einige Aspekte ihrer Rezeption in späterer Zeit 199

Vorwort

Der Arbeitskreis "Geschichte und Philosophie der geologischen Wissenschaften" (Leiter Doz. Dr. sc. phil. M. Guntau) und der Fachbereich Geophysik der Gesellschaft für Geologische Wissenschaften (GGW) hatten gemeinsam mit dem Zentralinstitut für Physik der Erde (ZIPE) der AdW der DDR (Vertreter Bereichsleiter Prof. Dr. sc. nat. E. Hurtig) zu einem Kolloquium "Geschichte der Seismologie, Seismik und Erdgezeitenforschung" für den 5. - 7. Dezember 1979 nach Eisenach eingeladen. Mehr als 60 Wissenschaftler - vorwiegend Geophysiker und Geologen - waren der Einladung in die Wartburgstadt gefolgt. Die Tagungsleitung lag in den Händen von Dr. rer. nat. P. Schmidt (Bergakademie Freiberg).

Sowohl die in Eisenach gehaltenen Vorträge als auch die Befahrung der geophysikalischen Untertagestation Tiefenort des ZIPE Potsdam im VEB Kalibetrieb "Werra" in Merkers am 7. Dezember machten deutlich, welche große Bedeutung Seismologie, Seismik und Erdgezeitenforschung für den geowissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt und für volkswirtschaftliche Belange haben. Die Diskussionen unterstrichen die Notwendigkeit, wissenschaftshistorische und -philosophische Fragen in enger Beziehung zur gesamtgesellschaftlichen Entwicklung darzustellen. Untersuchungen zur Geschichte der Geophysik bedürfen der interdisziplinären Zusammenarbeit.

Mit der Publikation der Vorträge des Eisenacher Kolloquiums im vorliegenden Sammelband in der Veröffentlichungsreihe des ZIPE möchten wir erreichen, daß ein größerer Kreis von Fachleuten auf einige aktuelle Aspekte geophysikgeschichtlicher Untersuchungen aufmerksam gemacht wird. Möge dieser Sammelband die Arbeiten zur Geschichte der Geophysik insgesamt voranbringen! Die Ergebnisse des Kolloquiums ermutigen, zu gegebener Zeit eine weiterführende geophysikgeschichtliche Tagung durchzuführen.

Prof. Dr. habil. Kautzleben
Direktor des Zentralinstituts
für Physik der Erde

Die Entwicklung der Fernübertragung in der Seismologie und Seismik

von
A. ADLUNG¹⁾

Summary

The paper gives a review of the development of the telemetry in seismology and seismic. It is necessary to clear some technical questions in order to enable the understanding for the historical development of telemetry. The description of the most important historical stages is followed by the description of a telemetry-equipment of the deep seismic sounding.

1. Die Fernübertragung und ihre Bedeutung

Zu diesem Problem seien zunächst die Begriffe "Meßwerte" und "Daten" kurz erläutert, da sie oft verwechselt bzw. als Synonyme betrachtet werden.

Meßwerte sind in der Regel analoge, sehr selten digitale Größen, die unmittelbar vom Meßwertgeber bereitgestellt werden. Die Meßwertübertragung ist demzufolge die Übertragung von Signalen, die diesen analogen Meßwert verkörpern. Die Übertragung erfolgt dabei im Echtzeitverfahren.

Daten sind dagegen bereits digital umgewandelte Meßwerte oder Informationen der Ökonomie oder Leitungstätigkeit, die eine bestimmte vorgegebene Struktur (Worte, Sätze usw.) besitzen und in der Regel in einer geeigneten Form gespeichert werden. Die Datenübertragung ist demzufolge die Übertragung von Signalen, die diese digitalen Informationen zum Inhalt haben.

Meßwert- und Datenfernübertragung müssen also nicht nur aus formalen Gründen unterschieden werden. Es soll deshalb hier nur die Meßwertübertragung besprochen werden.

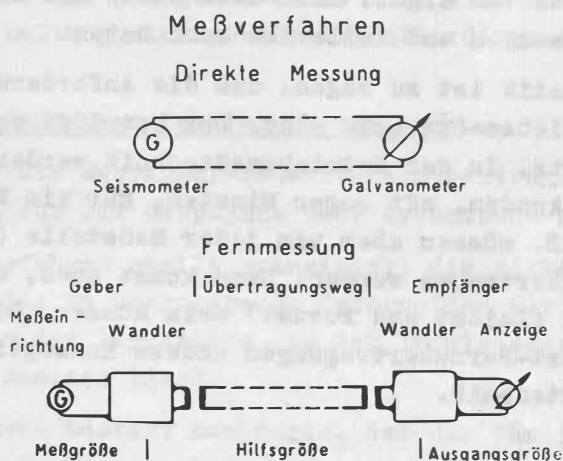


Abb. 1 Schema der direkten und der Fernübertragung

¹⁾ Bergakademie Freiberg, Sektion Geowissenschaften
DDR-9200 Freiberg, Gustav Zeuner Str. 12

Als nächstes sei der Begriff Fernmessung bzw. Fernübertragung erläutert. Abb. 1 zeigt ein Schema, daß im oberen Teil ein Beispiel der Direktmessung zeigt. Dabei ist ein Meßwertgeber (Seismometer) durch eine direkte Leitung mit dem Anzeigeinstrument (Galvanometer) verbunden. Obwohl nach diesem Prinzip Entfernungen bis zu mehreren Kilometern überbrückt werden können, gilt dieses Verfahren nicht als Fernmessung.

Der untere Teil der Abb. 1 zeigt das Prinzip der Fernmessung. Dabei wird die ursprüngliche Meßgröße in eine andere physikalische Größe (Frequenz, Impulsfolge usw.) umgewandelt. Diese Hilfsgröße wird dann über den Übertragungsweg geleitet, auf der Empfangsseite wieder in die ursprüngliche Meßgröße zurückverwandelt und dann angezeigt oder registriert. Der Übertragungsweg kann dabei eine Leitung oder eine Funkstrecke sein, für das Prinzip der Fernübertragung ist das zunächst belanglos.

Die allgemeine Bedeutung der Meßwert-Fernübertragung ergibt sich aus zwei grundsätzlichen Anwendungsgebieten.

Einmal handelt es sich um die Übertragung von Meßwerten von Stellen, die nicht mehr, oder nur schwer zugänglich sind. Beispiele dafür sind die Radiosonden, die kosmischen Sonden und automatische meteorologische Stationen auf dem Meer und in der Arktis.

Zum anderen handelt es sich um die Übertragung einer Vielzahl verstreut anfallender Meßwerte zu einer Zentrale. Beispiele dafür sind die Betriebsmeßtechnik in chemischen Betrieben und vor allem die Energieerzeugung und -verteilung.

In Bezug auf die Geophysik soll jetzt untersucht werden ob eine Meßwert-Fernübertragung notwendig ist und ob diese ein besonderes Problem darstellt.

Zunächst zur Notwendigkeit. In der Geophysik werden meist die Informationen von einer Vielzahl von Meßstellen benötigt, z.B. in der Reflexionsseismik, wie auch in der Refraktionsseismik und neuerdings besonders in den seismologischen Arrays. Zum Teil sind diese Meßstellen schwer zugänglich, wie in der Seegeophysik. Eine Meßwert-Fernübertragung, besonders die drahtlose, kann diese Meßverfahren wesentlich vereinfachen bzw. erst ermöglichen. Durch die Anlage großer seismologischer Arrays anstelle einzelner Erdbebenwarten ergibt sich auch dabei die unbedingte Notwendigkeit der Fernübertragung von Meßwerten und teilweise auch Daten.

In Bezug auf die Problematik ist zu sagen, daß die Anforderungen der Geophysik viel höher als die der Betriebsmeßtechnik sind. Das betrifft vor allem die Menge der zu übertragenden Meßwerte. In der Betriebsmeßtechnik werden von jeder Meßstelle im Verlaufe von mehreren Sekunden, oft sogar Minuten, nur ein Meßwert übertragen. In der Reflexionsseismik z.B. müssen aber von jeder Meßstelle (Geophon) in der Sekunde etwa 500 Meßwerte übertragen werden. Dazu kommt noch, daß die Geräte für den Geländeeinsatz geeignet (leicht und robust) sein müssen. Diese Anforderungen bedingen, daß für diese Meßwert-Fernübertragungen andere Konzeptionen zu erarbeiten sind als in der Betriebsmeßtechnik.

2. Die Übertragungswege der Fernübertragung

Drahtgebundene Übertragungswege: Bei drahtgebundenen Übertragungswegen müssen zwei Arten unterschieden werden. Einmal sind es Verbindungen, die für andere Zwecke eingerichtet wurden und für Meßwertübertragung mit benutzt werden. Die zweite Art sind spezielle für die genannten Zwecke verlegte Leitungen.

Als Beispiel für die erste Gruppe sind vor allem die Fernsprechleitungen zu nennen. Sie haben den Vorteil, daß mit dem posteigenen Fernsprechnet fast alle Orte erreicht werden können. Sie haben aber nur eine Bandbreite von 3,1 kHz, d.h. ein theoretisches Durchlaßvermögen von 21 000 bit/s und unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades von 50 % ein praktisches Durchlaßvermögen von etwa 10 000 bit/s. Die speziellen Leitungen können dagegen den Übertragungserfordernissen besser angepaßt werden, wobei aber erwähnt werden muß, daß Kabel mit großer Bandbreite sehr teuer sind.

Der Vorteil aller Leitungsverbindungen ist die große Störsicherheit und der billige Unterhalt. Nachteilig sind die hohen Kosten der Einrichtung einer Übertragungsstrecke, die in der Regel proportional der Streckenlänge ansteigen. Sie sind deshalb nur für Dauerverbindungen oder kurze Entfernungen diskutabel.

Drahtlose Übertragungswege: Nicht so einfach wie bei der Leitungsübertragung liegen die Verhältnisse bei der Funkübertragung, weil in diesem Fall die Sendefrequenz als wichtiger Parameter mit in die Betrachtungen einbezogen werden muß. Der wesentliche Einsatzbereich der Funkübertragung dürfte bei Entfernungen bis zu 30 km und bei vorübergehenden Übertragungen liegen. Dieser Komplex ist aber in der angewandten Geophysik vorherrschend. Dabei können hochfrequente Sender (Meter- und Dezimeterwellen) mit geringer Sendeleistung verwendet werden. Diese Sender können eine ausreichende Bandbreite besitzen, so daß auch höhere Übertragungsgeschwindigkeiten gewählt werden können. Dafür müssen aber die Ausbreitungsbedingungen für diese kurzen Wellenlängen beachtet werden, die einerseits vom Zustand der bodennahen Luftschicht und andererseits von den orographischen Verhältnissen abhängen.

Der Vorteil einer Funkverbindung ist der, daß die Übertragungsstrecke schnell eingerichtet werden kann und die Anlagekosten ab etwa 5 km Streckenlänge geringer als für eine fest verlegte Leitung sind. Dafür ist allerdings der Unterhalt teurer.

3. Die technischen Möglichkeiten der Fernübertragung

Beschränken wir uns auf die Mehrkanal-Meßwert-Fernübertragung, also die Multiplex-Verfahren, so ergeben sich für die Geophysik zwei technische Möglichkeiten.

Das Zeitmultiplex-Verfahren stellt prinzipiell die vielseitigste Methode zur Mehrkanal-Übertragung dar. Die zu übertragende Information wird dabei in Impulse umgeformt, wobei die Information in der Impulshöhe, in der Impulsdauer, in der Impulsfrequenz oder in der Impulsphasenlage liegt.

Das Mehrkanal-Verfahren besteht nun darin, daß die für jeden Kanal getrennt erzeugten und modulierten Impulse nacheinander übertragen werden. Empfängerseitig muß dieses Impulsgemisch wieder auf die einzelnen Kanäle aufgeteilt werden, wozu noch ein zusätzlicher Synchronimpuls mit übertragen werden muß. Ein wichtiger Punkt ist noch die Impulsfolgefrequenz. Streng genommen ergibt das Zeitmultiplex-Verfahren keine kontinuierliche Informationsübertragung. Durch eine sinnvoll gewählte Impuls-

frequenz wird es aber zu einem quasikontinuierlichen Verfahren. Für die Übertragung von Seismogrammen ist eine Impulsfrequenz und damit der Abtastzyklus von 500 Hz ausreichend, weil damit Frequenzen bis 125 Hz übertragen werden können. Abb. 2 zeigt das Schema einer Anlage mit Pulsamplitudenmodulation für drei Kanäle zuzüglich einem Kanal für die Synchronisation.

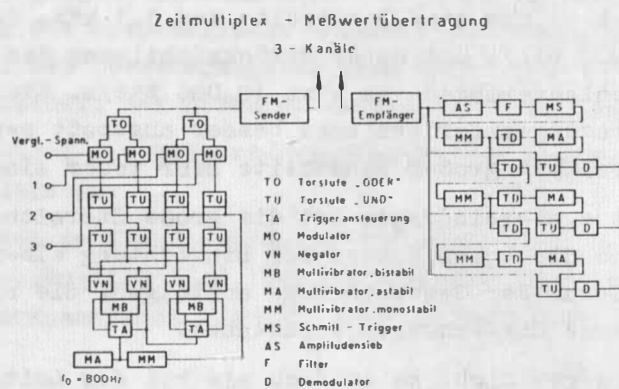


Abb. 2 Schema des Zeitmultiplex-Verfahrens

Eine einfache Methode für geringe Kanalzahlen, etwa 5 bis 6, stellt das Frequenzmultiplex-Verfahren dar. Die zur Übertragung vorgesehenen Meßwerte werden zur Modulation je eines Zwischenträgers im NF-Bereich benutzt. Bei n Kanälen ergeben sich so n Zwischenträger mit denen dann der HF-Träger zur drahtlosen Übertragung moduliert wird. Auf der Empfangsseite liegt nach der Demodulation des empfangenen HF-Trägers das Gemisch der n verschiedenen Zwischenträger vor, welche durch Filter getrennt werden. Nachdem auch diese Zwischenträger einzeln demoduliert sind, liegt wieder die ursprüngliche Information vor. Die Modulation der Zwischenträger kann grundsätzlich in der Amplitude oder in der Frequenz erfolgen. Amplitudenmodulation hat den Nachteil, daß sie stör anfälliger ist und keinen so großen Dynamikumfang wie bei der Frequenzmodulation übertragen kann.

Die Schwierigkeit bei diesem Verfahren liegt im wesentlichen darin, daß die Frequenzen der Zwischenträger nicht mit der Oberwelle eines vorhergehenden Zwischenträgers, einschließlich dessen Bandbreite, zusammenfallen dürfen. In der Praxis hat sich deshalb die Regel herausgebildet, daß $n \leq 6$ gehalten wird, wenn ein Meßwert mit einer Frequenz bis zu 20...30 Hz übertragen werden soll und nur eine Bandbreite von $B = 3 \text{ kHz}$ zur Verfügung steht.

Abb. 3 zeigt das Schema einer Frequenzmultiplex-Anlage in der Variante des Impulsfrequenz-Verfahrens. Dabei wird der Meßwert in einem astabilen Multivibrator in eine Impulsfrequenz umgewandelt, die damit die drei Zwischenträger ergeben. Auf der Empfangsseite erfolgt die Demodulation in der beschriebenen Weise.

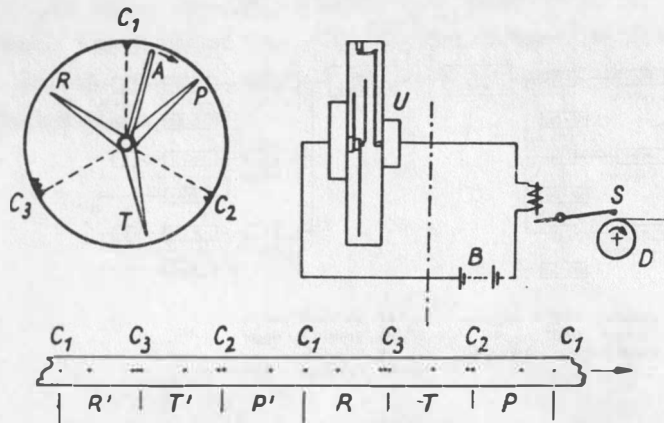


Abb. 4 Schema des Telemeteorographen von OLLAND

Die ersten Versuche zur drahtlosen Meßwert-Übertragung erfolgten bereits 1908 in Lindenberg durch HERGESELL, führten aber zu keinem Erfolg, weil die damalige Hochfrequenztechnik noch in den Anfängen steckte (Elektronenröhre noch nicht entwickelt). Erst 1925 konnten durch BUREAU und IDRAC in Frankreich derartige Versuche zum Erfolg geführt werden [4_7]. 1930 erfolgte praktisch gleichzeitig die Weiterentwicklung zum drahtlosen Mehrkanal-Verfahren in der Sowjetunion, in Deutschland und in Frankreich.

In der Geophysik im engeren Sinne erfolgten erst Ende der dreißiger Jahre Übertragungen nach dem Trägerfrequenz-Verfahren über Leitungen in der angewandten Seismik. Diese Methode der leitungsgebundenen Meßwert-Übertragung wurde in der Folgezeit vielfach in seismologischen Observatorien angewandt, so in Japan, Finnland und Alaska [7_7, 11_7], meist aber als Einkanal-Verfahren. Auch in der Seeseismik wurde diese Methode 1961 eingesetzt, 1960 sogar als Übertragung mit Ultraschall durch das Wasser.

Eine Anwendung der drahtlosen Übertragung in der Luftseismik, anscheinend Anfang der vierziger Jahre, wird ohne nähere Angaben von BAULE [2_7] kurz erwähnt. Es ist nicht festzustellen, ob dies die erste Anwendung dieses Verfahrens in der Geophysik war. Sicher wurde ein drahtloses Einkanal-Verfahren von GANE, LOGIE und STEPHEN 1948 [5_7] in Südafrika angewendet. Später (1955) auch von MIYAMURA [8_7] in Japan, der es auch 1956 [9_7, 10_7] zu einem Dreikanal-Verfahren erweiterte. In der Seeseismik wurden drahtlose Meßwert-Übertragungen mehrfach angewendet, u.a. von BEHRENS 1959 [3_7] in der BRD als Dreikanal-Verfahren. In der Prospektionsseismik geht die Anwendung drahtloser Verfahren nur aus einer Patentanmeldung von HERZOG 1962 [6_7] in den USA hervor. Schließlich sei noch als Beispiel das von der Teledyne Industries in Pasadena angebotene "Portable seismic telemetry system TM-202" für drei Kanäle erwähnt. Die Merkmale dieser Mehrkanal-Übertragungen zeigt Tab. 1. Die Anlage von MIYAMURA und TSUJIURA aus dem Jahre 1956 stellt wohl die älteste Mehrkanal-Übertragung in der Geophysik dar. Diese Aufstellung zeigt zugleich die Weiterentwicklung der Systeme. Während MIYAMURA und TSUJIURA noch alle Teile ihrer Anlage selbst

entwickelten, verwendete BEHRENS bereits handelsübliche Sender und Empfänger. Die Anlage der Teledyne Industries stellt nur noch einen Modulations- bzw. Demodulations- teil dar, die an beliebige Funksprechgeräte oder Telephonleitungen mit einer Band- breite von mindestens 3 kHz angeschlossen werden können.

Tab. 1 Vergleich der Anlagen zur Fernübertragung von Seis- mogrammen

	MIYAMURA TSUJIURA	BEHRENS	Teledyn
Kanalzahl	3	3	3
Frequenzen	800, 2670 8900 Hz	700, 1440 2160 Hz	1020-2720 Hz
Zwischen- träger	Form	Sinus	Sinus
	Modulation	FM	FM
	Frequenz	419 MHz	60 MHz
Sender	Leistung	20 W	
	Modulation	AM	AM
Primär-Bandbreite	4 - 40 Hz		0,01 - 100 Hz
NF - Bandbreite	160 kHz	3 kHz	3 kHz

Die bisherigen geophysikalischen Meßwert-Übertragungen erfolgten überwiegend auf dem Gebiet der Seismik. Zweifellos ergeben sich auch in diesem Bereich z.Z. die vielfältigsten Einsatzmöglichkeiten. Diese sollen im folgenden kurz be- trachtet werden.

Die Tiefenseismik stellt sicher das typischste Anwendungsgebiet dar. Infolge der großen Profillängen und der verhältnismäßig großen Stationsabstände ist eine Kabelverbindung der einzelnen Stationen mit der Registrierstation unwirtschaft- lich. Über den Vorteil einer zentralen Registrierung oder Speicherung der Auf- zeichnungen bestehen aber heute keine Zweifel mehr. Für diesen Fall bietet sich die drahtlose Meßwert-Übertragung unmittelbar an. Durch eine Mehrkanal-Übertra- gung können von jeder Station entweder alle drei Komponenten übertragen werden oder es werden mehrere Seismographen auf einen Profilausschnitt verteilt und mit kurzen Kabeln mit dem Sender verbunden. Erfolgt die Umwandlung der Meßwerte in die Hilfsgröße in einer zweckmäßigen Form, so kann an der Empfangsstation nicht nur das Seismogramm registriert werden, sondern die Hilfsgröße ist für die weitere Bearbeitung unmittelbar auf Magnetband speicherbar.

Die Seeseismik ist ein weiteres Anwendungsgebiet der drahtlosen Seismogramm- Übertragung. Es können in diesem Fall die Hydrophone mit dem Sender in einer Boje verankert werden und auf dem Schiff erfolgt die Registrierung. In diesem Arbeitsbereich erfolgt wahrscheinlich z.Z. die umfangreichste Anwendung der drahtlosen Meßwert-Übertragung.

Die Gebirgsschlagforschung stellt ebenfalls ein breites Anwendungsgebiet der drahtlosen Meßwert-Übertragung dar. In diesem Fall ist es oft erforderlich, Stationsnetze für eine begrenzte Zeit im gebirgsschlaggefährdetem Gebiet einzurichten. Dabei stellt die drahtlose Seismogramm-Übertragung zu einer zentralen Stelle den einzigen gangbaren Weg dar, denn eine Einzelregistrierung wie auch eine Kabelverbindung würden in gleicher Weise unwirtschaftlich sein. Diese Form der seismischen Beobachtung, allerdings mit dem Ziel der Nahbebenforschung, war auch der Anwendungsbereich der von MIYAMURA [10] eingesetzten Geräte.

In der Prospektionsseismik ist ebenfalls noch eine Anwendung der drahtlosen Übertragung möglich. In völlig unwegsamem Gebieten kann manchmal kein Kabel ausgelegt werden. Dabei ist es meist noch möglich, die einzelnen Stationen zu Fuß zu erreichen. Dann kann eine drahtlose Übertragung zur Registrierstelle erfolgen. Daß dieser Gedanke nicht abwegig ist, zeigt die schon zitierte Patentanmeldung von HERZOG [6]. Darin ist vorgesehen von den einzelnen bzw. gebündelten Geophonen das Seismogramm drahtlos zu einem Hubschrauber zu übertragen und von dort alle Spuren als Mehrkanal-Übertragung zur Auswertezentrale zu senden. Das Prinzip dieser Anwendung ist selbstverständlich auch ohne Hubschrauber anwendbar.

An den Seismologischen Observatorien ist es in immer stärkerem Maße notwendig, die eigentliche Erdbebenwarte in entlegene Gebiete mit geringer Bodenunruhe zu verlegen. Die Institute werden aber zweckmäßigerweise in größeren Orten eingerichtet. Diese räumliche Trennung von Beobachtung- und Bearbeitungsstelle stellt eine wesentliche Erschwerung der Arbeit dar. Diese Schwierigkeiten können durch eine Meßwert-Übertragung beseitigt werden. Da es sich in diesem Fall um eine Dauereinrichtung handelt, würde eine leitungsgebundene Übertragung am zweckmäßigsten sein, die keinen äußeren Störungen unterliegt. Dieses Verfahren wird schon mehrfach angewendet. So können die modernen seismologischen Arrays, ohne Fernübertragung nicht auskommen.

5. Beispiel einer einfachen drahtlosen Fernübertragungs-Anlage

An der Sektion Geowissenschaften der Bergakademie Freiberg wurde vor einiger Zeit ebenfalls ein Fernübertragungs-System nach dem Frequenzmultiplex-Verfahren für die Tiefenseismik entwickelt [1]. Dabei wurden zur Übertragung handelsübliche Funk-sprechgeräte verwendet. Abb. 5 zeigt den Kombiwagen der Sendestelle mit dem Antennenmast. Auf Abb. 6 ist die Anlage selbst zu sehen. Links das Modulationsteil für drei Kanäle, rechts das Funksprechgerät und darunter die Stromversorgung. Die provisorische Inneneinrichtung des Kombiwagens der Zentrale zeigt Abb. 7. Links das Registriergerät, rechts unten das Demodulations- und Kontrollteil, darüber Funksprechgerät und Empfänger sowie Chronometer für das Zeitzeichen. Diese Anlage ist mit vier Außenstellen ausgerüstet, die alle an einer Zentrale empfangen werden. Sie wurde für tiefenseismische Zwecke entwickelt und überträgt den Frequenzbereich 3...100 Hz. Eine Weiterentwicklung für den Bereich 0...30 Hz ist auch erfolgt. Mit diesen Geräten kann nicht nur eine Übertragung über Funk oder Fernsprechleitung erfolgen, sondern sie können auch zur Mehrkanal-Registrierung auf normale Tonbandgeräte verwendet werden. Damit ist also ein umfassendes und sehr variabel einsetzbares System der Fernübertragung und -registrierung vorhanden. Es kann nach den vielfältigsten Gesichtspunkten eingesetzt werden.



Abb. 5 Kombiwagen mit Sendemast

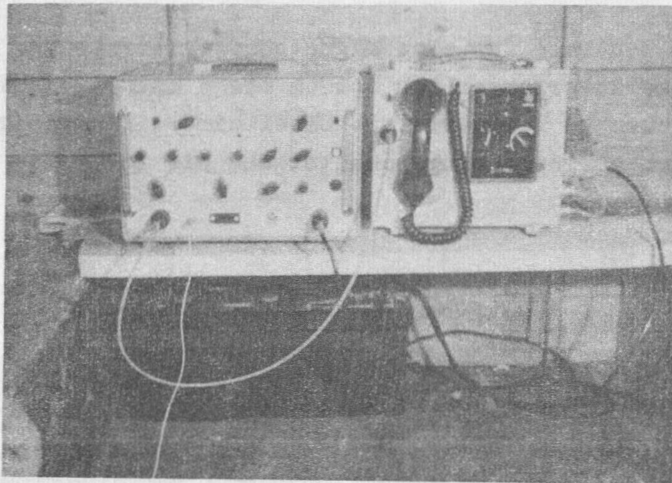


Abb. 6 Inneres der Sendestelle

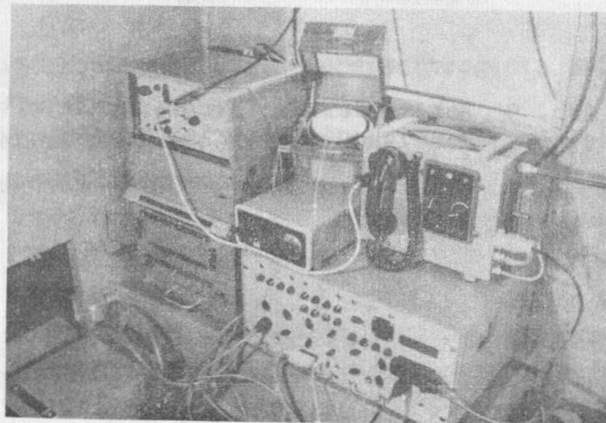


Abb. 7 Inneres der Empfangszentrale

Die folgenden Darstellungen zeigen nochmals das System dieser Anlagen. Abb. 8 stellt die Teile der Sendestelle dar.

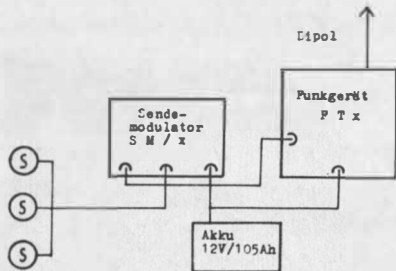


Abb. 8 Schema der Außenstation

Abb. 9 zeigt die Zentrale für eine Magnetbandregistrierung, wobei ein sehen-spuriges Magnetbandgerät erforderlich ist um die 5 mal 3 seismischen Spuren, den Abriß und das Zeitzeichen zu registrieren. Dabei wird die Registrierung automatisch durch den empfangenen Abrißton eingeschaltet und sie läuft bis 14 s nach dem Abriß.

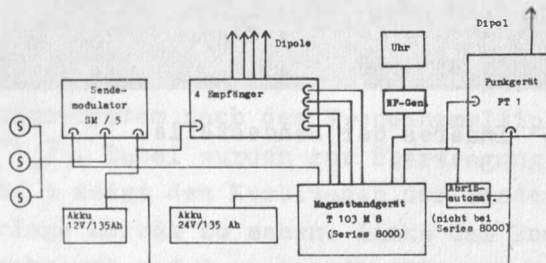


Abb. 9 Schema der Empfangszentrale mit Magnetbandregistrierung und 4 Außenstationen

Abb. 10 schließlich zeigt die Wiedergabe vom Magnetband auf ein photographisches Registriergerät. Anstelle des Registriergerätes kann auch ein A/D-Konverter angeschlossen werden um die Meßwerte zu digitalisieren.

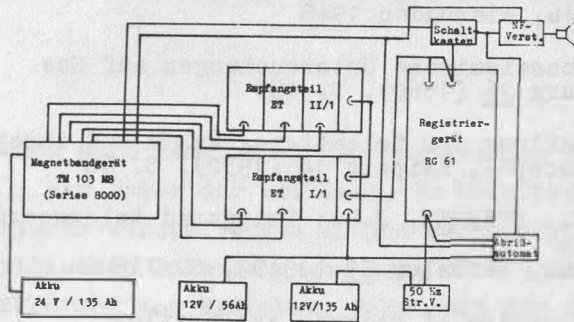


Abb. 10 Schema der Magnetbandwiedergabe analog

Abb. 11 zeigt eine mit dieser Anlage durchgeführte und übertragene Registrierung. Die oberen Spuren zeigen die über 10 km Entfernung aufgezeichnete Registrierung einer Steinbruchsprengung, die darunterliegenden Spuren zeigen die Erschütterung an der Zentrale. Der über Funk übertragene Abriß und die Zeitmarken sind ebenfalls zu erkennen.

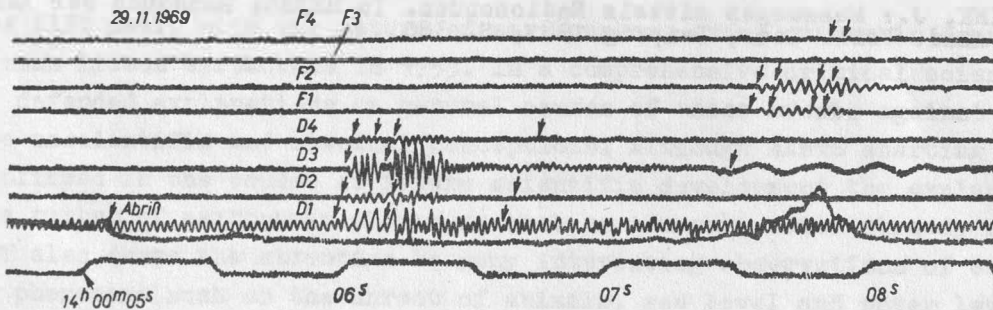


Abb. 11 Abbildung eines fernübertragenen Seismogrammes

Damit soll der Überblick über die Entwicklung der Fernübertragung in der Seismologie und Seismik abgeschlossen werden.

Literatur

- [1] ADLUNG, A.; DONNER, F.: Die Grundlagen der drahtlosen Meßwertübertragung in der Geophysik
Freiberger Forschungshefte C 303, Leipzig 1975
- [2] BAULE, H.: Seismische Instrumente.
In: BARTELS, Geophysik Teil II, S. 57. Reihe Naturforschung und Medizin in Deutschland 1939-1946, Wiesbaden 1948
- [3] BEHRENS, J.: Refraktionsseismische Untersuchungen auf See
Z.F. Geophys. Würzburg 26 (1960), S. 161
- [4] DUCKERT, P.: Die Entwicklung der Telemeterographie und ihrer Instrumente
Beitr. Phys. fr. Atmosph., Leipzig 18 (1932), S. 68
- [5] GANE, P.C.; LOGIE, H.J.; STEPHEN, J.H.: Triggered telerecording equipment for seismic observations
Bull. Seism. Soc. Am., Berkeley 39 (1949), S. 119
- [6] HERZOG, G.: Radio-link-system of seismic exploration
Ref. Off. Gazetti 784 (1962)1, S. 164
- [7] MIYAMURA, S.; MATUMOTO, H.: Line carrier telerecording seismograph
Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo 32 (1955)4, S. 715
- [8] MIYAMURA, S.; TSUJIURA, M.: A VHF radio tele-recording seismograph
Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo 32 (1955)4, S. 725
- [9] MIYAMURA, S.; TSUJIURA, M.: UHF multi-channel radio tele-recording seismograph.
Part. I.
Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo 35 (1957), S. 381
- [10] MIYAMURA, S.; TSUJIURA, M.: UHF multi-channel radio tele-recording seismograph.
Part. II.
Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo 37 (1959), S. 193
- [11] RIIHIMAA, J.: A telerecording seismograph
Geophysica Helsinki 7 (1961), S. 221
- [12] RINK, J.: Messungen mittels Radiosonden. In HESSE: Handbuch der Aerologie
Akad. Verl. Ges., Leipzig 1961, S. 380

Der Beitrag Immanuel KANTS zur Entwicklung wissenschaftlicher Vorstellungen über die
Natur der Erdbeben

von
Peter BORMANN

Zusammenfassung

In 2 Schriften äußerte sich KANT, u.a. im Zusammenhang mit dem verheerenden Erdbeben von Lissabon (1755), zur Natur der Erdbeben. Er knüpfte dabei an bereits vor ihm erarbeitete materialistische Vorstellungen an und verteidigte sie in einer breit angelegten wissenschaftlich-kritischen Polemik gegen eine Flut spekulativer und z.T. klerikaler Konzeptionen zur Erklärung von Erdbeben. Wenn auch die Ausgangshypothese KANTS durch die weitere Wissenschaftsentwicklung nicht bestätigt wurde, so kommt er dennoch in der Deutung einer Reihe von Erdbeben-Phänomenen wie Tsunamis und Seiches den tatsächlichen Gegebenheiten bereits sehr nahe. Zum anderen enthalten seine Schriften bereits eine Fülle wertvoller Hinweise auf Naturgegebenheiten (z.B. die Existenz ausgedehnter untermeerischer Gebirge) bzw. beobachtete Vorläufererscheinungen von Beben (z.B. Unruhe von Tieren, Meeres- und Brunnenpegelschwankungen, Veränderungen der Schüttungsintensität von Quellen, elektrische Entladungen), deren Richtigkeit erst in jüngster Zeit voll bestätigt und deren Bedeutung und Ursachen erst jetzt schrittweise erkannt werden.

Summary

In 2 papers KANT dealt with the nature of earthquakes, among others in connection with the disastrous Lisbon earthquake in 1755. In a comprehensive critical scientific polemic he defended explanations on natural causes of these events against a flood of speculative unscientific and clerical conceptions. Although KANTS starting hypothesis was not confirmed in the course of future scientific development the explanation given by him to a number of earthquake phenomena such as tsunamis comes already close to the truth. KANT also draws the attention to many interesting observations of earthquake precursory phenomena such as the unrest of animals, sea level and water level changes in wells, respectively, changes of the discharge intensity of springs and lightning discharges. He also infers the existence of very extended submarine mountain chains outranging by far those known from the land surface and brings the Lisbon earthquake in relation to the submarine Azores ridge. The correctness, importance as well as the causes of these phenomena we begin to appreciate and understand only in recent decades.

In seinem Vortrag "Phoronomie, Dynamik und Mechanik bei KANT" wies TREDER [1] anläßlich der Kantehnung der Potsdamer Akademieinstitute 1974 darauf hin, daß KANT von Haus aus und zu allererst Physiker war. Zur Philosophie sei er u.a. über die Wissenschaftstheorie gekommen. Wie dem auch sei, als Professor der Philosophie hatte er in Königsberg neben Wissenschaftstheorie auch Naturwissenschaften (Geographie, Geologie, Physik und Erdgeschichte) zu lesen, da dort für diese Disziplinen seinerzeit noch kein eigener Lehrstuhl existierte. So nimmt es nicht Wunder, daß KANT wie kaum ein anderer klassischer Philosoph grundlegende Beiträge zur Herausarbeitung naturwissenschaftlicher Hypothesen und Begriffsbildungen geliefert hat. Dabei eilten seine kühnen Gedankengänge insbesondere zur Kosmogonie der Wissenschaft seiner Zeit weit voraus. Sieht man von Hinweisen HUMBOLDT's und HERSCHEL's ab, so machte erst HUBBLE 1925 im Zusammenhang mit dem Nachweis extragalaktischer Systeme wieder auf KANTs Nebularhypothese aufmerksam. Die resignierte Äußerung KANTs: "Von dem, was ich geschrieben habe, wird der eine Teil nicht verstanden, der andere nicht geglaubt, der Rest belacht", war offensichtlich nicht unbegründet. BORN gestand, daß er erst durch das Studium KANTs EINSTEINs Relativitätstheorie recht verstanden habe und TREDER [1] schätzte ein, daß die physikalische Relevanz der KANT'schen Begriffsbestimmungen von den Physikern immer erst erkannt wurde, nachdem sie es durch die Entwicklung der Naturwissenschaft selbst nachvollzogen hatten, d.h. 'KANT wurde immer zu spät gelesen'.

Das gilt bis zu einem gewissen Grade auch für seine Beiträge zur Erklärung der Natur von Erdbeben, obgleich in dieser Frage seine wissenschaftlich und erkenntnistheoretisch aufklärende Polemik gegen unsachliche, insbesondere klerikale Argumentationen höher zu bewerten ist als sein origineller Beitrag zur wissenschaftlich fundierten Hypothesenbildung. Während die klassischen Philosophen der Antike bereits ausschließlich natürliche Gesichtspunkte für die Entstehung von Erdbeben und anderen Naturkatastrophen anführten, wurde im christlichen Mittelalter die Bibel zur einzigen Richtschnur der Deutung dieser Ereignisse. Erst die Renaissance griff die antiken Gedanken wieder auf, doch dauerte es noch weitere Jahrhunderte, ehe sich die natürliche Erklärung dieser Vorgänge endgültig durchgesetzt hatte.

KANT hat sich 1756 in zwei Schriften zur Natur der Erdbeben geäußert [2], [3]. Anlaß zur Beschäftigung KANTs mit diesen Fragen gab das verheerende Erdbeben, das sich am 1. November 1755 vor der portugiesischen Atlantikküste ereignete. Etwa 15 000 der insgesamt 20 000 Häuser Lissabons wurden durch die Bodenerschütterungen, die ausbrechende Feuersbrunst und schließlich die etwa 30 m hohe, von der Flußmündung des Tejo über die Stadt hereinbrechende Meereswoge total vernichtet oder stark zerstört. 50 000 Menschenleben waren zu beklagen. Noch in Sevilla, Granada, Cordoba, ja sogar in den fast 700 km entfernten marokkanischen Städten Fès und Meknès wurden Zerstörungen beobachtet. Die Meereswoge war derart intensiv, daß sie auch noch an der Küste Englands, Frankreichs und Deutschlands Schäden verursachte und sich bis nach Mittelamerika hin ausbreitete. Bis in die entferntesten Gegenden Europas war das Beben am Pendeln hängender Gegenstände bemerkt worden.

Zehn Jahre vor KANTs beiden Schriften über Erdbeben erscheint KRUEGERS "Geschichte der Erde" [4], in der u.a. auch von Erdbeben, ihren Ursachen sowie ihrer Rolle bei der Entstehung der Ozeane und Kontinente, der Faltung, Kippung und Verwerfung der Schichten, der Bildung von Klüften und Gängen die Rede ist. Auch bei KRUEGER ist letztlich der Kampf der "Elemente" Luft, Feuer und Wasser im Innern der Erde die eigentliche Ursache der Beben, doch bleibt er nicht bei einer Deutung im Sinne der griechischen Naturphilosophen stehen, sondern sucht vielmehr nach Gründen für die Existenz des unterirdischen Feuers und seiner Entzündung. Dabei fließen in seine Deutungen bereits eine Fülle von Erfahrungen des Bergbaus und der experimentellen Chemie ein. KRUEGER, der einst im Auftrage des preußischen Königs ein Gutachten zu erstellen hatte, um die Ursache der bereits seit Jahren andauernden Steinkohlenbrände in den Wettinischen Bergwerken zu erklären, beschreibt z.B. in seinem Buch eine Reihe möglicher chemischer Reaktionen, die zur Entzündung der brennbaren unterirdischen Materie führen könnten, darunter die stark exotherme Reaktion von Schwefelkies bzw. Schwefel und Eisen mit Wasser. Zum anderen führt er die schlagenden Wetter in Bergwerken als Beweis dafür an, daß sich in unterirdischen Hohlräumen entzündbare explosive Gase ansammeln können. Lagerstätten von Torf, Steinkohle, Erdharz, Judenpech und Schwefel sowie die Existenz der Vulkane seien außerdem der vollkommenste Beweis dafür, daß unter der Erde eine Menge brennlicher Materie anzutreffen sei. Ausgehend von der Annahme, daß die Erde eine große Menge "... schweflichter und verbrennlicher Materie in sich enthalte, die sich von selbst entzünden kann ...", erklärt KRUEGER, daß allein diese zwei Sachen nötig seien, um Erdbeben zu erklären. "... Denn setzet, daß sich in einer unterirdischen Gruft verschiedene Materien miteinander vermengen, und anfangen sich zu entzünden, so wird die Luft in dieser Höle gewaltig erhitzt werden; durch die Hitze wird ihre Elastizität vermehrt, und so stark gemacht, daß sie mit der größten Gewalt einen Ausgang sucht. ... ün wenn unter der Erde eine sehr große Hitze entsteht ... und es vermischt sich das Wasser mit dergleichen erhitzter Materie, so verwandelt sich auf einmal eine sehr grosse Menge desselben in Dünste, welche eine so große Gewalt haben, daß es eben so viel ist, als wenn man eine Mine gesprengt hätte. Ja es ist noch ärger, denn man hat gefunden, daß ein Tropfen Wasser, wenn er auf einmal in Dünste verwandelt wird, ein zehnenmal schwerer Gewicht aufheben könne, als eben so viel Schießpulver." An anderer Stelle stellt KRUEGER [4] fest: "... Ueberhaupt aber hat man die feuerspeyenden Berge als eine grosse Wohlthat für diejenigen Länder anzusehen, darinnen sie sich befinden. Denn sie sind Luftlöcher dadurch das unterirdische Feuer seinen Ausgang nehmen kan, welches, wenn es verschlossen wäre, die entsetzlichsten Erdbeben und erbärmlichten Verwüstungen verursachen würde, ...". KRUEGER führt schließlich in einem kühnen Gedankenwurf auch die großen geologisch-morphologischen Veränderungen, die sich auf der Erde vollzogen haben, auf die Wirkung großer "allgemeiner Erdbeben" zurück.

Das von KRUEGER bis zu einer gewissen abgeschlossenen und nach dem damaligen Wissensstand auch widerspruchsfreien Vollkommenheit entwickelte Gedankenmodell zur Erklärung der Erdbeben wird von KANT ebenso wie von einer Reihe weiterer Autoren, die sich zur Katastrophe von Lissabon äußern, praktisch unverändert übernommen.

In [2] konzentriert sich KANT vor allem auf eine wissenschaftlich-kritische Polemik gegen jene, die für das Erdbeben von Lissabon noch andere spekulative Ursachen

anführen, die vom Stand der Wissenschaft seiner Zeit aus bereits unhaltbar waren. KANT schreibt: "Die Allerunwissendsten wollen die Ursache davon errathen haben. Man hört Einige ohne Verstand und Nachdenken sprechen: die Erde habe sich verrückt, und sey, ich weiss nicht um wie viel Grade, der Sonne näher gekommen. ... Dahin gehören auch diejenigen, die die Kometen wieder auf die Bahn bringen, Es ist eine gemeine Ausschweifung, dass man den Ursprung eines Übels einige tausend Meilen weit herholt, wenn man ihn in der Nähe finden kann. So machen es die Türken mit der Pest; so machte man es mit den Heuschrecken, mit der Viehseuche, und weiss Gott mit was für Übeln mehr. Man schämt sich blos in der Nähe etwas sehen zu können. (Zwar habe) ... Newton eine wirkliche Kraft entdeckt und durch Erfahrung bestätigt, welche auch die entferntesten Planeten gegen einander und gegen unsere Erde ausüben. Allein zu allem Unglück für diejenigen, welche die Anwendung dieser merkwürdigen Eigenschaft bis zur Ausschweifung treiben wollen, ist das Maass dieser Kraft und die Art ihrer Wirkung bestimmt Herr Bouguer, ein berühmter Französischer Akademiker, erzählt, daß bei seinem Aufenthalt in Peru ein ... Professor der Mathematik ... ein Buch unter dem Titel einer astronomischen Uhr der Erdbeben geschrieben habe, darin er sich unternimmt, diese aus dem Lauf des Mondes vorher zu verkünden. Man kann leicht rathen, dass ein Prophet in Peru gut habe, Erdbeben vorher zu sagen, weil sie sich daselbst fast täglich zutragen und nur durch die Stärke unterschieden werden." KANT belegt dann an Beispielen, daß zwar der Mond oft in die Stellung kommt, "darin er die größte Wirkung auf den Erdboden ausübt, aber er erregt nicht eben so oft Erdbeben". Wenn man "... die übrigen Planeten ... noch dazu nimmt, und sie alle in Conjunction betrachtet, so wird offenbar, dass sie noch lange nicht um eine halbe Haaresbreite die Aufschwellung der Wasser, die der Mond und die Sonne gemeinschaftlich hervorbringen, vermehren können." Deshalb sind die Planeten "... vor dem Richterstuhle der Vernunft von der Anklage losgesprochen, einigen Antheil an der Ursache der Verwüstungen zu haben, die uns in den Erdbeben widerfährt.... Lasset uns also nur auf unserm Wohnplatze selbst nach der Ursache fragen, wir haben die Ursache unter unseren Füßen".

In der zweiten Schrift nimmt auch KANT [3] zu dem Erdbeben von Lissabon Stellung. Dabei versucht er u.a. dessen Entstehung und Wirkungen auf der Grundlage der bereits erwähnten Hypothese in aller Ausführlichkeit zu begründen und mit der vor dem Beben beobachteten "Unordnung im Luftkreis" in Verbindung zu bringen, die seinerzeit mit heftigen Wolkenbrüchen, Orkanen und Purpurregen im Alpen- und Mittelmeerraum die "Jahreszeit auf der Hälfte des Erdkreises" veränderte. Wir wollen uns nicht bei den Irrtümern aufhalten, die KANT dabei aus der Sicht heutiger Kenntnisse unterliefen. Vielmehr interessiert uns die Breite, in der KANT das Wissen seiner Zeit über Erdbeben kritisch wichtend zusammenfaßte, wie er es, auf der Grundlage der bereits erwähnten Arbeitshypothese konsequent zu ordnen und zu analysieren versuchte und sich bemühte, kausale Zusammenhänge aufzudecken. Diese Gründlichkeit des Heran gehens, gepaart mit der souveränen Beherrschung der fortgeschrittensten Erkenntnisse der mathematisch-physikalischen Naturwissenschaften seiner Zeit, hebt KANTs Schrift heraus aus der Fülle ähnlicher Äußerungen seiner Zeitgenossen zum gleichen Gegenstand (s. [5]). Noch 100 Jahre nach ihrem Erscheinen gab es keine Arbeit, die aus der kritischen Sicht unserer heutigen Kenntnisse wesentliche, darüber hinausgehende neue Einsichten geboten hätte.

Im einzelnen untersuchte KANT in seiner Arbeit über das Lissabon-Beben folgende Fragen:

- Von der Beschaffenheit des Erdbodens in seinem Inwendigen;
- Von den Vorboten des letzten Erdbebens;
- Das Erdbeben und die Wasserbewegungen vom 1. November 1755;
- Betrachtungen über die Ursache dieser Wasserbewegungen;
- Von den Zwischenzeiten, die binnen einigen aufeinanderfolgenden Erdbeben verlaufen;
- Von dem Herde der unterirdischen Entzündung und den Örtern, welche den meisten gefährlichen Erdbeben unterworfen sind;
- Von der Richtung, nach welcher der Boden durch ein Erdbeben erschüttert wird;
- Von dem Zusammenhang der Erdbeben mit den Jahreszeiten;
- Von dem Einfluß der Erdbeben in den Luftkreis.

KANT weist in den Erörterungen zum ersten Problemkreis darauf hin, daß über das Erdinnere nur sehr wenig bekannt und der Mensch seiner Zeit weniger als 1 km in die Tiefe vorgedrungen sei. "Was aber die Natur unserem Auge und unseren unmittelbaren Versuchen verbirgt, das entdeckt sie selber durch ihre Wirkungen. Die Erdbeben haben uns geoffenbart, daß die Oberfläche der Erde voller Wölbungen und Höhlen sey, und daß unter unseren Füßen verborgene Minen mit mannigfaltigen Irrgängen allenthalben fortlaufen. Der Verfolg in der Geschichte des Erdbebens wird dieses außer Zweifel setzen ...". Zwar hat nun die weitere Geschichte der Erdbebenforschung nicht diese Hypothese vom Aufbau der Erdkruste und der Ursache der Erdbeben, wohl aber die erkenntnisoptimistische Aussage des Zitats voll bestätigt, nach der die Natur uns das, was sie unserem Auge und unseren unmittelbaren Versuchen verbirgt, durch ihre Wirkungen selber entdeckt. In der Tat! Fast alles, was wir bis zum heutigen Tage über die Struktur und physikalischen Eigenschaften des verborgenen Erdinnern wissen, haben wir durch das systematische Studium der Erdbeben und der durch sie angeregten seismischen Wellen in Erfahrung gebracht.

Der phänomenologische Zusammenhang von Beben-tätigkeit und Vulkanismus wird von KANT ebenso wie von seinen Zeitgenossen richtig erkannt, doch auf der Grundlage der falschen Hypothese in einen unrichtigen, allgemeinen und direkten Kausalzusammenhang gebracht. Wir wissen heute, daß nur etwa 3 % der weltweiten Erdbeben-tätigkeit unmittelbar durch vulkanische Aktivität bedingt sind.

Im Zusammenhang mit der Erörterung der "Vorboten des letzten Erdbebens" erwähnt KANT in einer Fußnote, daß bei einigen anderen Erdbeben "Blitze in der Luft und die Bangigkeit, die man bei Thieren bemerkt, Vorboten gewesen" seien. Diese richtigen Beobachtungen werden heute im Rahmen komplexer Programme zur Überwachung von Erdbeben-vorläufern genutzt bzw. untersucht.

Daß die größere Sonnenhitze in äquatorialen Breiten die Ursache für die stärkere Bebenaktivität in diesen Breiten sei, wird von KANT mit dem richtigen Hinweis ausgeschlossen, daß bereits in einem 40 Fuß tiefen Keller kein Unterschied mehr zwischen Sommer und Winter zu spüren sei.

Interessant sind auch die Ausführungen KANTs zu den Wasserbewegungen vom 1. November 1755 und ihren möglichen Ursachen. So erwähnt er Beobachtungen von Änderungen des Wasserstandes in Brunnen sowie der Schüttungsintensität von Mineralquellen. Solche Erscheinungen sind wegen der gesetzmäßigen Veränderungen des Kluft- und Porenraumes in einem Erdkrustenvolumen zu erwarten, das tektonische Spannungen akkumuliert. Die landesweite Überwachung der zeitlichen Veränderungen von Quellschüttungen wie des Wasserstandes in Brunnen ist z.B. heute Bestandteil des nationalen Programms zur Erdbebenprognose in China. Die zweite interessante Feststellung KANTs in diesem Zusammenhang betrifft Seiches, d.h. die durch Erdbebenwellen angeregten Eigenschwingungen der Wassermassen von Binnenseen, wie sie im Ergebnis des Lissabon-Bebens in der Schweiz, der Mark Brandenburg (Templiner See), in Norwegen und Schweden beobachtet wurden¹⁾, obgleich auf dem umgebenden Festland keine Bodenerschütterungen zu verspüren waren. Die von KANT gegebene Erklärung für die Ursache der Bewegungen in den Seen trifft bereits fast den Kern des Problems: Er führt aus, daß, wenn z.B. ein See "nur 2 Deutsche Meilen lang ist, so wird sein Wasser durch dieses geringe Wanken (das der Boden auch noch in einiger Entfernung von den Feueradern haben kann, P.B.) schon recht stark geschaukelt werden. Denn das Wasser hat alsdann, auf 14 000 Zoll (bei 1 Zoll Doppellamplitude der Bodenbewegung) ungefähr einen Zoll Fall und einen Ablauf, der nur um die Hälfte kleiner ist, als der Ablauf eines recht schnellen Flusses, ..., welches nach etlichen hin und wieder geschehenen Schwingungen dem Wasser wohl eine außerordentliche Rüttelung hat verursachen können ..., ohne daß es auf den festen Lande füglich hätte gespürt werden können"

KANT kommt überall dort, wo er Schwierigkeiten hat, unterirdische Feueradern zu bemühen, um die Beobachtungen zu deuten, den tatsächlichen Verhältnissen bereits erstaunlich nahe. So auch bei der Erklärung der Tsunamis oder Meereswogen, die so verheerend über Lissabon hereingebrochen waren und bis hin an die Küste Holsteins Zerstörungen angerichtet hatten. Um dieses Phänomen zu deuten, nimmt KANT eine plötzliche Erschütterung des Meeresbodens in einem Geviert mit der Seitenlänge von Cap St. Vincent bis Cap Finisterre mit einer "... Gewalt des auffahrenden Grundes (an) ... welche im Aufspringen vermögend ist, die Körper, die darüber befindlich sind, 15 Fuß hoch zu werfen". Er berechnete "... nach den Regeln, nach denen die Bewegung in flüssigen Wesen sich fortsetzt ..." die Gewalt mit der das Wasser an die Holsteinischen Küsten schlug. Das Ergebnis seiner Berechnungen stand in guter Übereinstimmung mit den Beobachtungen.

Im weiteren Verlaufe der Ausführungen KANTs findet man noch eine Vielzahl erstaunlicher Feststellungen, so z.B., "... daß auf dem Boden des Oceans eben so viele Gebirge, als auf dem Lande anzutreffen sind, und in dieser Art müssen die Azorischen Inseln

¹⁾ Auf dem Kolloquium wies P. SCHMIDT darauf hin, daß diese aus Zeitungsmeldungen übernommenen Berichte quellenkritischen Studien nicht standhalten.

mit in diesem Zusammenhange (des Erdbebens von Lissabon, P.B.) gesehen werden ...". Denn in der Tat lag der Herd des Lissabon-Bebens eben im Bereich jenes untermeerischen Gebirgsrückens, der sogenannten Azorenschwelle, die von Gibraltar bis zu den Azoren reicht und sich dort mit dem ebenfalls seismisch aktiven Mittelatlantischen Rücken verbindet. KANT weist auch darauf hin, daß "... die untermeerische Entzündung oft neue Inseln aus dem Boden des Meeres erhoben hat, so z.B. 1720 nahe der Insel St. Michael (Azoren) ..." und ebenso die Insel Santorin im Mittelmeer, die seinerzeit "... vor den Augen vieler Menschen aus dem Meeresgrunde in die Höhe kam...". KANT untersucht des weiteren die interessante Frage, "... woher unter allen Örtern des festen Landes keine heftigeren und öfteren Erdbeben unterworfen sind, als die nicht weit vom Meeresufer gelegenen ...", eine Frage, die allerdings erst in jüngster Zeit durch den geologisch-geophysikalischen Nachweis des "sea floor spreading" erklärt werden konnte. Selbst Hinweise zur Seismometrie und zur bebensicheren Bauweise finden sich in [3].

Insgesamt finden wir in den beiden Schriften KANTs [2] [3] eine Fülle von Beobachtungen, Beziehungen und eigenen Gedanken, die weit über entsprechende Mitteilungen seiner Zeitgenossen hinausweisen, von denen viele noch immer Mühe hatten, sich von überholtem unwissenschaftlichem und vielfach sogar klerikalem Gedankengut freizumachen. Gerade im Zusammenhang mit dem Beben von Lissabon ist bei den meisten zeitgenössischen Autoren [5] immer wieder von "Gottesstraf" die Rede, auch in der ebenfalls 1756 erschienenen Schrift "Neueste Nachricht von dem in Lissabon und vielen anderen Orten gewesenen Erdbeben, von dessen natürlichen Ursachen, nebst einer Beschreibung von der Lebensart der Portugiesen und von ihrer Inquisition, woraus die moralischen Gründe ihres Verderbens gezogen werden" (in [5]). Darin wird u.a. ausgeführt: "Gott erhält das Wesen und regiert die Wirkungen der Natur zu seinen Absichten ... Er begleitet die Vollstreckung seines Willens mit Belohnungen und die Unterlassung desselben mit Strafen ... Er leitet die natürlichen Begebenheiten in die Wege, in welcher sie seine Rache ausüben müssen ..."

Gegen solche Art klerikaler Argumentation wendet sich KANT [3] voller Sarkasmus und Bitterkeit in seiner Schlußbetrachtung. Er schreibt: "Der Anblick so vieles Elends, als die letztere Katastrophe unter unseren Mitbürgern gemacht hat, soll die Menschenliebe rege machen, und soll uns einen Theil des Unglücks empfinden lassen, welches sie mit solcher Härte getroffen hat. Man verstößt aber gar sehr dawider, wenn man dergleichen Schicksale jederzeit als verhängte Strafgerichte ansieht, welche die verheerten Städte um ihrer Übelthaten willen betreffen, und wenn wir diese Unglückseligen als das Ziel der Rache Gottes betrachten, ... Gleichwohl sehen wir, dass unendlich viele Bösewichter in Ruhe entschlafen, dass die Erdbeben gewisse Länder von jeher erschüttert haben, ohne Unterschied der alten oder neuen Einwohner, dass das christliche Peru so gut bewegt wird, als das heidnische, und dass viele Städte von dieser Verwüstung von Anbeginn befreit geblieben sind, die über jene sich keines Vorzugs der Unsträflichkeit anmassen können".

32 Jahre alt war KANT, als er diese Sätze formulierte. Das war die Sprache der neuen bürgerlich-humanistischen Weltanschauung, zu deren Wegbereitern er gehörte und die sich entschlossen der alten feudal-klerikalen Weltansicht entgegenstellte. Das war der Beginn der Proklamierung der selbstbewußt-schöpferischen, kritisch-wissenschaftli-

chen Tätigkeit des Menschen und der These von der Beherrschbarkeit der objektiven Realität durch den Menschen kraft seiner Erkenntnisfähigkeit. Das war der selbstbewußte Geist der Aufklärung, die KANT [6] nach eigenen Worten als den "Ausgang des Menschen aus seiner selbstverschuldeten Unmündigkeit" verstanden wissen wollte. Unmündigkeit aber ist nach KANT "... das Unvermögen, sich seines Verstandes ohne Leistungen eines anderen zu bedienen. Selbstverschuldet ist diese Unmündigkeit, wenn die Ursache derselben nicht am Mangel des Verstandes, sondern der Entschliebung und des Mutes liegt, sich seiner ohne Leistung eines anderen zu bedienen ... Habe Mut, dich deines eigenen Verstandes zu bedienen! ist also der Wahlspruch der Aufklärung...

Diese aufklärerisch-kritische Haltung liegt auch KANTs umfassenden und z.T. sehr originellen Betrachtungen zur Natur der Erdbeben und Bebenwirkungen zugrunde.

Literaturverzeichnis

- [1] TREDER, H.-J.: Phoronomie, Dynamik und Mechanik bei KANT".
Vortrag gehalten am 12.9.1974 auf dem KANT-Kolloquium der Zentralinstitute für Astrophysik und Physik der Erde der Akademie der Wissenschaften der DDR in Potsdam aus Anlaß der 250. Wiederkehr des Geburtstages von Immanuel KANT.
- [2] KANT, I.: Betrachtung der seit einiger Zeit wahrgenommenen Erderschütterungen (1755).
In Immanuel KANTs Schriften zur Physischen Geographie, Sämtliche Werke, Sechster Teil, Verlag Leopold Voss, Leipzig (1839), S. 271 - 280
- [3] KANT, I.: Geschichte und Naturbeschreibung der merkwürdigsten Vorfälle des Erdbebens, welches an dem Ende des MDCCLV. Jahres einen großen Theil der Erde erschüttert hat (1756).
In Immanuel KANTs Sämtlichen Werken, Sechster Teil, Verlag Leopold Voss, Leipzig (1839), S. 229 - 268
- [4] KRÜGER, J.G.: Der Weltweisheit und Arzneygelahrtheit Doctors und Profeßors auf der Königl. Preußischen Friedrichs Universität Geschichte der Erde in den allerältesten Zeiten. Halle: Lüderwaldische Buchhandlung (1746) 186 S., Fotokopie.
- [5] Angestellte Betrachtung über die den 1. November 1755 so ausserordentliche Erdbeben und Meeresbewegungen, wodurch die Grundfeste eines grossen Theils Europens und Africa erschüttert, und einige derer Städten verunglückt worden.
In vier Abhandlungen eingetheilt, ... Aufgesetzt von J. A. E. M.
Augsburg: Johann Michael Wagner. (1756) 40 S., 3 ungez. Bl., 3 Kupferst.
- [6] KANT, I.: Kleine philosophische Schriften, Leipzig (1962), S. 205

Beiträge von Erdzeitenuntersuchungen zu Vorstellungen über die Struktur des Erdkörpers

von
Cl. ELSTNER

1. Einleitung

Die im wesentlichen von Sonne und Mond auf den Erdkörper ausgeübten Gezeitenkräfte sind als relative Gravitationskräfte bezogen auf den Erdmittelpunkt zu verstehen. Das Gezeitenkraftfeld erzeugt zwei Flutberge auf der dem gezeitenerzeugenden Gestirn zugewandten und der ihm abgewandten Seite. Die Erde dreht sich unter diesen Flutbergen hinweg bzw. die Flutberge wandern mit dem Umlauf des Gestirns. Da das Gezeitenkraftfeld seiner Natur nach ein konservatives Kraftfeld ist, d.h. die aufzuwendende oder vom Kraftfeld erbrachte Arbeit ist unabhängig vom Weg, ist dieses Feld außerhalb der Gezeitengestirne durch den Gradienten eines skalaren Potentials darstellbar.

Die Reaktion des gesamten Erdkörpers auf die Gezeitenkraft läßt sich aus den Messungen der Komponenten der Gezeitenvariationen an der Erdoberfläche, nämlich den Schwankungen der Schwereintensität und der Lotrichtung, durch Vergleich mit den entsprechenden Komponenten einer starren, d.h. auf Gezeitenkräfte nicht reagierenden Erde, bestimmen. Der ganze Vorgang ist als eine erzwungene elastische Bewegung zu verstehen, wobei die Anregung außerhalb des Erdkörpers liegt. Über die Eigenschwingungen erfolgt nach der kurzperiodischen Seite hin der Anschluß zu den seismischen elastischen Deformationen mit innerer Anregung. Nach dem langperiodischen Teil schließen sich die mit Polbewegungen und säkularen geotektonischen Vorgängen verknüpften Deformationsvorgänge an.

Aus Erdzeitenbeobachtungen abgeleitete Reaktionsparameter gestatten die Überprüfung von Modellvorstellungen, wie sie z. B. aus seismischen Daten abgeleitet wurden und wirken im Sinne von Kompatibilitätsbedingungen bei den inversen Aufgabenstellungen der Seismologie.

2. Zum historischen Ablauf der Entwicklungen der Erdzeitenuntersuchungen

Der zeitliche Verlauf der Untersuchungen der Gezeiten der festen Erde weist, ähnlich wie der Untersuchungsgegenstand selbst, periodische Variationen auf, die durch einen globalen und einen regionalen Aspekt gekennzeichnet werden können. Der von Natur aus globale Charakter der Gezeitenerscheinungen und seine regionalen Besonderheiten, die in den räumlichen Strukturänderungen der Erdkruste und den oberflächennahen Belastungen der Lithosphäre durch Ozean und Atmosphäre ihre Ursache haben, stehen alternierend im Vordergrund des wissenschaftlichen Interesses. Der folgende Klassifikationsversuch möge das verdeutlichen.

Nach einer längeren historischen Vorbereitungsphase, an deren Ende die Abschätzungen der Erdelastizität von G.H. DARWIN aus den Beobachtungen der 14-

tägigen Meeresflut stehen /2, 3/, werden um 1890 durch E. von REBEUR-PASCHWITZ /15, 16/ erstmals bei seinen Potsdamer Messungen mit dem Horizontalpendel im Keller des Astrophysikalischen Observatoriums gezeitenbedingte Lotschwankungen gemessen.

In der Folgezeit setzen intensivere Bemühungen um die geophysikalische Deutung und Interpretation dieser Ergebnisse an globalen Modellen ein. Den Zeitraum von 1880-1925 könnte man als eine erste Periode der globalen Festerdegezeitenforschungen einstufen. Die erfolgreichen Messungen der Lotschwankungen und Schwereintensitätsänderungen (SCHWEYDAR /17/) regten zu mannigfachen Betrachtungen über den Mechanismus der globalen Gezeitendeformation an.

Im Zeitraum von 1925 bis etwa 1950 waren es bevorzugt regionale Einflüsse, die im Vordergrund der Betrachtungen standen, da die mit der verfügbaren Meßtechnik gewonnenen Primärinformationen zunächst keine weitergehende Modellierung zuließen. Auch die besonders in den dreißiger Jahren vorangekommene gravimetrische Geräteentwicklung und Meßtechnik änderte wenig an dieser Situation, da hier besonders die differenzierte Ausmessung des statischen Schwerfeldes für geodätische und für Erkundungszwecke vorrangig waren.

Erst Anfang der fünfziger Jahre waren die Bedingungen für eine verfeinerte globale Festerdegezeitenforschung herangereift. Durch die Entwicklungen auf den Gebieten der Rechen- und Meßtechnik und besonders auch durch die weltweite Aufwertung geophysikalischer Arbeiten im Internationalen Geophysikalischen Jahr, deren Durchführung in der DDR in sehr großzügiger Weise von staatlicher Seite gefördert und unterstützt wurde, konnten neue verbesserte Geräte und Auswertungsmethoden entwickelt und eingesetzt sowie verfeinerte globale Modelle aufgestellt werden.

Etwa um 1970 war zu erkennen, daß die neuen, stark verbesserten Gezeitenmessungen durch Oberflächeneffekte, an praktisch allen Stationen beeinflusst werden wobei die Meeresgezeitenbelastungen und die Deformationsanteile bedingt durch Topographie und Konfiguration der unterirdischen Meßräume am stärksten einwirken.

Großregionale Profilmessungen mit Gravimetern dienten zur verbesserten Festlegung von Meeresgezeitenverteilungen; kombinierte Neigungs- und Strainmessungen ergaben besonders in küstennahen Regionen Hinweise über die Struktur der Erdkruste. Außerdem gewinnt für präzise Entfernungsmessungen zum Mond und zu den Erdsatelliten die radiale gezeitenbedingte Deformation der Erdoberfläche zunehmend an Bedeutung.

Allgemein ist festzustellen, daß Erdgezeitendaten allein nur einfache Erdmodelle bezüglich ihrer elastischen Eigenschaften zu beschreiben gestatten. Schon beim Zweischichtenmodell müssen seismische Daten zu Hilfe genommen werden. Wesentlich differenziertere moderne Erdmodellvorstellungen, wie sie aus seismischen und Eigenschwingungsdaten abgeleitet wurden, können mit Erdgezeitendaten

auf ihre Verträglichkeit geprüft werden. Oberflächennahe Belastungsdeformationen markieren bzw. begrenzen die Aussageschärfe der globalen Gezeitenparameter auf einige Prozent. Außerdem muß man bei der Nutzung der Gezeitendaten beachten, daß die Gezeitenkräfte in ihrer räumlichen Verteilung, soweit sie beobachtet werden können, durch Kugelfunktionen zweiter und dritter Ordnung dargestellt werden und deshalb praktisch keine Aussagen über laterale Strukturen im Erdinnern zulassen.

3. Zur Ableitung von Modellen für die Gezeitendeformationen

Ohne auf eine mathematische Darstellung der elastischen Deformationen einer spärlichen, eigengravitierenden Erde mit vorgegebenen Verteilungen der elastischen Parameter (Kompressibilität λ und Starrheit μ) und der Dichte ρ einzugehen, sei lediglich erwähnt, daß zur Berechnung der von den Gezeitenkräften hervorgerufenen elastischen Deformationen und Potentialänderungen im allgemeinen vier partielle Differentialgleichungen zweiter Ordnung aufzulösen sind. Werden für den Erdkörper jedoch in Teilbereichen unterschiedliche physikalische Zustände vorausgesetzt, dann vergrößert sich die Anzahl der vier a priori unbekannt Funktionen des Deformationsvektors \vec{u} und des Deformationspotentials V auf $4n$, bei n unterschiedlichen Teilbereichen. Es ist noch hinzuzufügen, daß im Falle reiner Radialabhängigkeit der Parameter λ , μ und ρ sich die Anzahl der Ausgangsgleichungen auf drei reduziert. Schließlich hat man noch zwischen statischen und dynamischen Modellen zu unterscheiden. Im ersten Fall wird die Rotationsbewegung der Erde vernachlässigt und ebenfalls die Trägheitsbeschleunigung der Massenelemente bei der Deformationsbewegung. Dynamische Modelle sind für die Beschreibung der Reaktionen des quasiflüssigen äußeren Erdkernes und der Meeresgezeitenbewegungen unbedingt erforderlich, da hier die Eigenbewegungen der flüssigen Partikel unter dem Einfluß dieser Kräfte abläuft.

Von den verschiedenen Modellvorstellungen, die mit einem gewissen Vorlauf parallel zur Entwicklung der Beobachtungs- und Meßtechnik aufgestellt wurden, seien hier drei typische Grundmodelle aufgeführt.

3.1 Das KELVIN-Modell

Als erster hat W. THOMSON, der spätere Lord KELVIN, die elastischen Deformationen für eine homogene, inkompressible, gravitierende, elastische, nichtrotierende Erde unter dem Einfluß der Gezeitenkräfte bestimmt ($\rho = \text{const}$, $\lambda = \infty$). Die Ergebnisse seiner Untersuchungen wurden 1863 /20, 21/, also etwa 30 Jahre vor den ersten erfolgreichen Beobachtungen der Horizontalkomponente der Festerdezeiten durch v. REBEUR-PASCHWITZ oder genau 50 Jahre vor den ersten gravimetrischen Messungen von SCHWEYDAR veröffentlicht. Aus heutiger Sicht können die gegenwärtig bekannten Beobachtungsergebnisse der Gezeitenvariationen in Schwere, Lotrichtung und Strain natürlich mit diesem einfachen Modell, das nur einen freien Parameter, die Rigidity μ , enthält, nicht erklärt werden. Das bedeutet

zwar, daß das elastische Verhalten des Erdkörpers gegenüber den Gezeitenkräften nicht durch ein homogenes, inkompressibles Modell beschrieben werden kann, jedoch die Größenordnung der elastischen Nachgiebigkeit der Erde gegenüber den Gezeitenkräften konnte mit Hilfe der ersten Meßergebnisse bereits mit diesem Modell abgeschätzt werden.

3.2 Das Modell der Gezeitendeformationen nach A.E.H. LOVE

Nach der Verfeinerung der KELVINSchen Theorie durch HERGLOTZ /7/, der eine radialsymmetrische Verteilung der Dichte und der Starrheit voraussetzt, und der Erweiterung dieser Vorstellungen durch SCHWEYDAR /18/ und später durch Prey /14/, sind besonders die Beiträge von A.E.H. LOVE, die er 1911 unter dem Titel "Some Problems of Geodynamics" veröffentlichte /11/, für den weiteren Fortschritt der Modellierung des Gezeitenphänomens sehr bedeutsam. Es sei angemerkt, daß diese Untersuchungen von LOVE grundlegende mathematisch-physikalische Darstellungen der Isostasie, der Festerdegezeiten, der Eigenschwingungen der Erde und der seismischen Wellenausbreitung enthalten, die bis heute bei den Modellierungen dieser Erscheinungen benutzt werden. LOVE entwickelte ein statisches Gezeitenmodell mit radialsymmetrischer Verteilung der Parameter ρ , λ , μ . Auch der Einfluß der Erdrotation auf die Gezeitenbewegung wurde von ihm untersucht und damit die Grundlage für die späteren dynamischen Theorien der Festerdegezeiten geschaffen. Die Lösung der elastischen Gleichungen und der Potentialgleichung führt auf eine Proportionalität zwischen den elastischen Verrückungen und den Gezeitenkräften, die durch zwei vom Radius und den Parametern des Erdmodelles abhängige Funktionen h und l ausgedrückt wird. Die Funktion h , die von LOVE eingeführt wurde, kann auch als das Verhältnis der wirklichen radialen Gezeitendeformation zur entsprechenden Deformation einer ideal flüssigen Erde angesehen werden. Die Funktion l , die später von SHIDA hinzugefügt wurde, stellt das entsprechende Verhältnis für die horizontalen Deformationskomponenten dar. Beschränkt man sich im Gezeitenpotential auf den Hauptterm zweiter Ordnung, so nehmen die Funktion h , l an der Erdoberfläche die Werte 0.6 und 0.08 an. Für das Zusatzpotential, das infolge der mit der Deformation verbundenen Massenverschiebungen entsteht, ergibt sich gleichfalls eine Proportionalität zum erzeugenden Gezeitenpotential, die nach LOVE durch die Funktion k beschrieben wird und unter den erwähnten Bedingungen den Zahlenwert 0.3 besitzt. Über den Vergleich der aus den Messungen der Gezeitenvariationen der Schwere, der Lotrichtung und des Strains bestimmten Werte für h , k und l mit den entsprechenden Zahlenwerten des Erdmodells ist die Auswahl eines optimal mit den Meßergebnissen verträglichen Modelles möglich.

Mit der Verbesserung und Weiterentwicklung der Meß- und Auswertemethoden wurden auch neue präzisierte Modelle für die Festerdegezeiten entwickelt, als deren Grundlage die Untersuchungsergebnisse von LOVE aus dem Jahr 1911 ange-

sehen werden müssen.

Die Ergebnisse der frühen Lotschwankungsmessungen am Anfang unseres Jahrhunderts haben zweifellos die LOVEschen Untersuchungen stimuliert. In diesem Zusammenhang sei LOVEs Meinung zu den klinometrischen Messungen, die HECKER 1902-1909 /5/ in Potsdam ausgeführt hatte, besonders erwähnt:

"But the most elaborate observations of the lunar deflexion of gravity are those which have been made in recent years by O. HECKER. He has proved decisively that corporeal tides exist and has furnished very valuable numerical results by help of which amounts of such tides may be determined".

3.3 Modelle der Gezeitenbewegung nach M.S. MOLODENSKIJ

Eine Verfeinerung der für die Interpretation von Gezeitenbeobachtungen benutzten Erdmodelle nahm H. TAKEUCHI /19/ vor. Durch numerische Integration der Ausgangsgleichungen auch unter Verwendung seismologisch ermittelter Parameterverteilungen berechnete er verschiedene Modelle für die Gezeitendeformationen. Es stellte sich heraus, daß auch mit Hilfe von Gezeitenbeobachtungen die geringe Righeit bzw. das quasiflüssige Verhalten des äußeren Erdkernes nachgewiesen werden kann. Nur wenig später, 1953, veröffentlichte M. S. MOLODENSKIJ /12/ die Ergebnisse seiner Untersuchungen über die elastischen Gezeitendeformationen, die freien Nutationen und den Aufbau der Erde, die eine weitere Präzisierung der statischen Gezeitenmodelle darstellt. Die Fortführung seiner Studien führte ihn 1961 zu einer neuen dynamischen Modellvorstellung /13/, wobei die Auswirkungen des ideal-flüssig angenommenen äußeren Erdkernes unter dem Einfluß der Gezeiten- und Rotationskräfte auf die beobachteten Schweregezeiten, Lotbewegungen und Polschwankungen berechnet wurden. Ein solches Erdmodell besitzt zwei freie Eigenmoden der Bewegung der Rotationsachse, die Chandlerperiode von 1.19 Jahren und eine nahezu ganztägige Periode von 0.99786 Sterntagen, deren direkter Nachweis aus astronomischen Beobachtungen bisher noch nicht gelungen ist. Wohl aber sind die resonanten Auswirkungen dieser Bewegung in den Nutations-terminen und den benachbarten Gezeitenfrequenzen festgestellt worden. Nach den Untersuchungsergebnissen von MOLODENSKIJ und von JEFFREYS und VICENTE /8, 9/ können die Meßdaten der Erdgezeitengeophysik auch zur Ableitung dynamischer Modellparameter, wie z. B. der Abplattung der Kern-Mantel-Grenze, ausgenutzt werden. Eine Präzisierung der Theorie in Richtung viskoelastischer Vorgänge im äußeren Erdkern dürfte mit Hilfe sehr langer präziser gravimetrischer Meßreihen zu weiteren Einblicken in die Struktur des Erdinneren führen.

4. Schlußbemerkungen

Die Aussagefähigkeit der gegenwärtig vorliegenden Daten über die Gezeiten der festen Erde bezüglich der Struktur des Erdinneren bezieht sich nach VARGA /22/ im wesentlichen auf den oberen Grenzwert des Righeitsmoduls an der Kern-

Mantel-Grenze ($< 3 \cdot 10^{10}$ dyn/cm²) und auf die mittlere Lage dieser Grenzfläche im Erdmodell von MOLODENSKIJ läßt sie sich bis auf allerhöchstens ± 50 km genau aus den Gezeitenmessungen verifizieren. Die LOVEschen Zahlen h und k hingegen hängen nur relativ schwach von den Strukturen im Erdmantel und in der Erdkruste ab, so daß zu dieser Frage kaum Beiträge von den globalen Gezeitenerscheinungen erwartet werden können. Oberflächennahe Belastungsvorgänge mit regionaler Struktur maskieren einerseits die globalen Gezeitenphänomene und bewirken eine Begrenzung der Aussagefähigkeit der Messungen bezüglich der weltweiten Strukturformen. Andererseits bieten die von diesen Vorgängen ausgelösten Deformationen und Potentialänderungen die Möglichkeit zur Untersuchung der regionalen Erdkrustenstruktur im Bereich der Belastungen.

Einschränkend ist jedoch zu erwähnen, daß die Sicherheit der LOVEschen Zahlen wegen der Störungen in den klinometrischen Daten im Mittel kaum genauer als 5 % bestimmt werden können. Generell sind klinometrische Messungen erheblich stärker durch oberflächennahe Deformationen meteorologisch-hydrologischen Ursprungs beeinflußt als gravimetrische Messungen, die besser für großregionale und globale Studien verwendet werden können.

Auf der Basis der hier skizzierten Entwicklung globaler Modellvorstellungen zur Erklärung der beobachteten Festerdegezeiten sind in jüngerer Zeit auch Modelle für die regionalen Belastungen entwickelt worden /4, 6, 10/, die eine erneute Hinwendung der Erdgezeitenforschung zu den Oberflächenvorgängen regionaler Ausdehnung anzeigen.

Literatur

- / 1 / DARWIN, G.H.: Ebbe und Flut
Leipzig, Berlin: B.G. Teuber 1911
- / 2 / DARWIN, G.H.: Dynamical theory of the tides of long period
Proc. roy. Soc. London 41 (1886)
- / 3 / DARWIN, G.H.: Attempted evaluation of the rigidity of the earth from the tides of long period
Scientific Papers 1 (1883) 9, S. 340-346
- / 4 / FARREL, W.E.: Deformation of the earth by surface loads
Rev. Geophys., Space Phys. 10 (1972) 3, S. 761-797
- / 5 / HECKER, O.: Beobachtungen an Horizontalpendeln über die Deformation des Erdkörpers unter dem Einfluß von Sonne und Mond
Veröff. kgl. preuß. geod. Inst., N. F., Berlin (1907) 32 u. (1911) 49
- / 6 / HENDERSHOTT, M.C.: Ocean Tides
Trans. amer. geophys. Union 54 (1973), S. 76-86
- / 7 / HERGLOTZ, G.: Über die Elastizität der Erde bei Berücksichtigung ihrer variablen Dichte
Z. Math. u. Physik 52 (1905), S. 275-299
- / 8 / JEFFREYS, H.; VICENTE, R.O.: The theory of nutation and the variation of latitude
Monthl. Not. roy. astron. Soc. 117 (1957) 2, S. 142-161

- / 9 / JEFFREYS, H.; VICENTE, R.O.: The theory of nutation and the variation of latitude. The Roche model core
Monthl. Not. roy. astron. Soc. 117 (1957) 2, S. 162-173
- /10 / LONGMAN, I.M.: A Greens function for determining the deformation of the earth under surface mass loads
J. geophys. Res. 68 (1963) 2, S. 485-496
- /11 / LOVE, A.E.H.: Some problems of geodynamics
London: Cambridge Univ. Press. 1911, Repr. by Dover Publ., New York 1967
- /12 / MOLODENSKIJ, M.S.: Uprugie prilivy, svobodnaja nutacia i nekotorye vo-prosy stroenija zemli
Trudy geof. Inst. Moskva 19 (1953), S. 3-53
- /13 / MOLODENSKIJ, M.S.: Teorija nutacij i sutocnych zemnych prilivov
Zemnye prilivy i nutacia zemli, Moskva: Izd. Akad. Nauk 1961
- /14 / PREY, A.: Über die Elastizität der Erde
Gerlands Beitr. Geophysik 23 (1929), S. 379-429 u. 44 (1935), S.59-80
- /15 / v. REBEUR-PASCHWITZ, E.: Resultate aus Beobachtungen am Horizontalpendel zur Untersuchung der relativen Variationen der Lotlinie
Astron. Nachr. 126 (1891) 3ool/2, Sp. 1-18
- /16 / v. REBEUR-PASCHWITZ, E.: Über Horizontalpendelbeobachtungen in Wilhelms-haven, Potsdam und Puerto Orotava auf Teneriffa
Astron. Nachr. 130 (1892) 3109/10, Sp. 193-216
- /17 / SCHWEYDAR, W.: Beobachtung der Änderung der Intensität der Schwerkraft durch den Mond
Sitzungsber. kgl. preuß. Akad. Wiss. zu Berlin, phys.-math. Cl., (1914), S. 454-465
- /18 / SCHWEYDAR, W.: Theorie der Deformation der Erde durch Flutkräfte
Veröff. kgl. preuß. geod. Inst., N. F., Potsdam (1916) 66
- /19 / TAKEUCHI, H.: On the earth tide of the compressible earth of variable density and elasticity
Trans. amer. geophys. Union 31 (1950)5, S. 651-689
- /20 / THOMSON, W.: On the rigidity of the earth
Phil. Trans. roy. Soc. London 153 (1863), S. 573-582 (1863 a)
- /21 / THOMSON, W.: Dynamical problems regarding elastic spheroidal shells and spheroids of incompressible liquid
Phil. Trans. roy. Soc. London 153 (1863), S. 583-616 (1863 b)
- /22 / VARGA, P.: Dependence of the Love numbers upon the inner structure of the earth and comparison of theoretical models with results of measurements
Pure u. appl. Geophysics 112 (1974), S. 777-785

Zusammenfassung:

Nach einer kurzgefaßten Betrachtung des Ablaufs der Untersuchungen über die Gezeiten der festen Erde in den letzten hundert Jahren werden die für die Interpretation der Gezeitenbeobachtungen bedeutsamen Modellvorstellungen von KELVIN, LOVE und MOLODENSKIJ beschrieben. Die aus den Gezeitenerscheinungen mit Hilfe der seismisch begründeten Erdmodelle ableitbaren globalen und regionalen Elastizitätsparameter wirken im Sinne von Kompatibilitätsbedingungen bei der Verfeinerung der Vorstellungen über Struktur und Aufbau der Erde.

Die seismische Station an der Universität Jena und die Neugründung
einer deutschen Zentralstation für Erdbebenforschung 1923

von

D. Germann¹⁾

Zusammenfassung

In Zusammenhang mit den Bemühungen um den Aufbau eines nationalen und internationalen Netzes von Beobachtungsstationen und einer deutschen Zentralstation wurde 1898 an der Universität Jena aus Mitteln der Carl-Zeiß-Stiftung eine Erdbebenstation gegründet. Sie zog 1904/05 in neu ausgestattete, wesentlich erweiterte Räume, erhielt damit den Charakter einer Hauptstation und gab Monatsberichte heraus. Leiter war R. STRAUBEL. Er ist besonders durch sein Vertikalseismometer bekannt geworden. 1919 übernahm O. HECKER (Straßburg) die Station als vorläufige deutsche Zentralstation. Die Zeißstiftung erbaute dieser ein neues Gebäude. 1923 erhob ein Gesetzesakt des Reiches sie zur "Reichszentralanstalt für Erdbebenforschung". Diese Entwicklung von 1898 - 1923 wird detailliert und vornehmlich anhand archivischer Quellen dargestellt.

Summary

In connection with efforts to organize a national and international system of seismologic observation stations and a central station for Germany a seismologic station was founded at the university of Jena in 1898, financed by the Carl-Zeiss-Foundation. In 1904/05 the station was moved to a newly equipped and bigger place thus achieving the character of a main station publishing monthly reports. R. STRAUBEL, renowned for his vertical seismometer, was head. In 1919, he was followed by O. HECKER (Straßburg), the station then having the character of a provisional German central station, for which the Carl-Zeiss-Foundation erected a new building. In 1923 the station was given by virtue of a law the status of "Reichszentralanstalt für Erdbebenforschung". The history of the seismologic station at Jena from 1898 till 1923 is demonstrated in detail mainly by source materials from archives.

¹⁾ Dr. phil. Dietrich Germann, Zentralinstitut für Mikrobiologie und experimentelle Therapie der AdW der DDR, 69 Jena (DDR), Beutenbergstr. 11

Gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts reiften in der Seismologie Entwicklungen heran, die den Aufbau eines nationalen deutschen und eines internationalen Systems von Erdbebenstationen zur Registrierung und Auswertung seismischer Vorgänge ermöglichen sollten. Diese Entwicklung, in deren Verlauf auch die Jenaer Station gegründet wurde, ist gekennzeichnet durch Namen wie denjenigen des früh verstorbenen Physikers Ernst von REBEUR-PASCHWITZ (1861-1895), Konstrukteur des nach ihm benannten seismischen Pendels, und den des Straßburger Ordinarius für Geographie, Georg GERLAND (1833-1919), der REBEUR-PASCHWITZ nach Kräften unterstützte und dessen Ideen aufgreifend, zum Initiator eines nationalen und internationalen Systems von Erdbebenstationen wurde [2], [9], [10]. Dazu einige Daten: 1889 erstmalige sichere Registrierung eines Fernbebens mit dem REBEUR-PASCHWITZ-Pendel. In der Folge Verbesserung des Pendels durch den GERLAND-Schüler Reinhold EHLERT (1871-1895) in Straßburg [1]. 1895 werden die von GERLAND, als Testamentvollstrecker der Ideen REBEURS, dem 6. Weltkongreß der Geographen in London unterbreiteten "Vorschläge zur Errichtung eines internationalen Systems von Erdbebenstationen" angenommen [5]. 1897 Antrag GERLANDS an das Reichsamt des Inneren in Berlin auf Errichtung einer deutschen Zentralstation in Straßburg wird für 1899 in den Reichsetat aufgenommen. Ebenfalls 1897: 12. Deutscher Geographentag in Jena, auf dem GERLAND und Alexander SUPAN in Vorträgen "Über den heutigen Stand der Erdbebenforschung" und "Über den Aufbau eines Erdbebendienstes" sich für die Verwirklichung der Londoner Empfehlungen in Deutschland einsetzten [Verhandlungen 1897]. Während es auf nationaler Ebene nunmehr zielstrebig voranging, zogen sich auf internationaler Ebene die zwischenstaatlichen Verhandlungen zur Schaffung einer Assoziation in die Länge. 1904 wurde sie als Internationale seismologische Assoziation (ISA) gegründet, legte ihr Zentralbüro nach Straßburg und unterstellte es GERLAND.

An dem 12. Deutschen Geographentag in Jena 1897 nahmen auch Adolf A. WINKELMANN (1848-1910), der als Ordinarius für Physik von Hohenheim nach Jena berufen worden war, und sein wie Ernst ABBES Schüler, der Extraordinarius Rudolf STRAUBEL (1864-1943), teil. Der Geographentag bot GERLAND die Möglichkeit, mit dem Jenaer Universitätskurator Heinrich von EGGELING, seinem Vetter, zusammenzutreffen. Er gewann ihn für das Vorhaben. Als dann der Kurator 1898 die beiden gedruckten Reden mit der Aufforderung zum Handeln von GERLAND erhalten hatte, wickelte er, der sich inzwischen auch bei GERLAND in Straßburg informiert hatte, die verwaltungsmäßige Vorbereitung zur Gründung einer Station so rasch wie möglich ab. Es fiel ihm die Unterstützung des Antrages um so leichter, als die Carl-Zeiß-Stiftung, aus deren Mitteln bereits WINKELMANN und STRAUBEL unterstützt wurden, bereit war, Aufbau und Ausstattung sowie die Vergütung der wissenschaftlichen Mitarbeiter zu übernehmen. Die Unterhaltungskosten von zunächst 630 Mark jährlich (später steigend auf 1500 Mark) wurden aus dem sogenannten "Universitätsfonds" bestritten, also aus Mitteln, die die Carl-Zeiß-Stiftung der Universität jährlich zur Verfügung überwies. Die Universität gab mithin kaum mehr als den Namen für die Station. Zum Leiter der Station wurde STRAUBEL vorgeschlagen, weil er sich bereits mit Untersuchungen zur Schwerkraft der Erde und seit 1891 auf Wunsch ABBES mit Pol- und Lotschwankungen beschäftigt hatte. Von GERLAND erfuhr er brieflich die notwendige Ausstattung und deren Kosten. Im Keller des damaligen Physikalischen Instituts in der Neugasse, auf gewachsenem Boden, wurden die entsprechenden Bauarbeiten vorgenommen und schon im Januar 1899 hätte mit den seismologischen Beobachtungen begonnen werden können, wenn die Straßburger Firma J. und A. BOSCH, die die REBEUR-EHLERT-Pendel herstellte, in der Lage gewesen wäre, ohne größere Wartezeiten die durch GERLANDS Propaganda in vielen Staaten gefragten Pendel zu liefern [3].

In dieser Zeit intensivierte STRAUBEL seine eigenen Studien zur Technik von Seismographen und begann mit der Konstruktion seines originellen Vertikalseismometers, das ihn und die Jenaer Station später bekannt machte. Er wandte - und darüber sprach er auf der 1. Internationalen seismologischen Konferenz 1901 - erstmals ABBES Theorie der Abbildung, der Strahlenbegrenzung und Strahlenvermittlung auf die photographische Registrierung an [7]. Die dabei entwickelte und nach ihm benannte STRAUBEL-Lampe fand Eingang in die Seismometrie, ebenso weitere in diesem Zusammenhang dann von ZEISS konstruierte Spiegel und optische Systeme. Als einer der ersten beschäftigte er sich mit der Dämpfung und wirkte so nachhaltig auf die Seismographentechnik ein. Eine vollständige Theorie der Seismographen entwickelte STRAUBEL in seinen zu dieser Zeit angezeigten zweiteiligen Geophysik-Vorlesungen. Es waren die ersten in Jena. Die beabsichtigte Publikation verzögerte sich, da STRAUBEL inzwischen wissenschaftlicher Berater der Leitung der Firma Carl ZEISS geworden war. Als 1903 E. WIECHERTS Veröffentlichung "Theorie der automatischen Seismographen" erschien, verzichtete er auf die eigene Arbeit. Kurz vor STRAUBEL war in Jena nur von einem Geographen, A. STEUER, eine Vorlesung über Vulkane und Erdbeben angezeigt worden. Vorher hatten andere Geographen, wie E. SCHMID, auch Geologen, diese Probleme berührt, aber nicht speziell behandelt. Von WINKELMANN selbst war eine Erdbeben-theorie aufgestellt worden, in der er das Erkalten der Silikate und die damit verbundene Änderung des Rauminhalts für Beben verantwortlich machte. Er hat darüber aber keine Vorlesungen abgehalten.

Die seismische Universitätsstation konnte im Mai 1900 ihre Beobachtungen aufnehmen. STRAUBEL verbesserte in der Folge das REBEUR-EHLERT-Pendel u. a. durch eine Luftdämpfung. 1900 war auch STRAUBELS Vertikalseismograph in seiner ersten Ausführung einsatzbereit. Seine ersten Versuche fielen zeitlich fast zusammen mit W. SCHLÜTERS ersten Klinograph-Registrierungen. STRAUBELS Gerät bestand aus einer trägen Masse, die an einem gebogenen Blattfederpaar aufgehängt war, enthielt ein Spiegelsystem, Luft- später Flüssigkeitsdämpfung, Astasierung und Temperaturkompensation. Die Registrierung erfolgte optisch. Aber wir kennen diese Angaben nur aus den offiziellen Berichten und der Literatur [8]. Das Gerät und detaillierte Konstruktionsunterlagen sind leider nicht erhalten, ebenso keine Seismogramme aus diesem ersten Abschnitt in der Entwicklung der Jenaer Station. 1902 mußte das Physikalische Institut verlegt werden. Damit wurden auch die seismischen Beobachtungen unterbrochen.

1901 veranlaßte GERLAND auf der 1. Internationalen seismologischen Konferenz, die auf seine Einladung hin zusammengetreten war, eine Aussprache der deutschen Seismologen zu seinem vom Berliner Reichsamt des Innern aufgegriffenen Plan, in Deutschland ein Netz von Hauptstationen und ihnen angeschlossenen Nebenstationen einzurichten. WIECHERT schlug im Hinblick auf die Möglichkeit der Zeiß-Stiftung Jena als eine der Hauptstationen vor, GERLAND und H. CREDNER unterstützten den Antrag unter geologischen Aspekten. 1902 trat in dieser Angelegenheit der Reichskanzler über das Reichsamt des Innern offiziell an die Regierung des damaligen Großherzogtums Sachsen-Weimar-Eisenach, zu dem Jena gehörte, heran. Die sowieso notwendige Verlegung der Station bot hier die Möglichkeit, den Wünschen GERLANDs, der Reichsregierung und seismologischen Erfordernissen Rechnung zu tragen, wobei erneut die Zeiß-Stiftung die Kosten - 15 000 Mark - auch für die Einrichtung dieser Station übernahm und Ernst ABBE dabei persönlich Pate stand.

Die zukünftige Hauptstation erhielt 1904 Beobachtungsmöglichkeiten in den für diesen Zweck erweiterten Räumen, die ABBE 10 m tief unter der 1889 aus eigenen Mitteln erbauten Sternwarte in roten Sandstein hatte hauen lassen. Sie waren für das Zenitteleskop und Arbeiten über Polschwankungen gedacht. Die Räume erwiesen sich jedoch bald als zu feucht für den 1904 erworbenen störanfälligeren 1200-kg-WIECHERT-Seismographen und das REBEUR-EHLERT-Pendel. Das WIECHERT-Pendel, an dem im Laufe der Zeit zahlreiche Änderungen vorgenommen werden mußten, da es z. B. auch für atmosphärische Störungen sehr anfällig war, kam in einen Kellerraum. STRAUBELs Gerät, luftdicht eingeschlossen, arbeitete dagegen weiter in den unterirdischen Räumen, die weniger der lokalen Bodenunruhe ausgesetzt waren. STRAUBEL hatte es auch weiter verbessert, so daß es, im Gegensatz zu dem rußschreibenden WIECHERT-Pendel, mit seiner nur 200fachen Vergrößerung den ersten Einsatz auch bei schwachen Fernbeben scharf aufzeichnete. Es lieferte infolge der gleichmäßigen Registrierung bessere Seismogramme. Die Indikatorvergrößerung im Sinne von WIECHERT betrug das 4000fache und konnte dann noch auf ungefähr das 5000fache gesteigert werden. Das Vertikalseismometer war eines der besten Geräte seiner Zeit, wenn nicht überhaupt das empfindlichste. Seine Verbreitung verhinderte ganz wesentlich die kostspielige photographische Registrierung.

Aufgabe einer Hauptstation war die Herausgabe von Monatsberichten. Das geschah in Jena ab April 1905. Sie boten, im Gegensatz zu denen anderer Stationen, ein endgültiges Beobachtungsergebnis und basierten auf den Geräten WIECHERTs und STRAUBELs. Nebenstation zu Jena sollte Meiningen werden. Der Ort, südlich des Thüringer Waldes, war in der Nähe der Rhön und dem Kalibergbaugebiet gut gewählt. Es sind auch über die Bemühungen der Errichtung einer Station viele Schriftstücke angefallen - allein das hochverschuldete kleine Herzogtum sah sich ökonomisch nicht zur Errichtung einer Nebenstation in der Lage. So blieb Jena im Thüringer Raum der einzige Beobachtungsort [6]

In Jena erhielt 1905, auf Grund von STRAUBELs wachsenden Verpflichtungen als nunmehriges Mitglied der Geschäftsleitung des ZEISS-Werkes (seit 1903), sein Schüler Otto EPPENSTEIN (1876 - 1943), seit 1901 Assistent an der Sternwarte, von der Firma Carl ZEISS den Auftrag, die, wie es hieß, "Dienste" in der Station unter der Oberleitung STRAUBELs zu übernehmen. Ihm oblag in zunehmendem Maße die Publikation der Monatsberichte, auch gab er dem STRAUBEL-Seismographen die endgültige Form. Er vergrößerte die Bodenbewegung jetzt 2030fach. Die Eigenperiode betrug 6,6 sec., Eigenschaften und Leistungen lagen damit über den zeitgenössischen rußschreibenden und materialaufwendigen Geräten WIECHERTs [8]. EPPENSTEIN hatte bereits 1901/02 begonnen, nach ABBE's Angaben einen Flüssigkeitshorizont (Öl mit Glasplatte) zu konstruieren, der dann mit einem Horizontalpendel verbunden werden sollte. Jedoch seine Tätigkeit in der Station währte nicht lange. Schon 1907 ging er ganz zu ZEISS zurück und nahm dort bald eine sehr geachtete Position ein. Er hatte später, wie sein Lehrer STRAUBEL, unter der nazistischen Verfolgung zu leiden. STRAUBEL wurde im gleichen Jahr 1907 zweiter Mann des sich ständig erweiternden feinmechanisch-optischen Großbetriebs, behielt aber seine Funktion als ehrenamtlicher Leiter der Hauptstation bei. Er benötigte jedoch einen ihm voll zur Verfügung stehenden Assistenten und fand diesen schließlich in dem in Eisenach als Sohn eines Webereifabrikanten gebürtigen Walter PECHAU (1883-1941), Student der Astronomie. Faktisch bis 1916, formal bis 1919, füllte PECHAU diese Position hauptamtlich aus.

Noch vor dem ersten Weltkrieg erhielt die Station weitere Geräte, z. B. solche von WIECHERT. Erworben wurde auch ein Dreikomponenten-Apparat der Firma SPINDEL & HOYER, Göttingen, zur Messung künstlicher Erschütterungen. Dieser Kauf steht wohl im Zusammenhang mit PECHAUs schon 1911 ausgesprochenem Hinweis einer notwendigen Verlegung der Station. Der wachsende Verkehr, die Erweiterung der Stadt und des ZEISS-Werkes störten vielfach tagsüber die Registrierung. Für die Firma Carl ZEISS wurde in der Erdbebenstation 1913 von PECHAU ein Apparat zur Untersuchung von Erderschütterungen bei der Errichtung von Gebäuden konstruiert.

Bei den Monatsberichten erfolgten ab 1911 in zunehmendem Maße Angaben über die Lage des Bebenherdes, die Herdentfernung und Herdzeit, ferner über die langen Wellen. Die mehrfach die Erde umlaufenden Wellen untersuchte PECHAU besonders anhand der Seismogramme von STRAUBELs Gerät in seiner Dissertation: "Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Absorption von Erdbebenwellen" [4]. In der Beurteilung wird ihm bescheinigt, daß seine gewissenhafte Befragung der Apparate und seine genaue Durchsicht der seismischen Diagramme den Jenaer Beobachtungen einen guten Ruf verschafft haben. Aber sein Arbeitseifer ließ aus nicht ganz durchsichtigen Gründen bald nach. Diagramme wurden nicht mehr ausgewertet, ab 1916 soll er die Station nicht mehr betreten haben, er machte sich gesetzeswidriger Handlungen schuldig und es wurde ihm schließlich gekündigt. Jedoch sind durch den eingearbeiteten Diener der Sternwarte, der die Erdbebenstation mit betreute, die Seismogramme auch dieser Jahre abgenommen worden. Deshalb sind von 1904 bis 1923 in Auswahl Aufzeichnungen des WIECHERTschen Horizontalpendels durchgängig erhalten, ebenso einige Jahrgänge von STRAUBELs Gerät.

Der dritte Abschnitt in der Entwicklung der Jenaer Station umfaßt die Jahre 1919 bis 1923 und ist wissenschaftlich und nach außen hin verbunden mit den Namen Oscar HECKER (1864-1938) und August SIEBERG (1875-1945). Im Hintergrund war es jedoch STRAUBEL, der in dieser sehr schwierigen Zeit half, wo immer es ihm möglich war. STRAUBEL und HECKER kannten sich persönlich vor allem von der gemeinsamen Arbeit im "Kuratorium der Kaiserlichen Hauptstation für Erdbebenforschung in Straßburg". Zusammen mit WIECHERT und unterstützt durch CREDNER und HELMERT bestimmten sie in zunehmendem Maß den Charakter der dortigen Arbeit. Als GERLAND 1910, 77jährig, sein Ordinariat für Geographie, das Direktorat der Hauptstation und die Leitung des Zentralbüros der ISA abgab, wurde der Potsdamer Geophysiker HECKER vom ISA-Präsidenten, dem Engländer SCHUSTER, und von GERLAND selbst als geeignetster deutscher Nachfolger in der Funktion des Direktors und Leiters des Zentralbüros angesehen.

Nach dem 1. Weltkrieg übernahm im Dezember 1918 Frankreich die Straßburger Station. HECKER mußte 1919 die Stadt verlassen und wandte sich ohne Zögern nach Jena und an STRAUBEL. Seine Entscheidung für Jena wurde vom Universitätskurator Max VOLLERT gegenüber der Regierung Weimar im wesentlichen begründet mit der zentralen Lage Jenas und der erwarteten Unterstützung durch die Carl-Zeiß-Stiftung. Außerdem fand HECKER hier eine praktisch verwaiste, sehr gut ausgestattete Station vor und auch das Fach Geophysik war an der Universität nicht mehr vertreten. STRAUBEL übergab HECKER 1919 die Station. Er und sein Straßburger Mitarbeiter SIEBERG, der ihm gefolgt war, nahmen trotz größter arbeitsrechtlicher und finanzieller Unsicherheit die Arbeit sofort auf. Sie knüpften mit ihren in rascher Folge ab 1920 erscheinenden Publikationen sachlich und in der Firmierung an die Straßburger Arbeiten an, denn HECKER wollte nicht nur eine der deutschen

Landesstationen leiten - darauf ließ er sich im Grunde genommen gar nicht erst ein - sondern die allerseits von den Landesstationen geforderte Zentrale neu begründen. Reichs-Ministerial- und Universitätsakten sprechen deshalb auch von einer Verlegung der Straßburger Zentrale nach Jena. Juristisch mußte aber eine Neugründung erfolgen, denn es war ein Gesetzesakt des Reiches notwendig. Straßburg war elsäß-lothringische Landesanstalt mit einem Etat von 9 900 Mark gewesen und 22 000 Mark Reichszuschuß. Jetzt mußte aber erst eine funktionstüchtige und zahlungswillige Regierung des noch in der Bildung begriffenen Landes Thüringen vorhanden sein, um die Basis für eine vergleichbare Rechtslage zu schaffen. Um die Sache voranzubringen war die Zeiß-Stiftung noch 1919 bereit, 10 000 Mark für drei Jahre und dann im Laufe der Verhandlungen im Herbst 1920 sogar für 20 Jahre zur Verfügung zu stellen. Dieser Beitrag wurde auf Antrag der Weimarer Regierung von der Berliner Legislative als thüringischer Landesbeitrag anerkannt. Die Verfügbarkeit des Reichsbeitrages war aber an einen Gesetzesakt gebunden und außerdem wünschte man auch in Berlin den Neubau eines Institutes, zumal die sowieso bescheidenen Arbeitsräume in der Sternwarte und im SCHILLER-Gartenhaus für die neuen Aufgaben niemals ausgereicht hätten. Es wäre reizvoll, die Verhandlungen darüber im einzelnen darzustellen, belegen sie doch das schwere Erbe, daß das Kaiserreich der Republik hinterlassen hatte aber auch die Schwerfälligkeit eines Verwaltungsapparates. Die Zeiß-Stiftung wollte den Bau in eigener Regie ausführen und 100 000 Mark zuschießen - bei dem Preisniveau von 1920 - wenn das Reich 500 000 gäbe. Mit Verzögerung und nur mit größter Mühe brachte der Reichsinnenminister den Betrag im Reichsrat durch, aber erst für das Etatjahr 1922/23. Verwaltungsmäßige Hindernisse machten den Betrag erst Mitte 1923 verfügbar. Aber die Inflation hatte die Summe längst überrollt - überrollt war auch der Gegenwert von 8 000 französischen Franc, die HECKER von ISA-Präsident SCHUSTER zweckbestimmt für den Neubau erhalten hatte. Es waren dies die deutschen Jahresbeiträge für 1917/18 für die rückwirkend ab 1916 aufgelöste Organisation. ZEISS begann schließlich auf einem von der Stiftung erworbenen Grundstück selbständig zu bauen. Die Schlußabrechnung 1923 zeigte, daß das Reich lediglich 1,5 % zum Bau beigetragen hatte. Die Stiftung wünschte dann wenigstens 50 % zu erhalten, verzichtete aber 1924 schließlich auch noch darauf. Man geht nicht fehl, daß ohne STRAUBEL, mit dem HECKER immer konferierte, diese Großzügigkeit in wirtschaftlich schwerster Zeit für einen Zweck, der der Firma Carl ZEISS materiell nichts einbrachte, kaum denkbar gewesen wäre [12].

1923 erfolgte der Gesetzesakt, der HECKER und besonders SIEBERG, der ohne festes Einkommen in schwierigster finanzieller Lage war, wieder Boden unter den Füßen gab. Es war nunmehr möglich, in einem neuen Gebäude neu zu beginnen.

Q u e l l e n

1. Allgemeine Literaturhinweise

- 1.1. Jahresberichte 1900-1913 des Direktors der Kaiserlichen Hauptstation für Erdbebenforschung in Straßburg. Beiträge für Geophysik (zit. Beiträge), Leipzig 5 (1903) - 14 (1915/18)
- 1.2. Jahresberichte der Jenaer Station. Beiträge 7 (1905) - 14 (1915/18)
- 1.3. GÜTH, D.; GERMANN, D.; STELZNER, J.: Zur Geschichte der Forschungseinrichtungen für Seismologie in Jena von 1899 - 1969. Manuskriptdruck, Potsdam 1974, 26 S.

2. Literatur

- [1] EHLERT, R.: Vorschlag zu einem neuen Pendelapparat.
Beiträge für Geophysik (zit. Beiträge) Leipzig, 3 (1898), S. 209 - 215
Vgl. auch die weiteren Arbeiten von EHLERT ebda. S. 350 - 475 und 481 - 494
- [2] GERLAND, G.: Jahresberichte 1900 - 1913 des Direktors der Kaiserlichen Hauptstation für Erdbebenforschung in Straßburg.
Beiträge 5 (1903) - 14 (1915/18) - Sie enthalten auch die Jahresberichte der Jenaer Station 1904 - 1913
- [3] GÜTH, D.; GERMANN, D.; STELZNER, J.: Zur Geschichte der Forschungseinrichtungen für Seismologie in Jena von 1899 - 1969.
Manuskriptdruck, Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde, Potsdam (1974)
- [4] PECHAU, W.: Absorption und Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Hauptbebenwellen.
Beiträge 13 (1914), S. 205 - 216; 261 - 282
- [5] v. REBEUR-PASCHWITZ, E.: Vorschläge zur Errichtung eines internationalen Systems von Erdbebenstationen.
Beiträge 2 (1895), S. 773 - 782; siehe auch Report of the Sixth International Geogr. Congress, held to London 1895, London 1896, S. 767 - 783
- [6] SCHMIDT, P.: Versuche zur Errichtung einer Erdbebenstation in Meiningen zwischen 1902 und 1906.
Südthür. Forsch. Meiningen 13 (1979), S. 57 - 64
- [7] STRAUBEL, R.: Beleuchtungseinrichtungen und Beleuchtungsprinzipien bei photographischer Registrierung.
Beiträge. Erg. Bd. 1. Leipzig 1902, S. 290 - 304
- [8] STRAUBEL, R.; EPPENSTEIN, O.: Das Vertikalseismometer der seismischen Station Jena,
Beiträge 2 (1908), S. 593 - 604
- [9] SUPPER, K.; GERLAND, G.: Lebensbilder aus Hessen und Waldeck 2 (1940), S. 150 - 162
- [10] TAMS, E.: Materialien zur Geschichte der deutschen Erdbebenforschung bis zur Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert. Teil II und III.
Akademie-Verlag Berlin 1950. Mitteilungen des deutschen Erdbebendienstes. Sonderheft 2
- [11] ... Verhandlungen des 12. Deutschen Geographentages vom 21. - 23. April 1897 in Jena. Berlin 1897

3. Archivalien

Zentrales Staatsarchiv der DDR Potsdam. Bestand Reichsinnenministerium Nr. 16074 - 16080

Staatsarchiv Meiningen. R. 1155 und R. 1159. Bestand Staatsministerium, Abt. Inneres (neu) Nr. 2545

Staatsarchiv Weimar. Personalakten

Universitätsarchiv Jena. Bestand C, besonders 649, 654, 659, 660 und 2006 - Bestand M 541, 647

Universitätsbibliothek Jena. Handschriftenabteilung. Nachlaß Gerland.

VEB Carl Zeiss Kombinat, Betriebsarchiv (L-Archiv), besonders Akten des Stiftungskommisars, ferner ZA 226, ZA 19245

Registrierung und Auswertung von Erdbebenwechselwellen zur Erforschung des Tiefbaus der Erdkruste

von

V. HECKELER¹⁾

Summary

Already in the twenties the fundamental possibility of the structural investigation of the earth's crust by means of seismological three-component stations was recognized and developed as a method of the PS-converted waves of earthquakes in the fifties. The advantages in comparison with prospecting seismic restricting itself in the course of its development from seismology to the recording and interpretation of the vertical component consist in the availability of the whole spatial wave-field for analysis and separation of the complicated wave-fields according to the nature and direction of the waves.

Im Jahre 1928 erschien in Gerlands Beiträgen zur Geophysik von den Seismologen VISSER und BERLAGE (1928) ein Artikel "Zur Frage der Ungleichzeitigkeit der P-Einsätze bei den horizontalen und vertikalen Seismographen".

Die Autoren wiesen darin erstmals auf die Existenz von PS-Wechselwellen im Bereich des ersten Einsatzes hin. Es war eine schon bekannte Erscheinung, daß bei scharfen P-Einsätzen ein Horizontalseismograph gegenüber einem Vertikalinstrument manchmal verspätet ist. Das wurde immer insofern berücksichtigt, daß man für die Bestimmung der Einsatzzeit der P-Welle jeweils die Vertikalkomponente verwendet. Instrumentelle Fehler konnten ausgeschlossen werden und auch die Analyse der Verspätungszeit als Funktion der Entfernung ließ keine Gesetzmäßigkeit erkennen.

Von VISSER und BERLAGE wurde die Ansicht vertreten, daß als Ursache für die zeitliche Verspätung eine Unstetigkeitsfläche unter der Erdbebenwarte in Frage kommt.

Wenn die erste P-Welle von unten auf eine Schichtgrenze auftrifft, geht bei der Brechung an der Grenzfläche für das in Abb. 1 dargestellte, einfache Zweischichtenmodell ein Teil der Energie als Longitudinalwelle, ein Teil als transversale Welle durch. Diese transversale Welle oder auch PS-Wechselwelle ist in der vertikalen Ebene polarisiert, schwingt quer zu ihrer Ausbreitungsrichtung und wird deshalb zum überwiegenden Teil von Horizontal-

¹⁾ Zentrales Geologisches Institut, DDR-104 Berlin, Invalidenstraße 44

seismographen und auf Grund ihrer größeren Laufzeit hinter dem ersten P-Einsatz registriert. Die Auswertung von 30 Erdbebenregistrierungen des Observatoriums in Batavia mit scharfen Einsätzen der P-Welle ergab für die Verspätungszeit einen Mittelwert von 1,4 s und damit nach Oberschlagsrechnung

$$\Delta t = 0,14 \cdot d$$

eine Tiefe der Unstetigkeitsfläche von 10 km.

1930 veröffentlichte der Japaner HASEGAWA in der Zeitschrift für Geophysik eine Untersuchung über die Wirkung der obersten Erdschicht (gemeint ist die Erdkruste) auf die Anfangsbewegung eines Erdbebens (Abb. 2). Die für einen einfach 2-Schichtfall aufgestellte Abhängigkeit der Verspätungszeit der PS-Welle von der Tiefe und der Geschwindigkeit wurde noch bis in die 70er Jahre für solche Berechnung zu Grunde gelegt. (Jetzt liegen diese Berechnungsformeln auch für geneigte und für Mehrschichtfälle von POMERANCEVA/MOZZENKO (1977) vor).

Auf der Grundlage von VISSER/BERLAGE und HASEGAWA wurde also schon seit Ende der 20er Jahre die generelle Möglichkeit aufgezeigt, mit Hilfe von seismologischen Mehrkomponentenregistrierungen - insbesondere mittels Horizontalseismographen - den Bau der Erdkruste zu untersuchen. Daß solche Untersuchungen zur Klärung des tektonischen Baus darüber hinaus auch oder gerade für geologische bzw. lagerstättenkundliche Aufgabenstellungen im oberen Bereich von grundlegender Bedeutung sind, soll an dieser Stelle nur angedeutet werden.

Jedoch können wir rückschauend analysieren, daß mit der Entwicklung der seismischen Erkundung aus der Seismologie Anfang dieses Jahrhunderts auch eine Reduzierung der Möglichkeiten in der Seismik vollzogen wurde, die - ökonomisch gesehen - für die durch Refraktions- und Reflexionsseismik zu lösenden Aufgaben sinnvoll waren. Für die Untersuchungen in relativ einfach gebauten Medien, für die vorausgesetzt werden kann, daß die Wellen im wesentlichen zwischen Schuß- und Meßpunkt nur innerhalb der vertikalen Ebene laufen, war es bisher ausreichend, mit einer Einkomponenten- bzw. Vertikalregistrierung zu arbeiten und sich damit bei der Analyse des Wellenfeldes in der Hauptsache auf solche Parameter wie Laufzeit und Frequenz und daraus abgeleitete zu beschränken.

So schreibt GAL'PERIN (1977), daß die Effektivität der seismischen Untersuchung in jeder Etappe ihrer Entwicklung im Grunde durch die Möglichkeiten der Analyse komplizierter Wellenfelder, die für reale Medien charakteristisch sind, bestimmt wird. Mit der Verkomplizierung der Aufgaben wurden auch die Beobachtungs- und Bearbeitungssysteme immer weiter verbessert.

Jedoch sind unter den Bedingungen komplizierter Medien die direkte und inverse Aufgabe der seismischen Erkundung ihrem Wesen nach räumlich. Das trifft für die Erdöl erkundung und in bedeutend größerem Maße für die Seismik

in der Erzerkundung zu, bei der in der Regel steil stehende und komplizierte Formen von Grenzflächen zu untersuchen sind. Wenn bei der Untersuchung vergleichsweise einfacher Medien die Vernachlässigung der 3-Dimensionalität der Wellenfelder und bei bekannten Bedingungen die 2-dimensionale Interpretation zugelassen werden konnte, so führt das bei der Untersuchung kompliziert gebauter Medien nicht nur zu wesentlichen Fehlern bei der Konstruktion, sondern in vielen Fällen liefert die Untersuchung kein Resultat.

Aus diesen Überlegungen heraus und aus den Erfahrungen der seismologischen Erkundung des Tiefbaus der Erdkruste schlägt GAL'PERIN (1977) auf der Grundlage von Mehrkomponentenregistrierungen für seismische Untersuchungen vor, die Polarisierung der Wellen als einen zusätzlichen unabhängigen Parameter und die Richtung der Wellen im Raum bei der Analyse komplizierter Wellenfelder zu benutzen.

In den Abb. 3 - 7 sehen wir an Hand einer Lagerstätte in Kasachstan (GAL'PERIN, 1977) die Möglichkeiten für eine räumliche Analyse und Korrelation von Phasenachsen. In Abb. 3 wird ein Seismogramm gezeigt, auf dem nur Registrierungen der Z-Komponente entlang eines Profils enthalten sind. Jedoch nur an Hand der Vertikalregistrierungen konnte keine Phasenkorrelation durchgeführt werden. Die Horizontalkomponenten (Abb. 4 u. 5) zeigen ähnlichen Charakter, es ist kaum eine Phasenkorrelation über mehrere Spuren möglich.

Für den gleichen Zeitbereich (bis 0,5 s) sind nun aus dem räumlichen Wellenbild abgeleitete seismische Komponenten berechnet worden, die jeweils der Registrierung einer bestimmten räumlichen Richtung entsprechen (Abb. 6). Hier lassen sich deutlich Phasenachsen korrelieren und sich auf Grund ihrer unterschiedlichen räumlichen Herkunft trennen. Sogar Phasenachsen im gleichen Zeitbereich, die sich kreuzen, aber aus einer jeweils anderen Richtung kommen, sind zu erkennen. In Abb. 7 sehen wir alle ausgesonderten Phasenachsen für 2 Schußpunkte dargestellt und den dazugehörenden vertikalen Profilschnitt der Erzlagerstätte Sajak in Kasachstan. Nach herkömmlichen rx-seismischen Messungen wurden nur die mit dünnen Linien dargestellten Grenzflächen erhalten, während das mit Hilfe einer 3-Komponenten-Messung erzielte Ergebnis nicht nur in der vertikalen Schnittebene den Strukturbau wesentlich detaillierter wiedergibt, sondern auch Grenzflächen außerhalb der Profilebene (gestrichelte Linien).

Die Einführung der Wellenaussonderung nach dem 3. Parameter des Wellenfeldes - der Wellenpolarisation - und der auf ihr beruhenden Polarisationsanalyse der Wellen kann - so schreibt GAL'PERIN - zu einer neuen Etappe der Entwicklung der seismischen Erkundung führen, für die die breite Möglichkeit der Anwendung komplizierter räumlicher Wellenfelder charakteristisch sein wird. Neben der Vervollkommnung der Methoden zur Analyse des Wellenfeldes und insbesondere der Entwicklung der räumlichen Analyse kann die Effektivität der seismischen Erkundung kompliziert gebauter Medien durch die gleichzeitige Verwendung

nicht nur der Longitudinal-, sondern auch anderer Wellentypen (transversale und Wechselwellen) erhöht werden. Dabei sollte man sich von dem eventuell größeren Aufwand nicht von vornherein abschrecken lassen, sondern bei einer ökonomischen Analyse die Erhöhung der Aussagefähigkeit über den räumlichen Bau mit in Betracht ziehen.

Doch um zu diesen Stand in der Methodik der seismologischen Erkundung zu kommen, war es ausgehend von den beschriebenen Ergebnissen von VISSER/BERLAGE und HASEGAWA ein weiter Weg.

Anfang der 50er Jahre waren es vor allem sowjetische Geophysiker wie BUTOVSKAJA (1952), ANDREEV (1957), später BULIN (1960) und POMMERANCEVA (1968), die auf der Grundlage der Registrierungen von Nahbeben im Süden der Sowjetunion die Methode der Erdbeben-Wechselwellen zur Erkundung des Tiefenbaus der Erdkruste einsetzten.

1952 identifizierte BUTOVSKAJA als erste PS-Wechselwellen für ein lokales Erdbeben im Süden der UdSSR (Kaukasus) und bestimmte die Tiefe der Basaltschicht.

ANDREEV leitet dann einige Jahre später (1957) aus seinen Erdbebenregistrierungen in Turkmenien Kriterien für die Aussonderung von PS-Wechselwellen ab und weist für Nahbeben auf die Änderung des Frequenzspektrums für die P-Wellen bei zunehmender Entfernung zu tiefen Frequenzen hin. Zur Untersuchung tiefer Grenzflächen sind Fernbeben mit vorherrschenden Frequenzen für P-Wellen im kurzperiodischen Bereich am geeignetsten. Untersuchungen von BULIN (1960) zeigen die Möglichkeit zur Identifizierung von Wechselwellen bei Registrierungen seismologischer Stationen, insbesondere im Periodenbereich kleiner als 2 sec. Darüber hinaus beschäftigt er sich mit theoretischen und praktischen Amplitudenuntersuchungen für die P- und PS-Wellen.

Jedoch sind auch in der Literatur skeptische Stimmen zu finden, für die stellvertretend hier SCHWIND, BERG und COOK (1960) genannt seien. Die wesentlichen Probleme werden von ihnen bei der Wellenidentifikation gesehen. Es werden zusätzliche Untersuchungen der Amplitudenverhältnisse von PS- zu P-Wellen und Polarisationsuntersuchungen zur Richtungsanalyse vorgeschlagen.

Zunächst sind aber apparative Fortschritte zu verzeichnen. Mit der Entwicklung der transportablen, im Feldmeßbetrieb einsetzbaren Apparatur "Semlja", die Anfang der 60er Jahre von MOZZENKO entwickelt wurde, ist man nicht mehr an die ortsfesten seismologischen Registrierstationen gebunden und kann zur profilhaften Vermessung übergehen. Mit dem Übergang zu anderen Meßgebieten wurden zunehmend Fernbeben in die Auswertung einbezogen.

In der DDR ist dieses Verfahren der seismologischen Erkundung als Semlja-

Methode (POMMERANCEVA, MOZZENKO u.a., 1972) bekannt geworden. In Gemeinschaftsarbeit mit zahlreichen Spezialisten des VNII Geofizika Moskau erfolgten erste Versuchsmessungen im Jahre 1968, an die sich in den Jahren 1969/70 eine profilmäßige Vermessung des gesamten Nordteils anschloß (POLSKOV u.a. 1976). Während einer insgesamt 1 1/2 Jahre dauernden Arbeitsperiode wurden ca. 1 000 weite Erdbeben registriert, wobei an jedem Stationspunkt im Durchschnitt über 20 nutzbare Erdbeben empfangen wurden. Sie ermöglichten in einer Erstinterpretation die Konstruktion von mehreren Tiefenlinienkarten und Profilschnitten bis zu einer Tiefe von ca. 40 km.

Die Ergebnisse der ersten Bearbeitungsphase (Abb. 9) veranschaulichten die Möglichkeiten zur Erkundung des Tiefbaus der Erdkruste. Jedoch blieben auf Grund des großen Umfanges an Nutzinformation, der kurzen Interpretationszeit und der visuell-manuellen Bearbeitung noch viele Fragen und Probleme auch in methodischer Hinsicht offen.

In der folgenden Zeit wurden in verschiedenen Etappen der Nachinterpretation und in Zusammenarbeit innerhalb der DDR und mit dem VNII Geofizika in Moskau sowohl auf der methodischen Seite als auch für praktische Belange Fortschritte erzielt. Wesentliche Verbesserungen wurden für die P- und insbesondere S-Wellengeschwindigkeit für den Bereich der Erdkruste durch exaktere Aussonderungsverfahren erhalten. Durch die Digitalisierung des primären Analog-Meßmaterials wurden die Voraussetzungen für die rechentechnische Bearbeitung geschaffen. Auf dem Gebiet der Wellenanalyse konnten einerseits durch den Einsatz statistischer Analyseverfahren die verschiedenen Grenzflächen in der Erdkruste statistisch sicherer verfolgt werden, andererseits werden durch die dynamische Analyse - hierzu gehört vor allem die Polarisationsuntersuchung - gegenwärtig Detailuntersuchungen zu speziellen Aufgabenstellungen vorbereitet und durchgeführt.

Abschließend sei noch einmal auf das Hauptanliegen dieses Beitrages hingewiesen. Nachdem bereits in den 20er Jahren die prinzipielle Möglichkeit zur Erkundung des Tiefenbaus der Erdkruste mittels Erdbebenwechselwellen an Hand von Mehrkomponentenregistrierungen seismologischer Stationen erkannt wurde, fand die Methode der Erdbebenwechselwellen in den 50er Jahren im Erdbebengebiet im Süden der Sowjetunion erste größere Anwendung. Durch die Entwicklung transportabler 3-Komponentenstationen wurden bei der profilmäßigen Vermessung anderer Meßgebiete auch Fernbeben in die Auswertung einbezogen. Während man jedoch bei der Wechselwellenmethodik auf Grund der 3-Komponentenmeßtechnik das gesamte räumliche Wellenfeld zur Analyse zur Verfügung hat und so auch komplizierte räumliche Wellenbilder nach der Richtung der Wellen aussondern kann, beschränkte man sich mit der Entwicklung der Erkundungsseismik aus der Seismologie auf die Registrierung der vertikalen Komponente. Daher sollte mit diesem Beitrag versucht werden zu zeigen, welche Vorzüge eine Mehrkomponentenregistrierung für die Erkundungsseismik bei komplizierten Wellenfeldern haben könnte.

Literatur

- VISSER, S.W.; BERLAGE, H.P.: Zur Frage der Ungleichzeitigkeit der P-Einsätze bei den horizontalen und vertikalen Seismographen.
Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. XIX, 1928, S. 147-152
- HASEGAVA, M.: Die Wirkung der obersten Erdschicht auf die Anfangsbewegung eines Erdbebens.
Z. f. Geophysik VI, 1930, Nr. 2, S. 78-98
- POMMERANCEVA, I.V.; MOZZENKO, A.N.: Seismische Untersuchungen mit der "Semlja-
Apparatur."
Moskau Verlag Nedra, 1977
- GAL'PERIN, G.A.: Polarisationsmethode für seismische Untersuchungen.
Moskau, izd. Nauka (1977)
- BUTOVSKAJA, E.M.: Ober die PS-Welle bei nahen Erdbeben.
Trudy Geofiz. in-ta AN SSSR, Nr. 16 (143), S. 63-73
- ANDREEV, S.S.: Untersuchung des Tiefbaus der Erdkruste mittels PS-Wechselwellen, die bei Erdbeben registriert werden.
Izv. AN SSSR, Ser. geofiz. 1957, Nr. 1, S. 21-29
- BULIN, N.K.: Bestimmung der Tiefe des gefalteten Fundamentes mittels durchgehender PS-Wechselwellen, die bei Erdbeben registriert werden.
Izv. AN SSSR, Ser. geofiz. 1960, Nr. 6, S. 781-786
- SCHWIND, J.J.; BERG, J.W.Jr.; COOK, K.L.: PS-converted waves from large explosions.
J. Geoph. Research, 65, S. 3817-3824, 1960
- POMMERANCEVA, I.V.: Methodik der Interpretation von durchgehenden Wechselwellen, die mit der Semlja-Apparatur registriert werden.
Prikl. Geofiz. 1968, vyp. 53
- POMMERANCEVA, I.V.; MOZZENKO, A.N.: Methodik und einige Untersuchungsergebnisse des Baus der Erdkruste und des oberen Mantels mit Hilfe der Apparatur Semlja.
WTI, Sonderheft, Berlin 5 (1972), S. 3-23
- POLŠKOV, M.K.; POMMERANCEVA, I.V.; MOZZENKO, A.N. u.a.: Die deutsch-sowjetische Zusammenarbeit bei der Erforschung des Tiefbaus der Erdkruste im Nordteil der DDR.
Z. geol. Wiss., Berlin 4 (1976) 1, S. 113-123

Prinzipskizze
nach HASEGAWA

Geschwindigkeitsmodell
nach VISSER / BERLAGE

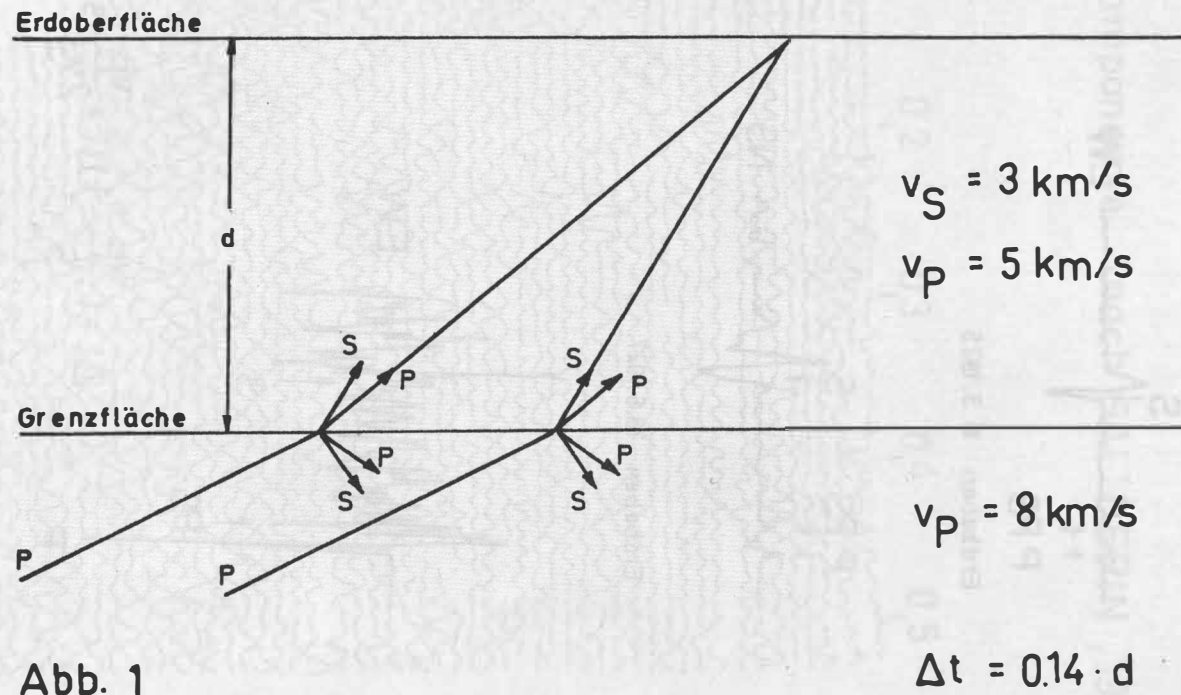
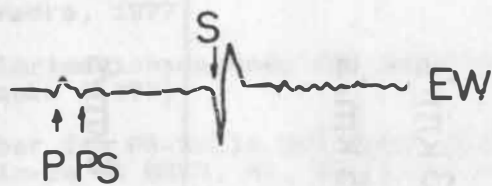
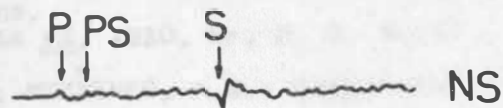
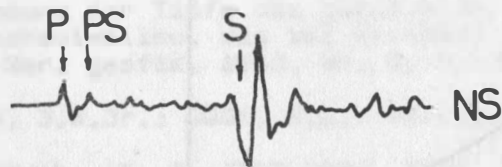


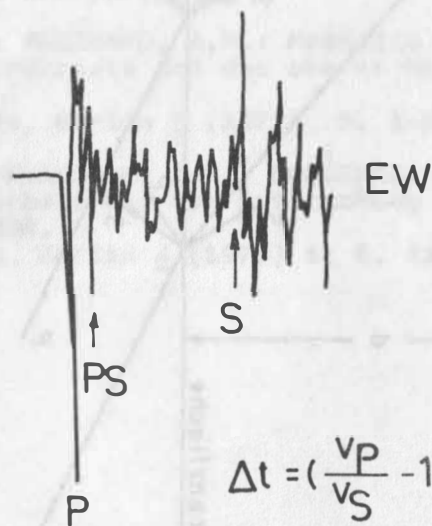
Abb. 1



Erdbeben 16.3.1925



Erdbeben 18.6.1927



$$\Delta t = \left(\frac{v_P}{v_S} - 1 \right) \left(1 + \frac{v_P}{2v_S} \sin^2 \frac{i}{2} \right) \frac{d}{v_P}$$

Erdbeben 19.4.1925

Abb. 2

Seismologische Aufzeichnungen in Kamigamo
bei Kyoto (umgezeichnet nach HASEGAWA)

Abb. 3

Z - Komponente (nach GAL'PERIN, 1977)

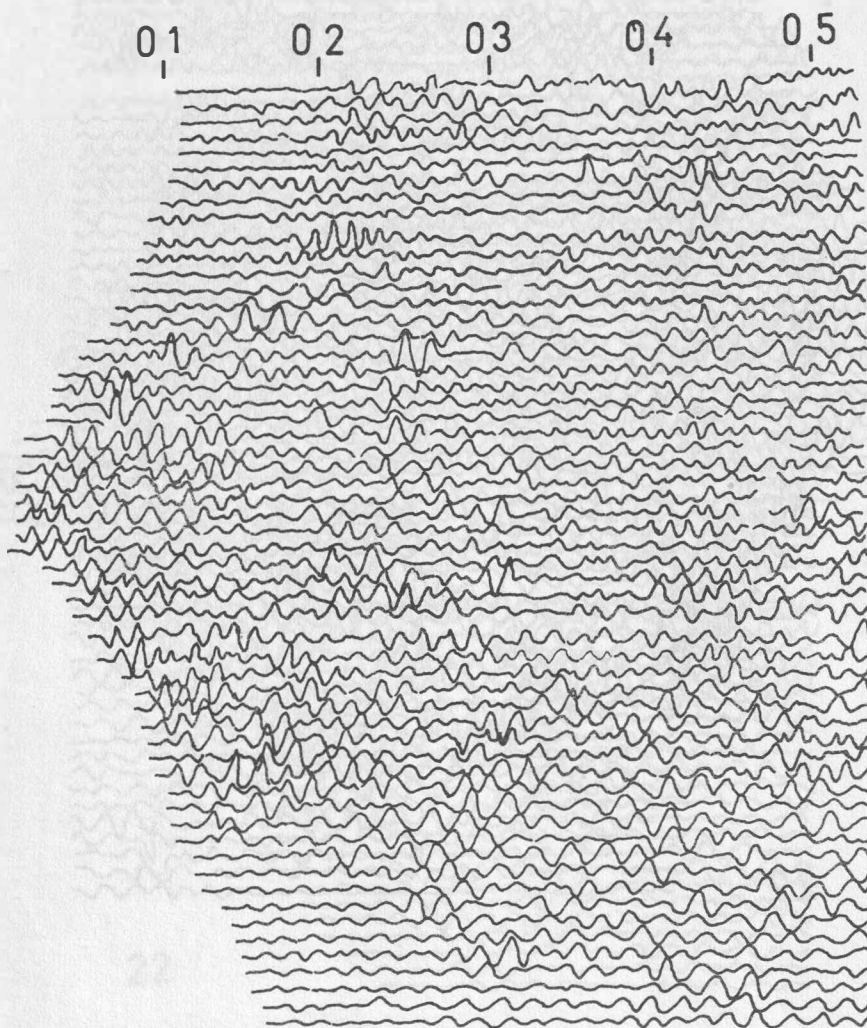


Abb. 4

X - Komponente (nach GAL'PERIN, 1977)

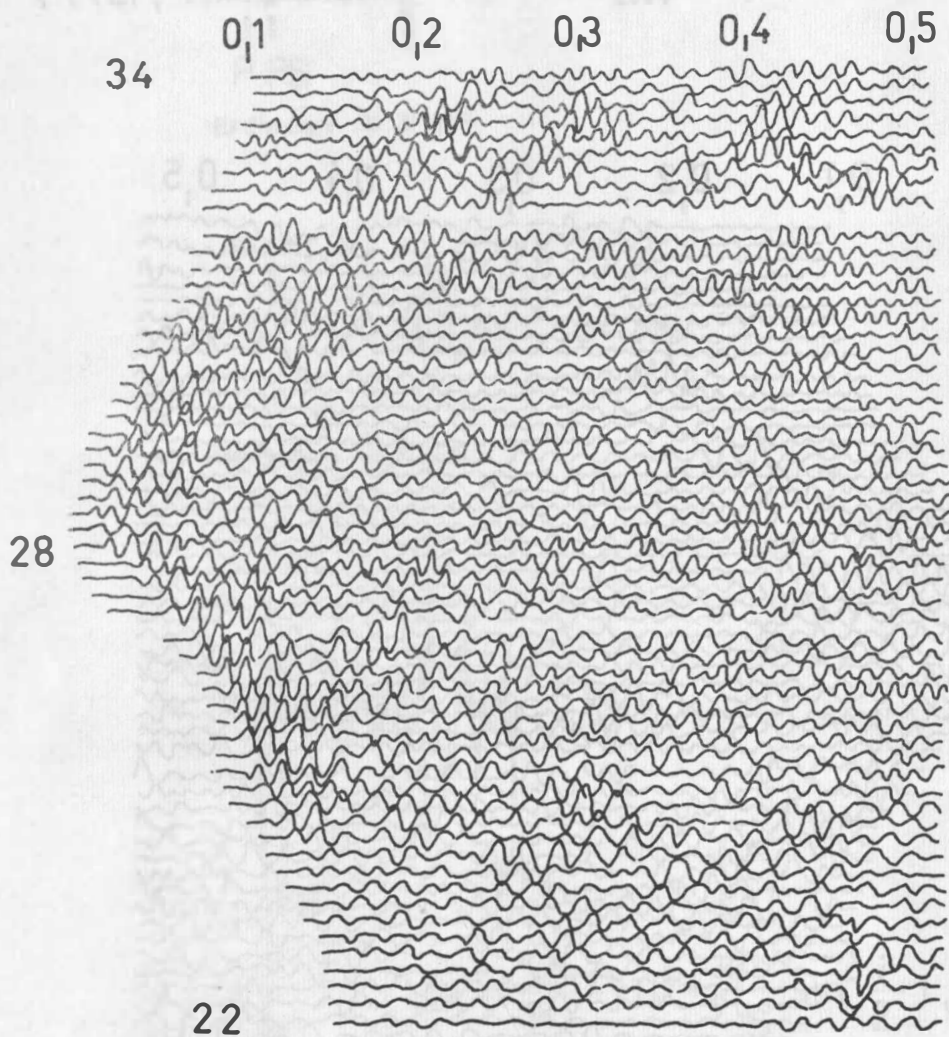


Abb. 5

Y - Komponente (nach GAL'PERIN, 1977)

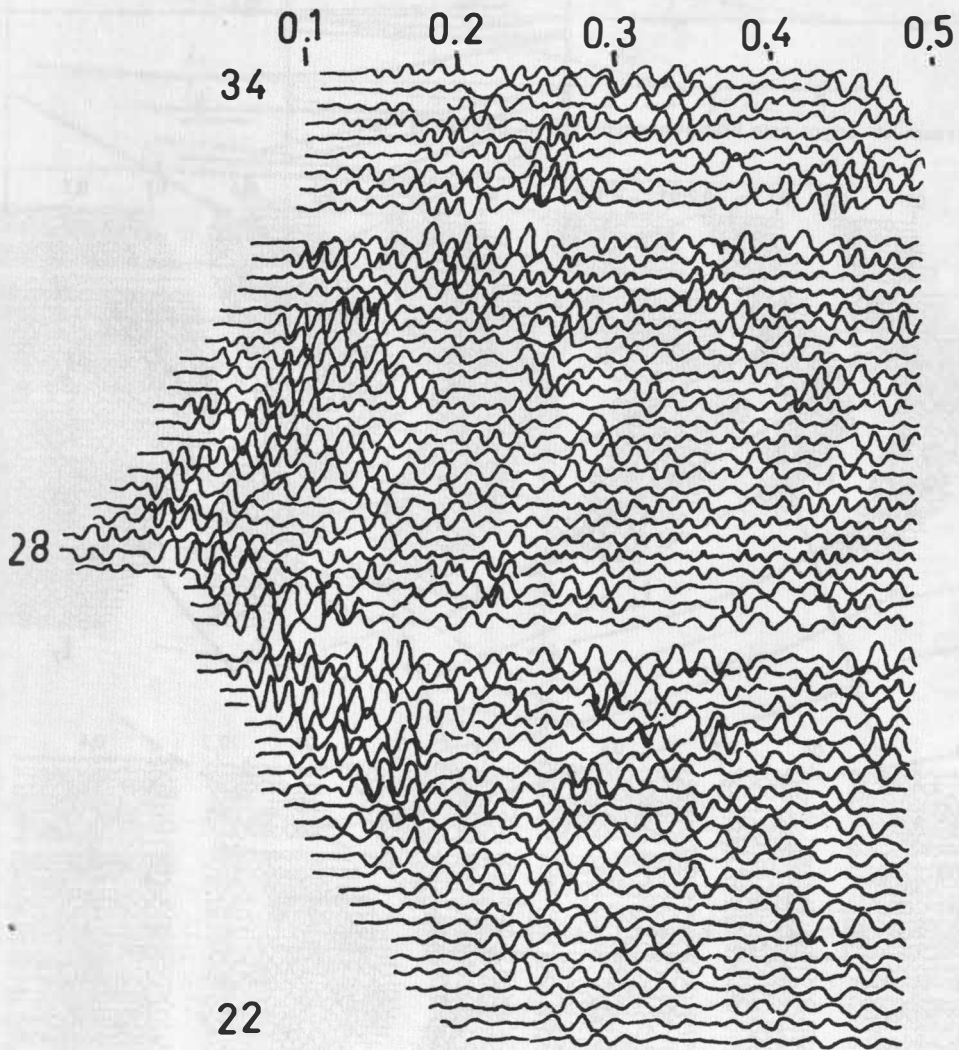
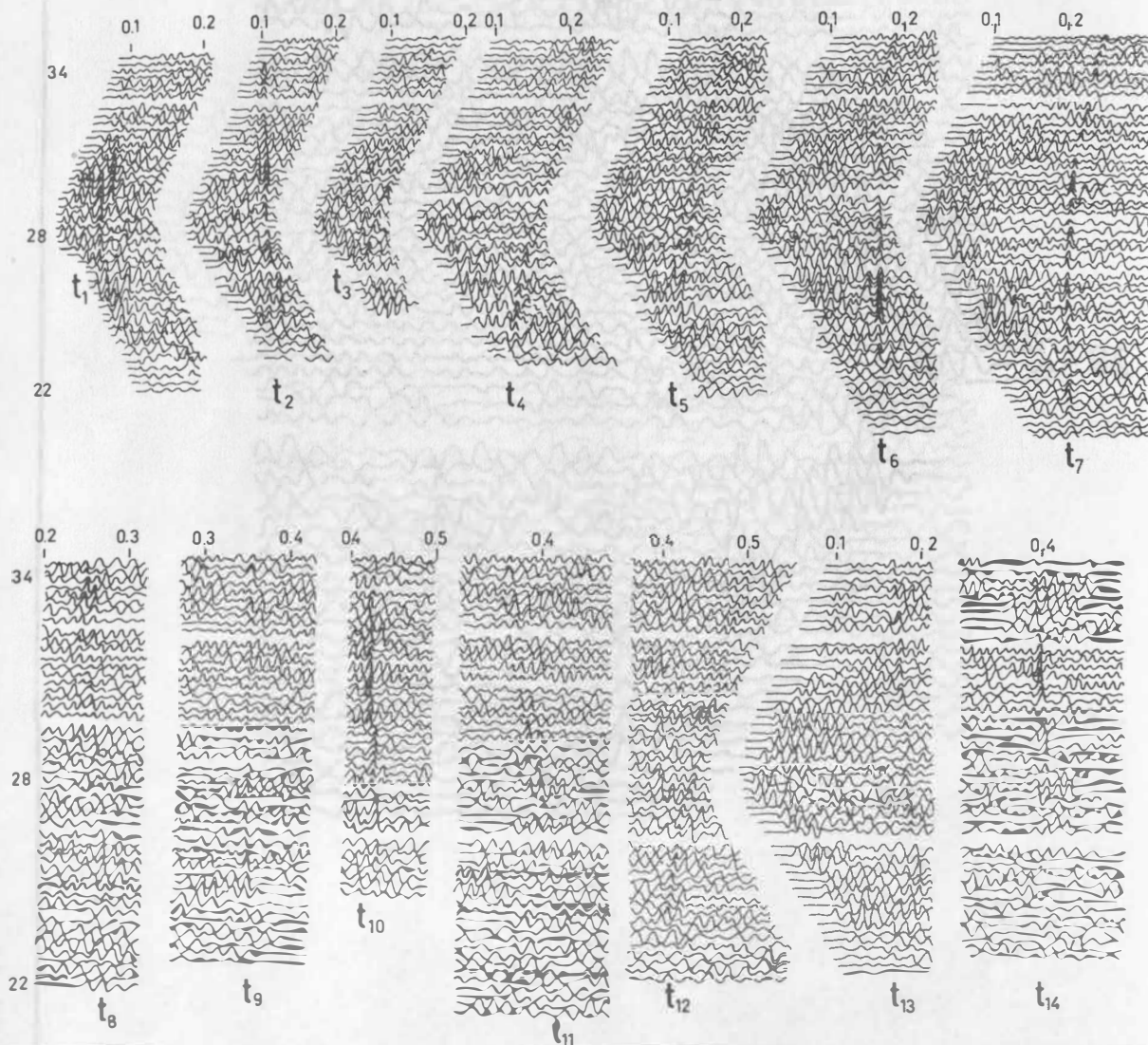


Abb. 6 Abgeleitete, räumlich orientierte Komponenten (nach GALPERIN 1977)



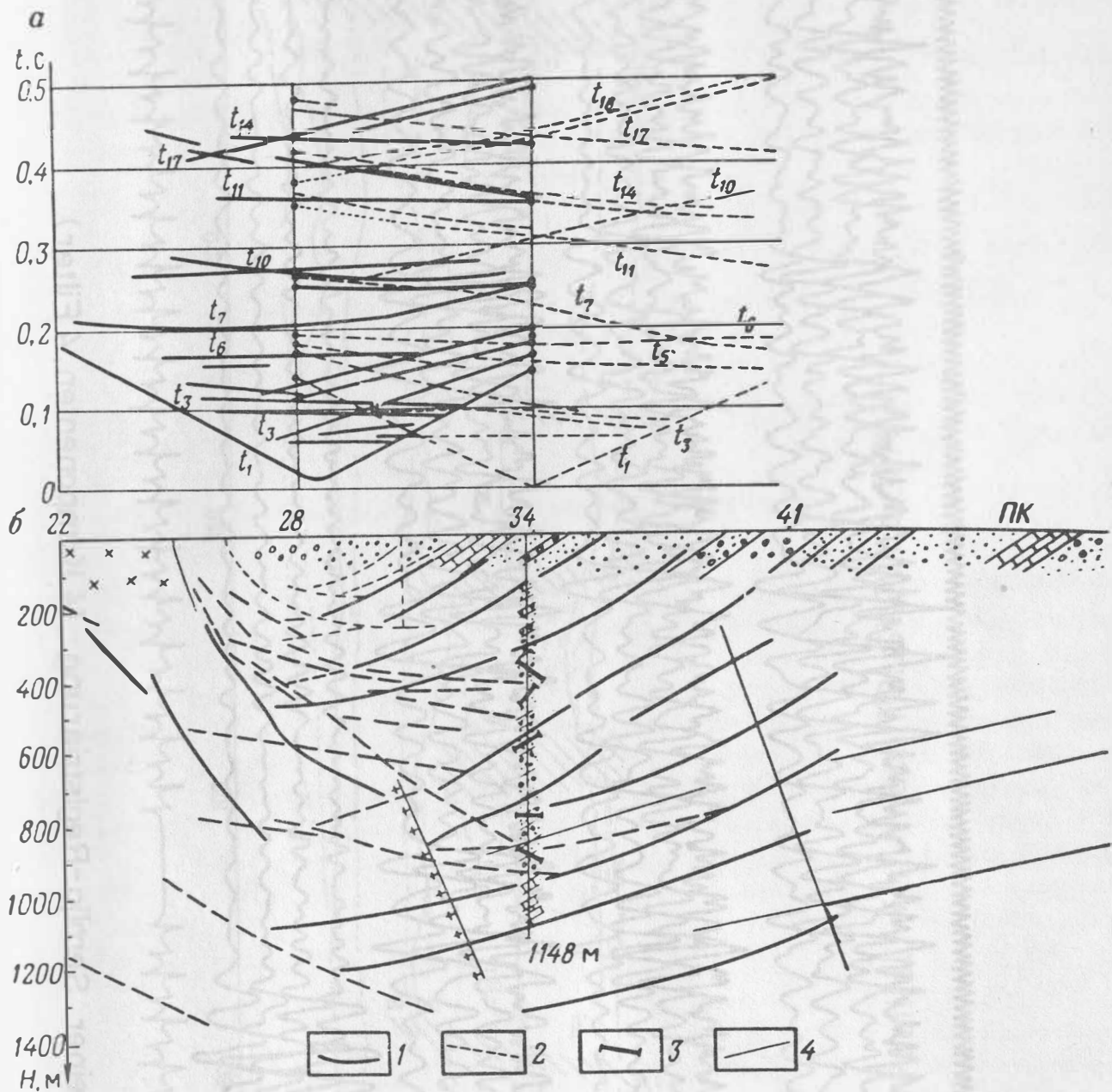


Abb.7 Profilschnitt einer Erzlagerstätte
in Kasachstan (aus GAL'PERIN 1977)



Abb.8 Beispiel einer Semlja-Registrierung (4 Komponenten, 4 Filter)

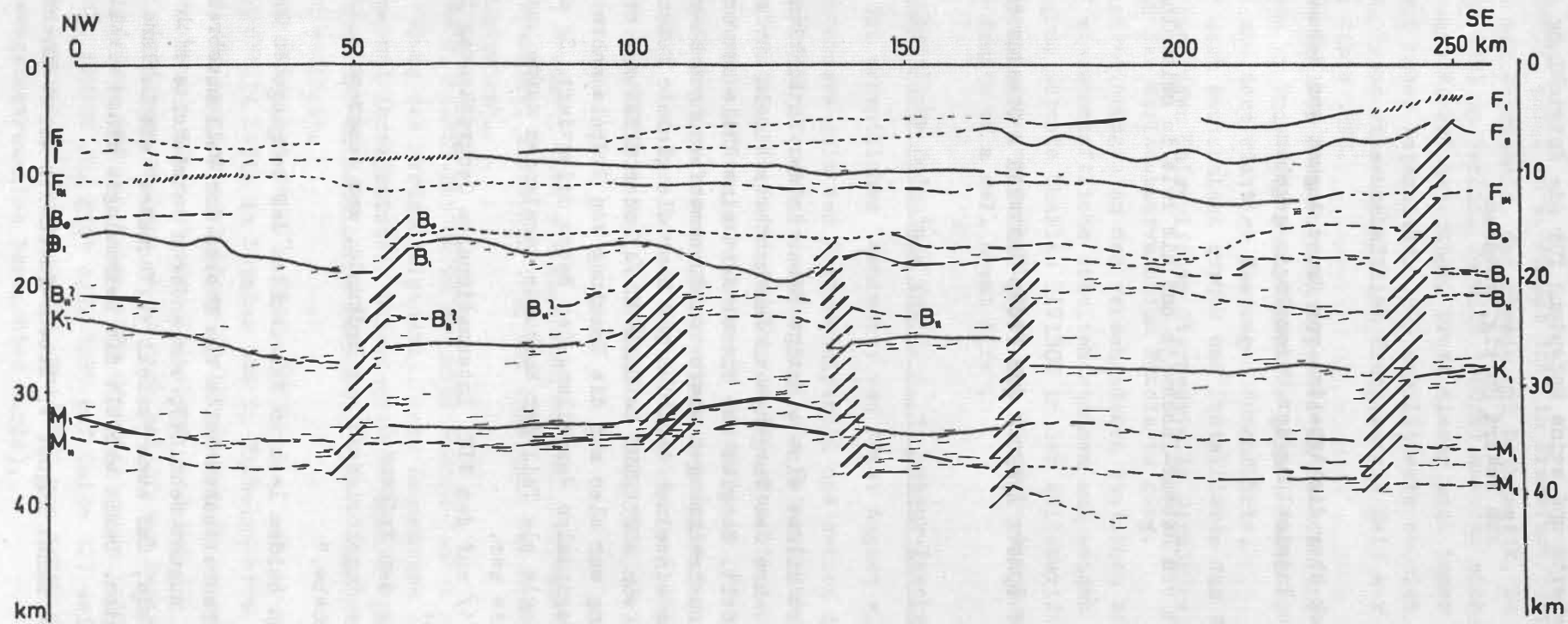


Abb. 9 Semlja - Profilschnitt (nach POLŠKOV u.a. 1976)

Ernst August v. Rebeur-Paschwitz und seine Bedeutung für die Entwicklung der Seismologie

von Eckart Hurtig, Potsdam

Zusammenfassung

Es wird ein kurzer Überblick über die Arbeiten von Ernst August von Rebeur-Paschwitz und seine Bedeutung für die Entwicklung der Seismologie gegeben.

Abstract

The studies of Ernst August von Rebeur-Paschwitz and his role in seismology are reviewed briefly.

Резюме

Дается короткий обзор работ Эрнста Августа фон Ребёр-Пашвита и отмечается его вклад в развитие сейсмологии.

1. Einleitung

Das Ende des 19. Jahrhundert bildet eine wichtige Zäsur in der Entwicklung der Seismologie. Bis in die 80-er Jahre des vergangenen Jahrhunderts hinein wurden Erdbeben als lokale Phänomene behandelt. Es gibt aus dieser Zeit eine Fülle hervorragender Beschreibungen von Erdbebenwahrnehmungen sowie von Zusammenfassungen über makroseismische Beobachtungen in einzelnen Gebieten und über die globale Seismizität. Es sei nur an die Arbeiten von MONTESSUS De BALLORE /4/ oder MILNE /3/ erinnert. Die seismologische Forschung war also auf die Sammlung von Erdbebenwahrnehmungen und die Untersuchung der regionalen Verteilung der Beben orientiert. So wird es verständlich, daß die Seismologie als Teil der Erdkunde verstanden wurde und auch tatsächlich Teil der Geographie war.

Noch 1899 konnte Gerland /1/ auf dem VII. Internationalen Geographentag in Berlin (S. 149) die Frage stellen:

"Die Seismologie, ein Zweig der Erdkunde?

Ohne Zweifel und diese ihre Zugehörigkeit zur Erdkunde, zur Geographie ist der erste Punkt, den ich hier hervorhebe."

Aber es vollzog sich in den beiden letzten Jahrzehnten des vergangenen Jahrhunderts eine entscheidende Wende.

Zum einen wurden von der theoretischen Seite zum Prozeß der Wellenausbreitung wichtige Grundlagen gelegt (s. z.B. August Schmidt), zum anderen entwickelte sich die Gerätetechnik in einem solchen Maße, daß auch "unfelt earthquakes" wie Gerland sie einmal nannte, erfaßt werden konnten. Damit erhielt die Seismologie einen wirklich globalen Charakter.

An dieser Entwicklung hatte Ernst August v. Rebeur-Paschwitz einen durchaus bemerkenswerten Anteil.

2. Ernst August v. Rebeur-Paschwitz

V. REBEUR-PASCHWITZ wurde am 9. August 1861 in Frankfurt/Oder geboren. Sein besonderes Interesse galt der Astronomie, der Physik und Mathematik. So studierte er Astronomie und promovierte 1883 in Berlin. Bereits 1880/81 machten sich Anzeichen von Lungentuberkulose (oder Lungenkrebs) bemerkbar. Trotz dieser sich immer verschlimmernden Krankheit arbeitete er mit hoher Intensität. 1889 habilitierte er sich an der Universität Halle für Astronomie. Seine wissenschaftlich fruchtbarste Zeit war der Abschnitt 1889 bis zu seinem Tode im Jahre 1895.

So installierte er 1889 zwei Horizontalpendel in Potsdam und Wilhelmshaven. Seiner Krankheit wegen mußte er Ende 1889 nach Teneriffa gehen, wohin er das Potsdamer Horizontalpendel mitnahm und dort wichtige Messungen durchführte.

1891 kehrte er nach Deutschland zurück und installierte das Wilhelmshavener Horizontalpendel an der damaligen Kaiserlichen Sternwarte in Straßburg, während das zweite Pendel nach Rußland an das Marineobservatorium Nikolajew ging.

Die Parallelregistrierungen an den verschiedenen Stationen brachten interessante Erkenntnisse. Fast 30 wissenschaftliche Arbeiten stammen aus seinem kurzen Leben.

In einer Würdigung betonte Charles DAVISON in der Zeitschrift Nature Band 52 "Dying at thirty four, he had done work which most men of twice the age might regard with satisfaction as the fruits of a well spent life".

3. Die wissenschaftliche Bedeutung von E. A. v. Rebeur-Paschwitz

Wo liegen nun die wesentlichen Verdienste von Ernst August v. Rebeur-Paschwitz?

- a. Sein Hauptinteresse galt dem Horizontalpendel und seiner instrumentellen Weiterentwicklung. Zunächst standen rein astronomische Untersuchungen für ihn im Vordergrund. Nach den ersten guten Registrierungen von Erdbeben mit dem Horizontalpendel verlagerte sich sein Interesse jedoch immer mehr zur Seismologie. Er verwandte viel Mühe darauf, das Horizontalpendel zu einem brauchbaren seismologischen Präzisionsinstrument zu entwickeln. Wenn auch das Horizontalpendel nicht von V. REBEUR-PASCHWITZ stammte, so ist sicherlich das Urteil von Otto HECKER (1899, S. 159) richtig /2/, wenn er schreibt:

"nur das sei erwähnt, dass als eigentlicher Schöpfer des modernen Instrumententyps von Rebeur-Paschwitz anzusehen ist, und dass alle Konstruktionen im Princip auf das seinige zurückgehen".

- b. Das Interesse V. REBEUR-PASCHWITZ erschöpfte sich jedoch nicht in der technischen Weiterentwicklung des Horizontalpendels, sein besonderes Augenmerk war auf die Registrierung und Interpretation seismischer Ereignisse gerichtet. Hier liegt auch die entscheidende Bedeutung von V. REBEUR-PASCHWITZ für die internationale Seismologie.

Ein markantes Datum ist der 17. April 1889.

V. REBEUR-PASCHWITZ hatte in Potsdam und in Wilhelmshaven je ein Horizontalpendel aufgestellt. Am 17. April traten klare Oszillationen an beiden Horizontalpendeln auf, die er als Fernwirkungen eines starken Erdbebens in Japan /5/ deutete (s. Abb. 1).

Es ist zwar nicht ganz sicher, ob es sich bei dieser Registrierung um tatsächlich das erste Mal handelte, daß ein Beben über derartig große Entfernungen instrumentell erfaßt wurde (v. REBEUR /6/ gibt z.B. 1895 auf Seite 527 seiner Hauptarbeit an, daß das Erdbeben von Iquique in Chile vom 10. Mai 1877 von NYREN in Pulkovo am Niveau des dortigen Passageinstrumentes beobachtet wurde).

Dennoch dürfte die Potsdamer Registrierung als wichtiger Markstein in der Seismologie gelten. Denn die Registrierung am 17. April 1889 wurde als Erdbeben interpretiert und war der Ausgangspunkt für eine intensive Beobachtungs- und Auswertetätigkeit.

So bestimmte z.B. v. REBEUR-PASCHWITZ aus den Parallelregistrierungen in Potsdam und Wilhelmshaven für das Beben vom 17. April 1889 die horizontale Scheingeschwindigkeit. Er zog aus diesen und weiteren Erdbebenregistrierungen die Schlußfolgerung, daß die horizontale Scheingeschwindigkeit (wir würden auch sagen die Slowness) entfernungsabhängig ist. Aber noch ein zweites beobachtete er: die ersten Einsätze zeigen eine wesentlich höhere Geschwindigkeit als die späteren Wellen. Er schreibt hierzu auf S. 494 /6/:

"Ich betrachte es hiernach als erwiesen, dass in den grösseren Tiefen innerhalb des Erdkörpers die Fortpflanzungsgeschwindigkeit eine erheblich grössere ist, als in der Nähe der Erdoberfläche".

Auf Seite 494 fährt er dann fort:

"Unter diesen Umständen erhalten die Erdbebenbeobachtungen ein erhöhtes Interesse, denn sie geben uns ein Mittel an die Hand, den Elasticitätsmodul des Erdinnern in verschiedenen Tiefen zu bestimmen"

und weiter (S. 495)

"Es ist zu erwarten, dass bei Antipodenbeobachtungen erstaunlich geringe Zeitdifferenzen sich herausstellen werden, da dann die Bewegung sich durch die innersten Theile des Erdkörpers fortpflanzt."

Und er schlußfolgert auf Seite 496:

"Wir werden im Stande sein, besonders bei grossen Erdbeben, die Ausbreitung der Wellen durch den ganzen Erdkörper hindurch zu verfolgen, und daraus die Grundlagen für eine neue Theorie gewinnen, die uns auf indirectem Wege allmählich zur Kenntniss der Beschaffenheit des Erdinnern selbst führen wird".

Hier liegt wohl die größte Bedeutung v. REBEUR-PASCHWITZ: in der Verbindung von Seismologie und Physik des Erdinnern.

- c. Aber nicht nur die Erdbebenereignisse hat v. REBEUR-PASCHWITZ analysiert und zu einem ersten Bebenkatalog von Weltbeben zusammengefaßt (auch das ist eine wichtige Leistung). Er untersuchte auch die mikroseismische Bodenunruhe. Dabei fand er, daß in Potsdam und Wilhelmshaven die Unruhe größer war als in Straßburg. Er führte dies ganz richtig auf die unterschiedlichen Untergrundsverhältnisse zurück. Er fand weiterhin einen deutlichen Jahresgang der Bodenunruhe. Sehr eingehend analysierte er den Zusammenhang zwischen seismischer Bodenunruhe und den Windverhältnissen. So schreibt er auf S. 373:

"Zusammengefaßt ergeben die ... Erörterungen das auffällige Resultat, dass während im Einzelnen eine deutliche Beziehung zwischen Wind und mikroseismischer Bewegung zu constatiren ist, welche sich in gewissen Monaten in einem fast vollkommenen Parallelismus der beiderseitigen Curven äussert, die letztere, wenn man die Monats- und Jahresdurchschnitte allein betrachtet, als eine ganz unabhängige Erscheinung sich darstellt. Eine Erklärung hierfür kann ich nur in der Annahme finden, dass die mikroseismische Bewegung verschiedenen Ursachen ihre Entstehung verdankt, unter denen der Wind zwar am stärksten wirkt, aber zugleich auch am meisten den Charakter einer zufälligen Erscheinung trägt"

- d. Aus seinen detaillierten Untersuchungen resultierten für die damalige Entwicklung der Seismologie bahnbrechende "Vorschläge zur Errichtung eines internationalen Systems von Erdbeben-Stationen" (Beiträge zur Geophysik Bd 2, 773-782, 1895 /7/). Es ist wert, diese Vorschläge etwas eingehender zu würdigen.

In einer kurzen Einleitung faßt v. REBEUR-PASCHWITZ die wichtigsten Erkenntnisse der damaligen instrumentellen Seismologie zusammen:

- der erste Einsatz pflanzt sich bei großen Entfernungen mit über 10 km pro Sekunde fort, was durchaus bereits den jetzigen Erkenntnissen für derartige Epizentralentfernungen entspricht.
- 30 bis 40 min nach dem ersten Einsatz folgen lange flache Wellen mit einer mittleren Geschwindigkeit von 2 - 3 km/s.
- In den Tiefen der Erde pflanzen sich elastische Bewegungen viel rascher fort als an der Erdoberfläche.

Er beschreibt dann mit wenigen Sätzen die wichtigsten seismischen Geräte: das Horizontalpendel, das sehr lange Vertikalpendel (bis 10 m lang) und das Bifilarpendel.

Von diesen Erkenntnissen und apparativen Möglichkeiten ausgehend leitet er folgenden Plan ab:

- "Wir wollen in erster Linie die Gründung eines internationalen Netzes von Erdbebenstationen in Anregung bringen, dessen Aufgabe es sein soll, die Ausbreitung der von großen Erdbebencentren ausgehenden Bewegungen auf der Erdoberfläche und durch den Erdkörper in systematischer Weise zu beobachten".
 - "Jede Station müsste, vorbehaltlich späterer Ausgestaltung, zunächst mit einem Horizontalpendel und einem Registrierapparat ausgerüstet werden. Es ist wünschenswerth und für den Erfolg des Unternehmens wichtig, dass alle Stationen gleichartige Instrumente wählen und dass diese überall auf den gleichen Grad von Empfindlichkeit gebracht werden".
- V. REBEUR-PASCHWITZ schlägt ein globales Netz von 35 Stationen vor.
- Begründung einer "Centralstelle für die Sammlung und Publication von Erdbebennachrichten aus der ganzen Welt". Diese soll Nachrichten aller Art über alle größeren Erdbeben und alle Beobachtungen fühlbarer oder unfühlbarer Erderschütterungen, die durch empfindliche Instrumente gewonnen werden, veröffentlichen.

Abschließend betont v. REBEUR-PASCHWITZ:

"Die Bedeutung der hier in Vorschlag gebrachten Erdbebenbeobachtungen für die Physik der Erde läßt sich nicht hoch genug veranschlagen Die Erdbebenbeobachtungen geben ein Mittel in die Hand, um auf indirectem Wege Aufschlüsse über den Zustand des Erdinnern zu erhalten, welcher wohl für alle Zeiten der directen Beobachtung verschlossen sein wird. Es ist daher durch diese systematischen Beobachtungen die Möglichkeit geboten, mit Aussicht auf Erfolg an die Lösung einer Frage heranzutreten, welche für die gesammte Wissenschaft von fundamentalster Bedeutung ist, und bisher von verschiedenen Seiten in nur zu widersprechender Weise beantwortet wurde."

Diese Vorschläge waren der Ausgangspunkt für eine Reihe von Aktivitäten, die vor allem von Gerland eingeleitet wurden.

1895 wurden die Vorschläge v. REBEUR-PASCHWITZ auf dem VI. Internationalen Geographen-Kongreß in London behandelt und in einer Schlußresolution gutgeheißen. 1899 erfolgte auf dem VII. Internationalen Geographentag in Berlin auf der Grundlage der v. Rebeurschen Vorschläge der Aufruf zur Gründung einer Internationalen Seismologischen Gesellschaft.

1901 tagte im April vom 11. - 13. 4. in Straßburg die erste Internationale Seismologische Konferenz, auf der das Projekt einer Internationalen Seismologischen Assoziation diskutiert wurde.

So nahmen die Arbeiten und Gedanken von v. REBEUR-PASCHWITZ in vieler Hinsicht einen deutlichen Einfluß auf die weitere Entwicklung der internationalen seismologischen Forschung und deren Organisierung. Seine "Vorschläge zur Errichtung eines internationalen Systems von Erdbeben-Stationen" mündeten letztlich in die Bildung der modernen Weltdatenzentren und der Internationalen Assoziation für Seismologie und Physik des Erdinnern (IASPEI).

Aber auch für die Seismologie in Potsdam hatte v. REBEUR wesentliche Akzente gesetzt, die vor allem HECKER weiterführte und ausbaute. Bereits ab 1. April 1902 wurde mit dem v. REBEUR'schen Horizontalpendel in der damals neuerbauten Potsdamer Erdbebenwarte die kontinuierliche Registrierung aufgenommen. Seit diesem Zeitpunkt gibt es auch ein seismologisches Bulletin der Station Potsdam, das wohl eines der ersten überhaupt auf der Welt ist.

Die herausragende Bedeutung von v. REBEUR-PASCHWITZ liegt in seinem Blick für die notwendige Verknüpfung und Synthese von seismologischer Geräteentwicklung-Registrierung und Auswertung seismischer Beobachtungen-Physik des Erdinnern. Diese Gedanken haben nichts an ihrer Aktualität verloren, sie bilden die Grundlage für die moderne seismologische Forschung in der DDR.

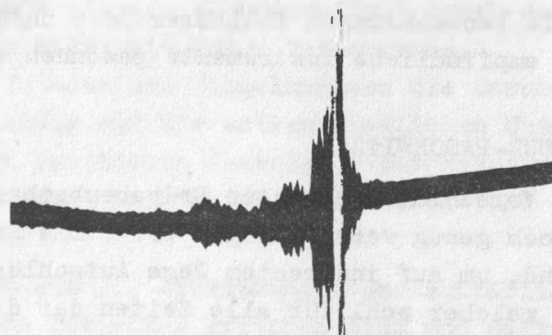


Abb. 1 Aufzeichnung des Japanbebens vom 17. April 1889 in Potsdam
(Reproduktion aus /5/)

Literatur

- /1/ GERLAND, G. Die moderne seismische Forschung.
Veröff. VII. Int. Geographentag Berlin (1899) Th. II Gruppe 1d
Geophysik S. 148-157.
- /2/ HECKER, O. Untersuchung von Horizontalpendel-Apparaten für die Beobachtung von Bodenbewegungen.
Veröff. VII. Int. Geographentag Berlin (1899) Th. II Gruppe 1d
Geophysik S. 158-164.
- /3/ MILNE, J. Earthquakes and other earth movements.
London 1886
- /4/ MONTESSUS DE BALLORE, F. de. Les tremblements de terre.
Géographie Séismologiques.
Paris 1906.
- /5/ REBEUR-PASCHWITZ, E.v. The earthquake of Tokio 18. April 1889.
Nature 40 (1889), 294.
- /6/ REBEUR-PASCHWITZ, E.v. Horizontalpendel - Beobachtungen auf der Kaiserlichen
Universitäts-Sternwarte zu Strassburg 1892 - 1894.
Beiträge zur Geophysik 2 (1895), 211-536.
- /7/ REBEUR-PASCHWITZ, E.v. Vorschläge zur Errichtung eines internationalen
Systems von Erdbeben - Stationen.
Beiträge zur Geophysik 2 (1895), 773-782.

Entwicklung der Untersuchung und Bekämpfung von Gas-Salz-Ausbrüchen in der DDR

von

J. Keßler und D. Rotter ¹⁾Zusammenfassung

Ausgehend von einer Darlegung der Ausgangssituation der 50er Jahre im Kalibergbau der DDR soll die Arbeit der Forschungsgemeinschaft "Mineralgebundene Gase" als Beispiel einer sozialistischen Gemeinschaftsarbeit hervorgehoben werden. Es werden Aufgabenstellung, Arbeitsweisen und erzielte Ergebnisse dieser Gemeinschaftsarbeit erläutert. Im Rahmen dieses Vortrages soll die Persönlichkeit des leider zu früh verstorbenen W. GIMM, der Initiator und Leiter der Arbeitsgemeinschaft war, besonders gewürdigt werden.

Исходя из изложения исходной ситуации пятидесятих лет в калийной промышленности ГДР должен быть выделен в качестве примера социалистического общественного труда работа исследовательской группы "связанные газы". Должны рассматриваться задача, методы работы и достигнутые этой исследовательской группой результаты.

В этом докладе мы должны указать значение личности Гимма, который был инициатором и руководителем исследовательской группой.

¹⁾ Bergakademie Freiberg, Sektion Geotechnik und Bergbau, 9200 Freiberg, PF 47

1. Einleitung

Auf dem 10. Weltbergbaukongreß, der im September 1979 in Istanbul stattfand, wurden in einem Rundtischgespräch neue Perspektiven der Bergbautechnologie beraten. Grundlage war eine entsprechende Ausarbeitung des bekannten sowjetischen Wissenschaftlers A. V. Dokukin. Er ging davon aus, daß die Perspektiven der Bergbautechnologie sowohl vom historischen Standpunkt der Entwicklung des Bergbaus als auch im Hinblick auf den Entwicklungsstand der Wissenschaft und Technik generell betrachtet werden müssen.

Analysiert man die Entwicklung des Bergbaus, dann sehen wir, daß schon vor einigen Jahrtausenden der Mensch begann, die mineralischen Rohstoffe der Erdkruste zu nutzen; aber erst seit etwa Mitte dieses Jahrhunderts ist der Bergmann in der Lage, moderne Abbauverfahren mit hoher Arbeitsproduktivität zu beherrschen. Zu dieser Zeit wurde mit dem generellen Umrüsten des Bergbaus auf der Basis moderner industrieller Methoden und Lösungen begonnen, die durch die beginnende wissenschaftlich-technische Revolution zur Verfügung gestellt werden konnten. Die alte Bergbaukunst, die jahrhundertlang auf empirischer Grundlage die Produktivitätsentwicklung bestimmte, wurde zur Bergbauwissenschaft. In Verbindung mit dem Anwachsen des volkswirtschaftlichen Bedürfnisses nach Rohstoffen und der damit zusammenhängenden Intensivierung des Abbaus der Lagerstätten müssen nun in immer stärkerem Maße komplizierte geologisch-bergtechnische Bedingungen bewältigt werden.

Hierzu gehören weltweit:

- der Abbau in immer größeren Teufen (1200 bis 1500 m und mehr) mit Temperaturen von ca. 40 - 50 °C
- Gas- und Wasserdrücke mit Dutzenden und Hunderten Bar
- geologisch extrem gestörte Lagerstätten und nutzbare Mineralien oder Nebengesteine mit sehr ungünstigen geomechanischen Eigenschaften (vor allem geringe Festigkeit, Spröbruchneigung u. ä.).

Das erfordert in immer stärkerem Maße moderne Methoden der Gebirgsmechanik oder Geotechnik, die Meisterung der hydrologischen und Gasgefahr, der Bewetterung und Klimatisierung, um nur die wichtigsten Probleme zu nennen. Ohne sicherheitliche Beherrschung der konkreten lokalen Gegebenheiten, speziell der oben erwähnten Faktoren, ist die Entwicklung einer wirkungsvollen modernen Bergbautechnologie unmöglich, deren Eigenart in der kontinuierlichen Änderung des Arbeitsortes und damit einer ständigen Anpassung an die sich verändernden bergtechnisch-geologischen Verhältnisse begründet ist.

Internationale wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit, Treffen von Wissenschaftlern, Konferenzen und Symposien, bilaterale und multilaterale Zusammenarbeit und gemeinsame wissenschaftlich-technische Forschungsarbeiten von Wissenschaftlern verschiedener Länder trugen dabei wesentlich zur Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschrittes im Weltbergbau bei.

Das gilt in gleicher Weise für die Entwicklung unseres Bergbaus in der DDR allgemein und in der Kaliindustrie im besonderen.

Kali wird seit ca. 100 Jahren in der Welt abgebaut, wobei die auf dem Territorium der DDR liegenden Lagerstätten als erste in der Welt genutzt wurden. Die ersten Schächte wurden bekanntlich in Staßfurt niedergebracht, aber auch im Werra-Revier entwickelte sich sehr rasch ein Zentrum des Kalibergbaus. Im letztgenannten Gebiet ist nun der Bergbau wie in keinem anderen Kalirevier der Welt den eingangs als weltweite Tendenz genannten schwierigen Bedingungen unterworfen. Dazu gehören vor allem auch Gas-Salz-Ausbrüche.

Auch in den bedeutenden Kalilagerstätten der UdSSR, z. B. von Werchnekamsk und Soligorsk, gibt es das Problem der plötzlichen Ausbrüche von Gas und Gestein. Während in Werchnekamsk die mittlere Intensität der Ausbrüche 10,5 t/Ausbruch beträgt, lag sie in Soligorsk in den ersten 8 Betriebsjahren bis 1972 zwischen 40 t und 400 t pro Ausbruch. Im Werra-Revier fanden die größten plötzlichen Ausbrüche im Weltmaßstab statt. Man schätzt die Gesamtzahl der Ausbrüche im Werra-Revier auf einige 10 000, etwa 15 erfaßte Ausbrüche von 1961 bis heute erbrachten Auswurfsmengen über 10 000 t.

2. Stand der Erkenntnisse vor der Gründung der Forschungsgemeinschaft "Mineralgebundene Gase" und daraus abgeleitete Aufgabenstellungen / 1 /

Die Forschungsgemeinschaft "Mineralgebundene Gase" wurde im Jahre 1958 gegründet. An der Tätigkeit der Forschungsgemeinschaft hatten sich Wissenschaftler und Praktiker der Kaliindustrie, der Bergakademie Freiberg, verschiedener wissenschaftlicher Institute, der Bergbehörde sowie des zuständigen Fachministeriums aktiv beteiligt. Zu den etwa 30 an den Arbeiten ständig oder zeitweise Beteiligten gehörten u. a. Prof. Dr. Gimm als Leiter und Geomechaniker, Prof. Dr. Oelsner als Mineraloge, die Professoren Schrader und Ackermann als Chemiker sowie die heute in maßgeblichen Positionen des Bergbaus arbeitenden Kollegen Dr. Duchrow vom Kombinat Kali, Dr. Thoma vom Institut für Bergbau-sicherheit und andere. Als Arbeitsmethode der Forschungsgemeinschaft wurde eine kollektive, weitgehend interdisziplinäre und eng mit der Praxis verbundene Forschung angestrebt und realisiert. Da die Bearbeitung der einzelnen Themen im Rahmen der Vertragsforschung als Staatsplanthemen erfolgte, waren staatliche Unterstützung und Kontrolle und eine klar abgegrenzte Arbeit nach konkreten und koordinierten Forschungsplänen gewährleistet. Jährliche Plenarsitzungen der Forschungsgemeinschaft sowie internationale Erfahrungsaustausche waren Höhepunkte in der Arbeit der Forschungsgemeinschaft.

Im Zeitraum nach 1945 hatte die Zahl und Stärke der Ausbrüche im Werra-Revier laufend zugenommen. Daraus ergaben sich zahlreiche grubensicherheitliche Probleme, die letzten Endes durch wissenschaftliche Unklarheiten über die Ursachen und den Mechanismus der Ausbrüche bedingt waren.

Die Kenntnisse über die Ausbruchsfaktoren waren lückenhaft. Das betraf Unklarheiten über die Art der Gasbindung, die Gasmengen und die Gaszusammensetzung. Die mögliche Mitwirkung des Gebirgsdruckes an Vorbereitung und Auslösung der Ausbrüche im Kalibergbau war umstritten. Als ausschließliche Auslösungsursache wurde allgemein der bei der Sprengarbeit eintretende Erschütterungsimpuls angesehen. Unklarheiten bestanden auch darüber, in welchen Salzgesteinen Ausbrüche möglich sind und welchen Einfluß die verschiedenen Salzgesteine ausüben.

Über die aerodynamischen Vorgänge bei Ausbrüchen und die dabei wirkenden Kräfte gab es lediglich Hypothesen. Die Ausbrüche wurden mit Explosionen verglichen und die bei Ausbrüchen auftretenden Zerstörungen auf Druckwellen zurückgeführt. Vor Gründung der Forschungsgemeinschaft waren einsatzfähige Prognosemethoden im Kalibergbau unbekannt. Die versuchsweise Anwendung seismischer und geoelektrischer Methoden führte zu keinem positiven Ergebnis. Die in den Betrieben durchgeführten Schutzmaßnahmen beschränkten sich hauptsächlich auf den Schutz der Belegschaft. Seit 1953 erfolgte das Zünden der Schüsse generell von über Tage. 1959 wurde z. B. der Einsatz von Selbstrettern im Kalibergbau für verbindlich erklärt. Aber Methoden zur Prognose, Verhütung oder Begrenzung von Ausbrüchen waren weitgehend unbekannt. Insgesamt gesehen konnte also zum damaligen Zeitpunkt der Stand der technischen und ökonomischen Beherrschung der Ausbrüche den betrieblichen Anforderungen nicht genügen. Deshalb stellte sich die Forschungsgemeinschaft bei ihrer Gründung 1958 folgende Aufgaben:

1. Klärung der geologischen Position der Ausbrüche
2. Erforschung der Ursachen für die Auslösung und Beendigung der Ausbrüche sowie der mitwirkenden Faktoren
3. Entwicklung einsatzfähiger Prognosemethoden
4. Weiterentwicklung der Schutzmaßnahmen
5. Entwicklung von Methoden zur Ausbruchsvermeidung bzw. zur Begrenzung der Ausbruchsgröße
6. Ausarbeitung von komplexen Systemen zur praktischen Ausbruchsbeherrschung unter verschiedenen Betriebsbedingungen

3. Erzielte Ergebnisse

In engem Zusammenhang mit den eigentlichen fachlichen Ergebnissen stehen folgende Bemerkungen:

Die Forschungsgemeinschaft "Mineralgebundene Gase" war zur damaligen Zeit die größte sozialistische Gemeinschaftsarbeit im Bergbau. Zum ersten Mal war es gelungen, so viele unterschiedliche Disziplinen wie Geomechanik, Geophysik, Geologie, Bergbautechnologie, Mineralogie, Chemie, Physik und Aerodynamik zusammenzufassen bei der Lösung eines für die Praxis komplexen wissenschaftlichen Problems. Durch die Erarbeitung von klar abgegrenzten Teilaufgaben war es auch möglich, junge Absolventen im Sinne einer Förderung und zielgerichteten Entwicklung des wissenschaftlichen Nachwuchses für die Bearbeitung dieser Aufgaben zu gewinnen und zu begeistern. Die erfolgreiche Lösung des Überführungsproblems war bedingt einmal durch die Mitarbeit von Praxisvertretern in der Forschungsgemeinschaft selbst, zum anderen dadurch, daß die in die Praxis gegangenen und an der Forschungsgemeinschaft beteiligten jungen promovierten Kader die gewonnenen Ergebnisse selbst mit in der Praxis einführten und durchsetzten.

Trotz aller unterschiedlicher geologischer, mechanisch-physikalischer und bergbautechnischer Bedingungen lassen sich die Ausbrüche von Gas und Gestein, unabhängig von Gesteins- und Gasart, hinsichtlich von Entstehungsursachen und Verlauf wie

folgt beschreiben:

1. Das zu betrachtende Gebirgsmassiv ist durch einen bestimmten Spannungszustand gekennzeichnet, der u. a. auch von Form und Lage der untertägigen Grubenhohlräume abhängig ist. Dieser Spannungszustand beeinflusst unmittelbar sowohl den Druck des im Gestein befindlichen Gases als auch Intensität und Dauer eines ablaufenden Ausbruches und die Form der Ausbruchsflächen.
2. Das im Kalirevier Werra auftretende und vorherrschende CO_2 tritt in den Kaliflözen vor allem als gesteinsgebundenes Gas auf und ist die Voraussetzung für die zahlreichen plötzlichen Ausbrüche von CO_2 und Salz. Wegen der vorwiegenden intergranularen Bindung wird bei einem plötzlichen Ausbruch im Salz die Hauptmenge des gebundenen Gases sofort frei. Der CO_2 -Gehalt schwankt dabei um einen Mittelwert von $7 - 8 \text{ m}^3$ im Normalzustand/t Salz. Es gibt Annahmen, daß das gebundene CO_2 wegen des rheologischen Verhaltens der Salzgesteine und der fast vollkommenen Gasundurchlässigkeit des unverritzten Salzgebirges unter vollem Überlagerungsdruck steht und in den Kaliflözen in flüssiger Form vorliegt. Dies würde z. B. in 700 m Tiefe einem Gasdruck im Unverritzten von ca. 18 MPa entsprechen. Die in Tiefbohrungen in CO_2 -Lagerstätten gemessenen Gasdrücke sind jedoch wesentlich geringer und erreichen Größenordnungen von 4 bis 5 MPa.
3. Wichtig ist die Erkenntnis, daß die ausbruchsaktiven Horizonte an die unmittelbare und weitere Umgebung von tektonischen Störungszonen gebunden sind.
4. Zum Komplex der Faktoren, die das Entstehen von Gas-Salz-Ausbrüchen beeinflussen, gehören auch die Festigkeits- und Deformationscharakteristiken des betreffenden Gesteins. Infolge des eingeschlossenen Gases unterscheiden sich die Festigkeitseigenschaften des als ausbruchaktiv bezeichneten Salzes gegenüber dem umgebenden gasfreien Salzes.
5. Im unverritzten Gebirge herrscht ein dreiachsiger, annähernd hydrostatischer Spannungszustand, wobei nur Druckspannungen auftreten. Unter diesen Bedingungen hält das gasimprägnierte Salz den Belastungen bruchfrei stand. Zu Gas-Gesteinsausbrüchen kommt es nur dann, wenn das Annähern eines Hohlraumes an den ausbruchsgefährdeten Gebirgsteil in einer ganz bestimmten Art und Richtung geschieht.
6. Der makroskopische Ausbruchsverlauf (Abb. 1)

Die Ausbruchsauslösung wird durch einen von Firste und Sohle her einsetzenden Bruch bewirkt. Die charakteristische Form der Bruchflächen ist durch den räumlich gekrümmten Verlauf der Hauptspannungen gegeben. Bei der Zerklüftung und Zerstörung des Salzes wird das unter hohem Druck stehende CO_2 freigesetzt und es kann sich entspannen. Dabei geht zunächst das flüssige CO_2 in den gasförmigen Zustand über, beschleunigt einen mehr oder weniger großen Anteil des zerstörten Salzes und fördert ihn in Form einer pneumatischen Flugförderung ab.

Bruchvorgang und Freiwerden des Gases wiederholen sich in Form einer Kettenreaktion, da die den Bruch des Salzes einleitende plötzliche Spannungsumlagerung laufend auf das bisher im isotropen Spannungszustand befindliche Salz umgelagert wird.

Der Ausbruchsprozeß kommt zum Erliegen, wenn

- a) die Ausbruchsfront entweder die Grenze der ausbruchsaktiven Zone erreicht hat oder
- b) der Spannungs- und Druckgradient an der Ausbruchsfront nicht mehr für die Zerstörung des Salzgesteines ausreicht oder
- c) sich die Abströmbedingungen von Gas und Gestein so verschlechtern, daß ein immer größerer Teil des zerstörten Salzes nicht abtransportiert wird und schließlich ein weiterer Salztransport nicht mehr möglich ist.

7. Eine systematische Auswertung der Gas-Salz-Ausbrüche zeigte eine gesetzmäßige Abhängigkeit der Auswurfsmenge als Funktion der Ausbruchsöffnung und der Mächtigkeit des ausbruchsaktiven Horizontes (Abb. 2), die es gestattet, bei Kenntnis der Mächtigkeit des aktiven Lagers durch die zweckmäßige Dimensionierung der Ausbruchsöffnung einen Ausbruch zu steuern und die Auswurfsmenge zu begrenzen. Diese Ausbruchsbegrenzung wird nunmehr im KB Werra seit Jahren im Rahmen eines komplexen CO₂-Schutzsystems erfolgreich angewendet.

Die Versuche, einzelne Ausbruchsfaktoren mit geophysikalischen Meßmethoden zu erfassen, begannen bereits 1938, hatten aber nicht den gewünschten Erfolg. Bei Echolotungen mit Ultraschall konnten nur Schichtgrenzen und Klüfte nachgewiesen werden. Die Versuche zur Messung der unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten von ausbruchsaktivem Salz gegenüber gasfreiem Salz fußten auf der falschen Voraussetzung, daß gasführendes Salz stets mit Lauge vergesellschaftet ist. Die Messung der Laufzeit und der Dämpfung von Ultraschallwellen erbrachte keine verwertbaren Resultate. Anders war die Situation hinsichtlich der Seismoakustik, die in der DDR seit 1960 im damaligen Institut für Angew. Geophysik der Bergakademie Freiberg von O. Meißer initiiert wurde. Bereits in den 60er Jahren konnte mit einer speziell entwickelten seismoakustischen Apparatur der Ausbruchsablauf registriert werden, was wesentlich zur Klärung des Ausbruchsmechanismus beigetragen hat. Heute ermöglichen, auch dank dieser ersten Ergebnisse, moderne Apparaturen die seismoakustische Sprengüberwachung mit Ortung des Ausbruchsgebietes. Damit waren u. a. auch entscheidende Verbesserungen zum Schutz der Grubenbelegschaft in jüngster Zeit möglich und wirksam geworden.

Technische Prognosemethoden sind

- die Kernprognose (beruht auf dem typischen uhrglasförmigen Zerfall der Bohrkerne)
- das akustische Gasmeßverfahren von Knistergeräuschen beim Auflösen des Salzes im Wasser
- die Messung des Gasdruckes in den Gewinnungssprengbohrlöchern mit einem Bohrlochpacker

Als Routinemethode in der Praxis wird gegenwärtig die Gasdruckprognose mit dem einfachen und billigen Bohrlochpacker benutzt, weil das Prognoseergebnis schnell und mit geringem Aufwand von jedem Hauer vor Ort festgestellt werden kann.

4. Zeitliche Übersicht der erreichten Ergebnisse bei der Ausbruchsbekämpfung und derzeitige Probleme

Die im Verlauf der über 80jährigen Geschichte des Kalibergbaus im Werra-Revier erzielten Erfolge bei der Ausbruchsbekämpfung sind in Abb. 3 dargestellt. Hinsichtlich des Grades der Ausbruchsbeherrschung lassen sich 3 Hauptetappen unterscheiden. In der ersten Etappe konnten die Ausbrüche nicht beeinflußt werden. Bis etwa 1950 beschränkte sich die Bekämpfung auf Maßnahmen zum Schutz der Belegschaft. Die zweite Etappe begann mit der Anwendung der ersten Arbeitsergebnisse der Forschungsgemeinschaft etwa im Jahr 1960. In dieser Etappe ist die Naturkraft bereits bezwungen. Durch die Entwicklung von zuverlässigen Prognosemethoden konnten die Ausbrüche rechtzeitig erkundet und ihre Wirkungen durch die Anwendung eines kompletten Systems technisch-organisatorischer Schutzmaßnahmen technisch beherrscht werden. Die technische Beherrschung war der Ausgangspunkt für die ab 1962 beginnende 3. Etappe, in der Ausbrüche durch planmäßige Ausbruchsprovokation wirtschaftlich genutzt werden konnten. Gegen Ende der 60er Jahre ist die 3. Etappe durch neue Verfahren zur Begrenzung der Ausbruchsgröße vervollständigt worden. Seit etwa 1975 kann man von einer weiteren, der 4. Etappe bei der Bekämpfung nachteiliger Ausbruchswirkungen sprechen. In den 70er Jahren kam es zu wesentlichen Veränderungen der geologischen Bedingungen. Die Abbauschwerpunkte verlagerten sich aus Teufen von 500 m - 600 m in Teufen bis zu 1000 m. Außerdem werden in stark erhöhtem Maße tektonisch intensiv gestörte Lagerstättenteile mit Carnalliten mit geringerer Festigkeit abgebaut. Hinzu kommt ein vermehrter Anteil des Abbaus von mächtigen Carnallitkuppen und ein häufiges Auftreten von Schnitten und Klüften mit freiem Gas im Carnallit. Aufgrund der gestörten Lagerungsverhältnisse tritt viel häufiger als früher auch der Fall ein, daß ausbruchsaktive Horizonte im Hangenden der Grubenbaue auftreten. Außerdem wurde eine neue Gewinnungstechnologie entwickelt und eingesetzt, welche die Arbeitsproduktivität beachtlich steigerte. Beim Abbohren eines Großbohrloches beim Carnallitkuppenabbau kam es 1975 zu einem bis dahin nicht für möglich gehaltenen großen Ausbruch, der eine Präzisierung der CO₂-Strategie erforderte. Diese neue Strategie liegt heute vor. Gleichzeitig wurde die CO₂-Forschung neu aktiviert.

5. Die Rolle von W. Gimm und Ausblick auf weitere Forschungsarbeiten

Die Forschungsgemeinschaft "Mineralgebundene Gase" stand bis zum vorläufigen Abschluß der Arbeiten 69/70 unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Werner Gimm (Abb. 4). Der im Jahre 1977 leider früh verstorbene Altmeister der CO₂-Forschung Werner Gimm widmete sich mit großer Intensität gerade den Problemen der Gas-Gesteins-Ausbrüche im Bergbau. Als erfahrener Praktiker und ehemaliger verantwortlicher Ingenieur im Kalibergbau der DDR lag es ihm besonders am Herzen, die Arbeit des Bergmanns durch Nutzung wissenschaftlicher Erkenntnisse effektiver und vor allem sicherer zu machen.

In den Jahren 1975 - 1977 beriet Prof. Gimm als Leiter und Mitarbeiter von Experten-Arbeitsgruppen die neu entstehende Situation bei der Bekämpfung von Gas-Salz-Ausbrüchen und erarbeitete mit die neuen Aufgabenstellungen. In / 2 / formulierte Prof. Gimm seine Vorstellungen über langfristige Forschungsarbeiten wie folgt:

1. Die Gas-Salz-Ausbrüche, bei denen auf Grund bestimmter geologischer und technologischer Bedingungen neuerdings die "Begrenzungsmethode" versagte, geben Anlaß dazu, neben den bisher bei der Begrenzungsmethode berücksichtigten Parametern zu überprüfen, welche weiteren Parameter möglicherweise auf Entstehung, Stärke und Verlauf der Ausbrüche statistisch gesichert Einfluß haben können. Ein offenes Problem ist dabei die nicht hinreichend bekannte Gebirgsfestigkeit von bestimmten Carnallititen mit zahlreichen gasführenden Klüften.
2. Da auf Grund des Fehlens einer kontinuierlichen Ausgasung im Kalibergbau direkte Gasmeßverfahren nicht solch eine Rolle spielen wie etwa im Steinkohlenbergbau, kommt dem indirekten CO₂-Nachweis mit geophysikalischen Methoden eine große Bedeutung zu. Es gibt z. B. aus der intern. Literatur Hinweise auf Versuche, durch Anwendung hochfrequenter elektromagnetischer Verfahren von untertägigen Bohrlöchern aus die einzelnen Salzgesteinsarten sowie CO₂-imprägnierten Salzgesteine voneinander abzugrenzen.
3. Eine Reihe von noch nicht geklärten geologischen Problemen können auch dadurch besser gelöst werden, wenn es gelingt, verstärkt geophysikalische Methoden anzuwenden. Möglichkeiten sind u. a.:
 - Magnetische Aufnahmen zur Kartierung von Basaltgängen
 - Vibroseismische Messungen unter Tage zur Struktur- und Störungserkundung
 - Infrarotgeothermische Messungen zum Störungsnachweis unter Tage
4. Gegenstand von eingehenden Forschungsarbeiten im Rahmen der CO₂-Ausbruchsproblematik müßten auch die Bruchprozesse im Mikrobereich, die sich z. B. im Ergebnis von Sprengarbeiten abspielen, sein. Solche Bruchvorgänge sind möglicherweise Ursache dafür, daß infolge von Sprengungen weiter als normal entfernte Bereiche von ausbruchsaktivem Salz aktiviert werden können.

Die gegenwärtig an Bedeutung wieder zunehmende Gas-Salz-Ausbruchsforschung kann auf umfangreichen Ergebnissen und Erfahrungen der ehemaligen Forschungsgemeinschaft "Mineralgebundene Gase" und der Bergbauindustrie aufbauen. Diese sind auch notwendig, weil der Schwierigkeitsgrad der Forschungsarbeiten auch auf dem Gebiet der Gas-Salz-Ausbrüche weiter gewachsen ist.

Literaturverzeichnis

- / 1 / ECKART, D.; GIMM, W.; HÄFNER, H.-P.: Rückblick auf die Arbeiten der Forschungsgemeinschaft "Mineralgebundene Gase"
Freiberger Forschungshefte A493, Leipzig: Verlag für Grundstoffindustrie 1971
- / 2 / GIMM, W.; KESZLER, J.: Plötzliche Ausbrüche von Gas und Gestein
Vortrag auf Arbeitstagung des wissenschaftlichen Rates der Hauptforschungsrichtungen "Physik der Erde", 15. 7. 1977 (unveröffentlicht)
- / 3 / MARGGRAF, P.; PICKERT, W.; THOMA, K. u. a.: Neue Ergebnisse bei der Beherrschung der plötzlichen Ausbrüche von CO₂ und Salz im Kalibergbau der DDR
10. Internationales Kolloquium über Gasausbrüche, Pecs: 1979
- / 4 / ROTTER, D.: 10. Weltbergbaukongreß in Istanbul
Reisebericht, Bergakademie Freiberg, Sektion Geotechnik und Bergbau, 1979 (unveröffentlicht)
- / 5 / GIMM, W.; HÄFNER, H.-P.: Ausgasung und plötzliche Ausbrüche im Bergbau
Lehrbrief, Bergakademie Freiberg, Weiterbildung, 1972

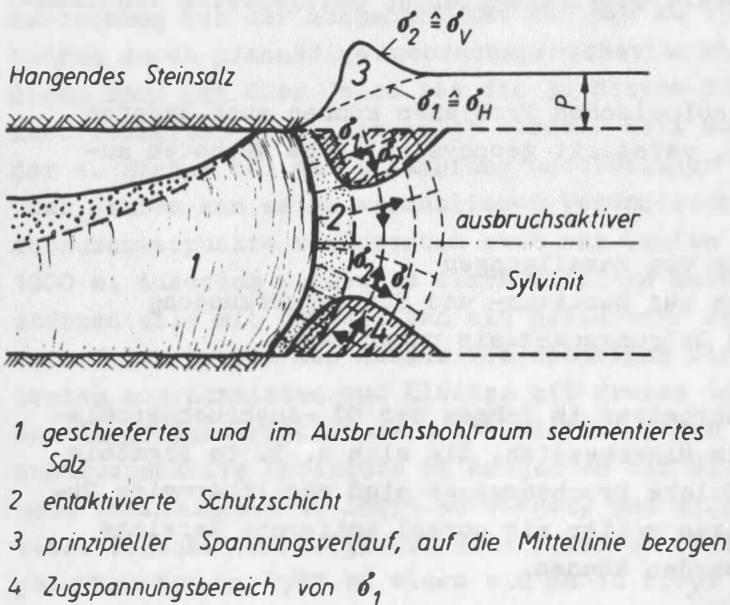


Abb. 1: Prinzip der Spannungsverteilung und Verlauf der Hauptspannungstrajektorien am Rand von Ausbruchshohlräumen (GIMM /5/)

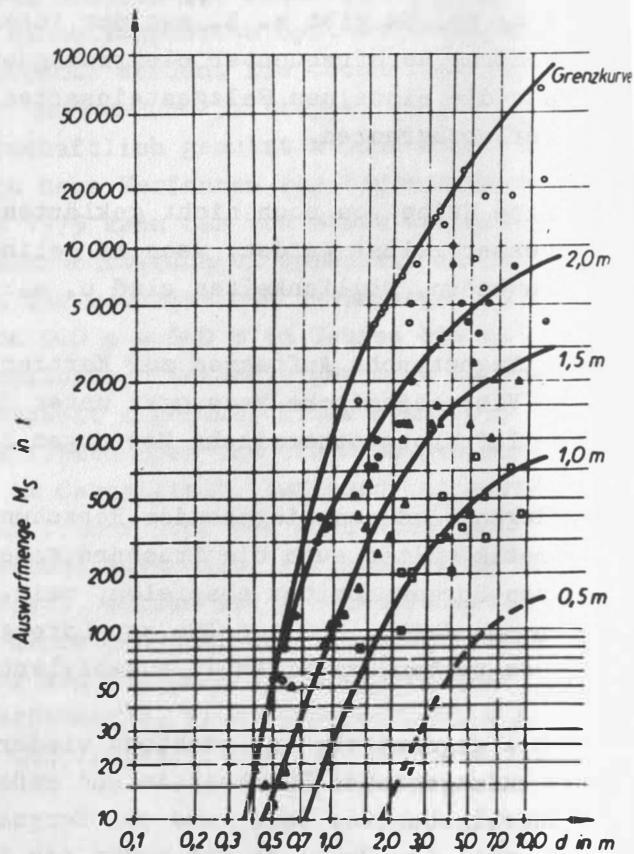


Abb. 2: Auswurfsmenge M_s als Funktion der Größe der Ausbruchsöffnung und der durchschnittlichen Mächtigkeit des ausbruchsaktiven Lagers (ECKART /

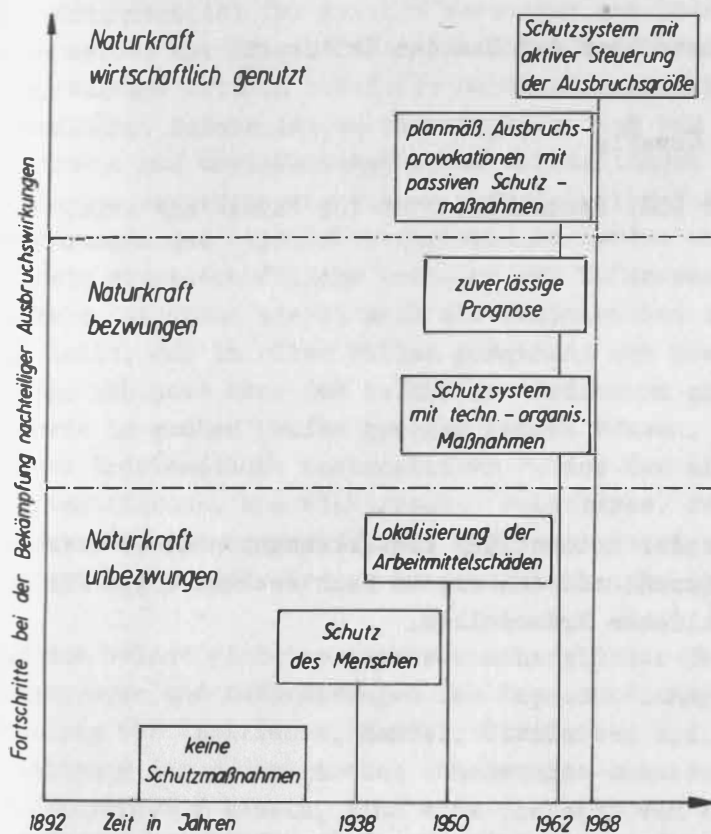


Abb. 3: Hauptetappen der Entwicklung bei der Bekämpfung nachteiliger Ausbruchswirkungen (ECKART /1/)



Abb. 4: Prof. Dr.-Ing. Werner Gimm

Entwicklung der Vorstellungen über den Bau des Erdinnern

G. Kowalle

Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Physik der Erde,
1500 Potsdam, Telegrafenberg

Zusammenfassung

Es werden die hauptsächlichen Stufen bei der Entwicklung des Erkenntnisstandes über den Bau des tiefen Erdinnern dargelegt, beginnend mit den ersten Dichteverteilungen für das Innere der Erde bis zu den heute gebräuchlichen Erdmodellen.

Summary

There are given the main steps in the development of the knowledge about the structure of the deep Earth's interior beginning by the first density distributions for the interior of the Earth and ending by the recent models of the Earth.

Резюме

Рассматриваются главные шаги в развитии знаний о строении глубоких недр Земли, начиная с первых представлений о распределении плотности Земли и кончая современными моделями Земли.

Das Erdinnere ist für direkte Messungen und Untersuchungen unzugänglich. Auch heute noch werden nur die obersten Schichten durch Bergwerke und Tiefbohrungen aufgeschlossen. Vulkane bringen ebenfalls Material aus vergleichbar geringen Teufen an die Erdoberfläche. Daraus ist es verständlich, daß bis in das 19. Jahrhundert hinein phantastische und unwissenschaftliche Vorstellungen über das Erdinnere das Weltbild bestimmten. Ausgehend von diesen prinzipiellen Schwierigkeiten und den konkreten Anforderungen des Reproduktionsprozesses wurden erst in den letzten Jahrhunderten geeignete wissenschaftliche Methoden zur Erforschung der Struktur unseres Planeten entwickelt. In ihnen stellt sich als Hauptproblem die Lösung inverser Aufgabenstellungen. Das heißt, daß in allen Fällen ausgehend von Beobachtungen an oder nahe der Erdoberfläche Schlüsse über den Aufbau des Erdinnern und die physikalischen Eigenschaften der Materie in großen Teufen gezogen werden müssen. Zur Lösung dieser Aufgaben werden die an der Erdoberfläche beobachtbaren Felder der elastischen Deformation, der Schwere, der magnetischen und elektrischen Feldstärke, des Wärmeflusses und der Temperatur untersucht. Als wesentlichster Informationsträger erwies sich dabei das seismische Wellenfeld, worauf wir uns im wesentlichen konzentrieren wollen.

Auf dem Gebiet globaler geowissenschaftlicher Untersuchungen entstand aus den konkreten Bedingungen und Anforderungen des Reproduktionsprozesses, insbesondere durch die Entwicklung von Schifffahrt, Handel, Straßenbau u.ä., als erstes die Notwendigkeit zur Bestimmung der geometrischen Abmessungen unseres Planeten. Vom Altertum bis in das 17. Jahrhundert hinein, sind eine Vielzahl von Versuchen bekannt, die Bogenlänge zu bestimmen, wobei recht beträchtliche Genauigkeiten erzielt werden konnten.

Einen bedeutenden Beitrag in methodischer Hinsicht leistete NEWTON. Durch die Erarbeitung seiner Gravitationstheorie gab er der Wissenschaft ein wirkungsvolles Instrument zur Untersuchung des Erdinnern. Damit wurde es möglich, die Masse, die mittlere Dichte und Abplattung der Erde zu bestimmen. Ausgehend von seinen Arbeiten traf NEWTON eine geniale Aussage: "... Unabhängig davon wie die Planeten entstanden sind, wird sich in der Zeit, als sie noch flüssige Massen waren, das dichtere Material in ihrem Zentrum abgesetzt haben. Und darum ist die gewöhnliche Materie auf der Oberfläche unserer Erde etwa zwei Mal schwerer als Wasser, und etwas tiefer in Bergwerken befindet sich Material, das drei, vier und sogar fünf Mal schwerer ist. Sicher, - und besonders nachdem ich gezeigt habe, daß die Erde etwa vier Mal so dicht wie der Jupiter ist - kann die Menge des gesamten Materials in der Erde 5 oder 6 Mal so groß sein, als wenn sie es wäre, wenn sie insgesamt aus Wasser wäre." (Zitat nach BULLEN, 1975)

Die weitere Erforschung der Figur und des Schwerefeldes der Erde ist mit so bedeutenden Wissenschaftlern wie HEUGENS, EULER, GAUSS, BESSEL und BOUGUER verknüpft. Während einer Chileexpedition (1737 - 1740) unternahmen BOUGUER und seine Mitarbeiter erstmals den Versuch, ausgehend von den in der Nähe eines großen Berges beobachteten Lotabweichungen die mittlere Dichte der Erde zu bestimmen. Dieses Experiment bildete den Ausgangspunkt für eine Vielzahl ähnlicher Unternehmungen im 18. und 19. Jahrhundert.

So bestimmten beispielsweise MASKELYNE (1772) eine mittlere Dichte für die Erde von $4,5 \text{ g/cm}^3$, HUTTON (1821) - $4,91 \text{ g/cm}^3$, JAMES & CLARKE (1855) $5,3 \text{ g/cm}^3$. PRATT sowie AIRY (1855) zeigte, daß aufgrund von Dichtekompensation in der Tiefe Lotabweichungen nur bedingt Bestimmungen der mittleren Erddichte gestatten.

Zur Bestimmung der Masse unseres Planeten benutzt CAVENDISH im Jahre 1798 eine Torsionswaage, die von MITCHELL entwickelt worden war. Als mittlere Dichte der Erde bestimmte er einen Wert von $5,448 \text{ g/cm}^3$. Dieses Ergebnis konnte durch eine Vielzahl weiterer Experimente bestätigt werden. (POYNTING; BOYS; EÖTVÖS)

Nachdem die Masse und mittlere Dichte der Erde bekannt waren, mußte das Problem der Dichteverteilung in ihr gelöst werden. Hierzu mußte das Trägheitsmoment der Erde bestimmt werden. Die theoretischen Grundlagen hierfür erarbeiteten CLAIRAUT, RADAU, LEGENDRE und LAPLACE.

Ende des 18. anfang des 19. Jahrhunderts lösten unabhängig voneinander LEGENDRE und LAPLACE die CLAIRAUT-Gleichung für die Dichteverteilung in der Erde. Sie erhielten folgende Abhängigkeit der Dichte vom Radius r

$$\rho = \rho_0 (Ar)^{-1} \sin Ar \quad 0 \leq r \leq a \quad (1)$$

Für die Dichte an der Erdoberfläche erhielten sie einen Wert von $\rho_a = 2,55 \text{ g/cm}^3$ und für das Erdzentrum $\rho_0 = 11,29 \text{ g/cm}^3$. ROCHE (1848) errechnete eine quadratische Abhängigkeit der Dichte vom Radius

$$\rho = \rho_0 (1 - k r^2) \quad (2)$$

Für die Erdoberfläche erhielt er $\rho_a = 2,18 \text{ g/cm}^3$ und den Mittelpunkt der Erde $\rho_0 = 10,53 \text{ g/cm}^3$. DARWIN (1884) gab eine Abhängigkeit der Dichte vom Radius in folgender Form:

$$\rho = Ar^{-n} \quad (3)$$

1885 stellte RADAU ein Erdmodell mit einem dichteren Kern, der von einem homogenen Mantel umgeben war auf. Die Dichte des Mantels betrug $2,7 \text{ g/cm}^3$, die des Kerns - $7,47 \text{ g/cm}^3$, wobei die Kern-Mantel-Grenze in einer Tiefe von 994 km lag.

WIECHERT berechnete 1897 ein ähnliches Modell mit folgenden Parametern: die Dichte des Mantels beträgt $3,2 \text{ g/cm}^3$, die des Kerns - $8,21 \text{ g/cm}^3$. Der Kernradius hat einen Wert von $0,779a$, was einer Tiefe von 1408 km entspricht. Dieses Modell erhielt eine sehr weite Verbreitung und bei der Aufstellung neuer Dichtemodelle unserer Erde mußte somit auch Modelle mit Kern zugelassen werden.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß die Arbeiten zur Struktur der Erde im 19. Jahrhundert durch eine intensive Anwendung der Methoden der mathematischen Analyse gekennzeichnet waren, um so aus dem sehr begrenzten Beobachtungsmaterial einen maximalen Erkenntniszuwachs zu erzielen. Viele der in dieser Zeit aufgestellten Theoreme und Modelle besitzen für uns heute nicht nur historischen, sondern auch methodischen Wert.

Ausgehend von der Theorie der elastischen Kontinua wurden bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts die Grundlagen für die Theorie der Ausbreitung elastischer Wellen in homogenen und isotropen Körpern durch POISSON und CAUCHY gelegt. 1885 wies Lord RAYLEIGH theoretisch die Existenz von seismischen Oberflächenwellen in einem isotropen Halbraum nach. KNOTT (1888) sowie ZÖPPRITZ (1907) berechneten Reflexions- und Transmissionskoeffizienten für den Einfall ebener elastischer Wellen auf eine ebene Grenzschicht. Diese Arbeiten bildeten die theoretischen Voraussetzungen für eine Interpretation von Aufzeichnungen seismischer Wellen. 1889 gelang REBEUR-PASCHWITZ erstmalig die Aufzeichnung eines Fernbebens in Potsdam und Wilhelmshafen. Damit war der experimentelle Nachweis erbracht, daß sich der Erdkörper in erster Näherung wie ein elastisches Medium verhält. Beginnend mit diesen ersten Beobachtungen war man bestrebt, die seismologischen Daten zur Gewinnung von Erkenntnissen über die Struktur der Erde zu nutzen. Ein glänzendes Ergebnis dieser ersten Registriererfolge war das Auffinden von verschiedenen Einsätzen im Seismogramm, insbesondere des P- und S-Welleneinsatzes, die durch LAMB theoretisch für die Wellenausbreitung im elastischen Halbraum vorausgesagt worden waren. Zum erklärten Ziel der Seismologen wurde es, alle im Seismogramm erkennbaren Einsätze zu erklären.

Mit der Entwicklung leistungsfähigerer Seismographen wurde in Europa, Japan, Rußland, den USA die systematische instrumentelle Beobachtung von seismischen Wellen aufgenommen. Bei der Untersuchung der seismischen Wellenausbreitung entstand zunächst die Aufgabe, Laufzeitkurven über einen weiten Entfernungsbereich aufzustellen. Ihren Höhepunkt erreichten diese Arbeiten mit der Aufstellung der Laufzeitkurven von JEFFREYS und BULLEN (1940). Gleichzeitig mit der Erarbeitung von Laufzeittabellen wurde der Versuch unternommen, diese in Aussagen über den Bau des Erdinneren umzusetzen.

Wie oben gezeigt, folgerte WIECHERT (1897) aus dem großen Unterschied zwischen der Dichte der Oberflächengesteine und der mittleren Dichte der Erde, daß die Erde einen schweren, wahrscheinlich aus Eisen bestehenden Kern besäße, und stellte sein bekanntes Dichtemodell auf. OLDHAM (1906) konnte durch seismologische Untersuchungen diese Hypothese stützen. Bei Laufzeituntersuchungen stellte er fest, daß die ersten Einsätze von sehr fernen Beben ($D > 120^\circ$) verspätet in Bezug auf eine extrapolierte P-Wellen-Laufzeitkurve eintreffen. Diese Tatsache wurde durch eine verringerte Ausbreitungsgeschwindigkeit seismischer Wellen im zentralen Teil des Erdkörpers gedeutet.

Bei der Analyse von Aufzeichnungen naher Beben, stellte MOHOROVICIC im Jahre 1909 einen starken Welleneinsatz fest, der nur gedeutet werden konnte, wenn man in ca. 30 km Tiefe eine Grenzschicht voraussetzt, an der diese Wellen geführt werden. Somit war der erste Nachweis der Existenz der Kruste-Mantel-Grenze, heute Moho genannt, erbracht.

Tiefenseismische und seismologische Untersuchungen der letzten Jahrzehnte vervollständigten unseren Kenntnisstand über den Kruste-Mantel-Übergang und lieferten wichtige Korrelationsbeziehungen zwischen seiner Ausbildung und Tiefenlage zur tektonischen Situation im Untersuchungsgebiet.

Ein großer methodischer Erfolg wurde errungen, als es HERGLOTZ (1907), WIECHERT, GEIGER (1910) sowie GALITZIN (1914) gelang, Verfahren auszuarbeiten, um gemessene seismische Daten in eine Geschwindigkeitstiefenverteilung umzusetzen. Das HERGLOTZ-WIECHERT-Verfahren stellt die klassische Inversionsmethode für seismische Laufzeitdaten dar. Unter Berücksichtigung einiger Voraussetzungen und Einschränkungen läßt sich die Laufzeitkurve $T(D)$ invertieren, indem man folgende Integralgleichung

$$\int_0^{D_1} \cosh^{-1} \left(\frac{p}{p_1} \right) dD = \pi \ln \left(\frac{R}{r_1} \right)$$

löst. Dabei bezeichnet $p = \frac{\sin i}{V(r)} = \frac{dT}{dD}$ den Strahlungsparameter oder die Ableitung der Laufzeitkurve, D - die Epizentralentfernung, r - den Radius, $p_1 = p(D_1) = \frac{r_1}{V(r_1)}$ mit $r_1 = r_{\min}$ für p . p muß dabei für alle Entfernungen D von 0 bis D_1 (Scheitelpunktentfernung) bekannt sein, oder anders ausgedrückt, wir müssen

- eine vollständige Laufzeitkurve $T(D)$ zur Verfügung haben und sie muß stetig differenzierbar sein.
- Die Laufzeitkurve darf keine Spitzen, Verzweigungen, Umkehrpunkte, Knicke und Wendepunkte aufweisen.
- Sie muß konkav, höchstens aber eine Gerade sein $\frac{d^2T}{dD^2} \leq 0$
- Die Laufzeitdaten sind nicht mit Meßfehlern behaftet.

Diese Forderungen setzen der Anwendbarkeit und Aussagefähigkeit des Verfahrens prinzipielle Schranken, insbesondere für low-velocity-Zonen, Bereiche mit großem Geschwindigkeitsgradienten $\frac{dv}{dr} > \frac{V(r)}{r}$, sowie die darunterliegenden Teufen. Hier ist es erforderlich, Zusatzbedingungen und -festlegungen in das Inversionsschema einzuführen.

Zur gleichen Methode gelangte GALITZIN (1914), indem er die Entfernungsabhängigkeit des Inzidenzwinkels der seismischen Wellen untersuchte. Damit bestimmte er experimentell die Ableitung der Laufzeitkurve und benutzte diese sofort als Ausgangsparameter für die Inversion. Es muß gesagt werden, daß er hierbei einen systematischen Fehler bei der Inzidenzwinkelbestimmung zuließ, da er den Einfluß der Reflexion der seismischen Wellen an der Erdoberfläche nicht berücksichtigte. Der Ansatzpunkt ist jedoch sehr interessant. Modifiziert finden wir ihn heute bei den an seismischen Arrays gebräuchlichen Ortungsverfahren wieder.

Trotz einiger methodischer Schwierigkeiten fand und findet das HERGLOTZ-WIECHERT-Verfahren in der Interpretationspraxis breite Anwendung (Abb. 1). Alle bis in die 60-iger Jahre aufgestellten Erdmodelle gründeten sich auf die Anwendung dieser Inversionsmethode. Zur Modellierung des Erdkerns bei bekannter Mantelstruktur fand sie beispielsweise Anwendung bei Gutenberg (1958) sowie ADAMS & RANDALL (1964), zur Bestimmung des Erdkernradius bei SACKS (1967).

Dieses Verfahren wurde in der zweiten Hälfte der 60-iger Jahre durch GERVER & MARKUSEVIC (1967), GEJKO (1970, 1974) weiterentwickelt. Von BESSONOVA, SITNIKOVA & FISMAN (1973, 1974) wurde es zu einem allgemeinen Inversionsschema ausgebaut, das außer der sphärischen Symmetrie der Erde und der Festlegung einer möglichen Minimalgeschwindigkeit in den low-velocity-Zonen keine weiteren Voraussetzungen bezüglich des Modells stellt. Es ermöglicht diskrete Laufzeitdaten zu invertieren und die Envelope der möglichen Geschwindigkeitsverteilungen zu bestimmen.

Mit Hilfe des HERGLOTZ-WIECHERT-Verfahrens gelang es GUTENBERG (1914) ausgehend von der bei 105° Entfernung beginnenden und sich bis 143° ausdehnenden Schattenzone für direkte P-Wellen die Tiefe der Kern-Mantel-Grenze mit $z = 2900$ km sowie die Größe der möglichen Geschwindigkeitsabnahme an dieser Grenzfläche zu bestimmen. Benutzt man diese Daten für die Dichteberechnung im Erdkern entsprechend dem WIECHERT'schen Modell, so erhält man $\rho_{\text{Kern}} = 12,04 \text{ g/cm}^3$ und für die Manteldichte $\rho_{\text{M}} = 4,27 \text{ g/cm}^3$ (Abb. 1).

Aus der Existenz von mehreren Welleneinsätzen im Entfernungsbereich $D > 145^{\circ}$, die als longitudinale Wellen den Erdkern durchlaufen haben, der Analyse ihrer Laufzeitkurve sowie dem Vorhandensein von Einsätzen von Longitudinalwellen im Bereich der Schattenzone wies 1936 LEHMANN die Existenz eines Innenkerns nach.

1939 leiteten JEFFREYS sowie GUTENBERG & RICHTER basierend auf neuen, von ihnen aufgestellten Laufzeittabellen Erdmodelle her. JEFFREYS benutzte dabei für die Aufstellung seines Modells geglättete Laufzeitkurven und beseitigte somit einige Parameter bei der Inversion.

Für Regionen mit anomalem Geschwindigkeitsgradienten setzte er eine Proportionalität zwischen Geschwindigkeit und Tiefe voraus.

Die Unterschiede zwischen den Modellen von JEFFREYS und GUTENBERG sind nicht sehr bedeutend und liegen innerhalb der Genauigkeit der benutzten Laufzeittabellen. Aufgrund der oben geschilderten methodischen Schwierigkeiten bei der Inversion sind die Abweichungen im oberen Mantel sowie im Erdkern, besonders beiderseits der Innenkerngrenze größer als in den anderen Bereichen des Erdmodells.

Eine der bedeutendsten Leistung in der Seismologie war die Aufstellung der Laufzeitkurven von JEFFREYS und BULLEN (1940). Sie basierten auf einer großen Datenmenge und wurden durch einen statistischen Ausgleich und Glättung bestimmt. Mit ihnen stand den Seismologen ein vollständiger Satz von Laufzeitkurven für die hauptsächlich seismischen Wellen zur Verfügung. Jedem Laufzeitast wurde ein bestimmter Wellenweg im Erdinnern zugeordnet. Mit diesen Tabellen wurde die Aufstellung neuer, verbesserter Erdmodelle in Angriff genommen.

In den Jahren 1936 - 1942 erarbeitete BULLEN die Erdmodelle von Typ A. Er benutzte hierzu Radius, Masse und Trägheitsmoment der Erde sowie die JEFFREYS-BULLEN-Laufzeitkurven als Ausgangsdaten. Er erhielt die Tiefenverteilung der Dichte, des Kompressions- und Schermoduls, der Schwerebeschleunigung, des Druckes, der seismischen Geschwindigkeit sowie einiger weiterer Parameter. Mit diesem Modell wurde

erstmalig ein physikalischer Tiefenbau der Erde vorgelegt. Zwei dieser Modelle, die Modelle A und A' wurden bis in die 60-iger Jahre als ein Standardmodell der Erde angewandt. Diese Ausgangsinformation wurde im weiteren mit experimentellen und theoretischen Daten über die Kompressibilität K ergänzt. Hierzu zählen insbesondere Ergebnisse aus Schockwellenexperimenten und der Anwendung der finite-strain-Theorie. Sie führten zur Aufstellung BULLENS k - p -Hypothese, wonach die Kompressibilität für Materialien des Erdinneren bei Drücken, wie sie im unteren Mantel und Erdkern vorherrschen, materialunabhängig ist. Ausgehend davon wurden die Erdmodelle vom Typ B aufgestellt. Aus ihnen konnten Schlüsse über den Grad der chemischen Homogenität des Materials in bestimmten Tiefenbereichen sowie darüber, daß der innere Erdkern fest ist, gezogen werden.

Durch die Verbesserung der Stationsausrüstung und Erweiterung der Stationsnetze sowie des internationalen Datenaustausches konnten Quantität und Qualität des seismologischen Datenmaterials wesentlich erweitert werden. Das führte zur Aufstellung weiterer, verbesserter Erdmodelle, in denen die Hauptzüge der BULLENSchen Modelle erhalten blieben, jedoch Details im Bereich des oberen Erdmantels und Erdkerns Änderung erfuhren (Abb. 2).

Die Einbeziehung von Oberflächenwellendaten führte zur Verbesserung der Modellvorstellungen über den Bau des Erdmantels. In Abhängigkeit vom Ausbreitungsweg der Oberflächenwellen konnte eine Regionalisierung des Baus des oberen Mantels in Angriff genommen werden. Dabei zeigte es sich, daß Kruste und oberer Mantel für kontinentale und ozeanische Bereiche einen unterschiedlichen Aufbau besitzen, daß gebunden an die tektonischen Einheiten mehr oder weniger ausgeprägte low-velocity-Zonen im oberen Erdmantel existieren.

Durch die Erhöhung der Empfindlichkeit kurzperiodischer Seismographen wurde es möglich, im Entfernungsbereich $D < 143^\circ$ schwache Einsätze vor der Innenkernphase PKIKP zu identifizieren. Sie erhielten die Bezeichnung PKHKP oder Vorläufer zu PKIKP (ADAMS, RANDALL, 1964; QAMAR, 1973).

Man versuchte diese Einsätze mit zusätzlichen Laufzeitkästen zu korrelieren. Um diese zu erklären, war man gezwungen, eine oder mehrere Übergangszonen vom Außen- zum Innenkern anzunehmen. (Abb. 2) Sowohl laufzeit- als auch amplitudenmäßig konnten alle diese Modelle den Daten nicht in vollem Umfang gerecht werden. Mit der Möglichkeit der direkten Messung der Scheingeschwindigkeit einer Welle an einem seismischen Array stand den Seismologen ein Datum zur Verfügung, das der Erklärung der Vorläuferwellen zu PKIKP an einer oder mehrerer Zwischenschichten im Außenkern absolut nicht entsprach. Diese Vorläufer kamen am Registrierort nicht mit einem für diese Epizentralentfernung typischen Scheingeschwindigkeitswert an, sondern man fand Scheingeschwindigkeitsbereiche, in denen diese Wellen auftreten. Als mögliche Interpretation hierfür bot sich die Streuung seismischer Wellen im Bereich des Übergangs Mantel-Kern, in den tiefsten 200 km des Erdmantels, der D'' -Zone, an. Diese Hypothese konnte durch eine Vielzahl von Untersuchungen gestützt werden. Sie beseitigte auch einige Schwierigkeiten für die stoffliche Interpretation und die Dynamotheorie (CLEARY, HADDON, 1972; DOORNBOS, 1976).

Aus den Aufzeichnungen des Chile-Bebens 1960 sowie des Alaska-Bebens 1964 konnten erstmals Perioden von Eigenschwingungen der Erde extrahiert werden. Zusammen mit den Oberflächenwellendaten stellten diese eine wesentliche Erweiterung des seismischen Datenmaterials dar. Ihre Berücksichtigung verlangte Fortschritte auf dem Gebiet der Inversionstechniken.

Mit der Entwicklung der Computertechnik wurde die Berechnung einer großen Anzahl von Modellen möglich. Allgemeine Verbreitung fanden in den 60-iger Jahren trial-and-error-Verfahren. Sie basieren auf der Lösung der direkten Aufgabe für ein vorgegebenes Modell und dem Vergleich der errechneten "Daten" mit den Meßdaten.

Als wesentlichster Schritt in diesem Verfahren ist die Parametrisierung des Modells anzusehen. Die Modellparameter werden so lange variiert, bis man ein "erfolgreiches" Modell findet, für das die berechneten Daten innerhalb vorgegebener Fehlerschranken mit den Meßdaten übereinstimmen. Als effektiv erwies sich hierbei die Hedgehog- oder Ez-Methode. Die Suche nach dem Modell erfolgt hierbei systematisch.

Eine spezielle, formalisierte Variante des trial-and-error-Verfahrens ist die Monte-Carlo-Inversion (KEILIS-BOROK, YANOVSKAYA, 1967). Dabei werden statistisch ausgewählte Modelle anhand der Daten getestet. PRESS (1968, 1970, 1972) testete mehrere Millionen von Erdmodellen anhand von geophysikalischen Daten, wie Masse und Trägheitsmoment der Erde, Perioden der Eigenschwingungen, Dispersionskurven und Laufzeitdaten seismischer Raumwellen. Die Monte-Carlo-Inversion fand in mehreren Varianten bei der Modellierung des Erdinnern, insbesondere auch des Erdkerns breite Anwendung. Ein wesentlicher Nachteil dieser Methode besteht darin, daß sie sehr rechenzeitaufwendig ist.

Da das Laufzeitproblem in der Seismologie nicht linear ist, ist eine Inversion mit Schwierigkeiten verbunden. BACKUS & GILBERT (1967, 1968, 1970) linearisierten das Inversionsverfahren, indem sie zwischen dem Funktional δT_i , auch Daten genannt, und den physikalischen Parametern des Modells δv_i folgenden Zusammenhang voraussetzen

$$\delta T_i = \int_0^1 K_i(r) \delta v_i(r) dr, \quad 0 \leq r \leq 1$$

wobei $K_i(r)$ der Datenkern, δv_i eine kleine Änderung des Modells $v_i(r)$ und δT_i für die Laufzeit sind. Es wird ein iteratives Verfahren angewandt, wobei eine endliche Anzahl linearer Gleichungen zu lösen ist. Da die Daten mit Meßfehlern behaftet sind, kann keine genaue Lösung bestimmt werden. Es werden geglättete Mittelwerte des gesuchten Modells abgeschätzt. Dabei steht ein Kriterium über das mögliche Auflösungsvermögen zur Verfügung.

Dieses Verfahren ist wesentlich effektiver als die Monte-Carlo-Methode und fand Anwendung bei der Inversion von Laufzeit-, Oberflächenwellen- und Eigenschwingungsdaten. Zur Inversion wurden $P_c P$ -P, $S_c S$ -S und Kernphasen, sphäroidale und toroidale Eigenschwingungen, die Masse und das Trägheitsmoment der Erde, sowie Dispersionskurven für Love- und Rayleigh-Wellen benutzt. Der Kernradius beträgt 3485 km und der des Innenkerns 1215 km. Die Scherwellengeschwindigkeit im Innenkern beträgt $3,5 \text{ km s}^{-1}$. (Abb. 3) (JORDAN, ANDERSON, 1974; ANDERSON, HART, 1976)

Aus planetologischer und kosmologischer Sicht spielt die Frage der Tiefenverteilung der seismischen Geschwindigkeiten und besonders ihre Umsetzung in stoffliche Modelle eine wichtige Rolle. Hierfür müssen weitere physikalische Parameter und Zustandsgleichungen herangezogen werden. Seismische Informationen wurden von KLUBMANN (1915), HAALCK (1925) zur Abschätzung der Dichteverteilung im Erdinnern genutzt. WILLIAMSON, ADAMS (1923) stellten für ein homogenes Medium ohne Phasenübergang unter hydrostatischem Druck und bei adiabatischem Temperaturgradienten eine als ADAMS-WILLIAMSON-Gleichung bekannt gewordene Gleichung für den örtlichen Dichtegradienten vor:

$$\frac{d\rho}{dz} = \frac{G m \rho}{r^2 \phi}, \quad \phi = v_p^2 - \frac{4}{3} v_s^2 = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_s$$

Die Voraussetzungen für diese Beziehung dürften in einigen Bereichen der Erde, besonders aber für den oberen Mantel, nicht gegeben sein. Trotzdem besitzt diese Gleichung für die Modellierung der Erde große Bedeutung.

ANDERSON (1967) stellte die seismische Zustandsgleichung auf

$$\frac{\rho}{M} = A \phi^n$$

durch die die Dichte, das mittlere Molekulargewicht \bar{M} und der seismische Parameter miteinander verknüpft sind. Zur Bestimmung der Konstanten A und n werden experimentelle Daten, insbesondere von Schockwellenexperimenten herangezogen.

Danach sind überhalb 800 km zwei Phasengrenzen von Pyroxen und Olivin möglich. Ausgehend davon, daß die Elementverteilung in der Erde der im Sonnensystem und der Galaxis entsprechen muß, werden zwei mögliche stoffliche Modelle für das tiefere Erdinnere, insbesondere den Erdkern diskutiert. RAMSEY (1948) schlug als mögliches Material für den Erdkern metallisierte Silikate vor. Die Silikate des Erdmantels erfahren im tiefen Erdinnern eine Reihe von Phasenübergängen, wobei die Dichte und elektrische Leitfähigkeit erhöht und die Schmelztemperatur herabgesetzt werden. Die Kern-Mantel-Grenze ist somit eine reine Phasengrenze wo zwei Phasenübergänge, der von fest zu flüssig und vom Halbleiter zum Metall erfolgen.

Andere Hypothesen, die vom größten Teil der Seismologen vertreten werden, besagen, daß der Erdkern aus einem Eisen-Nickel-Alloy mit Beimengung eines leichteren Elements, meistens Schwefel, bestehen.

Um einer dieser Hypothesen den Vorzug zu geben, sind Schlüsselexperimente und die Verknüpfung unterschiedlicher physikalischer Parameter erforderlich. Mit den Kugelmessungen bringt uns die Hochdruckphysik in den Bereich solcher Untersuchungen, jedoch bedarf es sicher noch starker theoretischer Anstrengungen, um zu klaren Aussagen zu gelangen.

In den letzten Jahren wurden mit Hilfe seismologischer Untersuchungen Indikationen für eine laterale Gliederung der Struktur der Erde bis in große Tiefen gefunden (VINNIK, 1976; SACKS, BEACH, 1974; DZIEWONSKI u.a., 1977). Ebenso zeigte es sich, daß man bei der Modellierung des Tiefenbaus der Erde anelastische Effekte berücksichtigen sollte, um so Diskrepanzen, wie sie beim Vergleich von Erdmodellen aus Raumwellen und Eigenschwingungsdaten aufgetreten waren, zu beseitigen (ANDERSON, HART, 1976; 1978).

Die Untersuchung dieser komplizierten Probleme der seismischen Wellenausbreitung erfordert die verstärkte Anwendung digitaler Bearbeitungs- und Interpretationsverfahren. Mit dem breiten Übergang zur Digitalseismometrie werden auch unsere Erkenntnisse über den Tiefenbau der Erde eine weitere Entwicklung erfahren.

- ADAMS, R.D.; M.J. RANDALL, The fine structure of the Earth's core.
Bull. Seism. Soc. Am. 54 (1964), 1299-1313.
- ANDERSON, D.L., A seismic equation of state.
Geoph. J. R. astr. Soc. 13 (1967), 9-30.
- ANDERSON, D.L.; R.S. HART, An Earth model based on free oscillations and body waves.
Journ. Geoph. Res. 81 (1976), 1461-1475.
- ANDERSON, D.L.; R.S. HART, Attenuation models of the Earth.
Phys. Earth Planet. Int. 16 (1978a) 289-306.
- ANDERSON, D.L.; R.S. HART, Q of the Earth.
Journ. Geoph. Res. 83 (1978b), 5869-5882.
- BACKUS, G.E.; F.J. GILBERT, Numerical application of a formalism for geophysical inverse problems.
Geophys. J. R. astr. Soc. 13 (1967), 247-276.
- BACKUS, G.E.; F.J. GILBERT, The resolving power of gross Earth data.
Geophys. J. R. astr. Soc. 16 (1968), 189-205.
- BACKUS, G.E.; F.J. GILBERT, Uniqueness in the inversion of inaccurate gross Earth data.
Phil. Trans. Roy. Soc. /Series A/, 226 (1970), 123-192.
- BESSONOVA, E.N.; G.A. SITNIKOVA; V.M. FISMAN, Novyj metod interpretacii godografov refragirovanyh voln (Metod).
Dokl. Akad. Nauk 211 (1973), 4, 836-839.
- BESSONOVA, E.N.; G.A. SITNIKOVA; V.M. FISMAN, Opređenje skorostnogo razreza po ogranichenomu naboru tocek godografa.
Teoret. Vycisl. Geofiz. 2 (1974), 91-100.
- BESSONOVA, E.N.; V.M. FISMAN; V.Z. RYABOYI; G.A. SITNIKOVA, The tan method for inversion of travel time - I. Deep Seismic sounding data.
Geophys. J. R. astr. Soc. 36 (1974), 377-398.
- BULLEN, K.E., The Earth's density.
Chapman and Hall, London, 1975.
- CLEARY, J.R.; R.A.W. HADDON, Seismic wave scattering near the core-mantle boundary: A new interpretation of precursors to PKP.
Nature 240 (1972), 5383, 549-551.
- DOORNBOS, D.J., Characteristics of lower mantle inhomogenities from scattered waves.
Geophys. J. R. astr. Soc. 44 (1976), 447-470.
- DZIEWONSKI, A.M.; B.H. HAGER; R.J. O'CONNELL, Large scale heterogenities in the lower mantle.
Journ. Geoph. Res. 82 (1977), 239-255.

- DZIEWONSKI, A.M.; A.L. HALES; E.R. LAPWOOD, Parametrically simple Earth models consistent with geophysical data.
Phys. Earth Planet. Int. 10 (1975), 12-48.
- GALITZIN, B., Vorlesungen über Seismometrie.
Teubner Verlag, Leipzig, Berlin, 1914.
- GEJKO, V.S., Opredelemie srednej i effektivnoj skorosti po godografu refragirovannoj volny pri proizvol'nom narastanii skorosh's glubinoj.
Fiz. Zemli, 1970, 3, 79-86.
- GEYKO, V.S., Inversion of seismic travel time curves.
Pure Appl. Geoph. 112 (1974), 1045-1049.
- GERVER, M.L.; V.M. MARKUSEVIC, Opredelemie po godografu skorosti rasprostranjenja sejsmiceskich voln.
Vycisl. Sejsm. 3 (1967), 3-51.
- GUTENBERG, B., Über Erdbebenwellen, VII A.
Nachr. Gesell. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Klasse (1914), 1-52.
- HAALCK, H., Über die Lagerung der Massen im Innern der Erde und deren Elastizitätskonstanten auf Grund der neuesten Ergebnisse.
Z. angew. Geophys. 1 (1925), 257-280.
- HERGLOTZ, G., Ueber das Benndorfsche Problem der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenstrahlen.
Phys. Z. 8 (1907), 145-147.
- JACOBS, J.A., The Earth's core.
Academic Press, 1975.
- JEFFREYS, H.; K.E. BULLEN, Seismological Tables.
London, 1967 (first edition 1940).
- JORDAN, T.H.; D.L. ANDERSON, Earth structure from free oscillations and travel times.
Geophys. J. R. astr. Soc. 36 (1974), 411-460.
- KEILIS-BORCK, V.I.; T.B. YANOVSKAYA, Inverse problems of seismology.
Geophys. J. R. astr. Soc. 13 (1967), 223-234.
- KLUSSMANN, W., Über das Innere der Erde.
Gerl. Beitr. Geophys. 14 (1915), 1-38.
- QAMAR, A., Revised velocities in the Earth's core.
Bull. Seism. Soc. Am. 63 (1973), 1073-1105.
- PRESS, F., Earth models obtained by Monte Carlo inversion.
Journ. Geoph. Res. 73 (1968), 5223-5234.
- PRESS, F., Regionalized Earth models.
Journ. Geoph. Res. 75 (1970), 6575-6581.

- PRESS, F., The Earth interior as inferred from a family of models.
in: "The nature of the solid Earth" ed. E. Robertson,
McGraw-Hill, 1972.
- SACKS, I.S., Diffracted P-wave studies of the Earth's core. 2. lower
mantle velocity, core size, lower mantle structure.
Journ. Geoph. Res. 77 (1967), 2589-2594.
- SACKS, I.S.; L. BEACH, Lateral heterogeneity at the base of the
mantle - an indication of whole mantle convection,
Carnegie Inst., Ann. Rep. 1973-1974 (1974), 1020-1032.
- VINNIK, L.P., Issledovanie mantii Zemli seismiceskimi metodami.
Nauka, Moskva, 1976.
- WIECHERT, E., Über die Massenverteilung im Innern der Erde.
Nachr. Gesell. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Klasse,
(1897), 221-243.
- WIECHERT, E., L. GEIGER, Bestimmung des Weges der Erdbebenwellen im
Erdinnern.
Phys. Z. 11 (1910), 294-311.
- WITTE, H., Beiträge zur Berechnung der Geschwindigkeit der Raum-
wellen im Erdinnern.
Nachr. Gesell. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Klasse,
(1932), 199-241.

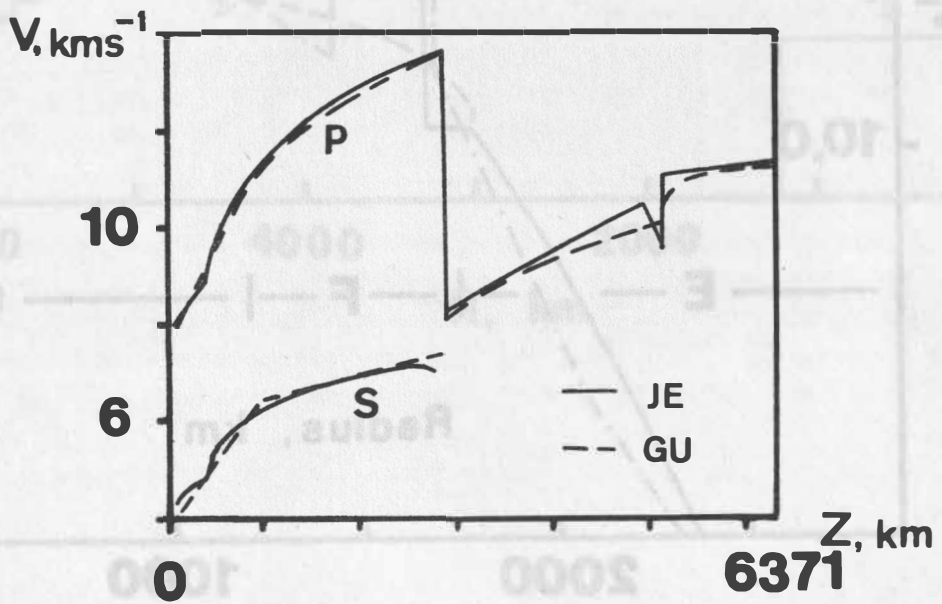
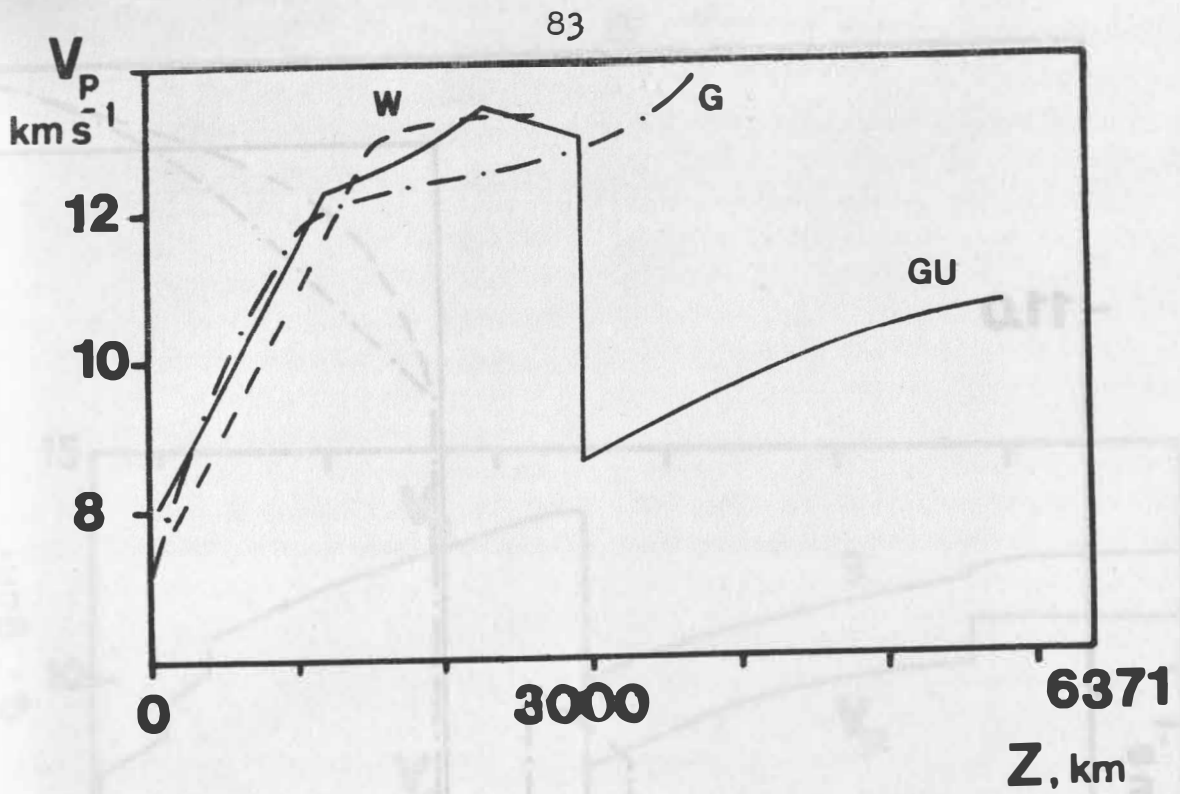


Abb. 1

Tiefenverteilungen der seismischen Geschwindigkeit in der Erde

oberer Teil der Abbildung: G - GALITZIN, 1919
 GU - GUTENBERG, 1912/1914
 W - WIECHERT, 1922

unterer Teil: Vergleich der Erdmodelle von JEFFREYS (JE) und
 GUTENBERG (GU)
 (P bezeichnet die Tiefenverteilung longitudinaler
 und S transversaler seismischer Wellen).

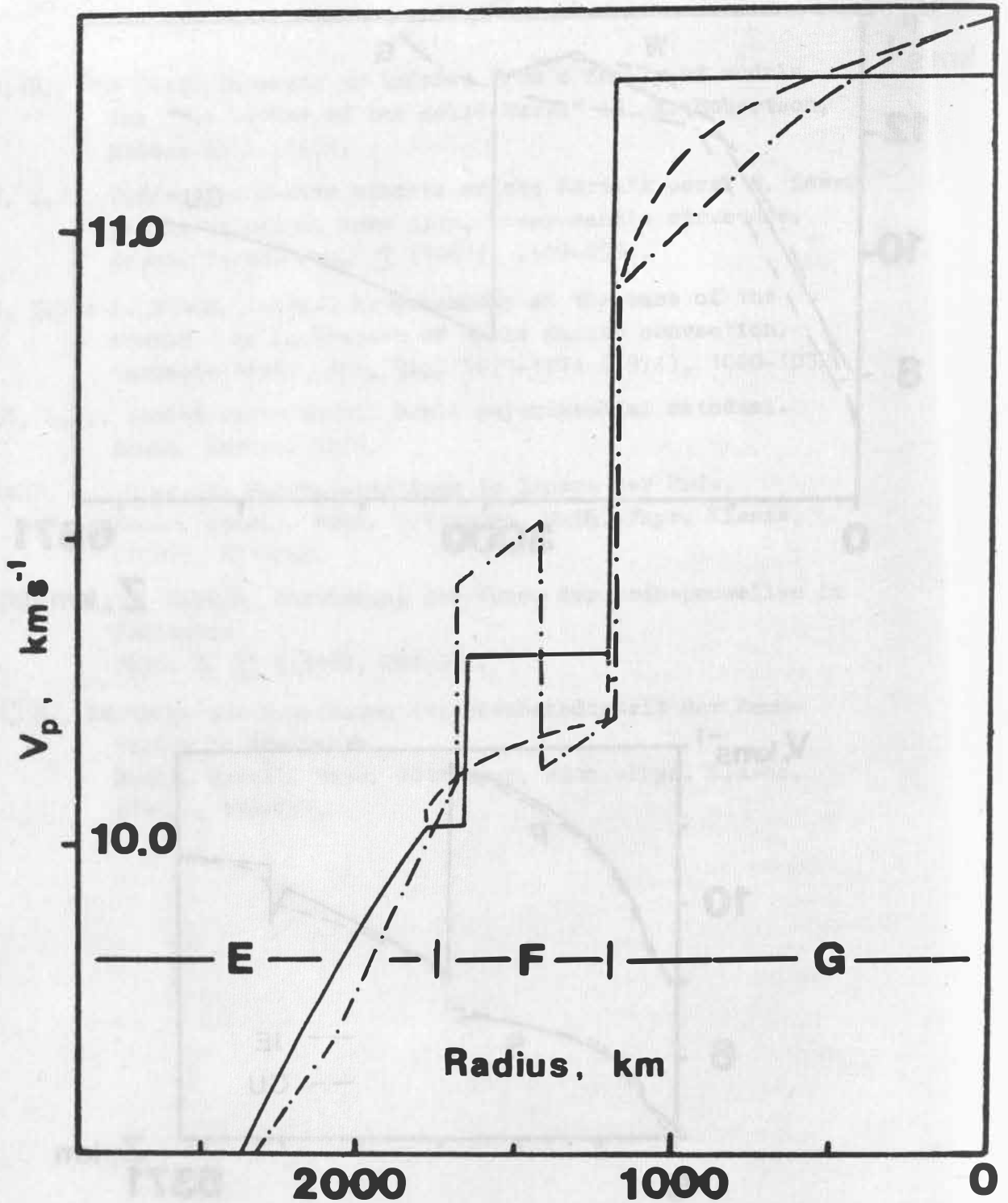


Abb. 2

Geschwindigkeitsverteilung im Bereich des Übergangs vom äußeren zum inneren Erdkern nach QAMAR (1973) (---), HADDON (1971) (-.-.-) und BOLT (1962) (—).

Die Buchstaben E, F, G kennzeichnen die Tiefenbereiche im Erdinneren nach der Nomenklatur von BULLEN.

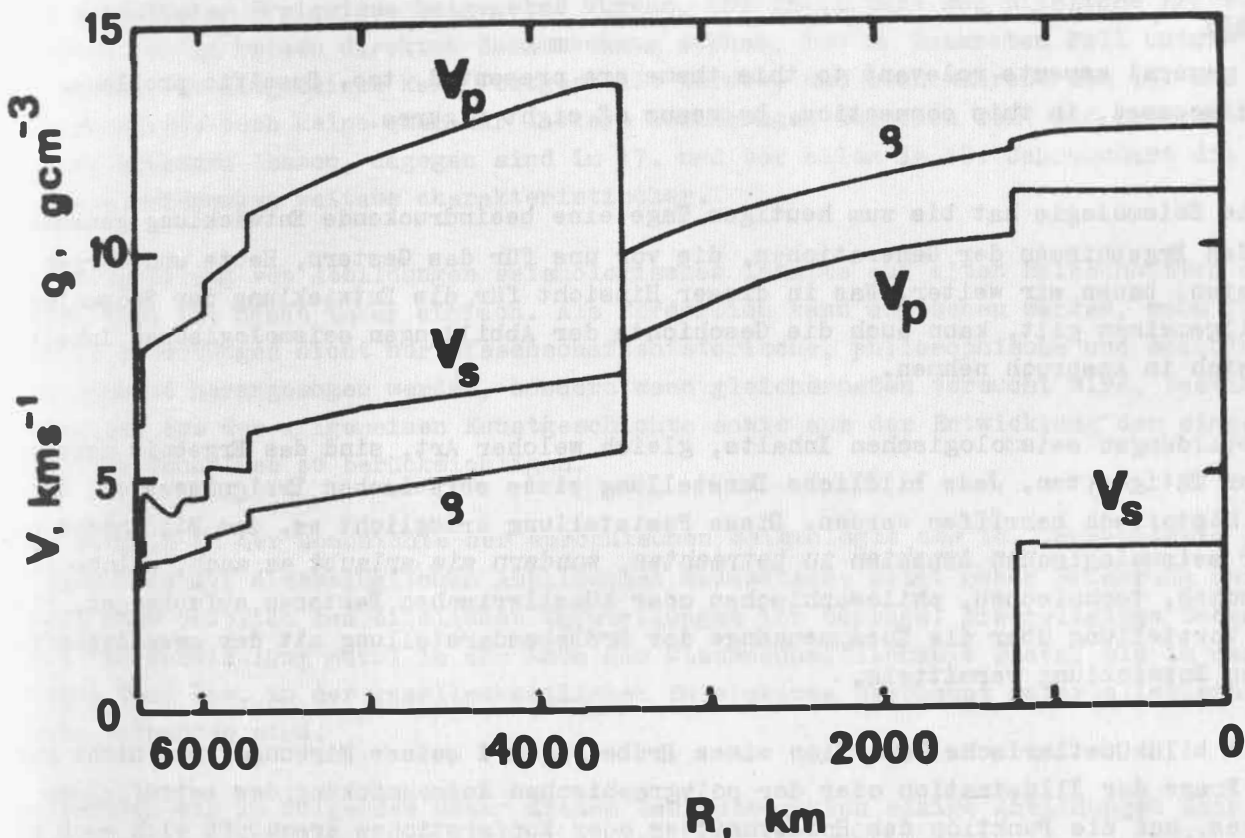


Abb. 3

Das aus Raumwellen-, Eigenschwingungs- und Oberflächenwellen-daten nach dem BACKUS-GILBERT-Verfahren gefundene Erdmodell B1 (JORDAN, ANDERSON, 1974).

Abbildungen seismologischen Inhalts in europäischen Drucken des 15. bis 18. Jahrhunderts

von

J. KOZÁK ¹⁾ und P. SCHMIDT ²⁾

Summary

Some general aspects relevant to this theme are presented, too. Specific problems are discussed, in this connection, by means of eight figures.

Die Seismologie hat bis zum heutigen Tage eine beeindruckende Entwicklung genommen. Auf den Ergebnissen der Generationen, die vor uns für das Gestern, Heute und Morgen arbeiteten, bauen wir weiter. Was in dieser Hinsicht für die Entwicklung der Seismologie im allgemeinen gilt, kann auch die Geschichte der Abbildungen seismologischen Inhalts für sich in Anspruch nehmen.

Abbildungen seismologischen Inhalts, gleich welcher Art, sind das Ergebnis menschlicher Tätigkeiten. Jede bildliche Darstellung eines seismischen Ereignisses muß deshalb historisch begriffen werden. Diese Feststellung ermöglicht es, das Bild nicht nur unter seismologischen Aspekten zu betrachten, sondern sie erlaubt es auch, solche ökonomischen, technischen, philosophischen oder künstlerischen Faktoren aufzuzeigen, die eine Vorstellung über die Zusammenhänge der Erdbebendarstellung mit der gesellschaftlichen Entwicklung vermitteln.

Die bildkünstlerische Reflexion eines Erdbebens und seiner Wirkungen ist nicht nur eine Frage der Illustration oder der polygraphischen Ausschmückung des betreffenden Druckes, und die Funktion des Holzschnittes oder Kupferstiches erschöpft sich auch nicht nur in der Erläuterung, Belehrung, Unterhaltung, Werbung oder ähnlichem. Eine Abbildung seismologischen Inhalts ist in erster Linie zeitgenössischer Ausdruck und Ergebnis der Auseinandersetzung des Menschen mit diesem Naturereignis. Durch die bildliche Darstellung ist es möglich, zusätzliche Informationen über das seismische Ereignis und die damit in Verbindung stehenden Fragen zu erhalten.

Die Art der Abbildung seismologischen Inhalts kann von sehr unterschiedlichen Faktoren beeinflusst werden. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit bei der Aufzählung dieser Faktoren erheben zu wollen, gehören dazu neben dem seismischen Ereignis selbst die Kenntnisse, Fertigkeiten und Fähigkeiten des Künstlers sowie die inhaltliche Gestaltung, die Kunstepoche (und damit der Zeitstil), die geographische Region, die Größe der Darstellung und der vorgesehene Käuferkreis. Produktion, Distribution und Rezeption bestimmen maßgeblich die künstlerische Umsetzung eines seismischen Ereignisses im Hochdruck-, Tiefdruck- oder Flachdruckverfahren.

1) Geofysikální Ústav ČSAV, ČSSR-14000 Praha 4 Spořilov, Boční II c.p. 1401

2) Bergakademie Freiberg, DDR-9200 Freiberg, Schließfach 47

Nicht immer ist die Abbildung seismologischen Inhalts für sich allein schon hinreichend aussagekräftig. Oft bedarf es vielmehr der Synthese von Wort und Bild. Ein Bild sollte deshalb nicht ohne dazugehörigen Text interpretiert werden, wenn der Kern der Sache exakt erfaßt werden soll. Andererseits, und das darf nicht übersehen werden, besitzt die Erdbebendarstellung aber auch eine relative Eigenständigkeit, was aus der Tatsache abzuleiten ist, daß z.B. mancher Holzschnitt oder Kupferstich ein "beachtliches Kunstwerk" sein kann. Ob eine lose Text-Bild-Beziehung besteht, ob das Bild durch drucktechnische Gestaltung ergänzt und erläutert wird, oder ob dem Text nur zufällige Bilder seismischer Ereignisse beigegeben wurden, und damit Text und bildliche Erdbebendarstellung in keinem direkten Zusammenhang stehen, muß im konkreten Fall untersucht werden. Im allgemeinen kann festgestellt werden, daß sich während des 15. und 16. Jahrhunderts noch keine oder nur lockere Beziehungen zwischen Text und Erdbebenabbildung erkennen lassen, dagegen sind im 17. und vor allem im 18. Jahrhundert die Bild-Text-Beziehungen weitaus charakteristischer.

Die Beurteilung von Abbildungen seismologischen Inhalts auf alten Holzschnitten oder Kupferstichen ist nicht immer einfach. Als förderlich kann angesehen werden, wenn für derartige Bewertungen nicht nur wissenschaftshistorische, philosophische und soziologische Aspekte herangezogen werden, sondern wenn gleichermaßen versucht wird, bestimmte Erkenntnisse aus der allgemeinen Kunstgeschichte sowie aus der Entwicklung der einzelnen graphischen Techniken zu berücksichtigen.

Der Umbruch in der Geschichte der europäischen Seismologie des 18. Jahrhunderts [5] läßt sich auch auf diesbezüglichen Abbildungen nachweisen: Jetzt geben Erfahrung und Vernunft sehr deutlich den bildlichen Darstellungen ihr Gepräge. Die religiöse Gebundenheit der Darstellung macht in dem Maße der Wissenschaftlichkeit Platz, wie im dazugehörigen Text bzw. in der gesellschaftlichen Entwicklung überhaupt materialistische Elemente vorhanden sind.

Betrachten wir im folgenden unter diesen Gesichtspunkten einige Abbildungen seismologischen Inhalts in europäischen Drucken des 15. bis 18. Jahrhunderts.

Die Weltchronik von HARTMANN SCHEDEL, erstmalig 1493 in lateinischer und deutscher Ausgabe bei ANTON KOBERGER (auch KOPERGER oder KOBURGER) in Nürnberg erschienen, vermittelt Vorstellungen von der Art der Erdbebenabbildung aus der Zeit, da der Buchdruck noch "in der Wiege" lag (Abb. 1). KOBERGER gilt als der bedeutendste Verleger der DÜRER-Zeit, seine mit mehr als 1800 Holzschnitten ausgestattete Weltchronik markiert einen Höhepunkt in der Entwicklungsgeschichte des frühen illustrierten Buches. Was die Erzählung vom Untergang Sodoms und Gomorras betrifft, so ist nach CAPELLE [1, S. 630] - wenn anders ihr ein historischer Kern zugrunde liegt - unzweifelhaft, daß hierbei heftige Erderschütterungen mitgewirkt haben. Wir erkennen am Baustil der eingestürzten Türme, daß die Darstellung in die Gotik gehört. Die Personen tragen mitteleuropäische Trachten. Das vom Erdbeben zerstörte Stadtbild ist frei erfunden. Als Vermengung von Phantasie und Wirklichkeit stellt der Holzschnitt ein Beispiel für eine Abbildung der Übergangsperiode vom Mittelalter zur Neuzeit dar. Die Erfindung des Buchdrucks schuf die Voraussetzung für die schnelle und weite Verbreitung der volkstümlichen Darstellung.



Abb. 1 Der Untergang von Sodom und Gomorra nach der SCHEDELSchen Weltchronik von 1493

Der Titelblatt-Holzschnitt des deutschsprachigen Gedichtes "Vom Erdpidem" aus dem Jahre 1511 (Abb. 2) beweist, daß nach zeitgenössischer Auffassung Erdbeben der göttlichen Allmacht unterlagen. Leseunkundigen war der Holzschnitt verständlich, denn auch ohne Text offenbart die bildliche Darstellung die gewünschte Beziehung zwischen der göttlichen Allmacht und der in diesem Fall noch nicht zerstörten Ortschaft im Hintergrund. Im Text des Gedichtes heißt es dazu u.a.:

"Gott hÿmel vnnd erd bschaffen hat
in seÿm gwallt vnnd hand alles bstat
Wenn er wil gats alles zu grund
darumb wir allzu aller stund
Gott den allmaechtigen bitten
das solchs übel bleÿb vermitten".

Wir erinnern an dieser Stelle auch an SEBASTIAN MÜNSTER (1489 - 1552) und seine berühmte *Cosmographia*. In dieser Chronik werden zahlreiche Erdbeben aus aller Welt beschrieben und nicht wenige derartige Naturereignisse auf Holzschnitten abgebildet. Kritisch ist freilich anzumerken, daß MÜNSTER zur Illustration der seismischen Ereignisse oft gleiche oder ähnliche Holzschnitte verwendete, was er auch dann tat, wenn es sich um Beben handelte, die in verschiedenen Zeiten und in unterschiedlichen Ländern stattfanden. Diese Verfahrensweise läßt einerseits auf den Verkauf der Druckstöcke schließen und zeigt andererseits, wie wenig zur damaligen Zeit die bildliche Darstellung eines Erdbebens mit dem diesbezüglichen Text sowie mit der betreffenden Zeit und der geographischen Region übereinstimmen mußte. WILSDORF und FRIEDRICH [6] haben sich in den Präludien zu AGRICOLA

ausführlich mit der bildlichen Darstellung von Erdbeben in SEBASTIAN MÜNSTERs Cosmographia beschäftigt sowie verschiedene Holzschnitte abgebildet, und da auch KOZÁK [3] einige Bilder aus diesem Werk wiedergibt, wird in der vorliegenden Publikation auf ihren nochmaligen Abdruck verzichtet.

Vom Erpidem Anno 1511 ten jar beschriben

Wie got die erd beschaffen hat
 auß seiner götlich mayestat
 Die mit seinem götlichem gwalte
 so lang dann sein will ist behalte
 Durch die Erpidem ytz erschelle
 nangen staeten paw eingefelle
 Das allen wie vor augen han
 goz als gepo: sein vnderthan



Abb. 2 Titelblatt-Holzschnitt von 1511

1582 erschienen in München beim dortigen Fürstlichen Hofbuchdrucker ADAM BERG "Etliche Tractaet" "Von Erdbiden", wobei auf dem Titelblatt eine Darstellung abgebildet wird, die der Blütezeit des Holzschnittes angehört (Abb. 3). Den gleichen Druckstock benutzte BERG 1591 noch einmal als schmückendes Beiwerk für das Titelblatt der "ErdbidemChronic Nach art eines Calenders / samt einem kurtzen bericht vonn Catalogo Autorum" des JOHANN RASCH. Auf dem Holzschnitt machen einstürzende Gebäude sowie Menschen, die betend auf dem Boden knien oder flehend ihre Hände zum Himmel recken, mit

dem Naturereignis bekannt. Die Haltung dieser Menschen ist kennzeichnend für ihre Stellung zum Erdbeben und charakteristisch für die Philosophie der damaligen Zeit. Der über dem Holzschnitt befindliche Text unterstreicht diese Feststellung, wie auch der abgebildete Komet Assoziationen zu Prodigien und damit zur Geschichte der Erdbebenprognose hervorruft. Der weltanschaulichen Reflexion derartiger Abbildungen begegnen wir in zahlreichen anderen Quellen wieder. Nicht ausgenommen sind davon handschriftliche Aufzeichnungen, die vermutlich MELCHIOR WERNER, ehemals Präfekt des Herzogs von Sachsen in Senftenberg (später Bautzen), auf den vorderen Spiegel des zweiten Bandes der 12bändigen Ausgabe von LUTHERS Werken (Wittenberg: HANS LUFFT 1557) schrieb, und der in der Stadt- und Kreisbibliothek Bautzen unter Signatur 8 4^o 2² aufbewahrt wird: "Anno 1590 den Sambstag nach Kreuzerhöhung welcher war der 15.tag Septembris gegen abendt umb 5 unndt 6 Uhr halhir ... zwey erschreckliche erdbeben gehabt, der folgenden nacht auch etliche, das sie alle häuser hefftig erschüttert haben, unndt man vermeinet der jüngste tag würde herein brechen, hat aber sonst Gott lob unndt Danck keinen schaden gethan alhir an steinen gebäuden, zur Wien aber hat es fünff Türn unndt sibem Kirchen, unndt sonst viel häuser eingerissen ... Gott verleyhe unns seine gnad, das wir uns ob diesem Wunder Zeichen unndt

Von Erdbiden/
Etliche Tractät/ alte vnd
neue / hocheleuchter vnd bewarter Scriben
 ten: inn welchen klärllich angezeiget/was dieselbigen jeder
 zeit gutes oder böses mitgebracht: Auch was darauß erfolget sey:
 Weil nach des Herrn Christi Weisung / zu den letzten zeiten, vil
 Erdbiden geschēhen sollen: Dier zeit jeder meniglich
 seye cröftlich vnd nützlich
 zu wissen.

Durch Iohan Rasch an tag geben.



Verdruckt zu Wittenberch bey Adam Berg.
 Mit Adam Berg: Freyheit nie nachzuerucken

Abb. 3 Titelblatt-Holzschnitt von 1582

buß Predigt bessern, undt nicht mit der Verstockten woldt verachten, in windt schlagen, unndt drüber verahren werden ... Den folgenden 18. Septembriss hat es wied ein erschrecklich erdbeben gehabt. Gott wolle uns umb seines Sones willen gnedig undt barmherzig sein".

Sehr interessant ist die Darstellung eines Erdbebens auf dem Kupferstich "Aertbeevinge tot JEDO" (Abb. 4). Diese Abbildung ist dem in Amsterdam 1669 erschienenen Buch des ARNOLD MONTANUS "Denckwuerdige Gesandtschafften der Ost=Indischen Gesellschaft in den Vereinigten Niederlaendern / an unterschiedliche Keyser von Japan" entnommen und kann als "seismologisches Beispiel" für die Tatsache verstanden werden, daß sich zu jener Zeit dem selbstbewußten europäischen Bürgertum neue Handelswege öffneten, womit u.a. der Wunsch sowie die wirtschaftliche und politische Notwendigkeit verbunden waren, über seismische Aktivitäten außerhalb Europas Informationen zu erlangen. Das war wichtig, denn "Die Welt / welche die Menschen bewohnen / wird abgeteilet in eine Bekante / Vnbekante / und Neue Welt". Neben wirtschaftlichen und politischen Interessen war es natürlich auch ganz einfach naturwissenschaftliche Neugier, die die bildliche Darstellung des Erdbebens als geeignet erscheinen ließ. Der Text korrespondiert mit dem Kupferstich u.a. wie folgt: Die Erde "begunte ... unter ihnen ploetzlich zu zittern. Die Ruegel sprangen auf: die Balcken bewegten sich : die Mauren erschuetterten / und fielen ueber einen hauffen. Die Erfahrung / als Ausfinderin aller Dinge / bezeuget es / daß das schweerste Erdboeben im Lentzen und Herbste entstehet; weil in diesen Jahreszeiten die Daempfe am allermeisten aus den Erdbodem ueber sich steigen : da hingegen zur Sommerszeit die Erde / durch die Waerme geoeffnet / einen freien Ausgang den unterirdischen Winden verleihet. Bey Winterswetter ist das Erdreich geschlossen; und die Waerme zu schwach / ein grosses erschuettern zu verursachen ..." Weiter vorne bemerkt MONTANUS: "Die Japaner entsetzen sich vor dem Erdboeden ueberaus sehr : weil sie aus der erfahrung gelernet / daß dadurch gantze Berge in den Abgrund versuncken / gantze Doerfer und Staedte ueber einen hauffen geworfen / ja gantz uembgekehret / und gantze Landstriche verschlungen seynd. Als die Ruegel begunten aus ein ander zu schiessen / die Maueren zu wackeln / die Matten auf dem Bodem zu tantzen / die Taecher herunter zu stuertzen / ja die Heuser ueber einen hauffen zu fallen : da trug ein ieder sorge / bester massen sein Leben zu retten. Der schrick war ueberaus groß : und man dorfte sich auch nicht verwundern / daß er selbst die festesten Gemuechter bewegte : dan wer wolte nicht erschroecken / wan die festgegruendete Erde keinen festen Grund giebet? wan alles beginnet zu wackeln / zu zittern / und zu erschuettern? Der Feind kan / durch hohe Waelle / in seinem einfaller gehaemmet werden. Bey harten stuermen kan man in den Haefen eine sichere zuflucht finden. Den Feuers bruensten vermag man aus dem Wege zu weichen. Die schaedlichen und giftigen Seuchen reumen wohl Menschen aus den Staedten / doch die Staedte selbst nicht weg. Aber das Erdboeben wirfet wohl in grundlose Koelcke und Gruefte gantze Laender / Berge / Staedte und Doerfer / und lesset nichts darvon uebrig; oder bedeckt sie mit hohen Molshauffen so gar / daß man weder stiel noch staken darvon siehet. Und also werden oftmahls gantze Voelcker / mit grossen stuecken Erdbodems / zugleich begraben ...". "Vom Ursprunge des Erdboebens fuehren die Japaner unterschiedliche Meinungen. Die meisten haben hierbey ihre gewoehnliche grillen. Sie erdichten ein grosses Seewunder / daß mit seinem Schwantze dermassen an das Erdreich schluege / daß alles darvon krachte und zitterte ..."

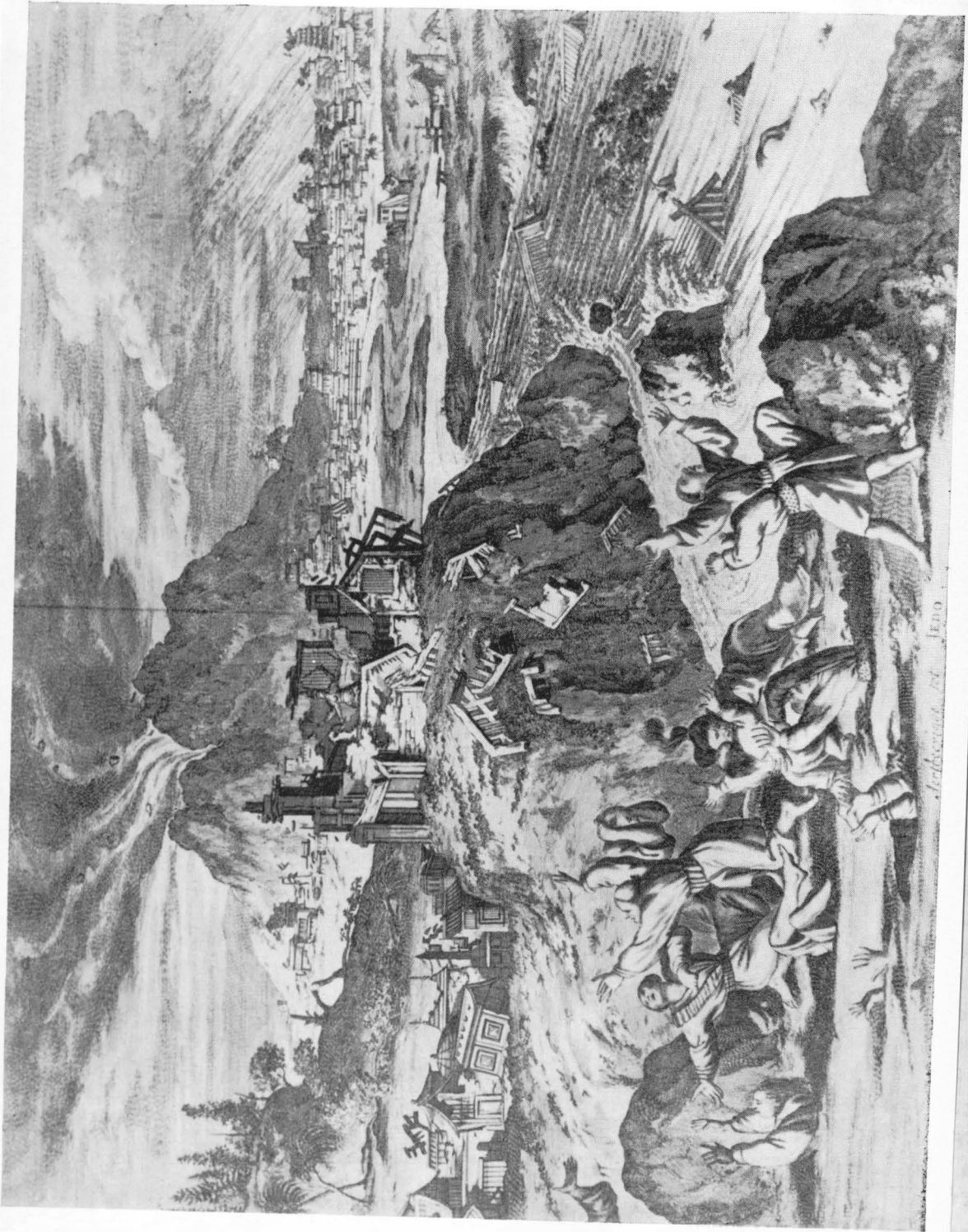


Abb. 4 Kupferstich auf das Erdbeben in Jedo 1650

Abbildung 5 bringt gleichfalls Licht in das Dunkel einer sich zunehmend der Aufklärung öffnenden Zeit. Wir erkennen neben heute als primär und sekundär zu bezeichnenden Schwingungsschäden konstruktiv bedingte Zerstörungen, Felsabbrüche, Feuer, Tsunami und ins Freie fliehende Menschen. Über der Darstellung steht in Form eines Hexa- bzw. Pentameters der Distichon: "Quae sors est miseris lapsu cum terra laborat / Et subito casu quae valuere ruunt".

Auf einem in Erfurt erschienenen Kupferstich wird die Ansicht des zerstörten Lissabon in Verbindung mit einer aufgerollten Karte dargestellt (Abb. 6). In dieser Kombination müssen wir den Versuch erkennen, das nach damaligen Vorstellungen nachgewiesene makroseismische Schüttergebiet des Lissaboner Erdbebens kartographisch abzubilden. Natürlich sucht man auf der Karte die heute üblichen Intensitätsangaben oder gar Isoseisten vergebens. Daß das Erdbeben außerhalb Portugals verspürt wurde, sollen die Personen am linken bzw. rechten Kartenrand unterstreichen. Dabei wird die makroseismische Wahrnehmung in Nordamerika durch die Darstellung eines "AMERICANER" symbolisiert, für die entsprechende Kennzeichnung in Nordafrika steht "ein Mohr". Der Europäer verweist mit der Linken auf die Karte, er schlägt damit gleichsam eine Brücke zwischen letzterer und dem "Schrecklich Erdbeben zu Lisabon", dem "Tobendes Meer" und dem "Zerborsten Gebürg". GÜNTHER [2] hat in seiner Veröffentlichung über die ersten Anfänge der seismisch-kartographischen Darstellung diesen Kupferstich leider nicht erwähnt.

Viele Kupferstiche, die das Lissaboner Erdbeben widerspiegeln, stellen Bilder des unzerstörten und des zerstörten Lissabon gegenüber. Manchmal geschieht dies auf ein und demselben Stich, manchmal benutzt der Künstler dazu auch zwei Stiche. Von der ersteren Möglichkeit gibt Abbildung 7 ein Beispiel. Der Dualismus solcher kontrastreichen und eindrucksvollen Gegenüberstellungen förderte die damals oft im physikotheologischen Gewand geführten Streitgespräche und füllte - nicht ungewollt - auch die Kasse des Verlegers.

Mit dem Aspekt der tätigen Sorge und Hilfe gegenüber den Erdbebengeschädigten macht Abbildung 8 bekannt. Die Männer- und Frauengestalten im Vordergrund, die Darstellung der Mutter-Kind-Beziehungen, die Reflexion der Rettungsaktion auf der Leiter sowie die gelungene Verteilung von Licht und Schatten sind geeignet, in Verbindung mit der Bildunterschrift nicht nur die Kunde vom zerstörten und brennenden Lissabon in die Welt zu tragen, sondern auch an die Stelle der Aufregung aktives und organisiertes Handeln zu setzen. Zwischen der humanistischen Aussage des Bildes und dem Text gibt es keinen Gegensatz. Bild und Text bilden eine Einheit. Der vortreffliche Zeichner und Kupferstecher CASPAR JOHANN WEINRAUCH fertigte die Darstellung 1793 an, das war im vierten Jahr nach der französischen Revolution von 1789 und fast 40 Jahre nach dem Lissaboner Erdbeben. Die lebensnahe Darstellung steht für die Gedanken des Tätigseins im Dienste des Menschen und geht damit konform mit den progressiven Ideen der Aufklärung am Ende des 18. Jahrhunderts. Ideengeschichtlich gehört dieses Bild in jene Epoche, in der VOLTAIRE (1694-1778), ROUSSEAU (1712-1778), LESSING (1729-1781), GOETHE (1749-1832), SCHILLER (1759-1805), KANT (1724-1804) und viele andere die humanistischen Gedanken aus der Antike und Renaissance aufgriffen und weiterentwickelten. Nicht zuletzt gehören hierher aber auch die von JOHANN GOTTFRIED HERDER herausgegebenen "Briefe zu Befoerderung der Humanitaet" (1793-1797).



DOI: <https://doi.org/10.2312/zipc.1981.064> Abb. 5 Darstellung eines Erdbebens aus einem unbekanntem Druck, Ende 17.Jh.



Abb. 6 Kupferstich auf das Lissaboner Erdbeben von 1755
(Erfurt: JOH. NONNENS sel. Wittib. 1756)

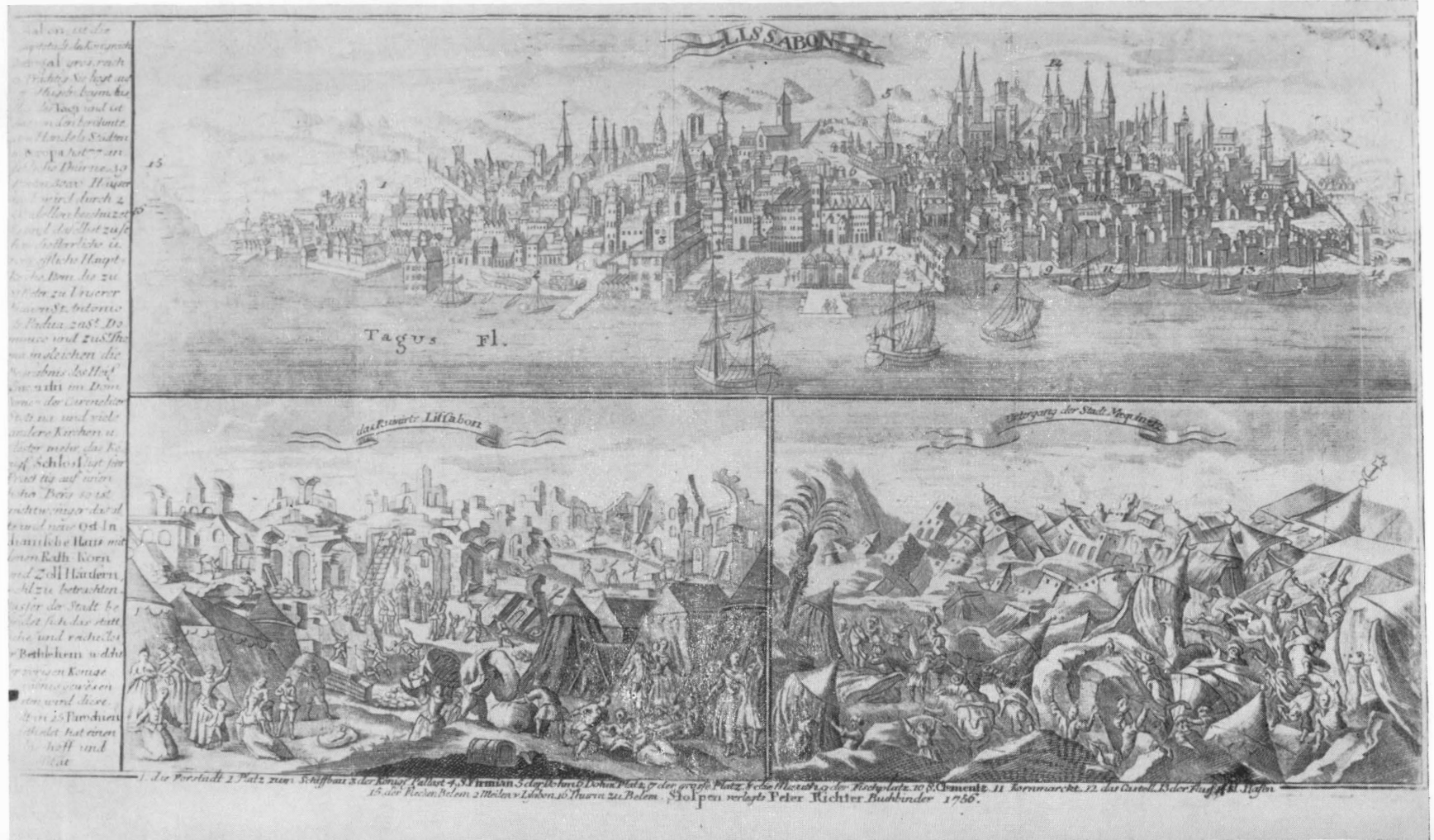




Abb. 8 Darstellung des Lissaboner Erdbeben von 1755 durch CASPAR JOHANN WEINRAUCH, 1793

Mögen wir heute über die Abbildungen seismologischen Inhalts in europäischen Drucken des 15. bis 18. Jahrhunderts schmünzeln - und wir tun das zu Recht - so sollten wir dabei doch stets auch daran denken: Diese Objekte sind Zeugnisse der Geschichte. Als solche gehören sie zu unserem Kulturerbe. Verfolgen wir diese Gedanken weiter, so müssen wir sagen, daß die bildkünstlerischen Reflexionen seismologischer Thematik aus unserer Zeit gewiß auch einmal von künftigen Generationen beurteilt werden. Denn wie das Gestern für uns Geschichte ist, wird das Heute morgen Geschichte sein.

Herrn Doz.Dr.sc.phil. EBERHARD NEUBERT (Bergakademie Freiberg) danken wir für verschiedene kunsttheoretische Hinweise. Herrn Dipl.-Germ. JOACHIM KEIL (Kleinwelka) sagen wir Dank für die Abschrift der zitierten Handschrift, freundlicherweise hatte uns diese Dipl.-Bibl. JOCHEN STOLLBERG (Dresden) vermittelt.

Literaturverzeichnis

- [1] CAPELLE, W.: Erdbeben im Altertum
Neue Jahrbücher klass. Altertum, Gesch.u.dt. Literatur, Leipzig 11 (1908).
S. 603-633
- [2] GÜNTHER, S.: Die ersten Anfänge seismisch-kartographischer Darstellung
Die Erdbebenwarte, Laibach 1 (1901) 3, S. 25-30
- [3] KOZÁK, J.: Die Darstellung von Erdbeben in alten europäischen Drucken
Geofys. Sbornik, Praha 23 (1975), S. 141-154
- [4] KOZÁK, J.; SCHMIDT, P.: Erdbeben-Abbildungen in alten Drucken
In: Thesen und andere Beiträge zum Kolloquium "Geschichte der Seismologie, Seismik und Erdzeitenforschung". Tagung vom 5. bis 7. Dezember 1979 in Eisenach. Hrsg. von P. SCHMIDT. Berlin: GGW 1979. S. 10
- [5] SCHMIDT, P.: Gedanken zum Umbruch in der europäischen Seismologie während des 18. Jahrhunderts
Z. geol. Wiss., Berlin 8 (1980) 2, S. 189-206
- [6] WILSDORF, H.; FRIEDRICH, J.: Die Bergbaukunde und ihre Nachbargebiete in der Cosmography des Sebastian Münster
Freib. Forschungshefte, Berlin D 5 (1954), S. 65-206

Zur Geschichte der Erforschung der Seismotektonik des Nordatlantik

von

P. Kühn¹⁾Zusammenfassung

Nach einem kurzen Überblick über die Erforschung der horizontalen Abmessungen und Tiefenverhältnisse wird die Geschichte der Erforschung der Seismotektonik der Ozeane skizziert und am Beispiel des Nordatlantik demonstriert. Die systematische Untersuchung von "submarinen Erdbeben und Eruptionen" beginnt Ende des 19. Jahrhunderts mit Arbeiten von E. RUDOLPH (1887 und 1895). Hingewiesen wird auf die grundlegenden Arbeiten von E. TAMS (1922 und 1927), A. SIEBERG (1908, 1921, 1922 und 1923), H. REHM (1932 und 1936) u. a. und eine Übersicht zu den Forschungsergebnissen im Zusammenhang mit der Entwicklung der neuen globalen Tektonik vermittelt.

Резюме

За коротким обзором исследования горизонтальных измерений и глубинных условий излагается история исследования сейсмотектоники океанов с демонстрацией на примере северной Атлантики. Систематическое исследование подводных "землетрясений и извержений" начинается с конца 19-го столетия в работах Э.Рудольфа (1887 и 1895). Даются ссылки на работы Э.Тамса (1922 и 1927), А.Зибберга (1908, 1921, 1922 и 1923), Х.Рема (1932 и 1936) и др., а также приводится обзор результатов исследований в связи с развитием новой глобальной тектоники.

¹⁾ Ministerium für Geologie der DDR, Zentrales Geologisches Institut,
DDR - 1040 Berlin, Invalidenstraße 44

1. Einleitung

Der Atlantische Ozean umfaßt - ohne Nebenmeere - eine Fläche von 84,11 Mio km². Das ist etwas weniger als 1/4 der Fläche des Weltmeeres, das mit 362 Mio km² 70,8 % der Erdoberfläche bedeckt. Mit seiner Fläche kommt der Atlantik etwa der Gesamtgröße von Europa, Asien und Afrika gleich. Die mittlere Tiefe des Atlantik wurde - ohne Berücksichtigung der Nebenmeere - zu 3844 m errechnet. Mit 323 Mio km³ Inhalt enthält der Atlantik rund 1/4 des Wassers des Weltmeeres. Hinsichtlich der seismischen Aktivität entfallen auf den Atlantik lediglich 1,6 % der zwischen 1904 und 1964 freigesetzten seismischen Gesamtenergie unserer Erde. Ziel dieses Beitrages ist es, die Geschichte der Erforschung der Seismotektonik der Ozeane zu skizzieren und am Beispiel des Nordatlantik zu demonstrieren.

2. Horizontale Abmessungen und Tiefenverhältnisse

Bereits um 1500 sind die horizontalen Abmessungen des atlantischen Raumes - besonders im Nordatlantik - im wesentlichen bekannt; jedes Kap, jede Insel und jede Bucht haben ihren Namen...Im Gegensatz dazu besitzen wir eine vollständige Übersicht zu den horizontalen Ausdehnungen des Weltmeeres in allen seinen Teilen erst am Ende des 18. Jahrhunderts. Der Atlantik war also bereits hinsichtlich seiner geographischen Erforschung in "Schrittmacherposition".

Heute gibt es durch die Seekartenwerke, die von den Hydrographischen Diensten der Anliegerstaaten ständig auf dem neuesten Stand gehalten werden, eine vollständige Übersicht zum Küstenverlauf des Weltmeeres, dargestellt in Karten mit Maßstäben 1 : 1000 000 bis 1 : 50 000 oder größer.

Ungleich unvollkommener ist derzeit noch das Wissen um die dritte Dimension der Meeresräume, um das Relief des Meeresbodens. Seit mehr als 100 Jahren gilt eines der Hauptinteressen der Ozeanographie der Entschleierung der Tiefen des Weltmeeres. Noch 1845 bemerkte A. v. HUMBOLDT in seinem "Kosmos", daß die Tiefe des Ozeans so gut wie unbekannt sei. Zuverlässige Tiefenwerte konnten erst gemessen werden, als die Lotungstechnik hinreichend ausgebildet war. Die erste Tiefseelotung mit 4435 m, die später als einwandfrei bestätigt werden konnte, stammt aus dem Jahre 1840. Die erste Tiefenkarte von einem Ozean überhaupt, die den Atlantik von 10° S bis 52° N umfaßte, wurde 1854 durch M. F. MAURY veröffentlicht.

Das zunächst wissenschaftliche Interesse am Relief des Meeresbodens fand eine schnelle Förderung durch praktische Bedürfnisse. Die transozeanischen Kabelverbindungen (ab 1858) wurden längs der geplanten Kabeltrassen - Punkt für Punkt - ausgelotet. Alle Tiefenwerte wurden systematisch gesammelt und für Tiefenkarten der Ozeane zusammengestellt. Musterwerke kartographischer Behandlung sind unter den älteren Darstellungen die Tiefenkarten der Ozeane im Maßstab 1 : 40 Mio von M. GROLL (1912) und die Tiefenkarte des Atlantischen Ozeans im Maßstab 1 : 20 Mio von T. STOCKS und G. WÜST (1935).

Die Einführung des Echolots leitete (nach 1919) eine neue Epoche der Erforschung der Tiefenverhältnisse ein: das erste transatlantische Profil wurde 1922 vermessen und die erste systematische Ablotung eines Ozeans wurde 1925/27 im Südatlantik von dem Forschungs- und Vermessungsschiff "Meteor" vorgenommen.

Die besten neueren Darstellungen der Tiefenverhältnisse sind die drei Ozeankarten des Staatlichen Geologischen Komitees der UdSSR aus den Jahren 1963/64. Diese Karten bildeten auch eine wesentliche Grundlage für den Atlas zur Ozeanographie (1968), der das gesamte Weltmeer einheitlich im Maßstab 1 : 25 Mio darstellt. Von 17 nationalen hydrographischen Diensten werden unter Koordinierung des Internationalen Hydrographischen Büros in Monaco, dem Weltdatenzentrum für Bathymetrie, Archivkarten (engl.: plotting sheets) im Maßstab 1 : 1 Mio herausgegeben und laufend präzisiert (IHB 1976). Karten größeren Maßstabs (1 : 500 000 bis 1 : 100 000 oder größer) sind nur als Spezialkarten von ausgewählten untermeerischen Objekten verfügbar (Kuppen, Bruchzonen etc.). Die Weltkarte 1 : 2,5 Mio der sozialistischen Länder zeigt das Meeresbodenrelief der Weltmeere erstmals einheitlich in diesem Maßstab, bedarf jedoch in einer künftigen 2. Auflage erhebliche Verbesserungen in der Darstellung des Meeresbodenreliefs (KANAEV, SUCHODREV 1977, HAAK 1969).

Die gegenwärtig modernste globale Darstellung des Meeresbodenreliefs im Maßstab 1 : 10 Mio ist die General Bathymetric Chart of Oceans (GEBCO), die in 5. Auflage (bis 1982 18 Karten) herausgegeben wird. Grundlage auch dieses Kartenwerkes sind die o. g. Archivkarten im Maßstab 1 : 1 Mio (NEWSON 1971, IHB-IOC 1977).

Weitgehend abgeschlossen ist auch ein internationales Seekartenwerk (INT-Karten) im Maßstab 1 : 3,5 Mio, das sich u. a. auch durch eine präzise Tiefenlinienführung auszeichnet, womit eine neuartige Navigation, und zwar nach dem Meeresbodenrelief möglich geworden ist, sofern natürlich ein Tiefseeecho lot vorhanden ist. Die INT-Karten sind bereits weitgehend nach Richtlinien der Internationalen Hydrographischen Organisation vereinheitlicht; für den Nordatlantik koordiniert diese Arbeiten die North Atlantic International Chart Commission (NAICC).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß heute moderne Ozeanboden-Kartenwerke existieren, die eine Übersicht zur Groß- und teilweise bereits zur Feingliederung des Meeresbodens nach dem Relief gestatten. Über Begriffe und Definitionen der ozeanischen Bodenformen wurde nach langwierigen Vorarbeiten 1971 eine internationale Übereinstimmung erzielt.

3. Seismologische Erforschung der Ozeane

3.1. Makroseismische Beobachtungen

Im Jahre 1881, zu einer Zeit also, als das Wissen über die Tiefen der Ozeane und die Ursachen der Erdbebentätigkeit noch sehr gering und die Geologie noch weitgehend in lokalen Untersuchungen befangen war, erschien in London ein sehr bemerkenswertes Buch von dem englischen Physiker und Geistlichen OSMONO FISHER: Physics of the earth's crust. FISHER entwickelte - unter Nutzung der modernsten geowissenschaftlichen Kenntnisse seiner Zeit - höchst revolutionäre Ideen zum Aufbau und zur Dynamik der Erdkruste. So vermutete er zum Beispiel als Ursache der japanischen Erdbeben, daß die ozeanische Kruste unter der Insel wegtauche... , daß die "Hochebenen" im Atlantik als Zentrum einer Spaltenbildung durch Aufstieg von Tiefenmagma, wie auch in Island, gebildet worden sind und daß der Motor der Bewegungen der Erdkruste Konvektionsströme seien, die in der Mitte der Ozeane Spannungen und an den Rändern Kompressionsvorgänge auslösen... . Fisher ging von Beobachtungen über die tatsächliche

Dynamik aus (Vulkanismus, Erdbeben etc.) und stellte ein befriedigendes Erklärungsmuster für die Gegenwart und Vergangenheit auf. Er erkannte bereits die entscheidende Rolle der Meeresböden in der Erddynamik und verlegte das Zentrum seines Modells von den Kontinenten auf die Ozeane. Das war eine völlige Umkehrung der geologischen Lehrmeinungen seiner Zeit... . Das Buch wurde deshalb auch weitgehend ignoriert und spielte in der Entwicklung der geologischen Wissenschaften keine wesentliche Rolle.

Die systematische Untersuchung von "submarinen Erdbeben und Eruptionen" beginnt Ende des 19. Jahrhunderts mit grundlegenden Arbeiten von EMIL RUDOLPH (1887, 1895). Der "seismische und vulkanische Zustand des Meeresbodens wird als von hoher Wichtigkeit für die noch ungelösten Fragen der Physik der Erdrinde" charakterisiert und andererseits sind die realen Wirkungen von Seebeben auf Schiffe von ganz praktischer Bedeutung für Besatzung, Ladung und Schiff. So steht am Beginn der wissenschaftlichen Bearbeitung von Seebeben das in unveröffentlichten Schiffsberichten aufgezeichnete Beobachtungsmaterial über Erdbebenwirkungen auf Schiffe und auf die Meeresoberfläche; d. h. die Auswertung von Archivmaterialien in den meteorologischen und hydrographischen Dienststellen der seefahrenden Nationen. Die Schiffsberichte über Seebeben erwiesen sich als sehr inhomogen und äußerst lückenhaft; Deutungsversuche in diesen Berichten führten meist zu nicht vorhandenen Untiefen etc. Es war also nicht leicht, aus diesen Unterlagen allgemeingültige Aussagen abzuleiten. Und doch konnten erste Gesetzmäßigkeiten herausgearbeitet werden, wie zum Beispiel:

- Die Dauer der Mehrzahl der beobachteten Seebeben liegt zwischen 1 ... 60 s; nur bei einzelnen Beben ist die Zeitdauer größer.
- Durch viele Beobachtungen belegt, wurde selbst bei stärksten Stößen nicht die geringste Erregung der Meeresoberfläche bemerkt; Seebeben bleiben meist unsichtbar, es treten jedoch Geräusche auf.
- Der Wasserkörper schwächt die untermeerischen Stöße stark ab und die Schütterfläche ist auf dem Meer im allgemeinen viel kleiner als bei Beben an Land.

Hinsichtlich der geographischen Verteilung der Seebeben weist E. RUDOLPH (1887) für 128 Beben zwischen 1724 bis 1886 im Gebiet des Nordatlantik "vier geschlossene habituelle Stoßgebiete" aus:

- die seismische Zone um den St. Paul Felsen und die äquatoriale Region
- die Azoren-Region
- die portugiesische Küste
- die Region von Westindien und Puerto Rico sowie Einzelherde.

Als nahezu seebebenfrei wird das Nordatlantische Becken charakterisiert.

Insgesamt ergibt sich eine große Differenz im Kenntnisstand zur Zahl von Erdbeben und Seebeben, zwischen denen damals noch mehr oder weniger streng unterschieden wurde.

Bei der Diskussion der "verschiedenen Ansichten über den Zustand der ozeanischen Erdrinde" geht E. RUDOLPH übrigens auch sehr ausführlich auf die Vorstellungen von

O. FISHER ein. RUDOLPH stellte 1895 auch die erste Skala zur Beurteilung von Seebebenstärken auf, die später durch AUGUST SIEBERG modifiziert wurde.

In der 1908 veröffentlichten morphologisch-seismischen Weltkarte kann A. SIEBERG erstmals einen Zusammenhang zwischen Seebeben und Relief und Tektonik des Meeresbodens für den Atlantik vermuten.

3.2. Mikroseismische Untersuchungen

Mit makroseismischen Beobachtungen konnten vor 1904 nur Weltbeben und eine Vielzahl der Großbeben lückenlos erfaßt werden. Durch die Entwicklung der instrumentellen Seismologie wurde die lückenlose Erfassung der Erdbeben ständig verbessert: Seit 1904 werden alle Beben mit Magnituden $M > 7,7$ erfaßt, seit 1918 solche $M > 7,0$ und seit 1930 solche $M > 6,0$ (BATH 1973). Heute erfaßt man alle Beben $M \geq 5$ und eine Vielzahl der Beben $M = 5 \dots 4$.

Die Ergebnisse der grundlegenden makroseismischen Arbeiten von E. RUDOLPH und A. SIEBERG werden für die Ozeane jedoch erst 1927 von E. TAMS durch die Auswertung von 84 Atlantikbeben, die seismometrisch zwischen 1908 bis 1926 registriert wurden, übertroffen. Die Bestimmung der Epizentren ist nunmehr auf $1/2 \dots 1$ Grad genau. Es kann nachgewiesen werden, daß im nördlichen und äquatorialen Atlantik die Epizentren "als schmales und sehr aktives Band" an die Nordatlantische Schwelle gebunden sind, wobei sich die äquatoriale Region als besonders aktiv zeigt. Bebenfrei sind das Nordamerikanische und das Kapverde Becken, westlich der Azoren wurden keine Epizentren nachgewiesen, während die Region östlich der Azoren mit 6 Epizentren sich als "westlicher Ausläufer der seismisch regen Mittelmeerzone" erweist, etc.. Hinsichtlich ihrer Intensität und Häufigkeit stehen die Atlantik-Beben den Haupterdbebengürteln (mediterran und zirkumpazifisch) merklich nach.

Die seismische Aktivität der Mittelatlantischen Schwelle wird nach E. TAMS (1927) durch "Dislokationsprozesse, durch tektonische Beben apazifischen Charakters (epirogenetischer Art)" verursacht. Ein "tieferer seismogenetischer Einblick würde, wenn sie möglich wäre, eine exakte Berechnung der Herdtiefen der zentralatlantischen Beben zu vermitteln vermögen...".

Von besonderem Interesse ist es, darauf hinzuweisen, daß die führenden Seismologen bei der Diskussion der Kontinentverschiebungstheorie ALFRED WEGENERS (Erstveröffentlichung: 1912) vom Standpunkt der Erdbebenkunde aus zu gegenteiligen Ansichten gelangten. Speziell A. SIEBERG vertrat mehrfach die Auffassung, der Atlantik sei durch Einsenkung entstanden und das seismische Bild deute auf eine "Schollenzerlegung mit Vertikalverschiebungen in der Art hin, wie sie für tot gefaltete Kettengebirge des festen Landes als charakteristisch festgestellt wurden."

Neues Material über die Erdbebentätigkeit des Weltmeeres erarbeitete H. REHM (1932, 1936). Für den Bereich des Atlantik werden die Kenntnisse weiter vervollkommen und die Vorstellungen von A. SIEBERG konnten im wesentlichen bestätigt werden.

Hinsichtlich der Herdtiefenbestimmungen wurden nach dem 2. Weltkrieg entscheidende Fortschritte erzielt. Der Kenntnisstand über die Seismizität der Erde wurde in der umfassenden Analyse und Synthese fast aller teleseismischen Daten größerer Erdbeben bis zum Anfang der fünfziger Jahre unseres Jahrhunderts durch B. GUTENBERG und C. F. RICHTER (1954) zusammengefaßt, wobei ca. 100 Erdbeben pro Jahr erfaßt wurden. Für Region 32 (Atlantic Ocean) werden 146 Beben mit flachen Herdtiefen angegeben, während Herde in mittleren und großen Tiefen gänzlich fehlen. Die Bebenverteilung ist analog der von E. TAMS, A. SIEBERG und H. REHM, jedoch die Ortsbestimmungen der Bebenherde sind noch mit einem hohen wahrscheinlichen Fehler behaftet (OLIVER, 1975).

Die von J. P. ROTHE (1953) veröffentlichte Weltkarte der Erdbebentätigkeit über einen Zeitraum von 30 Jahren zeigte dann erstmals deutlich die zusammenhängende seismisch aktive Zone von 30 000 km Länge durch den Atlantik und Pazifik.

Mit den Ergebnissen von GUTENBERG und RICHTER (1954) sowie ROTHE (1953) war eine moderne Grundlage für eine globale Übersicht zur Seismizität der Erde, einschließlich der ozeanischen Bereiche erarbeitet worden.

3.3. Seismotektonik der Ozeane

Mitte der dreißiger Jahre wurde durch das britische Schiff "JOHN MURRAY" im Kamm-bereich des Carlsberg-Rückens des Indischen Ozeans ein 300 m tiefes Spalttal entdeckt. Glaubte man zunächst an einen mehr oder weniger zufälligen Einschnitt, merkte man auf, als auf der gleichen Expedition im neuentdeckten Murray-Massiv des arabischen Meeres gleichfalls ein tiefer Einschnitt festgestellt wurde. S. SEWELL und J.D.H. WISEMAN erkannten die Ähnlichkeit mit dem Jordantal, dem Spalttal des Roten Meeres und des Golfs von Aden und vermuteten das Vorhandensein eines Spalttales auch für den Mittelatlantischen Rücken. Die für 1940 zur Überprüfung dieser Vermutung geplante Expedition fiel jedoch wegen des 2. Weltkrieges aus.

MARIE THARP untersuchte Anfang der fünfziger Jahre systematisch sechs neue Atlantik-Echolotprofile: auf allen Profilen wurde im Kamm-bereich ein Spalttal festgestellt! Ihre Arbeit wurde jedoch kaum beachtet, bis B. HEEZEN den Zusammenhang der Spaltentäler mit der Linie der Erdbebentätigkeit erkannte: das globale Riftsystem wurde erahnt! Im Internationalen Geophysikalischen Jahr 1957/58 wurde auch ein umfangreiches Programm zur Erforschung des Meeresbodens abgearbeitet und im Ergebnis das globale Riftsystem mit 65 000 km Gesamtlänge nachgewiesen (SULLIVAN, 1974).

Anfang der sechziger Jahre wurde das "World-Wide Standardized Seismograph Network" (VWSSN) mit damals 100 Stationen in Betrieb genommen. Damit war eine genauere Bestimmung der Lage und Tiefe der Epizentren der Erdbeben möglich geworden. Mehr als 1 000 seismische Ereignisse pro Jahr führten zu einer neuen Quantität und Qualität bei der Untersuchung der Erdbeben und der Klärung der Herdmechanismen. Erfaßt wurden seit 1961 alle Beben $M > 5$ und viele Beben $M = 5 \dots 4$. Die Seismologie war nunmehr in der Lage, genaueste Daten hinsichtlich tektonischer Aktivitäten bereitzustellen.

Als schließlich immer neue Ergebnisse über Details des Riftmechanismus bekannt wurden (sea-floor spreading) und die Hypothese von T. WILSON (1965) über die "transform faults" durch eine Analyse von 30 Beben aus den mittelozeanischen Rücken erstmals durch SYKES (1968) bestätigt werden konnte, "entwickelte sich die Seismologie von einem vernachlässigten Waisenkind zu einem Familienliebling der Geowissenschaften" (SULLIVAN, 1974).

Die in den Weltkarten zur Seismizität (ESSA 1961-67, NEIC 1961-69, TARR 1974 u.a.) ausgewiesenen Beben (flach, mittel, tief) stimmen mit ihrem globalen Muster in großen Zügen mit der neuen Globaltektonik überein. Die Weltkarten der Seismizität zeigen die Plattengrenzen und geben zugleich Hinweise auf den Charakter dieser Grenzen: lineare Riftzonen, Subduktionszonen, Kollisionszonen u.a.m. Die Ergebnisse der Seismologie bildeten das Rückgrat einer neuen geotektonischen Hypothese, der Plattentektonik. Innerhalb der Geologie hat es bisher keine andere Hypothese gegeben, die so zwanglos, wenn überhaupt, eine Erklärung geliefert hätte für den augenfälligen generellen Zusammenhang mit dem globalen Strukturbild (OLIVER, 1972).

Der mittelatlantische Rücken als Rift- und Schwellenzone I. Ordnung zeigt sich von erstaunlicher Regularität in dem vielfach so disharmonisch struierten Erdantlitz, trotzdem N- und S-Atlantik eine voneinander abweichende geologische Vorgeschichte besitzen. Das rezente, aktive Riftsystem des MAR befindet sich in der Mitte zwischen den atlantischen Kontinentalrändern, ausgezeichnet durch seismische, geothermische und vulkanische Aktivität, gekennzeichnet durch zahlreiche Querbrüche, die als transform faults eine wichtige Rolle bei der ständigen Neujustierung der Magmenaufstiegswege bei fortschreitender Kontinentaldrift spielen (ILLIES, 1975).

Wie bereits erwähnt, wurden die die aktiven Riftzonen durchschlagenden Querbrüche von WILSON (1965) als transform faults (Wandelverwerfungen) gedeutet. Im Bereich der Riftzone kommt es durch Magmenaufstieg zum Auseinanderdriften der Plattenränder. Diese Divergenzbewegungen sind mit schwachen Erdbeben geringer Herdtiefen verbunden. An den in mehr oder weniger regelmäßig auftretenden Querbrüchen endet die Riftzone und ist um sehr unterschiedliche Beträge seitlich versetzt, wenige km bis mehrere 100 km. Die Querbrüche lassen sich darüber hinaus zum Teil über tausende km von der Riftzone ausgehend weiter verfolgen. Die Querbrüche sind jedoch keine Blattverschiebungen im herkömmlichen Sinne, sondern eben die im Zusammenhang mit dem sea-floor spreading stehenden transform faults. Eigentliche Bewegungen treten nur zwischen den beiden Riftzonen auf: Differentialbewegungen (Rechtsseitenverschiebungen) zwischen zwei ozeanischen Platten, bestätigt durch seismologische Untersuchungen. Außerhalb der Riftzonen treten an den Querbrüchen solange keine Bewegungen und damit keine Erdbeben auf, solange die Riftaktivität in beiden Riftzonen \pm gleichmäßig auftritt. Erdbeben wurden nur im Bereich zwischen den Riftzonen festgestellt: die transformfault ist also gekennzeichnet durch oft sehr ausgedehnte passive Bereiche und mit dem aktiven Teil zwischen den Riftzonen.

Der Atlantische Ozean besitzt neben der seismisch aktiven medianen Riftzone weitere tektonisch aktive Bereiche: den westlichen Ausläufer der mediterranen Zone - die Plattengrenze zwischen der afrikanischen und eurasischen Platte, die im Bereich

der Azoren endet - und die Subduktionszone im Bereich der Kleinen Antillen als Grenz-
bereich zwischen der nordamerikanischen zur karibischen Platte. Auf diese Bereiche
soll hier nicht weiter eingegangen werden, außer dem Verweis, daß nur aus diesen Be-
reichen schwere Atlantik-Beben zu erwarten sind.

Seismische Wogen (Tsunamis) wurden relativ selten im Nordatlantik beobachtet.
GUTENBERG und RICHTER (1954) nennen als Beispiele:

18. 11. 1929	S-Küste von Neufundland
01. 11. 1755	Lissaboner Beben mit schweren Zerstörungen an der portugiesischen Küste, Zerstörungen auf Madeira und Fernwirkungen in Nordseehäfen sowie in Westindien
07. 05. 1842)
04. 08. 1946) N-Küste von Hispaniola
11. 10. 1918	Puerto Rico
14. 01. 1907	Jamaica

Eine Durchsicht der Erdbeben im nordatlantischen Raum weist aus, daß zerstörende Beben nur selten auftreten (BATH, 1974):

1755 November	01	Portugal	M = 8,8
1812 März	26	Venezuela	
1907 Januar	14	Jamaika	
1960 Februar	29	Marokko	M = 5,8
1969 Februar	28	Atlantik	M = 7,9
		westlich Portugal	

Diese Aufstellung muß nunmehr ergänzt werden um das schwere Seebeben, das am Neu-
jahrstag 1980 besonders die Azoreninseln Terceira, São Jorge und Graciosa heimsuchte:

1980 Januar	01	Azoren	M = 7,0
-------------	----	--------	---------

Dieses Erdbeben forderte 51 Menschenleben und Hunderte Verletzte. Mehr als 20 000 Obdachlose wurden registriert. Der Sachschaden wird mit mehr als 100 Mio Dollar beziffert. 70 % aller Häuser der 20 000 Einwohner umfassenden Stadt Angra do Heroismo auf Terceira wurden zerstört. Die Insel São Jorge wurde zum zweitenmal innerhalb zweier Jahrzehnte verwüstet. Bereits zwischen August 1963 und April 1965 war sie von ca. 400 starken Erdstößen heimgesucht worden. Das Beben vom Neujahrstag 1980, dessen Epizentrum im Bereich der Ostflanke des Mittelatlantischen Rückens geortet wurde, ist eines der folgenschwersten Erdbeben in der Geschichte der Azoren (WEHNER, 1980).

Die seismologischen Stationen sind auch heute noch immer sehr ungleichmäßig über die Erdoberfläche verteilt. Den sehr dichten Stationsnetzen in Europa und Nordamerika, den noch weitmaschigeren Stationsnetzen auf den anderen Kontinenten stehen die ozeanischen Bereiche mit nur einzelnen seismologischen Stationen gegenüber, wobei das Stationsnetz noch sehr inhomogen und lückenhaft ist. Diese Situation, die auch für den Atlantik festgestellt werden kann, erschwert zweifellos Feinstrukturuntersuchungen zur Seismizität der Ozeane bzw. engt sie auf einige wenige mit ozeanischen Stationen dichter besetzte Randbereiche ein (ISC-List of seismological observatories..., 1975).

Es werden deshalb bei komplexen regionalen geologisch-geophysikalischen Untersuchungen ausgewählter ozeanischer Bereiche autonome Meeresbodenseismometer eingesetzt, die in einem speziellen Stationsnetz, möglichst mit Anschluß an eine Landstation, die seismischen Ereignissen auch geringer Intensität während der Expeditionsdauer registrieren.

Solche Feinstrukturuntersuchungen der Seismizität des Mittelatlantischen Rückens wurden zum Beispiel bei den komplexen geologisch-geophysikalischen Islandexpeditionen der UdSSR im Europäischen Nordmeer nördlich von Island oder in Vorbereitung der französisch-amerikanischen FAMOUS-Expedition 400 sm südwestlich der Azoren durchgeführt.

3.4. MAR-Beben nach den Daten der Station MOXA-DDR

Um eine Aussage über die Bebenaktivität etc. des MAR treffen zu können, wurden als Beispiel alle Beben Daten untersucht, die an der Station Moxa der Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut Physik der Erde, Seismologischer Dienst Jena, im Jahre 1972 im Nordatlantik zwischen 0° und $46^{\circ}40'$ N festgestellt wurden (Seismolog. Bull. 1972 MOX).

Die 36 Beben des Jahres 1972 aus dem MAR zwischen 0° und $46^{\circ}40'$ N verteilen sich \pm gleichmäßig über das ganze Jahr. Der Bereich zwischen 0° und 25° N ist mit 23 Beben aktiver als der Bereich zwischen 25° N und $46^{\circ}40'$ N mit 13 Beben. Bei noch weiterer Aufteilung ergibt sich die in Tabelle 1 angegebene Verteilung.

Tabelle 1: Bebenanzahl N und Klasse der Beben des MAR zwischen 0° und $46^{\circ}40'$ N aus dem Jahre 1972 (MOX 1972)

Breitenstreifen, nördliche Breite	Bebenanzahl N						
	Klasse:	a	b	c	d	e	ges.
$40^{\circ} - 46^{\circ}40'$		-	-	-	-	5	5
$30^{\circ} - 40^{\circ}$		-	-	-	1	3	4
$20^{\circ} - 30^{\circ}$		-	-	-	1	5	6
$10^{\circ} - 20^{\circ}$		-	-	-	2	6	8
$0^{\circ} - 10^{\circ}$		-	-	1	4	8	13
Gesamtzahl:		-	-	1	8	27	36

Klasse a	M = 8,5 ... 7,75	(nach GUTENBERG und RICHTER, 1954)
b	M = 7,7 ... 7,0	
c	M = 6,9 ... 6,0	
d	M = 5,9 ... 5,3	
e	M = < 5,3	

Das Beben der Klasse c liegt mit $M = 6,0$ an der Untergrenze dieser Klasse. Am aktivsten erweist sich nach Tabelle 1 der äquatoriale MAR, nach N nimmt die Zahl der Beben und ihre Stärke sichtbar ab.

Hinsichtlich der Bebenstärke ergibt sich für den ausgewählten Bereich des MAR die in Tabelle 2 angegebene Verteilung.

Tabelle 2: Magnitude M und Anzahl N der Beben des MAR zwischen 0° und $46^{\circ}40'$ N aus dem Jahre 1972 (MOX 1972)

M	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0
N	-	2	-	-	-	1	2	5	3	8	4
M	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0	>6,0
N	1	3	-	3	1	1	2	-	-	1	-

Man kann aus Tabelle 2 schlußfolgern, daß in Moxa aus dem Bereich des Nordatlantik alle Beben mit $M > 4,5$ erfaßt werden ($25^{\circ} < D < 70^{\circ}$, $28^{\circ} < Az < 55^{\circ}$).

Auswertbar sind bei $M < 5$ in Moxa meist nur wenige Phasen (eP A, eS BC, LmH B, LmV B), bei dem Beben 1972 04 11 mit $M = 6,0$ aus dem äquatorialen Teil des MAR ($0,97^{\circ}$ N, $28,29^{\circ}$ W) wurden folgende Phasen ermittelt: +eiP1 AB, +i B, iPP B, ePPP B, eiS B, e C, iSSS C, LmH B und LmV B.

Die vorläufige Auswertung des Bebens 1980 01 01 mit $M = 7,0$ aus dem Azorengbiet ergab folgende Phasen: eP, ePP, eS; $D = 30,4$; $h = 33$ km; $H = 16\ 42\ 47,6$ (STELZNER, HÄNSCH, ADLER, 1980).

Die mit dem VSI II um 17 UTC gemessenen ausgereiften Oberflächenwellen wiesen Perioden um 10,5 s auf. Zu überwinden waren auf dem mehr als 3 000 km-Weg nach Moxa ca. 1 500 km ozeanische und ca. 1 500 km kontinentale Kruste.

Die Durchsicht des Seismological Bull. 1972, Station Moxa (MOX), Berlin (1977) weist aus, daß auch mit dem Registriermaterial aus der DDR Unterlagen für eine Beurteilung der Seismotektonik des Nordatlantik erarbeitet werden können.

Vf. dankt den Kollegen des ZIPE Jena und des Collm-Observatoriums für die Bereitstellung verschiedener Unterlagen und für konkrete Hinweise zu diesem kurzen Überblick zur Seismotektonik der Ozeane.

Literatur:

- BARAZANGI, M.; DORMAN, J.: World seismicity maps compiled from ESSA, Coast and Geodetic Survey, epicenter data, 1961-67 Seismol. Soc. Amer. Bull., 59, (1969)
- BÄTH, M.: Introduction to Seismology
Basel und Stuttgart, Birkhäuser V.: 1973, 395 S.
- BULLARD, E.; EVERETT, J. E.; SMITH, A. G.: The fit of the continents around the Atlantic
In: A Symposium on Continental Drift, Phil. Trans. R. Soc., London 258, A (1965)
- Bureau Hydrographic International Monaco: Carte General Bathymetrique des Oceans (Tiefenkarten 1 : 10 Mio, Monaco-Karte)
1. Auflage 1903 (18 400 Tiefenwerte)
2. Auflage 1912-27 (30 000 neue Tiefenwerte)
3. Auflage 1932-53 (54 000 ausgewählte Tiefenwerte, Fundus: 370 000 Werte)
4. Auflage seit 1958 (nur einige Karten)
5. Auflage 1975-82 (völlige Neubearbeitung)
- DIETRICH, G.; ULRICH, J. (Hrsg.): Atlas zur Ozeanographie
Mannheim, Bibliographisches Institut: 1968, 76 S. (Tiefenkarten 1 : 25 Mio, 1 : 5 Mio)
- FISHER, O.: Physics of the earth's crust
London: 1881
- FRANCIS, T.J.G.; PORTER, I. T.: A statistical study of Mid-Atlantic Ridge earthquakes
Geophys. J., 24 (1971), S. 31 - 50
- FRANCIS, T.J.G.; PORTER, I. T.: A microearthquake survey of the Mid-Atlantic Ridge
Nature, 240 (1972) S. 547 - 549
- FRANCIS, T.J.G.; PORTER, I. T.: Median valley seismology: the Mid-Atlantic Ridge near 45° N
Geophys. J. 34 (1973) S. 279 - 311
- GUTENBERG, B.; RICHTER, C. F.: Seismicity of the earth and associated phenomena
Princeton. Univ. Press: 1954, 2th. ed.
- HAAK, E.: Die Herstellung der Weltkarte 1 : 2 500 000 als Beispiel des Fortschritts der Kartographie (Karta Mira, World Map 1 : 2 500 000)
Peterm. Geogr. Mitt., Gotha - Leipzig 113 (1969) 3, S. 231 - 238
- HEECEN, B. C.; THARP, M.; EWING, M.: The Floors of the Oceans, I. The North Atlantic
Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. 65, (1959)
- HESS, H. H.: Mid-Oceanic Ridges and Tectonics of the Sea Floor.
Submarine Geology and Geophysics, Symposium Colston Papers 18, (1965)
- IHO-IHB: Catalogue, Bathymetric Plotting Sheets World Series, Scale 1 : 1 000 000, Monaco (1976), 2nd edition
- IHO-IHB: Annex to Catalogue of Bathymetric plotting sheets World Series, Scale 1 : 1 000 000, Monaco (1976), 31 S.
- ISC: List of seismological observatories (I-1975-VI), Regional catalogue of earthquakes, Newbury 12 (1975) 1, S. 166 - 204
- ISACKS, B.; OLIVER, J.; SYKES, L. R.: Seismology and the new global tectonics
J. Geophys. Res. 73 (1968)
- KANAEV, V. F.; SUCHODREV, M. B.: Darstellung des untermeerischen Reliefs in der Weltkarte 1 : 2,5 Mio
Arbeiten aus dem Vermessungswesen und Kartenwesen der DDR, Bd. 37/II, Leipzig (1977), S. 139 - 149

- LE PICHON, X.: Sea-Floor spreading and continental drift
J. Geophys. Res. 73 (1968)
- NEWSON, D. W.: The General Bathymetric Chart of the Oceans - Seventy Years of International Cartographic Co-operation
(British) Cartograph. J., June (1971), S. 31 - 47
- OLIVER, J.: Contributions of Seismology to Plate Tectonics
Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., Tulsa 56 (1972) S. 214 - 225
- PETERSON, J.: Worldwide standardized seismograph network (WWSSN)
Earthqu. Inf. Bull., 9 (1977) 4, S. 36 - 45
- REHM, H.: Die Erdbebenstätigkeit der Weltmeere sowie ihre Beziehungen zur Tektonik
Veröffentl. Reichsanstalt f. Erdbebenfo. in Jena, Leipzig (1936) 27, 24 S.
- ROTHER, J. P.: La structure de l'Atlantique
Ann. di Geofis., Roma 4 (1951) 1, S. 27 - 41
- RUDOLPH, E.: Ober submarine Erdbeben und Eruptionen
Geol. Beitr. Geophys., Leipzig 1 (1887) S. 133 - 373, Taf. IV - VII
- RUDOLPH, E.: Ober submarine Erdbeben und Eruptionen (Zweiter Beitrag)
Geol. Beitr. Geophys., Leipzig 2 (1895), S. 537 - 666
- SCHROEDER, E.: Das Bewegungsbild der ozeanischen Kruste und Aspekte globaler Tektonik
Ber. deutsch. Ges. geol. Wiss. A, Berlin 16 (1971) 3
- SIEBERG, A.: Erdbebenkunde
Jena: 1923, 572 S.
- Staatliches Geologisches Komitee der UdSSR:
Indischer Ozean 1 : 15 Mio, Moskau (1963)
Atlantischer Ozean 1 : 20 Mio, Moskau (1964)
Pazifischer Ozean 1 : 10 Mio, Moskau (1964)
Pazifischer Ozean 1 : 25 Mio, Moskau (1965)
- STOVER, C. W.: Seismicity of the South Atlantic Ocean
J. Geophys. Res., 73 (1968)
- STELZNER, J.; GOTH, D.; WEYRAUCH, J.: Seismological
Bulletin 1972, Station Moxa (MOX) Akademie-Verlag: Berlin (1977)
- STELZNER, J.; HÄNSCH, B.; ADLER, I.: Preliminary seismogram readings at Moxa (MOX)
ZIPE, Seismologischer Dienst, Jena: January 1980
- SULLIVAN, W.: Continents in motion
New York (1974)
- SYKES, L. R.: Mechanism of earthquakes and nature of faulting on the mid-oceanic ridges
J. Geophys. Res. 72 (1967)
- SYKES, L. R.: Seismological evidence for transform faults, seafloor spreading and continental drift
In: PHINNEY, R. A. (ed.): The history of the Earth's crust
Princeton: 1968
- TAMS, E.: Die seismischen Verhältnisse des offenen Atlantischen Ozeans mit Einschluß seines westlich von Gibraltar gelegenen Teils
Geol. Beitr. Geophys., Leipzig 18 (1927), S. 319 - 353
- TAMS, E.: Der gegenwärtige Stand der Frage der Seismizität der Erde
N. Jb.f.Geol.u.Paläontol., Monatshefte B (1952), S. 500-528; S. 529-544
- VAN ANDEL, D. H.: The structure and development of rifted Mid-Oceanic Rises
J. Mar. Res. 26 (1968)

WEHNER, F.: Ein Neujahrstag, der zu einem Alptraum wurde
Neues Deutschland, Berlin: 2. und 3. 2. 1980

WILSON, J. T.: A new class of faults and their bearing on continental drift
Nature, 207 (1965)

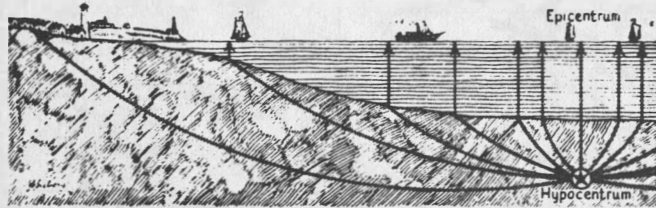


Abb. 1: Stoßstrahlenverlauf bei Seebeben und bei Erdbeben (SIEBERG 1923)

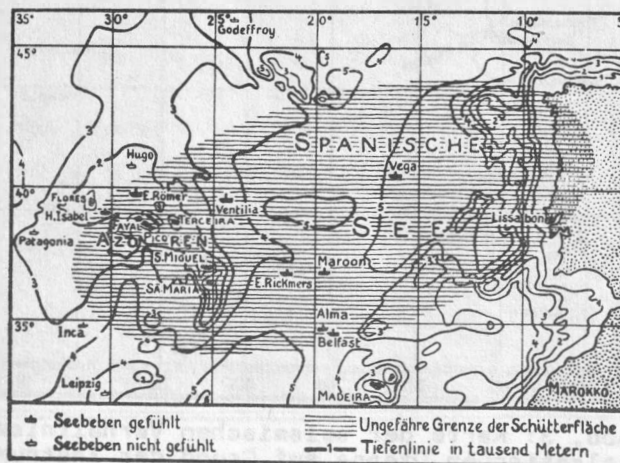


Abb. 2: Ausbreitung des Seebebens vom 22. 12. 1884 nach Schiffsbeobachtungen (RUDOLPH 1887, aus: SIEBERG 1923)

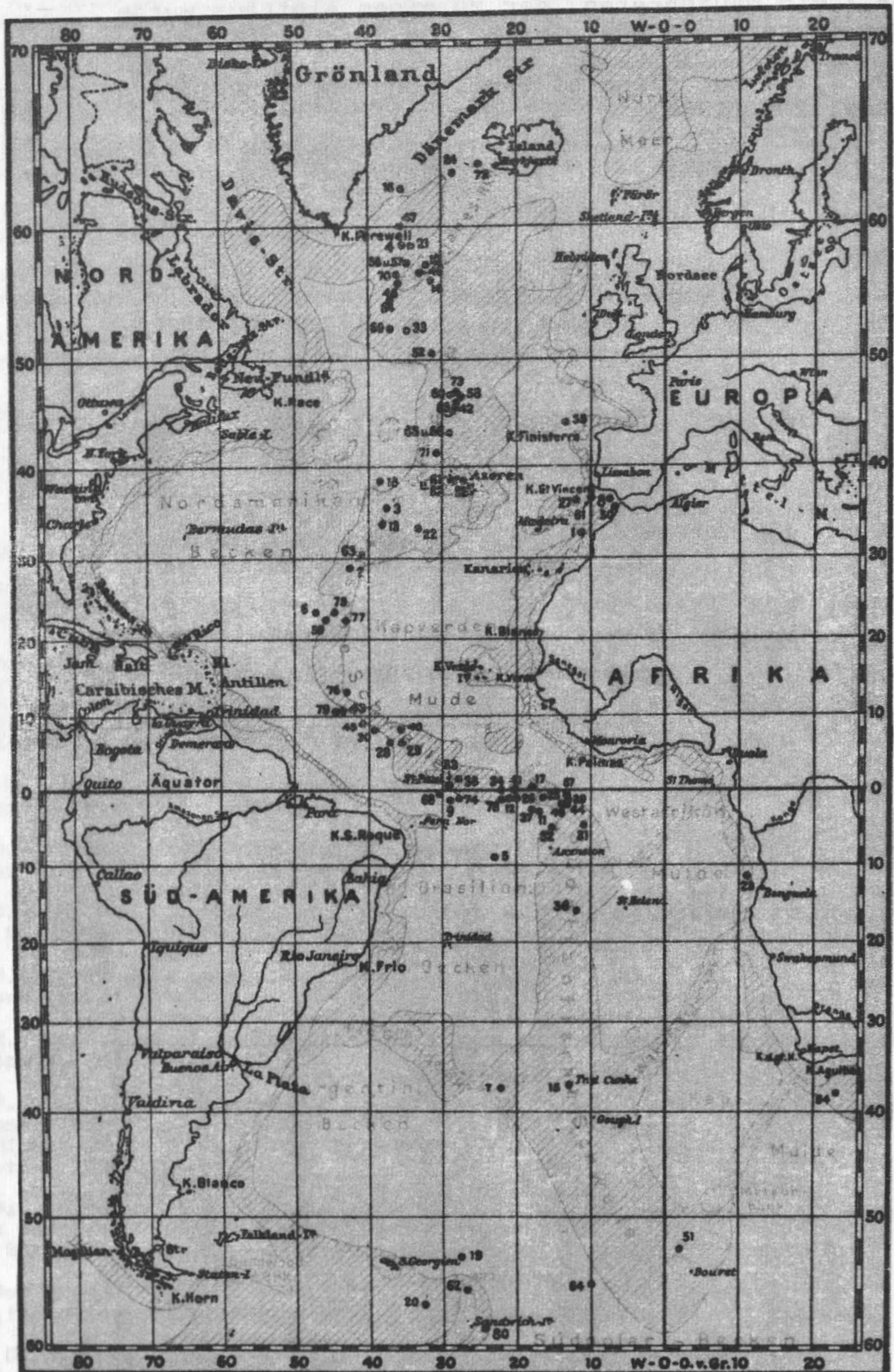


Abb. 3: Karte der seismischen Verhältnisse des offenen Atlantischen Ozeans auf Grund der instrumentellen Beobachtungen der Jahre 1908 bis 1926; Nr. 1 - 84: mikroseismisch ermittelte Epizentren; punktiert: Gebiete bis 2 000 m Tiefe; schraffiert: Gebiete bis 4 000 m Tiefe; ohne Kennzeichnung: Gebiete über 4 000 m Tiefe (TAMS 1927)

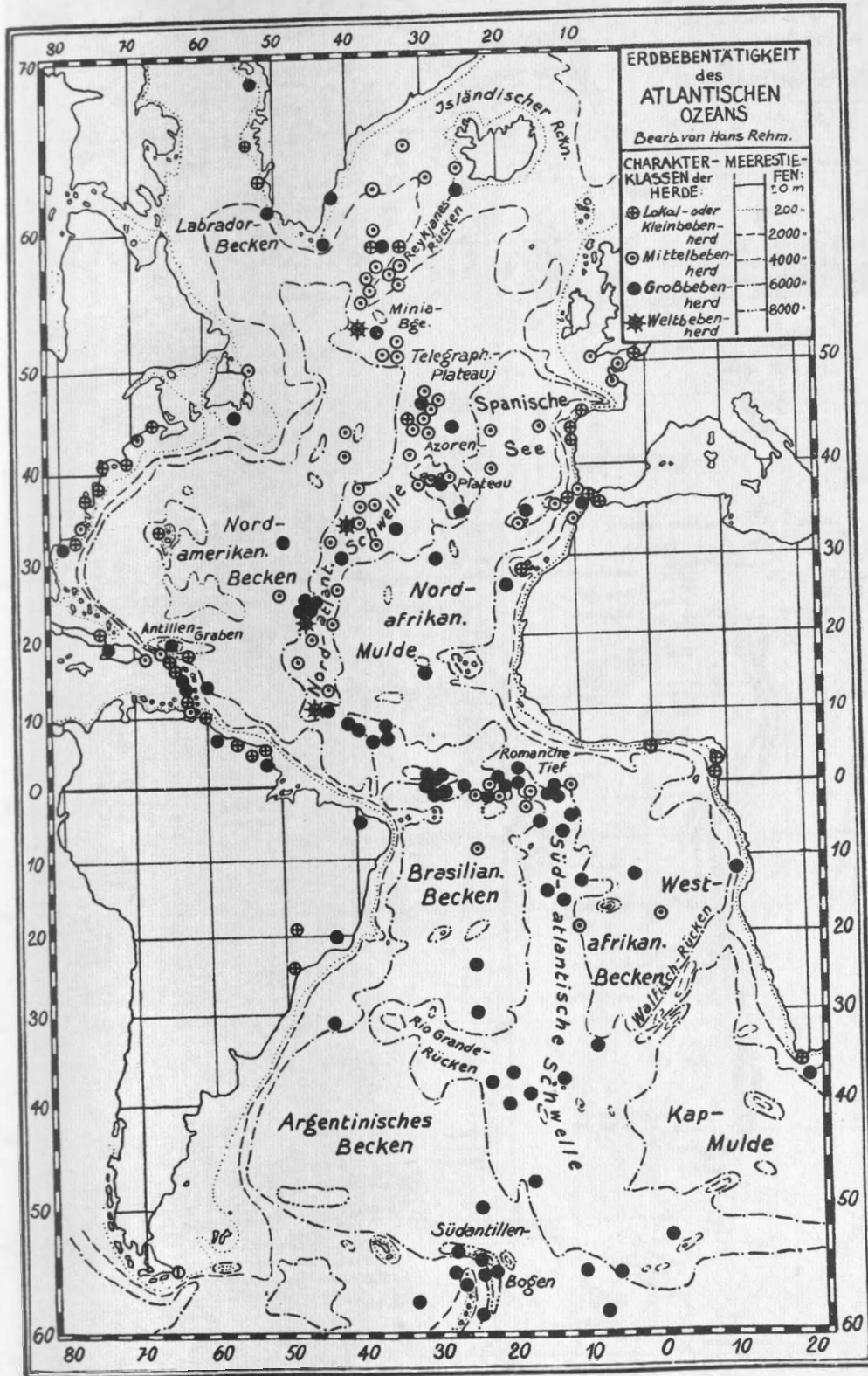


Abb. 4: Karte der Erdbeben­­tätigkeit des Atlantischen Ozeans; Differenzierung der Epizentren nach Lokal- oder Kleinbebenherd, Mittelbebenherd und Weltbebenherd (REHM 1936)

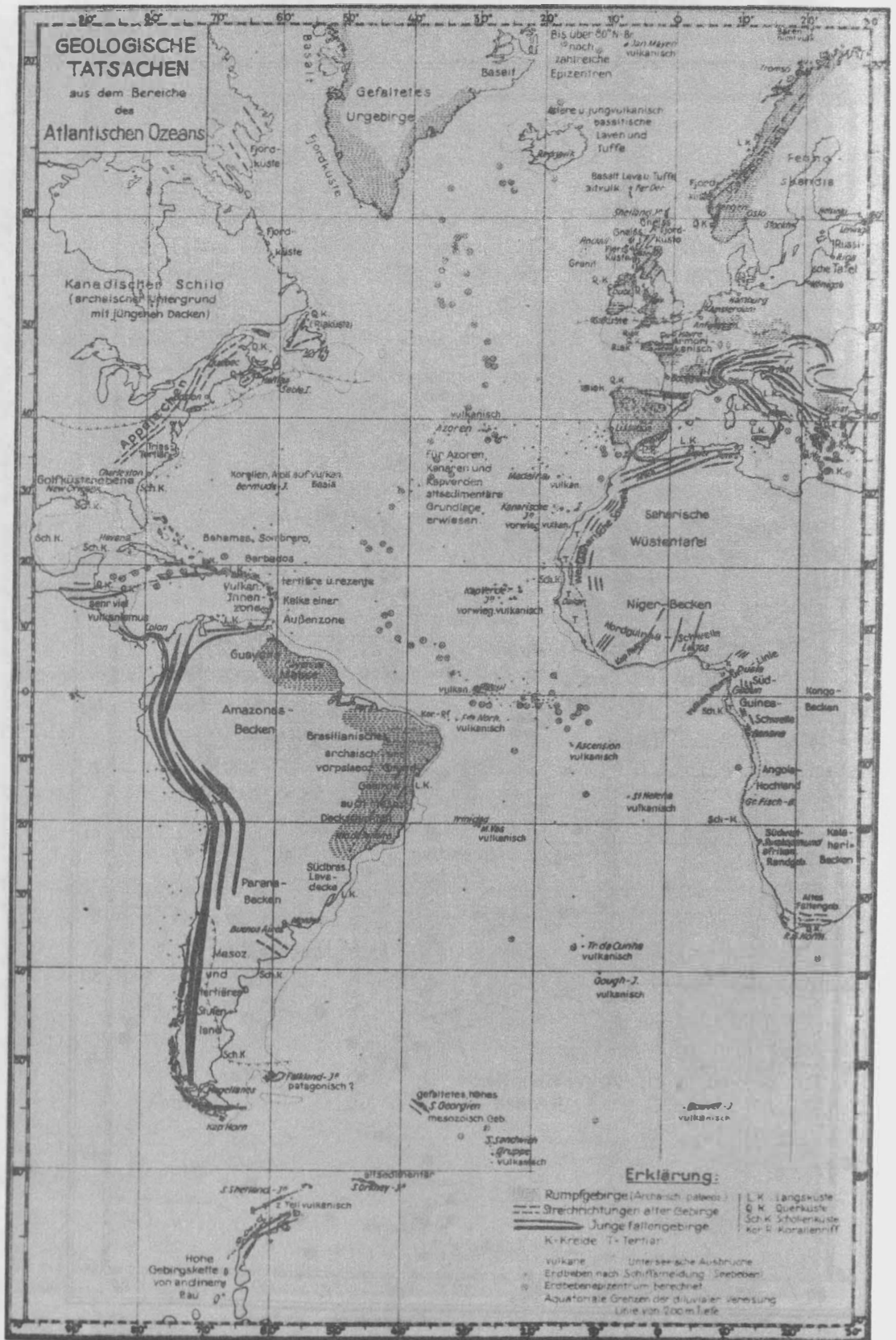


Abb. 5: Geologische Tatsachen aus dem Bereich des Atlantischen Ozeans; Rumpf- und Faltengebirge, Vulkane, Erdbebenepizentren etc. (G. SCHOTT: Geographie des Atlantischen Ozeans, 3. Auflage, Hamburg 1942).
Die Karte entspricht bezüglich der Darstellung der Erdbeben dem Kenntnisstand von TAMS 1927 (vgl.

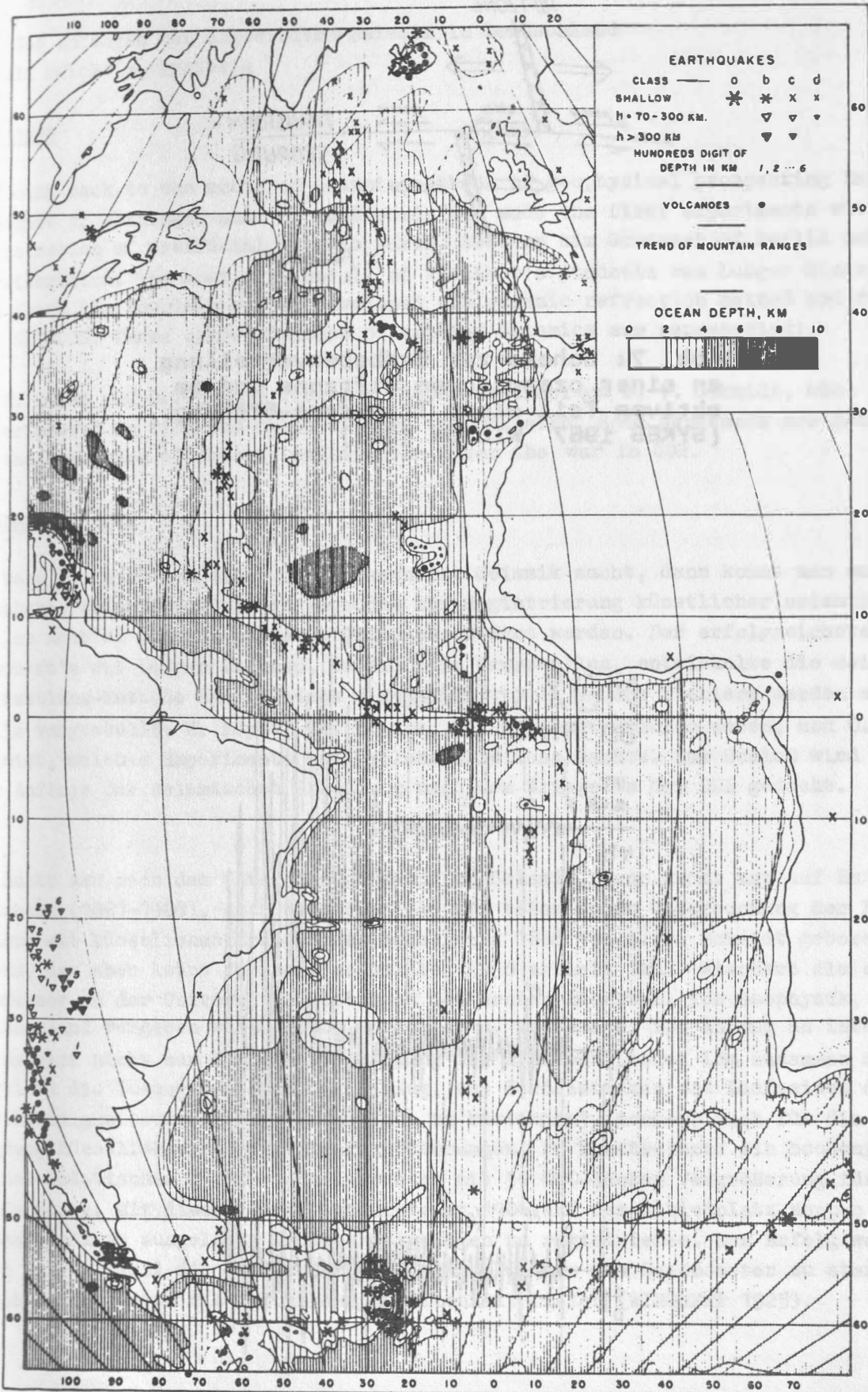


Abb. 6: Karte der Seismizität des Atlantik (GUTENBERG und RICHTER 1954)

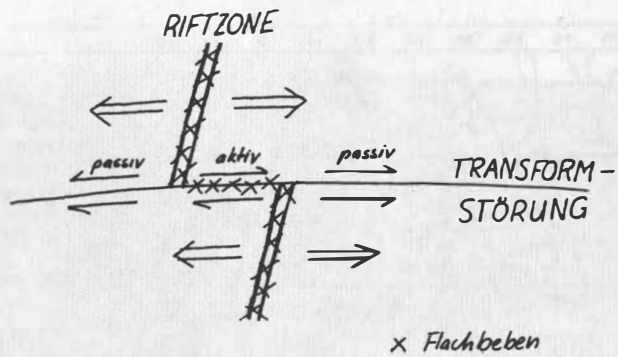


Abb. 7: Schema zur Erdbebenverteilung an einer ozeanischen Riftzone und am aktiven Teil einer Transform-Störung (SYKES 1967 WILSON 1965)

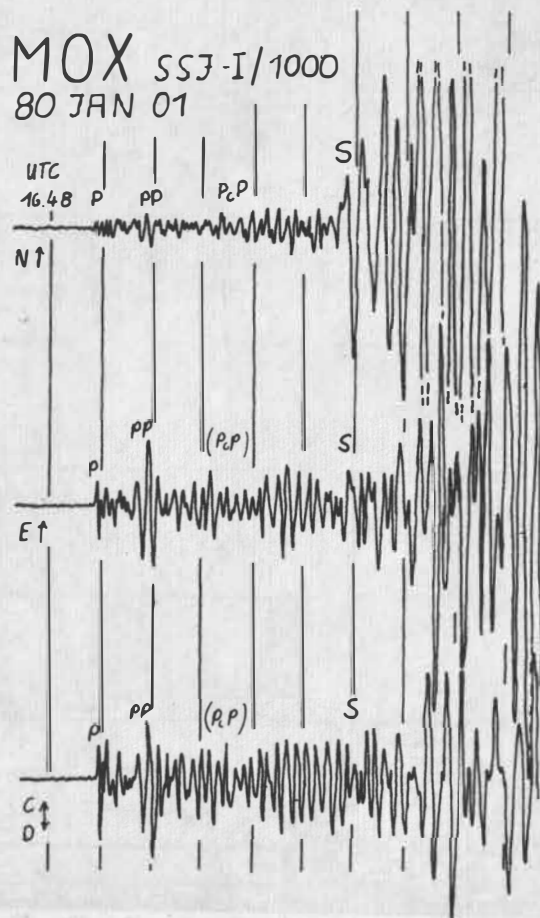


Abb. 8: Seismische Registrierung der Station Moxa (DDR) des schweren Azoren-Bebens vom 1. Januar 1980 (Zentralinstitut Physik der Erde, Seismologischer Dienst Jena)

Von den Anfängen der angewandten Seismik in Deutschland
Rudolf Meinhold, Freiberg

Abstract

Going back to the roots of seismic methods of geophysical prospecting Emil Wiechert of Göttingen must be mentioned, who made the first experiments with the registration of artificial seismic waves. Besides him Grunmach of Berlin demands consideration. The most successful of Wiechert's students was Ludger Mintrop, who found the boundary waves, developed the seismic refraction method and founded the SEISMOS. Three other pioneers of applied seismics are represented:

K. Röpke and Dr. Trappe from the Wiechert-school and O. v. Schmidt, who experimented to find the rules of wave transmission. Some sentences are dedicated to the beginning of seismic exploration after the war in GDR.

Zusammenfassung

Wenn man nach dem Vater der angewandten Seismik sucht, dann kommt man auf Emil Wiechert, welcher die ersten Versuche zur Registrierung künstlicher seismischer Wellen machte. Daneben muß auch Grunmach erwähnt werden. Der erfolgreichste Schüler Wiechert's war Ludger Mintrop, er fand die Grenzwellen, entwickelte die seismische Refraktions-Methode und gründete die SEISMOS. Drei andere Pioniere werden ebenfalls vorgestellt: K. Röpke, Fr. Trappe, die Wiechert-Schüler waren, und O. v. Schmidt, welcher Experimente zur Wellenausbreitung machte. Zum Schluß wird kurz der Anfänge der seismischen Erkundung nach dem Kriege in der DDR gedacht.

Sucht man nach dem Vater der angewandten Seismik, dann kommt man auf Emil Wiechert (1861-1928), auch wenn die Idee der seismischen Untersuchung der Erdkruste mit künstlichen Erdbebenwellen bereits 1888 von A. v. Schmidt geboren wurde, der aber keine Versuche anstellte. 1898 erhielt Emil Wiechert als a. o. Professor an der Universität Göttingen den ersten Lehrstuhl für Geophysik, der in Deutschland vergeben wurde. 1904 wurde er o. Professor. Von Anfang an interessierte er sich nicht nur für die Erforschung der Erdbeben (wobei ihm zusammen mit G. Herklotz die Lösung des Problems gelang, aus Herddistanzen und Laufzeiten die Geschwindigkeitsverteilung in der Erde zu bestimmen), sondern auch für die Anwendung künstlich erzeugter Erderschütterungen. Er konstruierte ein hochempfindliches astatisches Horizontalseismometer mit 50 000-facher Vergrößerung für den Feldeinsatz. Mit diesem Gerät versuchte er 1906 auf dem Schießplatz Meppen durch Kanonenschüsse ausgelöste Erderschütterungen zu registrieren. Der Erfolg war noch gering, weil die Amplituden von der Quelle bis zum Seismometer zu stark abnahmen und unter die Aufnahmeempfindlichkeit fielen (WIECHERT 1925).

Noch ein Vorläufer ist zu erwähnen. Das sind die ingenieurseismischen Untersuchungen, von denen GRUNMACH bereits 1886 berichtete, die an der T. H. Berlin-Charlottenburg gemacht worden waren. 1906 krönte er sie mit Registrierung der Erschütterungen, verursacht durch den Wasserfall an der Queis-Talsperre, wobei er bereits fernregistrierende, magneto-induktive Horizontalpendel verwendete (GRUNMACH 1909).

Der Mißerfolg in Meppen führte Wiechert zu Untersuchungen der Weiterleitung elastischer Wellen in unverfestigten und verfestigten Gesteinen und zur Konstruktion eines Vertikalseismographen (1921-22) mit zweimillionenfacher Vergrößerung (Millionenseismograph), ein tonnenschweres, für den Feldeinsatz nicht gedachtes Gerät. Mit ihm machte HUBERT in Göttingen reflexionsseismische Untersuchungen. Außerdem konstruierte E. Wiechert ein tragbares Feldseismometer mit 0,8-millionenfacher Vergrößerung.

Eine Reihe ausgezeichneter Schüler setzte Wiechert's Arbeiten fort. Der erste und erfolgreichste Doktorand war Ludger Mintrop (1880-1956). Er hatte an der Bergakademie in Berlin bis 1902 studiert und 1905 seine Markscheiderprüfung abgelegt, war dann Assistent bei Hausmann in Aachen und an der Erdbebenstation Aachen. Hausmann's Wunsch, in Aachen ein Institut für angewandte Geophysik zu gründen, führte zu L. Mintrop's Doktorat bei Wiechert, das er 1908 mit experimentellen Arbeiten in Göttingen begann. Als Aufgabe erhielt er die Aufzeichnung und Analyse von Maschinenschwingungen und die Untersuchung der Abnahme von Amplituden mit der Entfernung in Abhängigkeit von der Geologie. Er begann mit dem von Wiechert gebauten Feldseismometer und berichtete darüber 1909 in "Glückauf" und auf dem Bergbaukongreß in Düsseldorf 1910. Im Jahre 1911 schloß er seine Dissertation "Über die Ausbreitung der von Massendrücken einer Großgasmaschine erzeugten Bodenschwingung" ab. Darin findet sich auch ein Seismogramm von der Aufzeichnung des Falls einer Stahlkugel von 4 000 kg aus 14 m Höhe.

Mintrop erkannte, daß mit dem Wiechert'schen Feldseismographen die notwendige Empfindlichkeit für den Empfang von Wellen aus dem Untergrund nicht zu erreichen war. Er baute daher sein eigenes Feldseismometer, ein leichtes, tragbares Gerät auf mechanisch-optischer Grundlage, dessen Prinzip später erläutert wird.

Nach einer Anstellung als Dozent an der Bergschule in Bochum, an der er eine seismische Station errichtete, brachte Mintrop der Weltkrieg die Möglichkeit, bei der Luftschifferabteilung und der Artillerieprüfungskommission sich mit Schallmeßtechnik und dem Bau von Feldseismographen für die Ortung von Geschützen zu beschäftigen.

Bereits 1912 hatte er erkannt, daß reflektierte Wellen aus dem Untergrund bei künstlichen Erschütterungen registrierbar seien. Aber erst 1919 entdeckte Mintrop, daß die vor der direkten Bodenwelle liegenden Einsätze bei "künstlichen Erdbeben" nicht reflektierten Wellen angehören konnten, sie mußten einer bis dahin nicht bekannten Wellenart zugeordnet werden. Bis dahin dachten ja alle Seismiker in den

Kategorien der Seismologie. Danach laufen die elastischen Wellen auf gekrümmten Bahnen in die Erde und tauchen in ziemlich großen Entfernungen wegen der Kugelform der Erde wieder auf. Mintrop wies nach, daß die neue Welle mit der Geschwindigkeit der unterlagernden Schicht gelaufen war als eine Grenzwellenlinie, die sich am Kontakt der beiden Schichten ausbildet. Diese Entdeckung war entscheidend für die Entwicklung der refraktionsseismischen Erkundungsmethode, und die entdeckte Welle trägt daher den ihr später zugelegten Namen "Mintrop-Welle" mit vollem Recht. Die Nutzung der Reflexionswellen für die Erkundung der stark interessierenden obersten 1 000 m der Erdkruste war damals noch schwierig, weil bei dieser Tiefenlage, die damals überhaupt erreichbar war, die Reflexionswellen von den direkten überdeckt werden. Für die Trennung gab es auf mechanischem Wege keine technischen Möglichkeiten. Dagegen nimmt bekanntermaßen der Zeitunterschied zwischen direkten und gebrochenen Wellen mit der Schußpunktentfernung zu, allerdings verbunden mit dem Nachteil, große Sprengstoffmengen verwenden zu müssen. Die Entwicklung der Reflexionsseismik war also nur mit Unterdrückung unerwünschter Wellen möglich, das erforderte elektronische Ausrüstung. Es muß jedoch erwähnt werden, daß Mintrop bereits 1920 eine reflexionsseismische Methode anwendete, das Reflexions-Fächerschießen, bei dem die Empfänger auf einem Kreis um den Schußpunkt aufgestellt waren, was wegen der annähernden Gleichheit der Reflexionswege die Erkennung der Reflexion ermöglichte.

Die Berechnungsmethoden beruhten auf der Tiefenbestimmung mittels Knickpunktentfernung in der Laufzeitkurve, und das Problem der Tiefenbestimmung geneigter Schichten löste Mintrop durch das Gegenschießen. Auch das Fächerschießen geht auf ihn zurück. 1919 wurde ihm das entscheidende Patent erteilt: "Verfahren zur Ermittlung des Aufbaus von Gebirgsschichten" DRP Nr. 371693 v. 7. 12. 1919 mit Zusatzpatent 410 010 v. 2. 11. 1920. Mintrops Feldseismograph hat mehr als ein Jahrzehnt die Registrierungen der angewandten Seismik bestritten. Er bestand aus einer waagerechten Blattfeder mit Gewicht (Abb. 1), dessen Bewegungen eine lange Aluminiumtüte auf einen Drehspiegel mit dünner Achse durch einen um diese gewickelten Faden übertrug, was enorme Vergrößerungen erlaubte. Ein auf den Spiegel geworfener Lichtstrahl besorgte die photographische Registrierung auf mechanisch bewegtem Photopapier und ergab eine weitere starke Vergrößerung. Ein Pendel, das den Lichtstrahl periodisch unterbrach, lieferte die Zeitmarken. Ein kleiner Dauermagnet sorgte für eine schwache Dämpfung.

Überblickt man heute diese Entwicklung, dann wundert man sich, daß die von Grunmach 1906 eingeleitete Entwicklung nicht weitergeführt wurde. Dessen tragbares Seismometer war ein vertikaler Blattfederseismograph (Abb. 2) mit induktiv-elektromagnetischer Umsetzung und Registrierung mittels Saitengalvanometer und elektromagnetischer Dämpfung, was sich ja später als Konstruktionsprinzip durchgesetzt hat. Erst 1926 konstruierte dann Reutlinger in Deutschland einen Kleinseismographen auf diesem Prinzip (Abb. 3), und so blieb es bis heute bestehen. Damit wäre auch schon damals das Problem der Reflexionsseismik lösbar gewesen. Weshalb das nicht geschah, ist wohl auf den Einfluß Wiecherts zurückzuführen, dessen Entwicklungsarbeit ja dem mechanischen Seismographen galt. Und Mintrop

war von Haus aus Markscheider, mit Feinmechanik bestens vertraut, aber nicht mit Elektrotechnik.

Zur Verwertung des Patentes gründete Mintrop mit der Rückendeckung mächtiger Bergbaukonzerne die Firma "SEISMOS G.m.b.H." (4. 4. 1921). Er war nicht nur ein guter Wissenschaftler, sondern auch ein fähiger Geschäftsmann, der die Notwendigkeiten der Zeit erkannte und seine Erfahrungen dafür nützte.

Die ersten praktischen Untersuchungen führte Mintrop mit L. Grube und Fr. Gries 1920 am Erdgasvorkommen von Neuengamme aus, es war die erste praktische Anwendung der neuen seismischen Methode in der Welt. Es folgte dann die Feststellung der Grenzen des Salzstocks von Meißendorf bei Wietze. Diese Untersuchungen lagen noch vor der Gründung der "SEISMOS". Danach folgten weitere Aufträge der Erdölindustrie, Untersuchungen auf Steinkohle am Niederrhein, auf Braunkohlen in der Niederlausitz, bei Salzgitter und andere Untersuchungen (An. 1956).

Im Jahre 1923 begann der Siegeszug der Methode in Nordamerika. Die ersten Untersuchungen begannen am 24. 7. 1923 bei Ponca City, Okla. durch Mintrop, Weiters- hagen und Schwiening, wenig später kamen hinzu Dr. K. Roepke, Prof. Dr. Salfeld und Ermisch (MINTROP 1943). 1924 wurden an bekannten Salzstöcken Messungen gemacht. Schon im Sommer 1924 fand ein Trupp unter Dr. O. Geußenhainer den bisher unbekanntes Salzstock Orchard (60 km sw Houston), an dem wenig später das erste seismisch gefundene Erdölfeld erschlossen wurde. In rascher Folge wurden dann weitere Salzstöcke gefunden, auch solche in mehr als 1 000 m Tiefe, wie der Iowa- Dom, der im März 1926 durch Roepke und Rellensmann in 2 100 m Tiefe entdeckt wurde.

Eine wichtige Entwicklung war auch die als Fächerschießen bekannte Registrier- technik der ersten Einsätze, die durch einen Trupp mit Dr. Fr. Gerecke, Dr. A. Rampspeck und Dr. W. Meyer unter Leitung von Dr. Fr. Trappe erprobt wurde. Diese Methode sollte dann in der Reichsaufnahme in Deutschland und lange danach große Bedeutung erlangen.

Ab 1927 kamen dann die US-Amerikaner (J. C. Karcher) mit ihren elektronischen Reflexionsapparaturen ins Geschäft, und so endeten ca. 1930 die "goldenen zwanziger Jahre" für die "SEISMOS" in den USA.

Der genannte J. C. Karcher (1894-1978) gilt als Vater der in den USA entwickel- ten Reflexionsseismik, er hatte ebenso wie Mintrop im Kriege Geschütze zu orten, was er mittels Schallmessungen löste. 1919 begann er mit Experimenten bei Stein- bruchsprengungen, 1921 erhielt er die ersten Reflexionen mit seinem 3-spurigen oszillographischen Registriergesät und elektrodynamischen Geophonen. Aber da gerade in dieser Zeit der Ölpreis in kurzer Zeit von 3,50 \$ pro Barrel auf 0,15 \$ fiel, wurden die Arbeiten gestundet und erst 1925 bei einem Preis von 3 \$ wieder aufgenommen.

J. C. Karcher war, wie seine verschiedenen Firmengründungen zeigen, ein guter Geschäftsmann, neu war die Registrierung von Reflexionswellen nicht. Das steht der Behauptung von GREEN (1979) entgegen, Karcher sei der erste gewesen, der Reflexionswellen registrierte. Denn bereits 1917 hatte Fessenden ein USA-Patent darauf erhalten, sie fanden sich auch schon in den ersten Mintrop'schen Seismogrammen von 1912. Karchers Pioniertat war die Einführung der elektronischen Geräte und die zielbewußte Überführung der Methode in die Praxis.

Von den deutschen Trupps wurden bis 1930 102 000 Seismogramme mit 240 000 Profilkilometern auf einer Fläche von 200 000 km² aufgenommen (MINTROP 1943).

Bemerkenswert ist der hohe Anteil an Wiechert-Schülern unter den Pionieren der angewandten Seismik. Neben Ludger Mintrop waren es Friedrich Trappe, Karl Roepke, Friedrich Gerecke und H. Mothes.

Fr. Trappe (1899-1945) begann mit dem Studium der Zahnheilkunde, ging dann nach Göttingen zu Wiechert, kam 1925 zur "SEISMOS", arbeitete in Mexiko, begann mit der Konstruktion elektronisch registrierender Geräte für Refraktion und Reflexion, u. a. baute er einen Seismographen für die Registrierung unter Wasser und wurde dann Leiter über 20 seismische Trupps. 1934 baute er die erste deutsche elektronische Reflexionsapparatur und trat dann 1938 als technischer Leiter in die 1937 gegründete PRAKLA, deren wissenschaftliche Belange er bis zu seinem Tode am 3. 5. 1945 vertrat. Bei der Besetzung von Falkensee kam er in seinem Hause ums Leben. Sein Haus in Falkensee war uns Geophysikern nach der Zerstörung der Zentrale in Berlin in den kurzen Perioden zwischen den Feldarbeiten die wissenschaftliche Heimat.

Karl Roepke (1897-1953) promovierte bei Wiechert 1922 mit dem Thema über atmosphärische Ionen, hatte aber soviel von Seismik mitbekommen, daß er 1922 zu Mintrop als Mitarbeiter ging. Er war ein sehr aktiver Praktiker, der sich immer wieder auf neuen Gebieten versuchte, er arbeitete erfolgreich für den niederländischen Steinkohlenbergbau, die Reichsaufnahme, den Nachweis von Spateisenstein-Gängen im Siegerland und arbeitete mit transversalen Wellen. Nebenbei war er auch noch Bauer auf seinem Familienhof im Land Hadeln. Er war ein geselliger Mensch und ein Original voller Anekdoten. Nur eine davon sei erwähnt: Bei einer Rückkehr aus Louisiana nach Hamburg hatte er in einer Kiste einen jungen Alligator mitgebracht, den er unter das Hotelbett stellte, wohl wissend, daß die neugierigen Zimmermädchen das geheimnisvolle Paket untersuchen würden. Nach einem Städtgang fand er das Hotel in heller Aufregung: Gäste diskutierend, Polizei protokollierend. Der Alligator hatte einen kleinen Ausflug gemacht. Er wurde wieder eingefangen und dem Zoo übergeben. Rauchkräuter standen bei ihm in hoher Gunst, er erzählte gern von seinen Siegen in Langsamrauchen-Wettbewerben. Bei einer Exkursion stellte er fest, daß die richtigen Sorten nicht an Bord waren. Ein Assistent mußte mit dem PKW ca. 50 km fahren und sie holen, während die Exkursion mit Schwarzwälder Kirsch und Imbiß versorgt wurde.

Aber auch Mintrop selbst muß man zu den Originalen rechnen. Während seines Lebens hatte er von 1928-1945 einen Lehrstuhl in Breslau und 1945-1948 in Aachen. Auch zu ihm gehörte die unvermeidliche große Zigarre. Seine Praktika und Exkursionen waren hochgeschätzt bei den Studenten, denn der ja nicht unbemittelte Professor sorgte für beste Arbeitsbedingungen hinsichtlich Verpflegung, besonders mit flüssigen Nahrungsmitteln. Bis ins hohe Alter hat seine Vitalität nicht nachgelassen, er ließ bei Festlichkeiten keinen Tanz aus, und mancher jüngere Mitstreiter ließ in später Nachtstunde Kopf und Glieder hängen, während Ludger Mintrop noch fröhlich lächelnd Anekdoten erzählte und sich über die müde Jugend mokierte.

Zu den Wiechert-Schülern gehört auch H. Mothes, der Pionier der Gletschermessungen mit Reflexionsseismik. Fr. Gerecke braucht wohl in diesem Kreis nicht vorgestellt werden, seine Person ist ja in der DDR noch in der Erinnerung aller Fachgenossen.

Von den Persönlichkeiten zurück zur Wissenschaft. In der Anfangszeit der Seismik gab es zwei heißdiskutierte Probleme, die uns heute als solche gar nicht mehr bewußt sind:

1. Das Problem - Brechungsgesetz oder senkrechter Strahl?
2. Das Wesen der Grenzwellen.

Daß über das erste Problem überhaupt eine Kontroverse entstehen konnte, erscheint uns heute absurd. Aber die "SEISMOS" veröffentlichte aus verständlichen Gründen nichts von ihren Berechnungsmethoden und dem umfangreichen Beobachtungsmaterial. Der "senkrechte Strahl", also der kürzeste Weg des Stoßstrahls zur unterlagernden Schicht, wurde von vielen Experimentatoren wie Ambronn, Angenheister, Barsch & Reich, Brockamp u. a. vertreten. Nach den damaligen noch rohen Experimenten schien das die Beobachtungen besser zu bestätigen. Den Verlauf nach dem Brechungsgesetz vertraten z. B. Ansel, Gerecke, Gutenberg, Meißer und amerikanische Autoren.

Die Verfechter des "senkrechten Strahls" führten als Argumente ins Feld, daß die Emergenzwinkel stets nahe 90° sind, die Wirkung der "Langsamschicht" war nicht erkannt. Von den mit dem Winkel der Totalreflexion auftreffenden Wellen vermutete man, daß sie ein wenig in die untere Schicht hineingebrochen und gekrümmt werden wegen der wachsenden Geschwindigkeit (SCHWEYDAR & REICH 1927). Das waren also Vorstellungen aus der Seismologie und man fand keinen Mechanismus, der die Wellen aufwärts bewegen könnte.

Am eingehendsten hat das Problem Oswald von Schmidt untersucht und dem Verlauf nach dem Brechungsgesetz die allgemeine Anerkennung verschafft. Er wies nach, daß das Energiemaximum den Weg der kürzesten Zeit nimmt, daß man nicht "Strahlen", sondern Wellenfronten betrachten müsse. Er hat ferner als erster die Theorie der 3-Schichten-Seismik entwickelt und veröffentlicht und physikalisch falsche Vorstellungen berichtigt. Damit kann man auch O. v. Schmidt zu den Pionieren der Seismik zählen. Er war 1920-1925 wissenschaftlicher Mitarbeiter der DEA und mit der kritischen experimentellen und theoretischen Prüfung des seismischen Verfahrens befaßt. 1928 bis 1931 leitete er einen seismischen Trupp in Venezuela

unter Mintrop'schen Lizenzen, aber ohne Kenntnis der Auswerteverfahren der SEISMOS, die er unabhängig erarbeitete. Dann ging er in seine Heimat Dorpat (Tartu), mußte aber nach eigener Aussage wegen eines Duells fliehen und erschien ohne Mittel 1933 in Berlin. H. Reich verschaffte ihm eine Stelle bei der Preußischen Geologischen Landesanstalt und gab ihm den Auftrag, an seiner Stelle das geophysikalische Feldpraktikum für die Studenten der T. H. durchzuführen. An diesem nahmen 3 Studenten, darunter der Berichterstatter, teil. Wir wurden mit einer seismischen Mintrop-Apparatur (von Askania) ausgerüstet, die B. Brockamp in Grönland zur Eisdickenmessung verwendet hatte, die Kisten waren noch mit der Aufschrift "Grönland-Expedition Alfred Wegener" versehen, was uns zusätzlich Ansehen verschaffte. Seismograph und Registriergerät waren in einem Zelt untergebracht. Das photographische Papier lief aus dem Gerät in einen lichtdichten Sack, die Registrierung wurde im verdunkelten Zelt sofort entwickelt, das alles war im warmen Sommer ein ziemlich schweißtreibendes Geschäft. Die Schußmomentübertragung erfolgte durch einen um die Ladung gewickelten Draht mit Heliumlampe im Stromkreis, die beim Schuß sofort verlöschte.

Die Aufgabe, die O. v. Schmidt mit unserer Hilfe zu lösen versuchte, war die Klärung des Problems, ob eine Grenzwellenlinie an Schichten verschiedener physikalischer Eigenschaften auftritt. Dazu suchten wir in Rüdersdorf im Kalkwerk eine Halde, die auf anstehendem Gestein lag. Geschossen wurde im Haldenmaterial, registriert auf dem Anstehenden und im Haldenmaterial. Die Idee war, daß die Grenzwellenlinie sich durch maximale Energie an der Grenze beider Materialien bemerkbar machen müßte. Das war natürlich sehr optimistisch gedacht, die vielen Einflüsse, welche die Amplituden beeinflussen, konnten bei unseren Aufnahmen nicht konstant gehalten werden, sodaß nur vage Tendenzen zu sehen waren. O. v. Schmidt hat dann später (1938-39) das Problem mittels schlierenoptischen Experimenten bei Knallausbreitung an Phasengrenzen gelöst und die Grenzwellenlinie nachgewiesen.

Als Nebenprodukt gelang uns jedoch die Weiterentwicklung einer anderen Methode. Mit unseren beschränkten Hilfsmitteln machte das Graben von Sprenglöchern erhebliche Arbeit und war wegen der herumfliegenden Brocken beim Schuß auch sehr gefährlich. O. v. Schmidt erinnerte sich seiner venezolanischen Erfahrungen (veröffentlicht 1932) die besagten, daß man auch mit an Bäumen angebundenen Ladungen überraschende Ergebnisse erzielen konnte. Wir bauten Galgen verschiedener Höhe über dem Boden, variierten die Verteilung der Ladungen in der Fläche und erhielten so die optimalen Bedingungen. Diese Methode wurde viele Jahre später als amerikanische "Poulter-Methode" bei uns wieder bekannt. Unsere Ergebnisse wurden leider nicht veröffentlicht, meine Unterlagen dazu gingen auch noch im Krieg verloren.

Oswald v. Schmidt war dann während des Krieges Direktor des Instituts für Technische Physik an der Luftkriegsakademie. Nach dem Kriege verlor ich seine Spur.

Wenn man die Entwicklung der angewandten Seismik verstehen will, darf man nicht vergessen, daß die "große Seismik" noch so sehr die Vorstellungen steuerte, daß man nur immer an Einzelseismogramme bei der Auswertung dachte, obgleich schon REUTLINGER (1920) bei der Konstruktion seines Geophons auf die gleichzeitige

Aufzeichnung mehrerer Spuren hinwies. Deshalb konnte Reich auch noch 1933 in seinem Lehrbuch die Bemerkung über die Reflexionsseismik machen: "Diese Methode ist dann gut und der Refraktionsmethode vorzuziehen, wenn schon bestimmte Unterlagen vorliegen. In unbekanntem Gelände versagt sie". Diese Aussage ist kaum noch verständlich, zumal damals ja in den USA die Reflexionsmethode schon einen hohen Entwicklungsstand erreicht hatte. Daraus wird auch verständlich, daß mir im Jahre 1934 Reich die Diplomaufgabe stellte, aus einem großen Paket von einigen Hundert Refraktionsseismogrammen, die mir die SEISMOS zur Verfügung stellte und die nach der Mintrop-schen Methode aufgenommen waren, die Kreideoberkante in NW-Deutschland durch Auswertung der Reflexionen zu kartieren. Das ging nun tatsächlich nur, wenn einige Bohrungen für den Anschluß vorhanden waren. Die mühevollste Aufgabe war, anhand von Frequenzkriterien alle als Reflexion infrage kommenden Einsätze herauszusuchen und die Tiefen zu errechnen. Auf diese Weise kam vermutlich die erste reflexionsseismische Kartierung eines größeren Gebietes in Deutschland zustande. Reich war damit zufrieden und damit auch ich.

Der erste reflexionsseismische Trupp in Deutschland wurde 1933 unter der Leitung von H. Lückerrath aufgestellt, die erste elektronische Reflexions-Apparatur in Deutschland baute Fr. Trappe. Sie hatte elektrische Geophone, Filter zur Ausschaltung von Störschwingungen, über Spiegelsysteme wurde photographisch registriert. Man begann mit 6 Seismographen und Verstärkern, die weiteste Aufstellung war 150 m. Später ging man zu 12 Seismographen über. Das Problem der Geschwindigkeitsbestimmung wurde bereits durch Geophonversenkung gelöst. Damit waren die Prinzipien für alle späteren Entwicklungen vorhanden.

Noch einige Worte zu den Anfängen der angewandten Seismik in der DDR. Nach dem Kriege sammelte die Geologische Landesanstalt die Reste der in der DDR verbliebenen Geophysik, die zuletzt in Brieselang beheimatete PRAKLA war unter Leitung von W. Zettel nach Hannover abgewandert. Aus der Zahl der verbliebenen Geophysiker wurde Dr. J. Horvath als Leiter der Abteilung Geophysik ernannt und mit dem Aufbau eines Geophysikalischen Dienstes betraut. Bevor es aber zur Gründung kam, wanderte Horvath nach Australien aus. Die Gründung erfolgte Anfang 1951 mit Fischer als Werkleiter, der kein Geophysiker war. Als technischer Leiter wurde ihm Dr. W. Bitter, ehemals SEISMOS, zur Seite gestellt. Die Seismik wurde mit 2 Abteilungen installiert, einer refraktionsseismischen unter Dr. E. Thomas und einer reflexionsseismischen mit mir.

Die reflexionsseismische Abteilung begann ihre Arbeit mit 2 Mann, der zweite war Erich Wagner, eine Übernahme aus der Geophysikalischen Abteilung der Landesanstalt. Wagner wurde der erste Truppführer und mit entsprechenden Hilfskräften versehen. Als Apparatur hatten wir ein aus alten Wehrmachtsbeständen gebautes Gerät, hergestellt von dem nun selbständigen Unternehmer Frommholz (früher PRAKLA). Die Apparatur hatte 14 Kanäle, keine Programmregelung, keine automatische Regelung, die Filter waren nicht sehr wirksam, die einzelnen Kanäle sehr mangelhaft abgeglichen (Abb. 4). Das Heraussuchen der Reflexionen erinnerte stark an meine Tätigkeit für die Diplomarbeit, ein Training, das mir unerwartet zugute kam. Die Apparatur war in einem LKW-Aufbau aus grün angestrichenen Brettern untergebracht und bekam des-

halb den Namen "Gartenlaube".

Für das Auswertebüro gewann der Kaderleiter eine Geographin, Frau Uhlig (nachmals Frau Opitz) und zwei Abiturientinnen, Eva Zimmermann und Uta Müller. Ihrer schnellen Auffassungsgabe und ihrem Fleiß ist es zu danken, daß auch die miserablen Registrierungen noch verwertet werden konnten.

Unsere Ergebnisse wurden uns förmlich aus den Händen gerissen. Schon bei den ersten Messungen ließ sich der Salzstock Werle mit einiger Mühe aus den Ergebnissen erkennen, und schon wurde ein Bohrpunkt festgelegt, der Bohrplatz abgeholzt und mit dem Fundament begonnen. Unterdessen hatten wir weitere Profile geschossen, die zeigten, daß der Bohrpunkt sehr ungünstig lag und verschoben werden mußte. Den Zorn, den wir uns von der Forstverwaltung einhandelten, und die hämischen Bemerkungen gewisser Geologen können Sie sich wohl vorstellen.

Von den nun folgenden Entwicklungen wird ja H. G. Reinhardt anschließend berichten. Mit der nächsten, in Brieselang gebauten Apparatur fand ich damals Reflexionen, die nur als Mehrfachreflexionen deutbar waren. Ich war stolz auf diese Entdeckung, denn ich hielt mich für den Ersten, der sie gefunden hatte. Leider fand ich aber später beim Durcharbeiten der nun nach und nach eintreffenden internationalen Literatur, daß mir bereits amerikanische Kollegen zuvorgekommen waren, und so blieb mir der Trost, wenigstens der Erste in Europa gewesen zu sein. Später gewöhnt man sich an solche Enttäuschungen.

Es wäre noch die Technik zum Bohren der Schußlöcher zu erwähnen. Sie wurden zuerst von Brunnenbauern hergestellt, dann erwarben wir selbst einige der Handbohrgeräte, genannt "Schinderböcke". Es waren hölzerne Dreiböcke mit Handwinden, Seil und Büchse. Allein drei Mann waren nötig, um in einigen Stunden ein Schußloch herzustellen. 1952 fand in Stuttgart eine Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft statt, wir Geophysiker durften teilnehmen und auch Direktor Fischer kam mit. Bei einer Exkursion sahen wir dann, wie man mühelos mit einem Spülbohrverfahren in einer Viertelstunde ein Schußloch bohrte. Fischer machte sich zuhause sofort ans Werk, besorgte entsprechendes Gerät und bald waren die Schinderböcke verschwunden. Abgesehen von vielen anderen Erkenntnissen hat allein diese Verbesserung die vom Staat aufgewendeten Ausgaben vieltausendfach wieder eingebracht.

Literatur

- ANON. Prof. Dr. Dr. hc. Ludger Mintrop zum Gedenken.-
Seismos Echo 2, Februar 1956
- BARSCH, O.: Die planmäßige Erforschung Deutschlands als Grundlage weiterer erdöl-
geologischer Aufschlußarbeiten
Öl & Kohle, 1 (1933) 1, S. 79-81
- CLOSS, H.: Otto Barsch †. Geol. Jahrb. 66 (1952), S. XXIX-XXXVIII
- GEUSSENHAINER, O.: In Memoriam Dr. Friedrich Trappe
Z. f. Geophysik, 21 (1955) 4/5, S. 229-232
- GREEN, C. H.: John Clarence Karcher, 1894-1978, Father of Reflection
Seismograph.-Geophysics 44 (1979) 6, S. 1018-1021
- GRUNMACH, L.: Über Versuche zur Messung kleiner periodischer Erderschütterungen
Verh. d. Phys. Ges. z. Berlin 1886, Nr. 8, S. 58-64
- GRUNMACH, L.: Über neue Methoden und Apparate zur Messung von Erschütterungen
kleiner Periode
Ann. d. Phys. 30 (1909), S. 951-73
- HEILAND, C. A.: Die seismische Reflexionsmethode
Gerl. Beitr. z. Geoph., Ergänz.-H. 3 (1933) 3, S. 282 ff.
- LÜCKERATH, H.: Erfolgreiche Anwendung des seismischen Reflexionsverfahrens im
Ruhrbergbau
Glückauf 72 (1936) 10, S. 236-238
- MINTRUP, L.: Über künstliche Erdbeben
Verg. Int. Kongr. f. Bergb., Hüttenw., angew. Mechanik, Abt. prakt. Geol.,
Düsseldorf 1910, S. 90-112
- MINTRUP, L.: Über die Ausbreitung der von Massendrücken einer Großgasmaschine
erzeugten Bodenschwingungen
Diss. Göttingen 1911
- MINTRUP, L.: Über seismographische Aufzeichnungen von Bodenerschütterungen durch
Verkehrseinrichtungen u. dergl. künstl. Erdbeben
Verh. Ges. D. Natf.u. Ärzte, 84 (1912) Teil 2, 1, S. 201 ff.
- MINTRUP, L.: Verfahren zur Ermittlung des Aufbaus von Gebirgsschichten
DRP Nr. 371 963 v. 7.12.1919 und Nr. 410 010 v. 2.11.1920, Reichsgerichts-
entscheidung v. 28.6.1930, I 281/27
- MINTRUP, L.: Über Anwendung des seismischen Verfahrens im Erdölbergbau und ihre
wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Auswirkungen
Öl & Kohle (1943) 10, S. 269-287
- MINTRUP, L.: Karl Röpke †.
Z. f. Geoph. 20 (1954) 4, S. 219
- MOTHS, H.: Dickenmessungen von Gletschereis mit seismischen Methoden
Geol. Rundschau 17 (1926) 6, S. 397-400
- REUTLINGER, G.: Eine experimentelle Überprüfung der Theorie der Schwingungsmesser
Gerl. Beitr. Geoph. 24 (1929), S. 207
- RÜHLKORF, H. A.: In memoriam Dr. phil. Hubert Lückcrath
Z. f. Geoph. 21 (1955) 4/5, S. 233-235
- SCHLEUSENER, A.: Ludger Mintrop †.
Z. f. Geoph. 22 (1956) 1, S. 58-61
- SCHMIDT, A.: Wellenbewegung und Erdbeben
Jahresh. d. Ver. f. Vaterl. Naturk. i. Württbg. 44 (1888), S. 248 ff.

- v. SCHMIDT, Osw.: Angewandte Seismik
Z. f. Geoph. 4 (1928) 3, S. 134-146
- v. SCHMIDT, Osw.: Theorie der 3-Schichten-Seismik
Z. f. Geoph. 7 (1931), S. 37 ff.
- v. SCHMIDT, Osw.: Brechungsgesetz oder senkrechter Strahl? Eine kritische Studie
auf Grund seismischer Arbeiten in Venezuela
Z. f. Geoph. 8 (1932) 8, S. 376-396
- v. SCHMIDT, Osw.: Kopfwellen in der Seismik
Z. f. Geoph. 15 (1939), S. 141-159
- TRAPPE, Fr.: Die Anwendung des seismischen Reflexionsverfahrens im Kohlenbergbau
Glückauf 71 (1935) 25, S. 577-582
- WIECHERT, E.: Untersuchungen der Erdrinde mit Seismometer unter Benutzung
künstlicher Erdbeben
Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, math.-phys. Klasse, 1 (1923)
- WIECHERT, E.: Seismische Untersuchungen
Z. f. Geoph. 1 (1924) 1/2, S. 14-20
- WIECHERT, E.: Untersuchung der Erdrinde mit Hilfe von Sprengungen
Geol. Rundsch. 17 (1926), S. 339 ff.

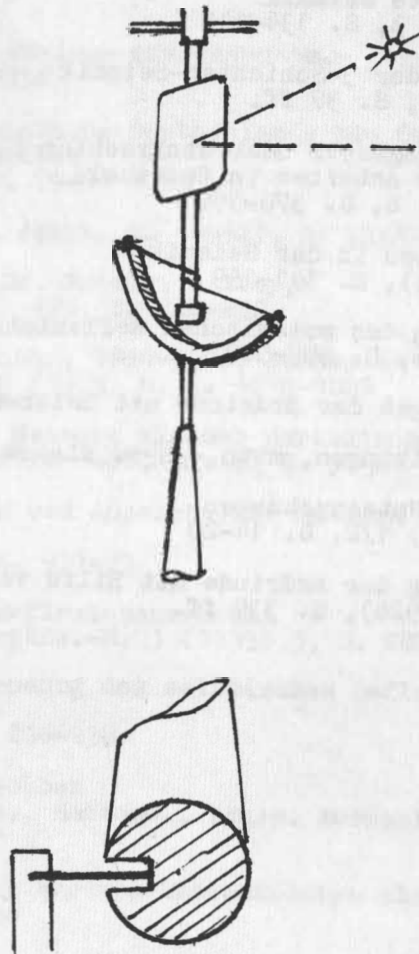
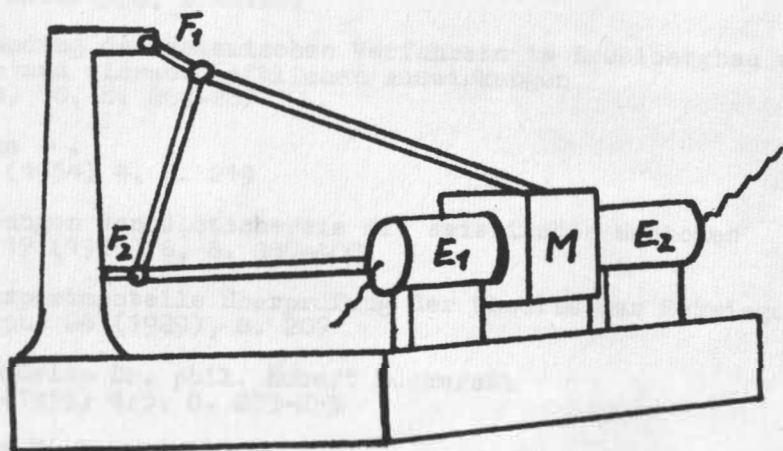
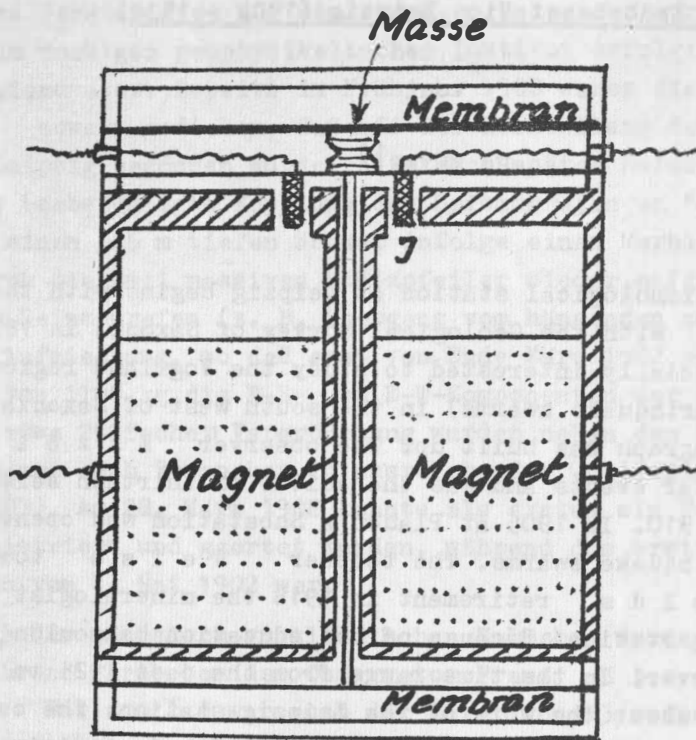


Abb.1 Prinzip des Mintrop'schen Seismographen



Horizontalpendel v. Grunmach

Abb.2 Horizontalpendel nach Grunmach. E_1 E_2 :
Elektromagneten, M: Masse, F: Federaufhängung.



Induktionsspulen

Abb.3 Geophon nach Reutlinger



Abb.4 Registrierungen mit der "Gartenlaube".

Die Erdbebenstation Leipzig (1902 - 1934)

von

H. MEYER¹⁾Summary

The history of the seismological station at Leipzig begins with the work of Hermann C r e d n e r with the Geological Survey of Saxonia in 1872. C r e d n e r was especially interested to study the Vogtland region, a seismically activ district (earthquake swarms) in the south west of Saxonia. In 1902 the W i e c h e r t seismograph was built up. The observer E t z o l d processed the registrations from far events and was the editor of thirteen seismological bulletins from 1902 to 1910. In 1905 at Plauen a Substation was openend to registrate especially Vogtland earthquake swarms. The teacher W e i s e took care of this station. After E t z o l d s retirement in 1918 the mineralogist R e i n i s c h h looked after the Leipzig station. Because of his education he couldn't meet all requirements of an observer. In the time range from the past 1921 to 1923 years there is no information about the work of the Leipzig station. The causes are an enlargement of the microseisms because of industry, and bad conditions of the seismograph. After an overhaul in 1924 the seismograph worked till December 1934 at Leipzig station followed by a turn over to the Collm station (CLL) of the Leipzig university. From January 1935 the seismograph works there up to now.

Die Entwicklung der instrumentellen Erdbebenforschung in Leipzig ist eng mit der Person Hermann C r e d n e r s verbunden. C r e d n e r, seit 1872 Direktor der Geologischen Landesuntersuchung von Sachsen, begann ab 1875 mit stetig wachsender Intensität Informationen über sächsische Erdbeben zu sammeln und auszuwerten (CREDNER 1884, SCHMIDT 1974). Seinem Einfluß und seiner Weitsicht ist die Einrichtung einer Erdbebenkommission für Sachsen (1898) zu verdanken. Diese Erdbebenkommission bestand anfangs aus "55 gebildeten Männern", die "als Erdbebenreferenten über alle in ihrer Gegend sich äußernden Erderschütterungen auf Grund eines Fragebogens möglichst vielseitige Erkundigungen einzuziehen und über deren Resultate umgehend Bericht an die Zentralstelle in Leipzig zu erstatten (hatten). Gleichzeitig erließ die Königliche Generaldirektion der Sächsischen Staatseisenbahnen... an alle Eisenbahnstationen die Verordnung, von jeder etwa bemerkten Erderschütterung sofort telegraphische Meldung zu machen." (CREDNER & ETZOLD 1909). Da C r e d n e r einerseits die Nachteile einer alleinigen makroskopischen Beobachtung erkannte, andererseits die technische Entwicklung von Seismografen spürbar voranging, wurde der Entschluß gefaßt, in einem Raum der Geologischen Landesuntersuchung in Leipzig, Talstraße 35, eine Erdbebenwarte einzurichten.

¹⁾Karl-Marx-Universität, Sektion Physik, Fachbereich Geophysik
7010 Leipzig, Talstraße 35

Die Wahl eines Gerätes fiel auf ein von E. W i e c h e r t in Göttingen konstruiertes und im dortigen geophysikalischen Institut erfolgreich arbeitendes astatisches Pendelseismometer. Bereits im Frühjahr 1900 waren die Absprachen mit W i e c h e r t soweit gediehen, daß mit der Herstellung des massiven Sockels und der Pfeiler in Leipzig begonnen wurde. (Wie sich später herausstellte (WEICKMANN 1929), wurde die beabsichtigte Kopplung des Seismografen an "ungestörte" Bodenschichten durch einen 1,5 m tiefen Sockel infolge einer Verbindung von Fußboden und Sockel sowie durch die zwei massiven Stützpfiler wieder aufgehoben). Konstruktive Veränderungen am Seismografen (z. B. Übergang vom hängenden zum stehenden Pendel) verzögerten die Aufstellung, so daß erst von Ende März 1902 an das Horizontalpendel mit einer Masse von 1100 kg die N-S- und E-W-Komponenten der Bodenbewegung aufzeichnete. Mit einer etwa 250fachen Vergrößerung wurden neben den Beben des sächsisch-vogtländischen Raums auch Fernbeben in ausreichender Qualität aufgezeichnet (ETZOLD 1902, CREDNER 1903). Am 28. März 1902 konnte als erstes ein Fernbeben aus dem Raum der Molukken registriert und geortet werden, während das erste registrierte Nahbeben das Greizer Beben vom 1. Mai 1902 war.

Die Auswertung der sächsisch-vogtländischen Nahbeben wurde von C r e d n e r wahrgenommen, während Fernbeben der Observator Franz E t z o l d bearbeitete (SCHMIDT 1975a). E t z o l d war auch der Autor von 13 seismologischen Berichten, die in der Zeit von 1902 bis 1910 die Aktivitäten der Leipziger und ab 1905 auch die der Plauener Station dokumentierten (ETZOLD 1902 - 1911). Neben dem historischen Wert, den diese Angaben heute haben, sind die im Anhang der Berichte photolithographisch reproduzierten Aufzeichnungen von besonders bemerkenswerten Beben dieser Jahre interessant (z. B. San Francisco 18. April 1906, Messina 28. Dezember 1908). Mit der heute geforderten Genauigkeit der Zeitbestimmung lassen sich diese Registrierungen zwar nicht vergleichen, die Informationen aus den Einsätzen der einzelnen Phasen und deren Schwingungsbilder bleiben aber unverändert und sind auch heute noch von wissenschaftlichen Interesse (s. z. B. SCHICK 1977). Hinzu kommt, daß fast alle Originalregistrierungen bei der Zerstörung des Geophysikalischen Instituts 1943 vernichtet wurden.

Die Einrichtung der Nebenstation in Plauen ging gleichfalls auf das Betreiben C r e d n e r s zurück, der sich dadurch exaktere und häufigere Angaben zur Beben-tätigkeit im vogtländischen Raum erhoffte. Am 27. Juli 1905 erfolgte die Übergabe eines die N-S-Komponente einfallender Wellen registrierenden astatischen Wiechert-Seismografen mit 200 kg Pendelmasse. Die technische Betreuung oblag dem Seminar-Oberlehrer Prof. Ernst W e i s e (SCHMIDT 1975b), zu dem C r e d n e r seit 1875 Kontakt hatte (CREDNER 1876) und der einer der gewissenhaftesten Erdbebenreferenten im Vogtland war. Kurioserweise war der Leipziger Doppelstoß vom 17. August 1905 die erste Nahbebenregistrierung in Plauen. (Während dieses im unmittelbaren Untergrund der Station Leipzig stattfindenden Bebens wurden die Schreibstifte des Seismografen aus der Halterung gerissen, das Pendel kam aus der Gleichgewichtslage und legte sich gegen die Arretierschrauben (CREDNER 1907)). Die anfangs nur 25fache Vergrößerung des Plauener Seismografen zeichnete selbst die makroskopisch fühlbaren Vogtlandbeben nicht auf, erst eine Veränderung auf etwa 80fache Vergrößerung ermöglichten ab 1. Halbjahr 1908 auch sächsische Bebenaufzeichnungen.

Nachdem E t z o l d nach C r e d n e r s Tod 1913 auch die Bearbeitung von Nahbeben übernahm, wurde die Herausgabe der seismologischen Berichte eingestellt. Ende 1918, E t z o l d trat in den Ruhestand, wurde der Mineraloge und Petrograph R e i n i s c h (SCHMIDT 1975c) vom neuen Direktor K o s s m a t angeregt, die Betreuung des Wiechertschen Seismografen in Leipzig zu übernehmen. Bis zur Übergabe der Erdbebenwarte an das Geophysikalische Institut der Leipziger Universität im Oktober 1921 sorgte R e i n i s c h nebenamtlich für die volle Funktionstüchtigkeit des Pendels. Durch seine Ausbildung war er allerdings nicht in der Lage, eine zielgerichtete Auswertung der anfallenden Bebenregistrierungen vorzunehmen.

Aus der Zeit von Ende 1921 bis 1923 gibt es keine Angaben zur Arbeit der Station Leipzig. Die Gründe für die eingetretene Lücke liegen einerseits in der immer stärker sich bemerkbar machenden Unruhe des Aufstellungsortes durch benachbarte Fabrikbetriebe und den zunehmenden Straßenverkehr, andererseits in dem schlechten Zustand des Instruments. Der Seismograf war im Jahre 1923, als die Erdbebenwarte von W e i c k m a n n übernommen wurde, stark verrostet, empfindliche Teile im Übertragungsmechanismus der Stoßstangen sowie im Federgehänge hatten beträchtlich gelitten, so daß überhaupt nur noch eine Komponente arbeitsfähig war (WEICKMANN 1929).

Im Oktober 1923 begann man mit der Demontage der gesamten Apparatur. Der Seismograf wurde modernisiert und der Aufbau im Seismografenraum verändert. Gleichzeitig erfolgte eine Neukonstruktion des Zeitsystems, da der bisher verwendete Regulator mit Holzpendel nicht störungsfrei arbeitete.

Seit Januar 1925 ist die volle Funktionstüchtigkeit wieder nachweisbar. Unter der Betreuung des Observators Paul M i l d n e r wurde bis zum 10. Dezember 1934 registriert. Trotz des Umbaus ließen sich mikroseismische Störungen nicht vermeiden, so daß die Einsätze schwacher Beben vor allem tagsüber nicht immer mit der nötigen Genauigkeit festzustellen waren (MILDNER 1929, MILDNER 1932, WEICKMANN & MILDNER 1937). Die Bebenregistrierung vom 4. Dezember 1934 war die letzte für die Station Leipzig. Am 10. 12. 1934 wurde der Seismograf abgebaut und in die fertiggestellte Erdbebenwarte Collm umgesetzt, wo er noch heute voll funktionstüchtig arbeitet.

Literatur

- CREDNER, H.: Das vogtländisch-erzgebirgische Erdbeben vom 23. November 1875
Z. f. d. ges. Nat. wiss. 48 (1876), S. 246 - 269
- CREDNER, H.: Die erzgebirgisch-vogtländischen Erdbeben während der Jahre 1878 bis Anfang 1884
Z. f. Nat. wiss., Halle 57 (1884), S. 1 - 29
- CREDNER, H.: Die vom Wiechertschen astatischen Pendelseismometer der Erdbeben-Station Leipzig während des Jahres 1902 registrierten Nahbeben
Ber. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 1903, S. 2 - 22
- CREDNER, H.: Die sächsischen Erdbeben während der Jahre 1904 bis 1906
Ber. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 1907, S. 333 - 355
- CREDNER, H.; ETZOLD, F.: Die Erdbebenwarte.- in: Festschrift zur Feier des 500 jährigen Bestehens der Universität Leipzig
Leipzig: S. Hirzel, 1909

- ETZOLD, F.: Das Wiechertsche astatische Pendelseismometer der Erdbebenstation Leipzig und die von ihm gelieferten Seismogramme von Fernbeben
Ber. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 1902, S. 283 - 326
- ETZOLD, F.: Die von Wiecherts astatischem Pendelseismometer in der Zeit vom 15. Juli bis 31. Dezember 1902 in Leipzig gelieferten Seismogramme von Fernbeben
Ber. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Lpz., math.-phys. Kl., Leipzig 1903, S. 22 - 38
- ETZOLD, F.: Bericht über die von Wiecherts astatischem Pendelseismometer in Leipzig vom 1. Januar bis 30 Juni 1903 registrierten Fernbeben und Pulsationen
Ber. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 1903, S. 296 - 321
- ETZOLD, F.: Die in Leipzig vom 1. Juli 1903 bis 30. April 1904 von Wiecherts Pendelseismometer registrierten Erdbeben und Pulsationen
Ber. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 1904, S. 289 - 295
- ETZOLD, F.: Fünfter Bericht der Erdbebenstation Leipzig
Ber. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 57 (1904), S. 302 - 310
- ETZOLD, F.: Sechster Bericht der Erdbebenstation Leipzig
Ber. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 58 (1906), S. 81 - 105
- ETZOLD, F.: Siebenter Bericht der Erdbebenstation Leipzig
Ber. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 59 (1907), S. 1 - 34
- ETZOLD, F.: Achter Bericht der Erdbebenstation Leipzig
Ber. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 59 (1907), S. 356 - 370
- ETZOLD, F.: Neunter Bericht der Erdbebenstation Leipzig
Ber. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 60 (1908), S. 57 - 78
- ETZOLD, F.: Zehnter Bericht der Erdbebenstation Leipzig
Ber. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 60 (1908), S. 223 - 239
- ETZOLD, F.: Elfter Bericht der Erdbebenwarte zu Leipzig
Ber. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 61 (1909), S. 62 - 91
- ETZOLD, F.: Zwölfter Bericht der Erdbebenwarte zu Leipzig
Ber. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 62 (1910), S. 3 - 31
- ETZOLD, F.: Dreizehnter Bericht der Erdbebenwarte zu Leipzig
Ber. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 63 (1911), S. 291 - 315
- MILDNER, P.: Die im Jahre 1928 in Leipzig aufgezeichneten Erdbeben
Ber. Sächs. Akad. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 81 (1929), S. 240 - 266
- MILDNER, P.: Die in den Jahren 1929 und 1930 in Leipzig aufgezeichneten Erdbeben
Ber. Sächs. Akad. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 84 (1932), S. 209 - 268
- SCHICK, R.: Eine seismotektonische Bearbeitung des Erdbebens von Messina im Jahre 1908
Geol. Jb., Hannover E 11 (1977), S. 3 - 74
- SCHMIDT, P.: Hermann Credner als Seismologe
Z. geol. Wiss., Berlin 2 (1974) 2, S. 207 - 220
- SCHMIDT, P.: Franz Etzold - Observator der ehemaligen Erdbebenstation Leipzig
Z. geol. Wiss., Berlin 2 (1975a) 4, S. 513 - 521
- SCHMIDT, P.: Über den Anteil von Professor Ernst Weise (1843 - 1941) an der sächsischen Erdbebenforschung
Sächs. Heimatbl., Dresden 1975b, 5, S. 235 - 239

- SCHMIDT, P.: Die Betreuung der ehemaligen Erdbebenstation Leipzig durch Reinhold Joseph Reinisch
Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz, 49 (1975c) 8, S. 39 - 43
- WEICKMANN, L.: Der Umbau des Leipziger Seismografen und die in den Jahren 1925, 1926 und 1927 aufgezeichneten Erdbeben
Ber. Sächs. Akad. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 80 (1929) S. 385 - 496
- WEICKMANN, L.; MILDNER, P.: Die in den Jahren 1931 bis 1935 in Leipzig und im Observatorium am Collnberg aufgezeichneten Erdbeben
Ber. Sächs. Akad. Wiss. Lpz. math.-phys. Kl., Leipzig 89 (1937) S. 205 - 346

Zur Entwicklung der Angewandten Seismik an der Karl-Marx-Universität Leipzig

von

H. MEYER und F. JACOBS¹⁾Summary

Research and education in applied seismics at the Leipzig university starts in the early 1950's. From the beginning, there was a close connection between educational program and requirements of industry. Some of the most important questions treated and solved are

- the development of a prospecting method with S-waves,
- the probing of rocks and the modeling of geological situations with ultrasonic waves,
- the dynamic processing of seismic records.

The last complex is in work up to now.

Die seismologischen Traditionen an der Leipziger Universität nutzend, wurde zu Beginn der 50er Jahre mit der Aufnahme der Lehre und Forschungstätigkeit auf dem Gebiet der Angewandten Geophysik insbesondere auch der Entwicklung der Seismik Beachtung geschenkt. Den Erfordernissen der geologischen Industrie, speziell des VEB Geophysik Leipzig, wurde dadurch Rechnung getragen, daß eine verstärkte Hinwendung der Forschung und auch der Lehre zu Problemen der Angewandten Seismik erfolgte. Bedeutende Impulse für diese Entwicklung gingen in den Anfangsjahren von der engen personellen Verknüpfung von Forschungsabteilung des VEB Geophysik und Lehrkörper des Instituts für Geophysikalische Erkundung unter Prof. Robert LAUTERBACH aus.

Entsprechend dem Stand der seismischen Meßtechnik und den Anforderungen der Industrie konzentrieren sich die Forschungsarbeiten in den 50er und 60er Jahren auf Probleme der Feldmethodik, Gerätetechnik und (z. T. regionalen) Interpretation. Mit Beginn der 70er Jahre wurde dann durch E. HURTIG und später durch S. GRÄSSL der Übergang zu Fragen der digitalen Seismogrammbearbeitung vollzogen. Als besondere Forschungsschwerpunkte entwickelten sich die Ermittlung dynamischer Parameter und die Lösung der direkten Aufgabe in der Seismik (numerische Behandlung der seismischen Wellenausbreitung).

Die Bearbeitung praxisorientierter Forschungsaufgaben unter Einbeziehung studentischer Leistungen (Seminar- und Diplomarbeiten) hat sich als sehr wirkungsvoll erwiesen. Im folgenden sollen drei Arbeitsrichtungen vorgestellt werden, die einen bedeutenden Anteil an der Entwicklung der Angewandten Seismik darstellen.

Aus der Forschungsk Kooperation mit dem VEB Geophysik Leipzig erwuchs die Anregung, Transversalwellen zur Erkundung oberflächennaher Strukturen zu verwenden. Die ersten erfolgreichen Versuche in der DDR wurden in den Jahren 1965 - 67 durchgeführt.

¹⁾ Karl-Marx-Universität, Sektion Physik, Fachbereich Geophysik
7010 Leipzig, Talstraße 35

Die Untersuchungen erstreckten sich in der ersten Etappe auf die Entwicklung einer reflexionsseismischen Methode, die speziell für die Erkundung des Lockergesteinsbereichs von 20 bis 200 m Tiefe geeignet ist. Dieser Teufenbereich ist für konventionelle reflexionsseismische Messungen sehr schwer bzw. überhaupt nicht zugänglich. Aus seismischen Vertikalprofilierungen ergab sich eine etwa 5mal geringere Geschwindigkeit der S-Wellen gegenüber P-Wellen. Die Felduntersuchungen wurden mit modellseismischen Messungen über das kinematische und dynamische Verhalten von Transversalwellen in Lockersedimenten gekoppelt. Die ersten reflexionsseismischen Profilmessungen mit Transversalwellen im Vorfeld eines Tagebaus zeigten verschiedene Reflexionshorizonte im Deckgebirge und im Flözbereich, die korreliert und stratigrafisch zugeordnet werden konnten. Beim Anschluß an die zahlreichen Erkundungsbohrungen ergab sich für die reflexionsseismisch bestimmten Horizonte ein mittlerer relativer Fehler von ca. 2 %.

Die Schaffung eines ultraschallseismischen Meßplatzes gegen Ende der 60er Jahre führte zu einer neuen Entwicklungsrichtung der Forschungsarbeiten. Bei allen Nachteilen, die die Verwendung hochfrequenter Ultraschallsignale mit sich bringen, eignet sich diese Methode gut für die Überprüfung grundlegender Zusammenhänge der Wellenausbreitung und für die Bestimmung solch wichtiger Parameter wie der Schallgeschwindigkeit von Gesteinsproben. Darüber hinaus bietet sich die Gelegenheit, die experimentellen Fertigkeiten der Studenten gezielt zu erweitern.

Nach einer vorbereitenden Literaturstudie wurden die Arbeiten am Ultraschall-Meßplatz in zwei Richtungen verfolgt:

1. Untersuchung von Gesteinsproben zur Bestimmung der elastischen Eigenschaften
2. Modellierung geologischer Strukturen und Ableitung prinzipieller Erkenntnisse

Es ist zu bemerken, daß die Untersuchungen mit Ultraschall in unmittelbarem Zusammenhang mit den übrigen seismischen Arbeiten standen und stehen. So drücken sich Beziehungen zum o. g. Forschungsschwerpunkt "Transversalwellenseismik" durch die Bestimmung von P- und S-Wellen-Geschwindigkeiten von Lockersedimenten, durch methodische Arbeiten mit Biegeschwingern zur Erzeugung von S-Wellen sowie zum Übertragungssystem "Boden-Geophon" aus.

Eine andere Gruppe von Arbeiten befaßte sich mit der anspruchsvollen Aufgabe der experimentellen Absorptionsbestimmung. Dabei stand nicht eine möglichst exakte Bestimmung des Absorptionskoeffizienten von Gesteinsproben, sondern vielmehr die Variation des Parameters in Abhängigkeit von Art und Grad der Sättigung und zum Teil unter hydrostatischem Druck im Mittelpunkt.

Die zweite Richtung, die ultraschallseismische Modellierung zwei- und dreidimensionaler gekrümmter Schichtgrenzen, wurde erst in jüngster Zeit in Angriff genommen. Bei diesen Arbeiten geht es sowohl um die Klärung kinematischer Fragen, wie Laufzeitbestimmung bei unterschiedlichen Meßsystemen und Strahlenwegverfolgung als auch um die Auswertung dynamischer Parameter, z. B. Einfluß des Krümmungsradius von Schichtgrenzen auf die Amplitude.

Die dritte Linie seismischer Arbeiten entwickelte sich kontinuierlich seit Beginn der vertraglichen Forschung mit dem VEB Geophysik im Jahre 1969. Sie läßt sich allgemein mit dem Begriff "Dynamische Parameter" verbinden.

Die Möglichkeit der Bearbeitung dynamischer Kenngrößen resultierte aus der Umstellung der seismischen Meßtechnik des VEB Geophysik auf digitale Registrierung. Daraus folgte zwangsläufig eine wesentliche Verstärkung rechentechnischer Arbeiten, auch im Rahmen der studentischen Ausbildung.

Die Grundlage für eine effektive Bearbeitung von Meßdaten ist verständlicherweise eine Methodik, die der speziellen Aufgabenstellung optimal angepaßt ist. Hier sind vor allem die Arbeiten zur Spektralanalyse geophysikalischer Zeitreihen zu nennen.

Der systemtheoretischen Auffassung des Wellenausbreitungsprozesses folgend wurden Untersuchungen der Übertragungseigenschaften des Untergrundes sowie des Empfangs- und Registriersystems vorgenommen. Einen wesentlichen Anteil bei der Nutzung dynamischer Parameter für die Interpretation seismischer Ergebnisse nahmen die Arbeiten zur Lösung der direkten seismischen Aufgabe ein. Es entstand ein Programmpaket DISA, das die Wellenausbreitung auf strahlengeometrischer Basis modelliert und zusätzliche dynamische Operationen gestattet.

Als letzter Komplex sei ein Verfahren zur Absorptionsbestimmung (ABSOR) genannt. In enger Zusammenarbeit mit dem VEB Geophysik wurde ein umfangreiches EDV-Programm entwickelt und getestet, das die Bestimmung von Absorptionskoeffizienten erlaubt.

Schließlich sei auf die laufenden Forschungsvorhaben hingewiesen. Neben den genannten Teilgebieten Ultraschallseismik und Dynamische Parameter erfolgen Arbeiten zur Auswertung und Interpretation tiefenseismischer Messungen, zur Bearbeitung seismologischer Daten (z. B. Q-Wert-Bestimmung) sowie Untersuchungen zum Verhalten der mikroseismischen Bodenunruhe im Stadtgebiet von Leipzig.

Eine Zusammenstellung der studentischen Arbeiten und Dissertationen auf seismischem Gebiet findet sich bei HIERSEMANN (1969), JACOBS (1971) und JACOBS & MEYER (1978).

Literatur

- HIERSEMANN, L.: Bibliographie der wissenschaftlichen Arbeiten 1952 - 1968
Karl-Marx-Universität Leipzig, Sektion Physik, Fachbereich Geophysikalische Erkundung und Geologie, Leipzig 1969
- JACOBS, F.: Dissertationen, Diplom- und Seminararbeiten des ehemaligen Instituts für Geophysikalische Erkundung und Geologie der Karl-Marx-Universität Leipzig auf seismischem Gebiet (1965 - 1969)
Geologie, Berlin 20 (1971) 8, S. 926 - 930
- JACOBS, F.; MEYER, H.: Karl-Marx-Universität Leipzig, Sektion Physik, Fachbereich Geophysik Dissertationen, Diplom-, Ingenieur- und Seminararbeiten auf seismischem Gebiet (1970 - 1977)
Z. geol. Wiss., Berlin 6 (1978) 8, S. 1043 - 1055

Seismische Überwachung von Bergbaugebieten, dargestellt am
Beispiel der Mansfelder Mulde¹⁾

von

H. NEUNHÖFER²⁾ und V. WEIDERMANN³⁾

Zusammenfassung

Vor 40 Jahren wurden im sogenannten Mansfelder Bergbaugebiet seismische Beobachtungen begonnen. Sie wurden am Ende der 50er Jahre fortgesetzt und auf Randgebiete ausgedehnt. Schließlich ist 1978 ein seismisches Kontrollsystem eingerichtet worden, welches den Zweck verfolgt, große Erdfälle in diesem Gebiet vorherzusagen und zu lokalisieren. Dadurch ist dieses Gebiet dasjenige in der DDR, welches am längsten seismisch überwacht wurde. Es wird über einige Ergebnisse berichtet, insbesondere auch über erste des Kontrollsystems.

Summary

For 40 years in the so-called Mansfeld mining district seismic observations were started. They are continued during the late fiftieth and extended to marginal regions. At last in 1978 at Eisleben a seismic control system was established, which has the purpose to forecast and localize large collapse sinks in this region. Thereby this region is that one in GDR which is seismically observed for longest time. Here, some results are outlined, especially, also first ones of the control system.

1) Mitteilungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, Nr. 773

2) Dr. rer. nat. Horst Neunhöfer, Zentralinstitut für Physik der Erde der AdW der DDR, Institutsteil Jena, 69 Jena (DDR) Burgweg 11

3) Dipl.-Geophys. Volker Weidermann, 425 Eisleben, VEB Mansfeld Kombinat "Wilhelm Pieck"

1. Einleitung

Beginnend vor mehr als 40 Jahren, kontinuierlich fortgesetzt seit 25 Jahren, erfolgt eine seismische Überwachung von verschiedenen Bergbaugebieten mit Hilfe stationsseismischer Registrierungen. Der Anfang wurde von KRUMBACH gemacht, die Arbeiten wurden von GERECKE und danach von einem der Autoren (N.) fortgesetzt. Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die Betriebe der Kaliindustrie und, mit dem Schwerpunkt in der Mansfelder Mulde, auf den Kupferschieferbergbau. Die Orte der Registrierungen haben zeitlich gewechselt. Die längsten Beobachtungsreihen liegen aus dem Bereich des Kupferschieferbergbaus und seiner Umgebung vor. Seit 1976 wurden die Untersuchungen unter Mitwirkung des anderen Autors (W.) durch den Aufbau eines seismischen Überwachungssystems im Gebiet von Eisleben erweitert, wodurch auch dort die komplexe Anwendung von Stations- und Ortungsseismik eingeführt wurde und sich bewährt hat. Um den Erkenntnisfortschritt darzustellen, soll im folgenden die Entwicklung dieser Beobachtungen durch Darlegung wesentlicher wissenschaftlicher Ergebnisse aus der zurückliegenden Zeit skizziert werden.

2. Stationsseismik

Die seismischen Beobachtungen haben drei Aufgaben verfolgt:

- die Überwachung des Abbaues bezüglich auftretender Gebirgserschütterungen im Eislebener und Sängershäuser Revier,
- die Überwachung von Senkungen in Randgebieten,
- die Überwachung des Flutungsablaufes in den Eislebener Schächten.

Als Meßinstrumente waren zuerst von KRUMBACH entwickelte, mechanisch-optisch registrierende Seismographen - vorwiegend deren Horizontalkomponente - und im letzten Jahrzehnt der elektromagnetische Vertikalseismograph VSJ-II im Einsatz.

In der Tabelle 1 sind die im Bereich des VEB Mansfeld-Kombinats bisher tätigen seismischen Stationen sowie deren Verwendungszweck zusammengestellt. Es sind speziell eine Station in Eisleben, die im Keller der damaligen Bergschule aufgestellt war, wo zwei Jahre lang mit etwa 120facher Vergrößerung registriert wurde. Der Anstoß dazu wurde gegeben, indem infolge des Abbaues eine größere Zahl von Erschütterungen in Eisleben makroseismisch wahrgenommen wurde. In der relativ kurzen Zeit ihrer Tätigkeit wurde eine beträchtliche Anzahl von Ereignissen registriert (351), die die Wahrnehmungen ergänzten. Auf dieser ersten Stufe von seismischen Beobachtungen bestand die Bearbeitung in einem Vergleich mit der Makroseismik und einer Typenanalyse der Aufzeichnungen durch HERRMANN, dessen Ergebnisse von SPONHEUER [1] zusammengefaßt wurden. Von besonderem Wert erscheinen uns heute auch die Aufzeichnungen, die im Zusammenhang mit dem Gebirgsschlag in Teutschenthal 1942 gemacht worden sind und von KRUMBACH publiziert wurden.

Der zweite Weltkrieg und die Nachkriegszeit haben die bergbauseismischen Beobachtungen unterbrochen und erst 1954 fanden sie im Mansfeldischen ihre Fortsetzung. Dazu gehörte seit 1958 die Überwachung des Abbaues des Otto-Brosowski-Schachtes durch drei seismische Stationen, die im Grubengebäude aufgestellt worden waren. Sie wurden durch den Wassereinbruch 1959 vernichtet, was Anlaß dazu war, für die seismischen Stationen in

Tabelle 1 Seismische Stationen im Gebiet der Mansfelder und Sangerhäuser Mulde

Aufstellungsort	Zeitdauer der Tätigkeit	Zweck		
		Abbau	Flutung	Rand
Eisleben, Bergschule	07.38 - 06.40	x		
Otto-Brosowski-Schacht	12.06.58 - 04.07.61	x		
Heiligenthal	04.07.61 - 04.05.64	x		
Augsdorf	20.01.60 - 10.04.76	x	x	
Unterrißdorf	11.11.71 - 12.07.73		x	
Fortschrittschacht	26.04.72 - 09.10.74		x	
Eisleben, Stadtpark	14.03.75		x	
Karl-Liebnecht-Hütte	15.04.76 - 16.08.77		x	
Erdeborn	30.10.54 - 06.09.65			x
Helfta	18.07.61 - 11.03.75		x	x
Volkstedt	26.04.72 - 14.11.74			x
Sangerhausen, Rathenaustraße	05.04.63 - 22.12.70	x		
Kinderkrippe	05.01.78 -	x		
Einzingen	04.05.64 - 18.04.72	x		
B.-Koenen-Schacht	18.03.65 - 24.10.68	x		
Wallhausen	26.11.74 -	x		

1. Block - Otto-Brosowski-Schacht; 2. Block - Flutungsüberwachung;
3. Block - Randerscheinungen; 4. Block - Sangerhäuser Revier;

diesem Gebiet nur noch Standorte an der Erdoberfläche (Kellerräume) zu bevorzugen. Von den drei dort an der Erdoberfläche aufgestellten Stationen Otto-Brosowski-Schacht, Augsdorf und Heiligenthal hat die zweite eine hervorgehobene Bedeutung, da sie über 16 Jahre hinweg sowohl lange Zeit während des Abbaus als auch nach dessen Stilllegung mit Registrierungen überdeckte. Über die Auswertungen liegen Jahreskurzberichte von GERECKE, GERECKE und NEUNHÖFER sowie NEUNHÖFER vor. In ihnen wird auf den jährlichen Verlauf der Erschütterungshäufigkeit, ihre Verteilung, die "Energieauslösung" und die Energie-Häufigkeitsverteilung eingegangen. Einen guten Überblick über die Beobachtungen gibt die Häufigkeitsverteilung von örtlichen Gebirgserschütterungen an der Station Augsdorf. Die monatlichen Häufigkeitsschwankungen spiegeln gebirgsmechanische Vorgänge infolge des Abbaus, erhöhten Wasserzuflusses (1964) und des Abklingens nach Abbaueinstellung wider (Abb. 1).

Kommen wir nun zur zweiten Gruppe von Stationen, die zur Überwachung des Flutungsablaufes an verschiedenen Orten temporär eingesetzt war. Dazu gehört die Station Augsdorf in der letzten Phase ihres Betriebes und zugleich als Bezugsregistrierung, je eine Station in Unterrißdorf, im Gebiet des Fortschrittschachts, im Eislebener Stadtpark und in der Karl-Liebnecht-Hütte. Mit ihnen konnten drei Erscheinungsformen der

Flutungsauswirkungen dokumentiert werden,

- die Aseismizität als Ausdruck fehlender gebirgsmechanischer Beeinträchtigung (Unterrißdorf, Fortschrittschacht),
- die Einstellung der Aseismizität nach einer Reihe von Gebirgserschütterungen, im Zusammenhang mit starken kesselförmigen Absenkungen (Eisleben - Stadtpark),
- das Auftreten von Erschütterungsschwärmen als Ausdruck unterirdischer Zerstörungen, als Folge dessen Auswirkungen an der Tagesoberfläche in Form von Tagesbrüchen oder rapiden Senkungskesseln möglich sind.

Die zuletzt angeführte Erkenntnis führte zu einer neuen Qualität der Überwachung, indem nämlich, gestützt auch auf Erfahrungen am anderen Ort, Kriterien erarbeitet wurden, welche die Gebirgserschütterungen als kurzzeitige Warnungen vor gefährlichen Veränderungen an der Tagesoberfläche benutzen, was sich im Gebiet der Karl-Liebknecht-Hütte bewährt hat. Die Wirksamkeit dieser Möglichkeit zeigt Abb. 2, wo der kumulative Erschütterungsverlauf als Vorbote von starken Oberflächenveränderungen deutlich wird.

Die dritte Kategorie von seismischen Stationen steht in Ortschaften, unter denen weder heute noch in historischer Zeit bergmännischer Abbau umgegangen ist, in denen sich aber Senkungsgebiete ausgebildet haben, die eine Gefährdung für die Bebauung darstellen. Im einzelnen handelt es sich hierbei um die Stationen in Erdeborn, Helfta und Volkstedt, die zu diesem Zwecke aufgestellt waren, und über deren Ergebnisse ebenfalls Berichte von GERECKE, GERECKE und NEUNHÖFER sowie NEUNHÖFER vorliegen. Insbesondere die Erschütterungen in Erdeborn und Helfta sind Ausdruck von wenig bergmännisch gestörten gebirgsmechanischen Entwicklungen, so daß sie sich gut zu detaillierten statistischen Untersuchungen eignen (NEUNHÖFER [1967]). Die zeitliche Häufigkeitsentwicklung für Erdeborn und Helfta zeigt Abb. 3. Folgende Ergebnisse haben diese Untersuchungsgebiete u. a. gebracht:

- Gebirgserschütterungen sind in statistischer Betrachtung durch äußere Kräfte auslösbar (Gezeiten, Luftdruck, Grundwasser, Mikroseismik),
- Gebirgserschütterungen treten in einem gewissen Energieband auf, sowohl die Wahrscheinlichkeit schwacher als auch starker nimmt gesetzmäßig ab,
- es gibt Gebiete, in denen eine Erschütterung entsprechend dem Modell Erdbeben - Nachbeben eine weitere nach sich zieht und andere, in denen eine Gebirgserschütterung eine Entlastung darstellt und deshalb danach eine "Ereignispause" eintritt,
- am Beispiel Erdeborn zeigt sich, wie ein Gebiet zerbricht und sich ein Senkungskessel mit starken Senkungen, die nicht von Erschütterungen begleitet werden, vorbereitet.

Schließlich soll auch noch die Stationsseismik im Sangerhäuser Revier erwähnt werden, wo insgesamt fünf Stationen temporär tätig waren oder sind. Bis auf die beiden Stationen Einzingen und BKS werden wenige Erschütterungen beobachtet. Besonders in Einzingen wurde der Zusammenhang, d. h. die Proportionalität zwischen Abbautätigkeit und Erschütterungshäufigkeit deutlich, wodurch ein statistischer Ausschluß anderer Ursachen für die Erschütterungen möglich wird.

Insbesondere die Folgeerscheinungen, die z. T. an Erschütterungsschwärme gekoppelt sind, führten zur Einführung einer neuen Qualität in die Beobachtung von Gebirgserschütterungen im Mansfelder Gebiet.

3. Seismisches Überwachungssystem

Auf Grund der Gefährdung durch Auslaugungssenkungen, insbesondere durch Großerdfälle wurde für das Territorium Eisleben ein seismisches Überwachungssystem unter folgender Aufgabenstellung aufgebaut:

- Registrierung von Gebirgsserschütterungen aus dem Überwachungsgebiet,
- Ableitung der Gefährdung für die Tagesoberfläche auf der Grundlage der gefundenen Seismizität zum Zwecke einer Frühwarnung vor Großerdfällen, um Menschenleben zu schützen und Industrieanlagen zu sichern,
- Bearbeitung der seismischen Registrierungen, um die Kenntnisse über die Prognose von Senkungen der Tagesoberfläche zu erhöhen.

Das berücksichtigend entstand ein Überwachungssystem, dessen Aussage zusammen mit vorhandenen geologischen Kenntnissen und aktuellen markscheiderischen Vermessungen die wichtigste Grundlage für eine operative Gefährdungseinschätzung ist. Es besteht aus einem Netz von 13 Seismometern, die bis auf zwei Ausnahmen, wo in Bohrungen eingebrachte Bohrlochseismometer verwendet werden, eine niederfrequente Charakteristik haben und auf Sockeln an der Erdoberfläche stehen. Die aufgenommenen seismischen Signale werden permanent telemetrisch der Zentralstation übermittelt. Dort werden die seismischen Kanäle parallel, zusammen mit einem Zeitsignal zwischengespeichert und bewertet. Die Bewertung erfolgt automatisch und trennt wirkliche Gebirgsserschütterungen von lokalen Störungen. Erstere werden auf Magnetband gespeichert und sind so jederzeit für die Auswertung verfügbar.

Die geometrische Anordnung der Seismometerstationen ist in der Abb. 4 dargestellt. Sie zeigt, welche Kriterien bei der Festlegung der Seismometerstandorte beachtet wurden, nämlich die annähernde Äquidistanz der Meßpunkte, eine geeignete Lage zu besonders gefährdeten Gebieten (rezente Senkungszentren und Martinsschächter Flözgraben als Hauptstörungszone) und eine geeignete Lage zu besonders zu überwachenden Gebäuden und Industrieanlagen. Mit diesem System wurden seit der Inbetriebnahme im Januar 1978 bis Januar 1980 mehr als 4000 Gebirgsserschütterungen registriert und ausgewertet. Die Auswertung erfolgt entsprechend der Aufgabenstellung hinsichtlich der operativen Beurteilung der Gefährdungssituation an der Tagesoberfläche. Zur Lösung dieser Aufgabe ist es notwendig, zuerst die Herdkoordinaten zu berechnen. Auf dieser Grundlage kann ein Gefährdungsbereich abgegrenzt werden. Dann wird die zu erwartende Senkung, d. h. die eigentliche Gefährdung, an Hand bestimmter Kriterien eingeschätzt. Falls erforderlich, werden geeignete organisatorische und sicherheitstechnische Maßnahmen eingeleitet.

Die genannten Gefährdungskriterien basieren auf den seismischen Registrierungen der Station Eisleben Stadtpark von dem Niedergehen eines Großerdfalls im Überwachungsgebiet (s. auch Abb. 2). Sie beinhalten die gewonnenen Erfahrungen über die Häufigkeiten der Gebirgsserschütterungen pro Zeiteinheit und die obere Energiegrenze für zusammenhängende seismische Ereignisse (Schwärme). Die Kriterien werden je nach der Lage der seismischen Herde unterschiedlich festgelegt. Im Überwachungszeitraum wurde an vielen Einsatzfällen nachgewiesen, daß auf der Grundlage eines solchen Vorgehens weitgehende Aussagen über bevorstehende Senkungen der Tagesoberfläche möglich sind.

In Abb. 5 ist der Zusammenhang zwischen den berechneten Herdorten und gemessener Absenkung dargestellt. Wenige Stunden vor dem Eintreten der Senkung konnte dieses Gebiet lokalisiert und eingeschätzt werden. Nachfolgende Nivellements, die jedoch auf Grund der ungünstigen Morphologie nicht das Senkungszentrum erfaßten, ergaben in den Randgebieten bereits Senkungen von 23 cm. Durch den geringen Durchmesser des betroffenen Gebietes traten neben den vertikalen auch erhebliche horizontale Verschiebungen, insbesondere deutliche Zerrungen auf. Vor allem diese Horizontalkomponenten der Bodenbewegungen sind es, die sich auf die Bausubstanz auswirken. Durch die Abgrenzung des Herdgebietes konnte bisher bereits erheblicher Schaden vermieden werden, indem wichtige Industrieanlagen weiterbetrieben werden konnten, die ohne die Aussagen der seismischen Überwachung hätten stillgelegt werden müssen. Abb. 6 zeigt eine weitere wichtige Eigenschaft der operativen seismischen Überwachung. In einem sehr eng begrenzten Bereich wurden im Verlauf weniger Monate energiereiche seismische Aktivitäten geortet. Die Lage der Herde und ihre scharfe Abgrenzung zu der aseismischen Umgebung deuten auf Schlottenzusammenbrüche hin, die eine Zwischenphase der Erdfallgenese darstellen. Entsprechend dem geologischen Bau dieses Gebietes kann auf eine Gefährdung durch Erdfälle geschlossen und vorbeugende Maßnahmen eingeleitet werden.

Literatur

- [1] HERRMANN, A.: Seismogrammformen auf Grund seismischer Beobachtungen in Bergbaugebieten. Abschlußbericht zum Forschungsauftrag F 8-6/6 "Untersuchung charakteristischer Seismogrammformen".
Bearb. u. hrsg. von W. Sponheuer, Jena: Manuskript 1959, 140 S.
- [2] NEUNHÖFER, H.: Statistische Gesetzmäßigkeit der zeitlichen Verteilung sowie des Energie-Häufigkeits-Zusammenhangs von Gebirgsschlägen und die Aussichten einer statistischen Gebirgsschlagprognose.
Veröff. I. G. Reihe A: Wiss. Veröff. Berlin 1967. 80 S.

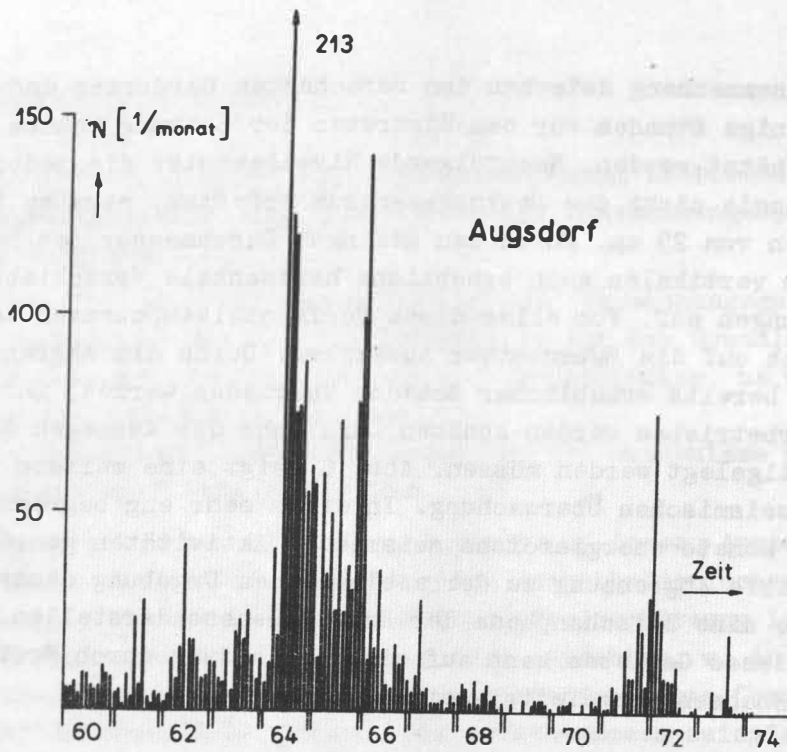


Abb. 1. Monatliche Häufigkeiten örtlicher Gebirgserschütterungen, beobachtet an der Station Augsdorf

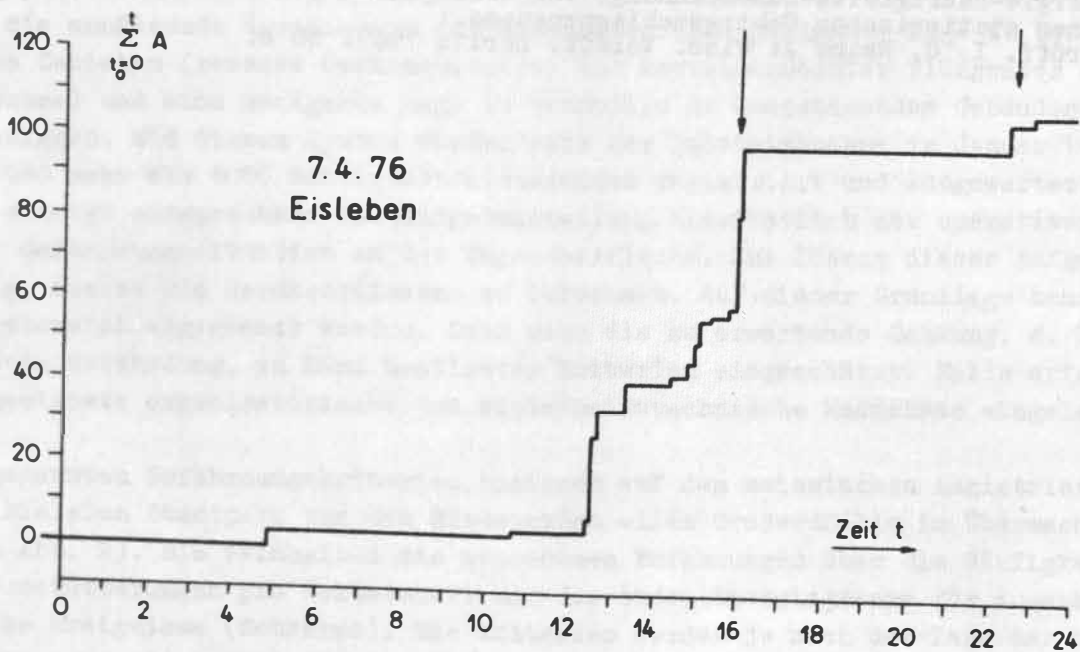


Abb. 2. Kumulative Amplitude der beobachteten Gebirgserschütterungen für ein gebirgsmechanisches Ereignis. Pfeile weisen auf rasche Bodensenkungen hin

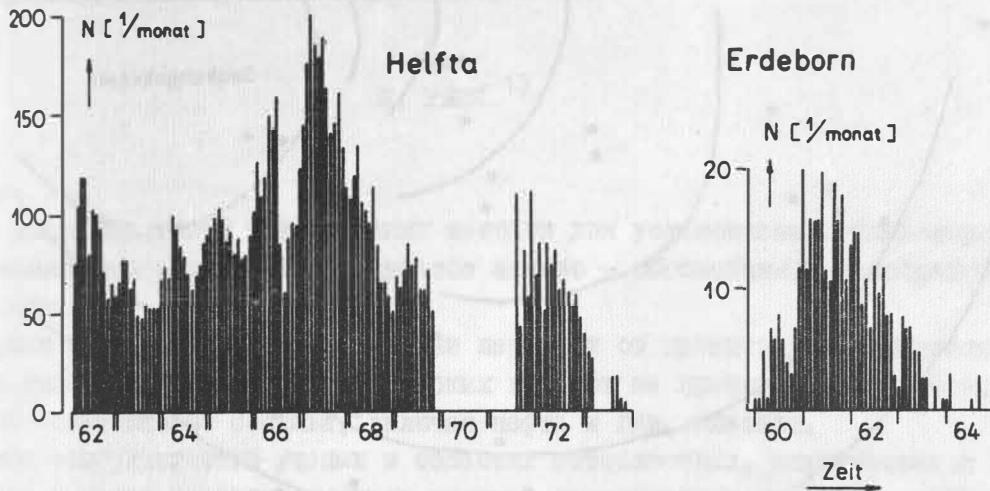


Abb. 3. Monatliche Häufigkeiten von Gebirgserschütterungen in den Gebieten Helfta und Erdeborn

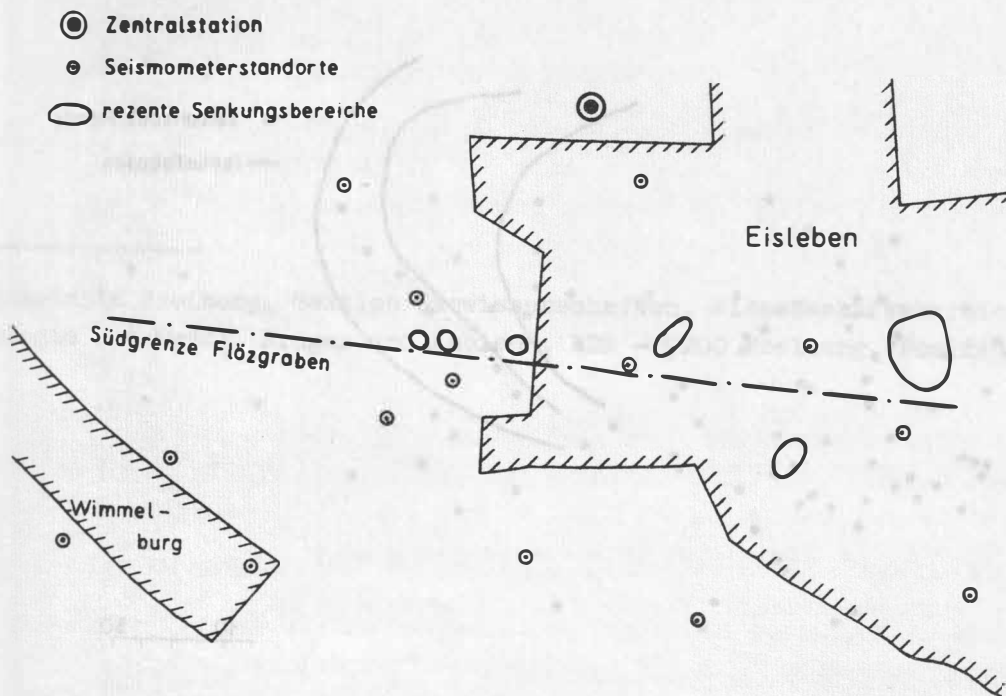


Abb. 4. Stationsnetz des seismischen Überwachungssystems

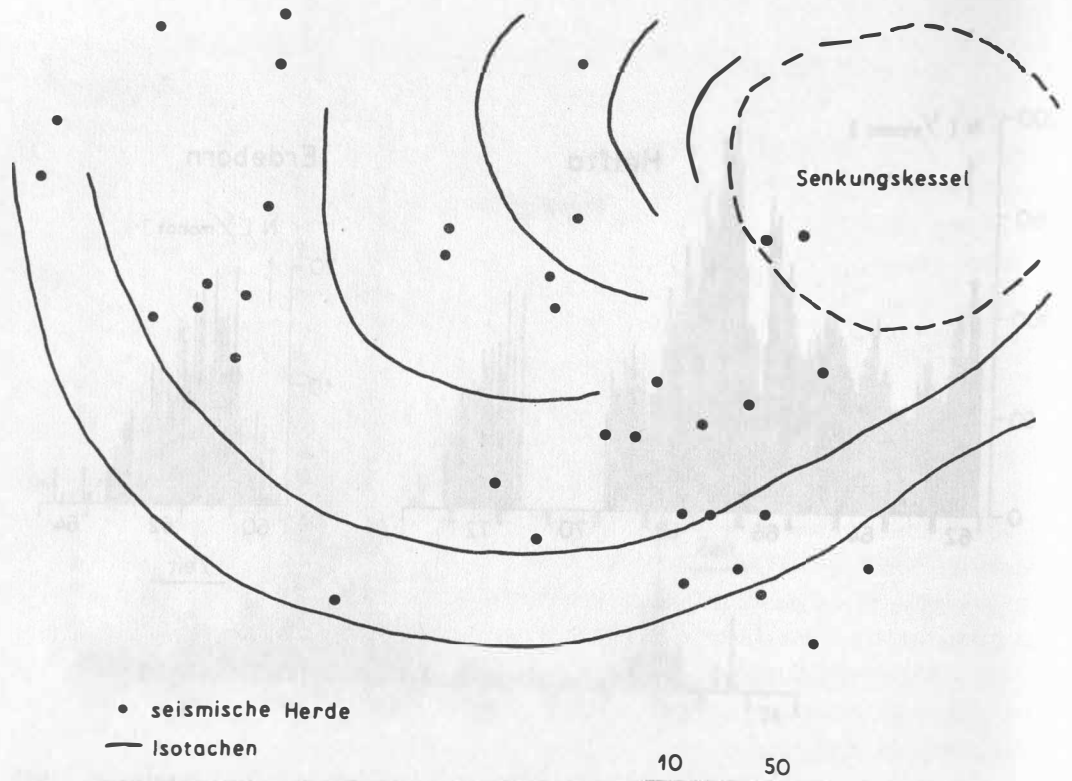


Abb. 5. Berechnete Herde und gemessene Absenkung

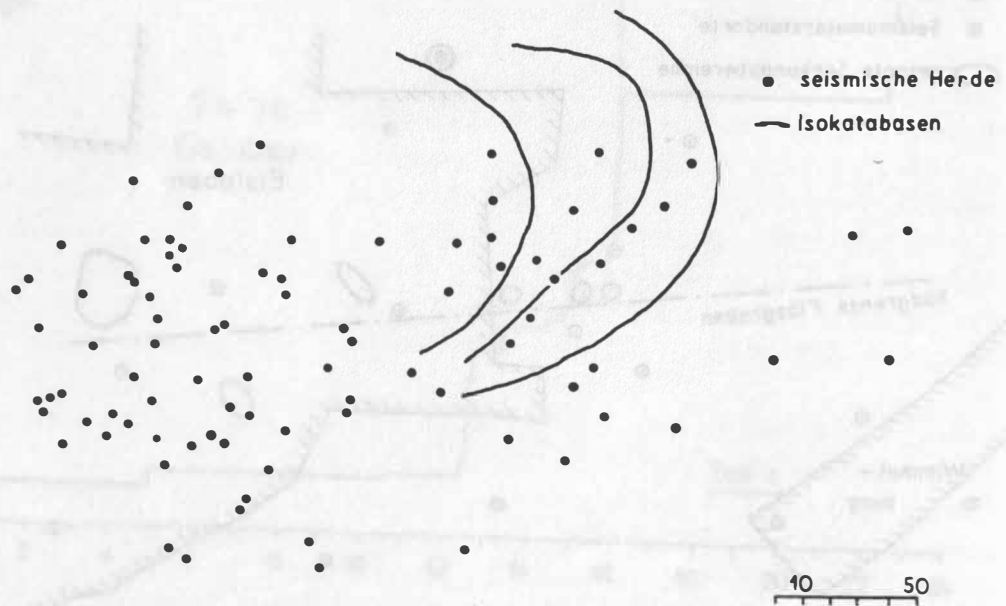


Abb. 6. Ortungsschwerpunkte, die mit dem Überwachungssystem gefunden worden sind.

Zur Geschichte der Seismik beim Nachweis von Erdöl- und Erdgaslagerstätten -
versuch einer gesellschaftsbezogenen Wichtung

von
H. PÄTZ¹⁾

Резюме

Между общим развитием сейсмических методов для установления углеводородов и общественными условиями пока не имеется научно - обоснованных непосредственных взаимосвязей.

В будущем сейсмические методы должны перейти от принципа установления структурных условий залегания геологических пластов на принцип анализа и предсказания литологического состава, включая нефть и газ, пластов.

При этом сотрудничество ученых в областях естественных, технических и общественных наук в рамках социалистических условий производства могло бы решать эту задачу в ускоренном виде, из - за действия условий социалистического общества как фактор общественного влияния на науку.

Во общем при обработке этой тематики перед учеными еще стоят много нерешенных проблематических вопросов.

¹⁾ Bergakademie Freiberg, Sektion Geowissenschaften, Wissenschaftsbereich
"Geologie von Erdöl, Erdgas und Kohlen", DDR - 9200 Freiberg, Postfach 47

1. Problemstellung

Um sich mit der gesellschaftsbezogenen Wichtung einer Methodik zu beschäftigen, bedarf es einer Analyse der Entwicklung und Wirksamkeit dieser Methodik, wobei das Studium der gesellschaftlichen Verhältnisse vorausgesetzt werden muß, denn die Ursachen für die Entwicklung einer Methodik können sowohl in der rein kommerziellen Art als auch in der allgemeinen Entwicklung der Wissenschaft zu suchen sein. Selbst die Wechselbeziehungen zwischen diesen beiden Faktoren vollziehen sich unter bestimmten gesellschaftlichen Bedingungen, so daß eindeutige Antworten auf die im Titel der Arbeit genannte Problematik gegenwärtig ebenso wenig zu erwarten sein können, wie die Gesellschaftssysteme unterschiedliche Entwicklungsniveaus aufweisen und das Problem der Übergangsphasen von einer Gesellschaftsordnung in die andere im Weltmaßstab sich auch in der Wissenschaft widerspiegelt. Wenn trotzdem versucht wird, sich zu dieser Thematik zu äußern, so soll damit auf einige spezifische Gesichtspunkte der Seismik-Entwicklung in Verbindung mit dem Erdöl- und Erdgasnachweis aufmerksam gemacht werden, die für die künftige Lösung des sog. Erdöl- und Erdgasproblems Anregungen zur Zusammenarbeit von Natur- und Gesellschaftswissenschaftlern vermittelt. Obwohl sich zahlreiche Wissenschaften diesem Problem stellen müssen, bietet gerade auch die Seismik besondere Gelegenheiten, diese Probleme zu diskutieren, entstand sie doch zeitgleich mit dem Übergang der kapitalistischen in die sozialistische Gesellschaftsordnung während der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts. Außerdem verdanken die seismischen Methoden vor allem dem sprunghaften Erdöl- und Erdgasverbrauch z. T. ihre stürmische Entwicklung, die ja wohl als noch nicht abgeschlossen angesehen werden dürfte.

2. Die gegenwärtigen Möglichkeiten seismischer Methoden beim Erdöl- und Erdgaslagerstättenachweis

Die nächsten Jahrzehnte unseres Daseins werden weiterhin vom Erdöl- und Erdgas-einsatz in der Industrie und Landwirtschaft, d. h. in der Volkswirtschaft überhaupt, wesentlich mit beeinflußt werden. Selbst, wenn es gelingt, Öl und Gas als Energieträger bzw. Brennstoffe weitgehend zu substituieren, so sind beide Rohstoffe als chemische Ausgangsprodukte für lange Zeiträume, zumal ihr gegenwärtiger Anteil an der Gesamt-Erdöl/Erdgasverbrauchsbilanz noch weit unter 10 % liegt, unersetzlich.

In diesem Sinne müssen stets neue Erdöl- und Erdgasvorräte zum Abbau zur Verfügung stehen. Hierfür leisten seismische Methoden große Beiträge. Die seismischen Wirkprinzipien wurden zwar vielfach modifiziert, allerdings unterliegen diese Prinzipien gegenwärtig noch immer großen Aussagebeschränkungen.

Ohne auf die methodischen Einzelheiten einzugehen, kann man sich vorbehaltlos der Formulierung MEINHOLDS 1970 157 anschließen: "Die Seismik ist daher (wegen ihres Wirkprinzips H. P.) die geeignetste Methode für die Untersuchung des Deckgebirges auf seine strukturellen Eigenheiten. Für die Untersuchung seiner lithologischen Eigenschaften ist diese Methode noch sehr wenig entwickelt."

Mit dem Begriff der "strukturellen Eigenheiten" verbindet sich vor allem die besonders günstige Abbildung der geologischen Lagerungsverhältnisse. Deshalb haben sich seismische Methoden für den indirekten Nachweis von Erdöl- und Erdgaslagerstätten, speziell in Antiklinalen, Synklinalen, Salzstöcken, an Störungen oder an bzw. in anderen geologischen Bildungen hervorragend bewährt.

Obwohl die Entwicklung der Seismik seit 1964 GAMBURZEW 1964 [27] bzw. GURWITSCH 1970 [37] und MEINHOLD 1970 [67] weiter vorankam, ist es aber auch heutzutage noch sehr schwierig oder sogar unmöglich, lithologische, d. h. substantielle Eigenschaften in den jeweiligen Untersuchungsgebieten mit seismischen Methoden eindeutig nachzuweisen.

Unterzieht man den durch diese Feststellungen erreichten Stand der Aussagemöglichkeiten der Seismik einer gesellschaftlichen Wichtung, dann lassen sich kaum gesellschaftsspezifische Merkmale besonderer Art weder der einen noch der anderen Gesellschaftsordnung vorbehaltlos zuordnen. Die Wirkprinzipien erweisen sich fast ausschließlich gesellschaftsindifferent, und die Anwendungsmöglichkeiten bzw. -varianten repräsentieren nicht das Wesen der jeweiligen Gesellschaftsordnung im umfassenden Sinne.

So bleibt es für den Naturwissenschaftler, ebenso wie für den Gesellschaftswissenschaftler, problematisch, eine Korrespondenz zwischen dem naturwissenschaftlich-technischen und dem gesellschaftlichen Fortschritt als geschichtlichen Entwicklungsprozeß nachzuweisen und widerspruchsfrei zu erklären. Der von WUSSING 1975 [77] unternommene Versuch, den Gesellschaftsformationen bestimmte Entwicklungsstufen von Wissenschaft und Technik bis zu einem gewissen Grade als Kriterium des Entwicklungsstandes der Produktivkräfte zuzuordnen, muß sehr vorsichtig gehandhabt werden, denn zwischen den Gesellschaftsformationen gibt es, ebenso wie zwischen den wissenschaftlichen Methoden, keine scharfen Grenzen. Gerade, aber das Übergangsproblem, wonach sich Elemente des Neuen im Alten schon entwickeln und umgekehrt, das Alte noch lange Zeit in das Neue hineinwirkt, erschweren den Gesellschaftsbezug von Wissenschaft und Technik im allgemeinen, rufen aber besondere Schwierigkeiten bei speziellen Methoden oder Detaildarstellungen von spezialwissenschaftlichen Ergebnissen hervor. Für die seismischen Methoden muß man diesen Korrelationsversuch als Problem offen lassen und zur Diskussion stellen.

3. Zur künftigen Entwicklung der seismischen Methoden als Hilfsmittel für die Erdöl- und Erdgassuche

In einem Wort des russischen Physikers NIKOLAJ ALEKSEEWIČ UMOV (1846 - 1915) wurden die Forderungen an die Wissenschaft unter Beachtung historischer Aspekte zusammenfassend wie folgt außerordentlich treffend charakterisiert:

"... die Krone der wissenschaftlichen Arbeit ist die Vorhersage. Sie deckt uns die Weite der künftigen Erscheinungen oder die historischen Ereignisse auf, sie ist ein Merkmal, welches davon zeugt, daß sich die wissenschaftliche Idee

den Aufgaben der Menschheit und der Naturkraft sowie den Kräften, die das gesellschaftliche Leben bewegen, unterordnet." - KARIN 1962 [4].

Für die Erdölgeologen und Geophysiker ist diese Erkenntnis UMOVs der neuen Aufgabenstellung und dem möglichen Lösungsweg zum Nachweis neuer Erdöl- und Erdgasvorräte gleichzusetzen. Der Untersuchungsgegenstand vieler seismischer Spezialmethoden wird dabei von der Bearbeitung der strukturellen Verhältnisse zur Analyse der substantiellen und physikalischen Eigenschaften, ja, sogar der Eigenschaften des Inhalts poröser und klüftiger Gesteine, übergehen. Um diese Aufgabenstellung erfüllen zu können, werden auch neue physikalische Eigenschaften und Wirkprinzipien gefunden werden müssen, ebenso sind wohl aber auch neue methodische Aspekte in der Wissenschaft zu berücksichtigen.

In diesem Sinne wird es der Wissenschaft vom Erdöl und Erdgas, speziell unter sozialistischen Produktionsverhältnissen, nicht erspart bleiben, sich doch dem sehr schwierigen, um nicht zu sagen "heiklen" Problem des Direktnachweises von Erdöl und Erdgas intensiv zuzuwenden. Werden in diesem Zusammenhang besonders die sozialistischen Produktionsverhältnisse hervorgehoben, dann geschieht dies insbesondere unter dem Aspekt, daß sich bei der Lösung dieses Problems planbare gesellschaftsbezogene Herangehensweisen innerhalb des RGW sowie zwischen den dafür prädestinierten Wissenschaftsdisziplinen ergeben. Wenn FEDOSSEJEW 1978 [1] feststellt, daß die wissenschaftlich-technische Revolution im marxistischen Sinne ohne die Anerkennung der zunehmenden Rolle der Gesellschaftswissenschaften nicht auskommt, dann trifft das auch für die Seismik zu. Die von FEDOSSEJEW 1978 [1] geäußerte Meinung über die Effektivität der Forschung haben sowjetische Geophysiker schon immer praktiziert. Trotzdem erfordern die der Seismik gestellten neuen Aufgaben, z. B. der Direktnachweis von Erdöl und Erdgas, ein noch engeres Zusammenwirken der Natur-, der Gesellschafts- und der technischen Wissenschaften. Wörtlich schreibt FEDOSSEJEW: "Die Einheit dieser drei Hauptzweige des modernen Wissens ist durch den komplexen Charakter der Probleme bedingt, deren Bewältigung angesichts der Erfordernisse der gesellschaftlichen Entwicklung immer dringender wird." Diese Erkenntnis FEDOSSEJEWs 1978 [1] ist sicher richtig und über jeden Zweifel erhaben, jedoch erfordert ihre praktische Verwirklichung optimal zusammengesetzte und wissenschaftlich kreativ schaffende Wissenschaftler- und Praktikerkollektive. Hierfür bieten sich die sozialistischen Produktionsverhältnisse geradezu an, es ist aber nicht damit getan, daß man schon vorliegende Ergebnisse zusammenfaßt, sondern man muß zielbewußt nach einem "Generalprogramm" arbeiten. Dabei kommt es darauf an, die Wechselbeziehungen des gesellschaftlichen Lebens stets in der Totalität ihrer Phänomene zu sehen, denn auch die seismischen Methoden und ihre Anwendung zum Kohlenwasserstoffnachweis können nur so lange entwickelt werden, wie der Menschheit Erdöl und Erdgas zur Verfügung stehen, und die Methodik selbst entwicklungsfähig sein wird.

Ferner sei auf einen weiteren Gesichtspunkt verwiesen, der auf die Zusammenarbeit von Natur-, Technik- und Gesellschaftswissenschaftlern aufmerksam macht und die Nutzung von Forschungsergebnissen einer gesellschaftlichen Wichtung zu unter-

ziehen, geradezu herausfordert. In einem Aufsatz über strukturell-quantitative Methoden in der Geschichtswissenschaft schreiben KOWALTSCHENKO & SIWATSCHOW 1978 zur Nutzung mathematischer Methoden: "Die Erfahrungen, die man bei der Anwendung der neuen Methoden machte, zeigen klar, daß keinerlei konkrete Forschungsmethode als global und allgewaltig angesehen werden darf, daß auch die qualitativen Methoden, wie alle anderen, ein zwar breites, aber begrenztes Spektrum effizienter Verwertung haben." Um also das Problem "Direktnachweis von Kohlenwasserstoffen" erfolgreich unter sozialistischen Bedingungen lösen zu können, gibt es auch für die entsprechenden Forscherkollektive, jeweils das "begrenzte Spektrum effizienter Verwertung" von Forschungsmethoden und -ergebnissen herauszufinden und einem Mosaik entsprechend, das Gesamtbild zusammzusetzen. In diesem Gesamtbild nach dem "Generalprogramm", seinen erhaltenen Ergebnissen und ihrer kritischen Analyse, würde sich auch der gesellschaftliche Einfluß, d. h. die gesellschaftsbezogene Wichtung widerspiegeln.

4. Schluß und Ausblick

Am Beispiel der seismischen Methoden läßt sich zeigen, daß einzelne Entwicklungsstapen oder Verfahren bzw. Beiträge kurzzeitig durch die gesellschaftlichen Verhältnisse besonders begünstigt oder auch behindert werden können. Eine generelle gesellschaftsbezogene Wichtung der seismischen Methoden im Sinne einer Entwicklungskorrespondenz von Gesellschaftsformation und seismischer Methodik erscheint gegenwärtig nicht möglich, zumindest wäre sie außerordentlich problematisch und vorsichtig zu betrachten.

Aus der Sicht der Erdölgeologie könnte die Lösung des sog. Erdöl-Erdgas-Direktnachweisproblems, speziell mit seismischen Methoden, die Grundlage für die Herausbildung einer spezifischen gesellschaftsbezogenen seismischen Komplexmethodik bilden. Dafür macht sich eine zielbewußte Zusammenarbeit von Natur-, Technik- und Gesellschaftswissenschaftlern nach speziellen Arbeitsprogrammen notwendig.

Literatur

- ↳1] FEDOSSEJEW, P.: Der Mensch in der wissenschaftlich-technischen Revolution. Gesellschaftswissenschaften, AdW der UdSSR, Bd. 13 (1978) 1, S. 16-38, 15 Lit., Moskau 1978 (deutsch)
- ↳2] GAMBURZEW, G.A.: Grundlagen seismischer Erkundung. B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig, 403 S., 271 Abb., 111 Lit., Leipzig 1964
- ↳3] GURWITSCH, I.I.: Seismische Erkundung. Akad. Verl.-Ges. GEEST & PORTIG K.-G. 699 S., 273 Abb., 328 Lit., Leipzig 1970
- ↳4] KARIN, S.C.: V mire mudrych myslej. (Herausg.) Verl. "Znanie", Mokva 1962
- ↳5] KOWALTSCHENKO, I.; Strukturalismus und strukturell-quantitative Methoden
SIWATSCHOW, N.: in der Geschichtswissenschaft.
Gesellschaftswissenschaften, AdW der UdSSR, Bd. 13 (1978) 1, S. 67-92, 44 Lit., Moskau 1978 (deutsch)

↳6] MEINHOLD, R.: Erkundung von Erdöl- und Erdgaslagerstätten.
1. Lehrbrief, Bergakademie Freiberg, Weiterbildung 1970

↳7] WUSSING, H.: Versuch zur Klassifikation des historischen Wechselverhältnisses zwischen Naturwissenschaften und materieller Produktion. Schriftenr. Gesch. Naturwiss., Techn. M. (NTM), Leipzig 12 (1975) 1, S. 98-104

[Faint, illegible text from the reverse side of the page, appearing as bleed-through.]

Zur Entwicklung der seismischen Erkundung im VEB Geophysik

von
H.-G. REINHARDT¹⁾

Zusammenfassung

Nach der Vorgeschichte der Gründung des VEB Geophysik Leipzig wird die organisatorische und technische Entwicklung der seismischen Erkundung skizziert, die innerhalb des Betriebes von Anfang an eine Schwerpunktmethodik darstellt. Dabei wird die umfangreiche Hilfe der Sowjetunion gewürdigt. Im einzelnen werden die seismische Energieanregung, die Energieaufnahme (Geophone, Kabelbäume, Meßapparaturen) und die Auswertung und Interpretation behandelt. Eine Auswahl von Beispielen veranschaulicht einige Entwicklungsetappen der Aufgabenstellung und der Meßergebnisse, wie die der refraktionsseismischen Übersichtsaufnahme, der seismischen Tiefenerkundung und der reflexionsseismischen Untersuchung der verschiedenen Teilstockwerke im Rahmen der Erkundung von Erdöl, Erdgas und anderen Mineralen.

Abstracts

After reviewing briefly the foundation of VEB Geophysik Leipzig, the organizational and technological development of seismic exploration is described which appeared as the main method from the beginning of that enterprise. The comprehensive assistance given by the Soviet Union in this connection is appreciated. Moreover, questions of seismic energy excitation, signal reception (geophones, cables, seismic stations) and of processing and interpretation are dealt with. Several examples demonstrate the stages of development with regard to the given problems and the gained results, as for instance the refraction seismic reconnaissance survey, the seismic depth exploration, and the reflection seismic investigation of different horizons in connection with the search for oil, gas and other minerals.

Mit dem Zusammenbruch des faschistischen Deutschen Reiches stand 1945 auch die geologisch-geophysikalische Erkundung vor einem

¹⁾ VEB Geophysik, DDR - 701 Leipzig, PF 370

völligen Neubeginn. Im Gebiet der damaligen sowjetischen Besatzungszone waren nur noch ganz wenige Fachleute vorhanden. Sie begannen in der ehemaligen Geologischen Landesanstalt in Berlin mit der Sichtung und Bearbeitung noch erhaltener magnetischer, gravimetrischer und refraktionsseismischer Übersichtskarten der "Geophysikalischen Reichsaufnahme" aus den dreißiger Jahren oder lösten mit primitivsten technischen Mitteln dringende geophysikalische Tagesaufgaben im Zusammenhang mit der örtlichen Wasserversorgung und dem Aufschluß lokaler Braunkohlenvorkommen. Nach und nach begannen mit geretteten Drehwaagen, Gravimetern, refraktionsseismischen Apparaturen, einer unvollkommenen Eigenbau-Reflexionsapparatur und einigen einfachen geoelektrischen Meßgeräten erste geophysikalische Messungen an einzelnen wirtschaftlich wichtigen Objekten.

Für die 1949 gegründete Deutsche Demokratische Republik war die Erkundung und Gewinnung eigener Rohstoffvorkommen eine der wichtigsten Grundlagen für den Wiederaufbau und die stürmische Entwicklung einer sozialistischen Volkswirtschaft. So entstanden bald die ersten Pläne für komplexe geophysikalische Regionalvermessungen. Zur Lösung dieser umfassenden Aufgaben wurde am 1. Januar 1951 die Geologische Landesanstalt in die Staatliche Geologische Kommission umgebildet und zugleich der ihr unterstellte "Geophysikalische Dienst" in Leipzig gegründet, der zwei Jahre später als "VEB Geophysik" den Status eines volkseigenen Betriebes erhielt. Unser junger Staat stellte der Grundstoffindustrie und der geologischen Erkundung umfangreiche Investitionsmittel zur Verfügung (10 Jahre VEB Geophysik 1961).

Da sehr bald die Erdöl-Erdgas-Erkundung im Vordergrund des volkswirtschaftlichen Interesses stand, wurde die Seismik Schwerpunkt-methode in dem neugegründeten geophysikalischen Erkundungsbetrieb und nahm zeitweise bis zu 80 % der betrieblichen Gesamtkapazität ein. Abb. 1 zeigt mit der prozentualen Entwicklung der Gesamtbeschäftigtenzahl, der Anzahl der seismischen Truppeinheiten und der seismischen Ergebnisberichte die Entwicklung der Kapazität mit einer ausgeprägten extensiven Erweiterung bis zum Ende der sechziger Jahre, an die sich eine Periode der intensiven Reproduktion anschließt (SCHARF 1979).

Während ab 1951 die Betreuung und Anleitung der seismischen Feldarbeiten durch die Fachabteilungen Refraktions- und Reflexionsseismik

erfolgte, war später mit steigender Truppszahl die Bildung von vier regionalen Stützpunkten notwendig, die schließlich von den relativ selbständigen "Expeditionen" Nord und Süd abgelöst wurden. Eine grundsätzliche Umstellung begann 1970 mit der Einführung der Digitalseismik, die eine entscheidende Voraussetzung zur Erkundung tieferer Schichtkomplexe war und in dieser Etappe den VEB Geophysik in eine führende Position im RGW-Bereich brachte (GOGONENKOV u. PUTZIGER 1973).

In engem Anschluß an den neu eingesetzten Großrechner wurde eine zentrale Interpretationsabteilung in Leipzig gegründet, ebenso eine eigene Abteilung für die Betreuung und Anleitung der Feldarbeiten. Die weiter zunehmende Spezialisierung auch in der Auswertung und Interpretation führte 1974 zu einer stärker technologisch orientierten Gliederung der Abteilung Interpretation Seismik.

Von nicht zu unterschätzender Bedeutung für die Entwicklung der seismischen Erkundung war wie in vielen anderen Zweigen der geologischen Industrie die umfangreiche Hilfe der Sowjetunion. Bereits 1955/56 fanden erste Studienreisen von Mitarbeitern unseres Betriebes statt, um an Ort und Stelle sowjetische Methoden kennenzulernen. Seit 1957 begann eine Reihe von im Direktstudium in der Sowjetunion ausgebildeten Geophysikern ihre Tätigkeit im VEB Geophysik. In dieser Zeit wurden auch mehrere seismische Meßapparaturen und technisches Zubehör aus der Sowjetunion importiert. 1959/60 entsandte die sowjetische Seite erste Konsultanten und zwei komplette Seismik-Trupps in die DDR. Bis 1967/68 wuchs die Zahl der im VEB Geophysik im Felddienst und in der Interpretation tätigen sowjetischen Geophysiker und Techniker ständig an. Allmählich wurde aus der einseitigen Hilfeleistung eine fruchtbare gegenseitige Zusammenarbeit, die sich in den letzten Jahren vor allem auf die methodische Forschung, die Einführung und Erprobung neuer Verfahren und Rechnerprogramme orientierte.

Im einzelnen soll nun die Entwicklung der seismischen Erkundung gegliedert nach technischen und methodischen Grundlagen, Aufgabenstellung und Ergebnissen aufgrund von Beispielen aus verschiedenen Erkundungsetappen erläutert werden.

Einen großen Teil des Arbeitsaufwandes in der angewandten Seismik nimmt die Anregung der seismischen Energie ein, die im wesent-

lichen durch Sprengungen in Bohrungen erfolgt. In der Anfangszeit wurden vor allem von Privatfirmen gemietete Brunnenbohrgeräte verwendet. Die Arbeiten an diesem "Schinderbock" genannten Gerät war schwer und unproduktiv. 1952 begann die Einführung einfacher Handspülbohrgeräte (Traktor, Wasserhänger, tragbare Motorspülpumpe), die sich bei leichten Bohrbedingungen und schwer zugänglichem Gelände vereinzelt noch bis heute bewähren. Seit 1960 wurden die aus der Sowjetunion importierten, auf Spezial-LKW montierten, robusten mechanischen Bohrgeräte URB 2a zur Standardausrüstung der seismischen Meßtrupps (Abb. 2). In Gebieten mit anstehendem Festgestein - vor allem im Thüringer Becken - wurde von 1958 bis 1964 die Luftschußtechnik angewendet (Gruppierung zahlreicher Ladungen an Stöcken über der Erdoberfläche). Weitere Spezialverfahren werden später im Zusammenhang mit Aufgabenstellung und Methodik behandelt.

Entscheidend für die Qualität und Aussagefähigkeit seismischer Messungen sind die verwendeten Energieaufnahmegeräte im weitesten Sinne. Für die Refraktionsseismik standen von 1951 an relativ einfache 4-Kanal-Apparaturen zur Verfügung, die technisch nur wenig weiterentwickelt wurden. Ab 1962 wurde für KMGW-Messungen die 8-Kanal-Apparatur Ra 61 verwendet und später auf 24 Kanäle erweitert. Von 1968 bis 1970 waren sowjetische SEMLJA-Apparaturen (3 Komponenten, Dauerregistrierung) im Einsatz.

Eine wesentlich einschneidendere Entwicklung vollzog sich bei den reflexionsseismischen Apparaturen. Die Messungen begannen 1951 mit einer äußerst primitiven 14-Kanal-Apparatur mit Einzelanschlüssen für jedes Geophon; sie ist den älteren Kollegen noch unter dem Spitznamen "Gartenlaube" bekannt. Im gleichen Jahr begann bereits die Entwicklung neuerer analogseismischer Meßapparaturen mit oszillographischer Direktaufzeichnung und 24 Kanälen, die nach und nach verbessert und ergänzt wurden, so daß schließlich eine Typenvielzahl entstand, zumal Import-Apparaturen aus der UdSSR und der UVR dazukamen. Um 1960 begann als Voraussetzung für die Anfänge der maschinellen Datenverarbeitung die Entwicklung von Apparaturen mit Magnetbandregistrierung bzw. von Magnetbandzusatzgeräten; weitere Magnetbandgeräte wurden aus der Sowjetunion importiert. Diese "Generation" wurde bis 1969 ausschließlich und später für Spezialaufgaben noch vereinzelt eingesetzt. Einen entscheidenden Qualitätssprung brachte ab 1970 der Import und Einsatz 48-kanaliger digitaleseismischer Feldapparaturen aus Frankreich.

Seit einigen Jahren werden sie durch gemeinsam mit der Ungarischen Volksrepublik entwickelte und im VEB Geophysik gebaute Digitalapparaturen abgelöst (25 Jahre VEB Geophysik Leipzig 1978).

Auch das heute verwendete Meßzubehör unterscheidet sich wesentlich von dem der Anfangszeit. 1951 schleppte man 1,5 kg schwere, störanfällige Brieselang-Geophone - "Pferdehufe" genannt - durchs Gelände. Die Einführung der sowjetischen Geophone SPM 16 mit 0,5 kg Gewicht im Jahre 1957 stellte einen großen Fortschritt dar und ermöglichte den Beginn der Geophonbündelung. Ab 1960 waren schließlich verschiedene Geophontypen aus der Sowjetunion, der DDR und Holland im Einsatz. Das Gewicht konnte auf 250 bis 100 g und die Eigenfrequenz auf 20 - 10 Hz gesenkt werden (Abb. 3).

Auch die Kabelbäume spielen für die Arbeitsproduktivität in der Feldseismik eine große Rolle. 1952 wurden die ersten 24-adrigen Kabelbäume mit Gummiisolierung eingesetzt. Sie waren fest im Meßfahrzeug installiert, und das Auslegen erforderte schwere körperliche Arbeit (Abb. 4). 1958 konnten erstmals leichtere, tragbare Kabelbäume verwendet werden, die allgemein eine Dreifachbündelung ermöglichen. Kurze Zeit später begann die Einführung von Bündelleitungen, und nach und nach erhöhte sich der Bündelgrad über 7 auf 21 und mehr Geophone. Mit dem Übergang zur CDP-Technologie, zur 48-Kanal-Aufnahme und zu großen Aufstellungsweiten bis rund 5000 m seit dem Jahre 1970 war die Segmentfertigung der Kabelbäume und die Verwendung kompletter Bündelsektionen verbunden.

Die technischen und methodischen Grundlagen der Auswertung und Interpretation wirken sich auf Quantität und Qualität der seismischen Meßergebnisse ebenfalls stark aus. Grundlage der Auswertungsarbeiten in den ersten Jahren der seismischen Erkundung waren Einzelseismogramme mit sehr unterschiedlicher, oft mangelhafter Qualität, so daß Genauigkeitsgrad und Aussagesicherheit der Ergebnisse niedrig waren (Abb. 5). 1963/64 begann mit der Inbetriebnahme der ersten analogseismischen Auswertezentrale in noch geringem Umfang die maschinelle Datenbearbeitung.

Die entscheidende Umstellung in dieser Richtung brachte 1970 die Inbetriebnahme des amerikanischen Digitalrechners CDC 3300 mit aus Frankreich importierten Zusatzgeräten. Im Zusammenhang damit erhöhte sich der Umfang an methodischen Forschungsarbeiten und an mathematischer Modellierung wesentlich. Zur Zeit wird die Umrüstung der

Rechentchnik sowie der dazugehörigen Programmsysteme auf das im RGW-Bereich entwickelte ESER-System vorbereitet. Die Korrelations- und Deutungssicherheit der Reflexionshorizonte verbesserte sich durch den Übergang von der Einzelseismogrammauswertung zur Verwendung von CDP-Stapelzeitschnitten mit speziellen Bearbeitungsvarianten entscheidend (Entwicklung der Geophysik ... 1979). Die systematische Erhöhung der Aussagesicherheit der reflexionsseismischen Meßergebnisse über den gesamten Entwicklungszeitraum veranschaulicht sehr deutlich die Abb. 6 (SCHARF 1979).

Im folgenden wird die Entwicklung der Aufgabenstellung und der Meßergebnisse der seismischen Erkundungsmethoden behandelt.

Beginnen wir mit der Refraktionsseismik. Nach den Erfahrungen der "Geophysikalischen Reichsaufnahme" aus der Vorkriegszeit war die Methode des "Streuerschießens" geeignet, um in relativ kurzer Zeit eine "Inventarisierung" der Strukturen im Deckgebirge des Nordteils der DDR zu ermöglichen. Da die refraktionsseismische Reichsaufnahme nur den nordwestlichen Zipfel der heutigen DDR erfaßt hatte - der übrige Teil war nach der Hypothese von der auf das Mesozoikum übertragenen Pompeckj'schen Schwelle als kaum erdölhöufig angesehen worden - bildete die nördliche DDR 1951 praktisch einen weißen Fleck auf der geologischen Karte des Untergrundes (MEINHOLD 1957). Unter Leitung von THOMAS 1960 entstand von 1953 bis 1959 ein refraktionsseismischer Laufzeitplan mit 4 km und teilweise 2 km Beobachtungsentfernung. 150 Laufzeitanomalien wurden entdeckt; 42 davon konnten als Salzstöcke, 60 als Antiklinalen oder Horste, 15 als Einmuldungen oder Abrüche, andere als Ausbißbereiche schallharter Schichten oder zunächst noch nicht geologisch gedeutet werden. Insgesamt bildete der refraktionsseismische Laufzeitplan über viele Jahre eine wertvolle Grundlage für den rationellen Einsatz reflexionsseismischer Regional- und Übersichtsmessungen.

Eine ganz andere Aufgabe hatten die mit der KMGW (Korrelationsmethode gebrochener Wellen) durchgeführten tiefenseismischen Messungen von 1962 - 1967. Diese Methode wurde von der Sowjetunion übernommen und mit deren praktischer Hilfe zur Regionalerkundung des tieferen Untergrundes der DDR bis mindestens zum "Grundgebirge" angewendet. Vorversuche im Bereich des Pritzwalker Massivs fanden bereits 1958 statt. Erste Ergebnisse wurden von PUTZIGER, REINHARDT und WEGERT 1966 veröffentlicht. Verfolgt werden konnte vor allem ein Refraktionshorizont mit 6 km/s Grenzgeschwindigkeit, der im südlichen Teil als Oberfläche des varistisch beanspruchten Gebirges gedeutet wurde.

Diese Arbeiten wurden von 1968 bis 1970 ebenfalls mit sowjetischer Unterstützung durch die Methode "Semlja" fortgesetzt. Die kontinuierliche Registrierung von Longitudinal-Transversal-Wechselwellen, die vor allem von Erdbeben stammten, ermöglichte eine noch größere Eindringtiefe bis in den Oberen Erdmantel, wobei die Flurschäden gegenüber den KMGW-Messungen wesentlich reduziert werden konnten. Das in dieser Zeit angesammelte umfangreiche Datenmaterial erforderte noch über viele Jahre anhaltende Nachinterpretationsarbeiten (POLŠKOV, POMERANCEVA, MOZŽENKO u. a. 1976).

In völlig andere Dimensionen führt uns die Anwendung der Refraktionsseismik in der Ingenieur- und Bergbaugeophysik. Oft genügen schon Hammerschläge als Energiequelle. Anwendungsgebiete sind die Suche von Hohlräumen zwischen Bohrungen, Erschütterungsmessungen bei Sprengungen, Untersuchung von Gesteinseigenschaften im Anstehenden und von Bruchvorgängen, die Bauwerksüberwachung und vor allem die Ermittlung der Lockergebirgsmächtigkeit über dem festen Untergrund zur Vorbereitung von Großbauten wie z. B. Talsperren u. ä.

Die größte Bedeutung wegen ihrer detaillierten strukturellen Aussagefähigkeit hat die Reflexionsseismik für die Erdöl- und Erdgaserkundung. In der Anfangsetappe erfolgten wegen der in NW-Deutschland bekannten mesozoischen Lagerstätten erste Messungen an einzelnen Salzstrukturen, die durch Gravimetrie oder Refraktionsseismik bekannt waren. Geringe Genauigkeit und Tiefenreichweite waren die Folge unzureichender technischer Mittel. Erste Ergebnisse aus SW-Mecklenburg veröffentlichte MEINHOLD 1953. Bis zum Ende der fünfziger Jahre erfolgte ein allmählicher Übergang zu flächenhaften Untersuchungen im NW-Teil der DDR, und es gelang bereits, erste Ergebnisse über den strukturellen Bau des subsalinaren Untergrundes (REINHARDT 1959) zu erzielen (Abb. 7).

Seit etwa 1960 wurden parallel zu den Übersichtsmessungen in den noch nicht reflexionsseismisch bearbeiteten Gebieten Regionalprofile vermessen. Sie brachten genauere Vorstellungen über die Deutung gravimetrischer und refraktionsseismischer Anomalien und erleichterten Auswahl und Reihenfolge der flächenhaften Untersuchungen. Im Ergebnis konnte von KONONOV und RISCHE 1964 die erste Übersichtskarte des Z-Horizontes für den gesamten Nordteil der DDR veröffentlicht werden.

Reflexionsseismische Spezialmessungen zur Erkundung von Erdöllagerstätten im Mesozoikum fanden bis in die Mitte der sechziger Jahre statt. Dabei wurde zur detaillierten Erfassung von Salzstockrändern und tektonischen Störungen auch die sowjetische RNP-Methode ("reguliert-gerichteter-Empfang") angewendet. Spezialmessungen für das supra-salinare Teilstockwerk des Deckgebirges erfolgten auch zur Erkundung von Untergrundspeichern.

Die Entdeckung von Kohlenwasserstofflagerstätten in Karbonaten des Zechsteins führte zur detaillierten reflexionsseismischen Untersuchung auch dieses Schichtkomplexes, vor allem in den Wallbereichen im Nordosten und Südosten der DDR. Die komplizierten Lagerungsverhältnisse machen detaillierte Modelluntersuchungen und Vergleiche der Reflexionsseismik mit petrophysikalischen und anderen geophysikalischen Daten erforderlich (Abb. 8, HAUPT u. HERRMANN 1978). Flächenhafte Messungen zur Zechsteinerkundung fanden auch im Thüringer Becken statt. Eine zusammenfassende Darstellung des Reflektors Z_{HA} (Hauptanhydrit der Leineserie) in diesem Gebiet veröffentlichten HERRMANN und KNOBLOCH 1966.

Seit dem Auffinden von Erdgaslagerstätten im Rotliegenden vor rund 10 Jahren in der Altmark wurden die Schichten des Präzechsteins immer mehr zum seismischen Erkundungsziel. Während die Lagerungsformen der Rotliegendoberfläche - zumindest in Beckengebieten - recht gut mit Hilfe des Reflexionshorizontes Z_1 an der Oberfläche des Basalanhydrits der Staßfurtserie erkundet werden können, wird seit vielen Jahren mit großem methodischen Aufwand versucht, auch in größeren Tiefen Reflexionshorizonte zu erhalten. Geringe Reflexionskoeffizienten und starke Überlagerungen der schwachen reellen Elemente durch Multiple aus dem Deckgebirge erschweren diese Aufgabe außerordentlich. Wellenaussondungsverfahren führten bereits zu ersten Erfolgen. In einigen Meßgebieten gelang es, Mächtigkeitsschemata für das Saxon und das Autun zu konstruieren (DOSS, LINKE u. BREMER 1978).

Von entscheidender Bedeutung für die Sicherheit der strukturellen Aussage besonders im flach gelagerten Subsalinar sind genaue Kenntnisse über die Geschwindigkeitsverteilung im Deckgebirge. Die Größe des Einflusses von Geschwindigkeitsanomalien zeigt das Modell in Abb. 9 (DÜRBECK, KÖHLER, KRAUSE u. a. 1976) für typische Lagerungsformen in salztektonisch beeinflussten Gebieten. 1957 begannen erste reflexionsseismische und bohrlochseismische Geschwindigkeitsmessungen mit noch geringer Tiefenreichweite; 1966 erfolgte - ein ebenfalls aus der Sowjetunion übernommenes Verfahren - die erste seismische Vertikalprofilierung einer Tiefbohrung (DEUBEL 1968). Damit können außer der Geschwindigkeitsverteilung eine exakte Zuordnung der Reflexionshorizonte, Reflexionskoeffizienten und Vorhandensein und Art von multiplen Wellen ermittelt werden. Bereits 1958 begann die Profilkonstruktion mit ortsveränderlichen Geschwindigkeiten. 1963 konnten erstmalig regionale Gesetzmäßigkeiten der Geschwindigkeitsverteilung im NW-Teil der DDR und 1967 für den gesamten Nordteil der DDR abgeleitet werden. Seitdem werden die nach Schichtpaketen und regionalen Gebieten gegliederten Laufzeitkurven ständig präzisiert und erweitert. Während noch bis zum

Anfang der sechziger Jahre in mehr als 2000 m Tiefe mit mindestens 10 % Tiefenfehler gerechnet werden mußte, zeigt die Abb. 10 die positive Entwicklung des geschwindigkeitsbedingten Tiefenfehlers und die Erhöhung der Tiefenreichweite der Geschwindigkeitsdaten seit 1965 (REINHARDT u. DÜRBECK 1973).

Als Grundlage für Perspektivitätseinschätzungen, für paläotektonische und strukturgeschichtliche Analysen und für Planungszwecke sind regionale Verallgemeinerungen der seismischen Meßergebnisse wichtig. 1967 war es möglich, erstmalig für eine Reihe von Reflexionshorizonten und Schichtpaketen vom Tertiär bis zum Zechstein Übersichtskarten der nördlichen DDR in den Maßstäben 1 : 100 000 und 1 : 500 000 zu konstruieren. Seitdem wird dieses regionale Kartenwerk in größeren oder kleineren Abständen erweitert und ergänzt.

In den sechziger Jahren erfolgte auch die reflexionsseismische Vermessung des an die Küsten der DDR anschließenden Ostseebereiches. Die Arbeiten begannen 1963 mit einer Regionalerkundung durch ein sowjetisches Forschungsschiff. Routinemessungen mit ständig steigender Produktivität wurden von 1966 - 1969 durchgeführt, ebenfalls mit sowjetischer Unterstützung. Während bei der See-Erkundung die Sprengungen im Wasser stattfanden, wurden bei der ebenfalls von 1966 bis 1969 angewendeten "Flachwasserseismik" zur Vermessung der Bodden-gewässer und zum Anschluß Land-See Schußbohrungen von Schuten aus niedergebracht; auch Amphibienfahrzeuge waren im Einsatz. 1976 übernahm der in Gdansk gegründete dreiseitige Betrieb "Petrobaltic" (UdSSR, VRP, DDR) die Aufgabe der Ostseevermessung.

Abgesehen von einem 1956 durchgeführten Einsatz der Refraktionsseismik zur Wassersuche im Sudan begannen 1975 in größerem Umfang reflexionsseismische Auslandsarbeiten des VEB Geophysik. Durch die flache Lagerung der Schichten am Rande des Arabischen Schildes werden besonders hohe Forderungen an die Zeit- und Tiefengenauigkeit der seismischen Ergebnisse gestellt. Das führt z. B. zu einem hohen Aufwand für die Berechnung der Laufzeitkorrekturen.

Schon seit Beginn der seismischen Messungen nach 1945 war auch die Erkundung von anderen Mineralien als Erdöl und Erdgas das Ziel von seismischen Messungen. Die Bedeutung anderer einheimischer Rohstoffe für die angewandte Seismik hat jedoch in den letzten Jahren weiter zugenommen.

Ein wichtiges Arbeitsgebiet ist die Erkundung von Kalisalzen. So fanden von 1961 - 1965 reflexionsseismische Messungen im Werra-Kalirevier mit der Aufgabe statt, Auslaugungssenken zu begrenzen (WÜST-

NER und WOITSCHACH 1966/1968). In späteren Jahren fanden ähnliche Untersuchungen auf der Scholle von Calvörde, im Südharz-Revier, in der Querfurter Mulde und in anderen Gebieten statt. Ab 1977 begann auch in der seismischen Kalierkundung die Umrüstung auf die Digitaltechnik.

Außer zur Kalierkundung erfolgten in den fünfziger und sechziger Jahren in geringem Umfang seismische Messungen mit methodischem Charakter für die Erkundung von Steinkohle und Kupferschiefer. 1976 begannen erstmalig in der DDR regionale reflexionsseismische Messungen mit großer Tiefenreichweite im Rahmen der Einschätzung der Erkundungsperspektive im Erzgebirge und im Vogtland. Das Fehlen der für das Sedimentgebirge typischen seismischen Leithorizonte zwang zur Anwendung statistischer Auswerteverfahren (BÖLSCHÉ u. KRESSER 1978).

Entsprechend der volkswirtschaftlichen Aufgabenstellung nimmt die Erkundung von Braunkohle als wichtigstem Energieträger in der DDR seit einigen Jahren wieder eine führende Position ein. In den ersten Jahren seit 1951 waren refraktionsseismische Messungen zur Bestimmung der gesamten Tertiärmächtigkeiten für die Braunkohlenerkundung von Bedeutung, z. B. in den Mulden von Egelu und Oschersleben. 1966 - 1968 fanden erste Forschungsarbeiten zur Anwendung von Transversalwellen im reflexionsseismischen "Nahbereich" statt, da sie wegen der geringen Geschwindigkeiten für die in Frage kommenden geringen Laufzeiten eine bessere Auflösungsfähigkeit als Longitudinalwellen aufweisen. 1973 wurden diese Arbeiten wieder aufgenommen und ab 1975 weiter intensiviert, sollen doch reflexionsseismische Messungen zur Braunkohlenerkundung bei geringen Kosten eine Tiefenreichweite mindestens bis zur Tertiärbasis und eine Auflösungsfähigkeit von 2 - 3 m erreichen. Seit 1976 finden Routinemessungen statt. Die Energieanregung für Transversalwellen erfolgt in Schürfen über mit Sprengschnur belegte Stahlplatten (RISCHE u. HARTMANN 1979). Zur Stützung der reflexionsseismischen Meßergebnisse werden viele Braunkohlenerkundungsbohrungen mit Vertikalprofilierungen seismisch vermessen. 1978 wurde auch die Energieanregung durch seismische Vibratoren in die Praxis eingeführt.

Die technische und methodische Entwicklung der seismischen Erkundung über fast drei Jahrzehnte hat gezeigt, daß diese geophysikalische Methode einen wichtigen Beitrag zur Erweiterung des Kenntnisstandes über den geologischen Bau der DDR und zur Erkundung von einheimischen Rohstoffen geleistet hat. In angestrenzter Arbeit hat das Kollektiv

des VEB Geophysik einen auch international guten Stand in bezug auf Technik, Methodik und Aussagefähigkeit seismischer Messungen erreicht. Auch in Zukunft wird es gelingen, durch eine weitere Erhöhung der Tiefenreichweite und des Auflösungsvermögens wichtige Beiträge zur Lösung der ständig umfangreicher und komplizierter werdenden geologischen Erkundungsaufgaben zu leisten.

Literaturverzeichnis

- BÖLSCHÉ, J.; KRESSER, K.-D.: First results of depth-seismic exploration in the southern part of the GDR
Proc. 22. Geophys. Symp. Prag, Brno (1978) I, S. 457 - 471
- DEUBEL, K.: Vertikalprofilierungen als Hilfsmittel der Erkundungsseismik
Geophysik u. Geologie, Leipzig 13 (1968), S. 23 - 28
- DOSS, H.; LINKE, F.; BREMER, H.: Wozmožnosti kompleksnoj interpretaciji na primere severovostočnogo meklenburga
Proc. 22. Geophys. Symp. Prag, Brno (1978) II, S. 479 - 497
- DÜRBECK, L.; KÖHLER, E.; KRAUSE, D. u. a.: Determination, application and generalization of seismic velocity data
Proc. 20. Geophys. Symp. Budapest-Szentendre, Budapest (1976), S. 203 - 217
- GOGONENKOV, G. N.; PUTZIGER, K.: Informationsfortschritt in der Seismik durch Anwendung digitaler Signalbearbeitungsverfahren
Z. f. angew. Geol., Berlin 19 (1973) 7, S. 351 - 359
- HAUPT, M.; HERRMANN, H.: Die Bedeutung geologisch-geophysikalischer Modelle für die geophysikalische Erkundung unter besonderer Berücksichtigung der im Zechstein zu lösenden Probleme
Schriftenr. geol. Wiss., Berlin 12 (1978), S. 63 - 75
- HERRMANN, H.; KNOBLOCH, H.: Die Lagerungsform des Hauptanhydrits im Thüringer Becken nach reflexionsseismischen Messungen
Geophysik u. Geologie, Leipzig 9 (1966), S. 21 - 32
- KONONOV, A. J.; RISCHE, H.: Aufgaben, Stand und Ergebnisse der reflexionsseismischen Regionalerkundung in der DDR
Ber. Geol. Ges. i. d. DDR, Sonderheft 2, Berlin (1964), S. 75-86
- MEINHOLD, R.: Über die Lagerung des Alttertiärs im südwestlichen Mecklenburg nach den Ergebnissen reflexionsseismischer Messungen
Geol., Berlin 2 (1953) 5, S. 361 - 372

- MEINHOLD, R.: Der Untergrund von Mecklenburg und der Prignitz und die Frage der Pompeckj'schen Schwelle
Ber. geol. Ges. i. d. DDR, Berlin 2 (1957) 2, S. 138 - 147
- POLŠKOV, M. K.; POMERANCEVA, I. V.; MOZŽENKO, A. N. u. a.:
Die deutsch-sowjetische Zusammenarbeit bei der Erforschung des Tiefbaus der Erdkruste im Nordteil der DDR
Z. Geol. Wiss., Berlin 4 (1976) 1, S. 113 - 123
- PUTZIGER, K.; REINHARDT, H.-G.; WEGERT, F.: Geophysikalische Beiträge zur Erkundung des regionalen geologischen Baues in Norddeutschland
Geophysik u. Geologie, Leipzig 8 (1966), S. 3 - 20
- REINHARDT, H.-G.: Korrelation eines vermutlich an der Zechsteinbasis liegenden reflexionsseismischen Horizontes im NW-Teil der Deutschen Demokratischen Republik
Ber. Geol. Ges. i. d. DDR, Berlin 4 (1959) 2/3, S. 169 - 177
- REINHARDT, H.-G.; DÜRBECK, L.: Zur Genauigkeitserhöhung seismischer Geschwindigkeitsansätze
Z. Geol. Wiss., Berlin 1 (1973) 12, S. 1609 - 1618
- RISCHE, H.; HARTMANN, B.: Improvements in seismic exploration of unconsolidated rocks with shear waves
Vortrag 24. Geophys. Symp. Krakow 1979
- SCHARF, U.: Zur Entwicklung der Produktivkräfte in der angewandten Seismik in der DDR
Leipzig: VEB Geophysik (1979), unveröffentlicht
- THOMAS, E.: Strukturelemente im Norden der Deutschen Demokratischen Republik nach den Ergebnissen seismischer Refraktionsmessungen
Rep. Int. Geol. Congr. XXI. Sess., Copenhagen (1960) II, S. 189-199
- WÜSTNER, L.; WOITSCHACH, E.: Ergebnisse seismischer Messungen in der Vorderrhön
Jb. Geol., Berlin 2 (1966/1968), S. 459 - 490
- ... 10 Jahre VEB Geophysik
Leipzig: VEB Geophysik 1961
- ... 25 Jahre VEB Geophysik Leipzig - ein Vierteljahrhundert erfolgreicher Entwicklung der geophysikalischen Forschung und Erkundung in der DDR
Schriftenr. geol. Wiss., Berlin 12 (1978), S. 9 - 16
- ... Die Entwicklung der Geophysik zum wirksamen Instrument für die Lösung der Aufgaben der geologischen Industrie in der DDR
Z. f. angew. Geol., Berlin 25 (1979) 9, S. 382 - 394

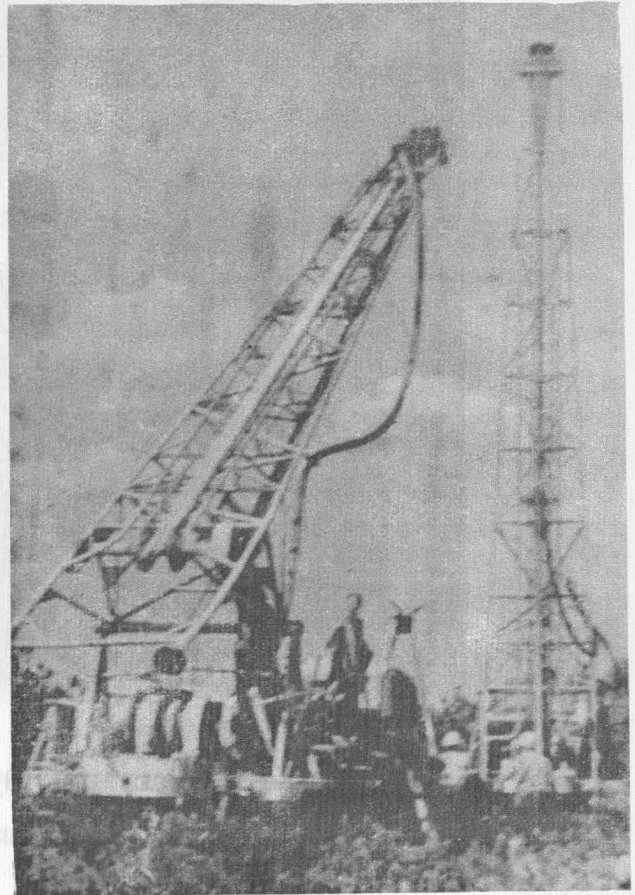
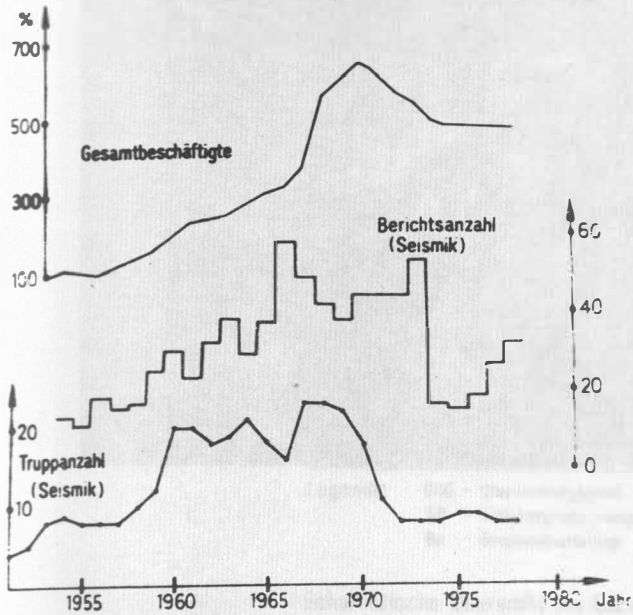


Abb. 1: Kapazitätsentwicklung Seismik

Abb. 2: Bohrgerät URB 2a

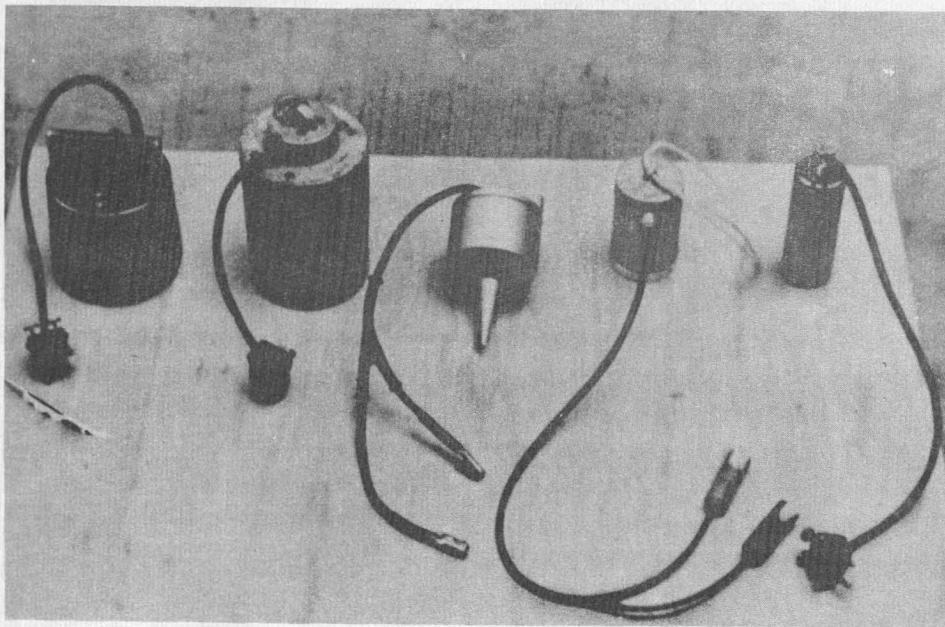


Abb. 3: Ältere Geophontypen



Abb. 4: Kabelbaum um 1955

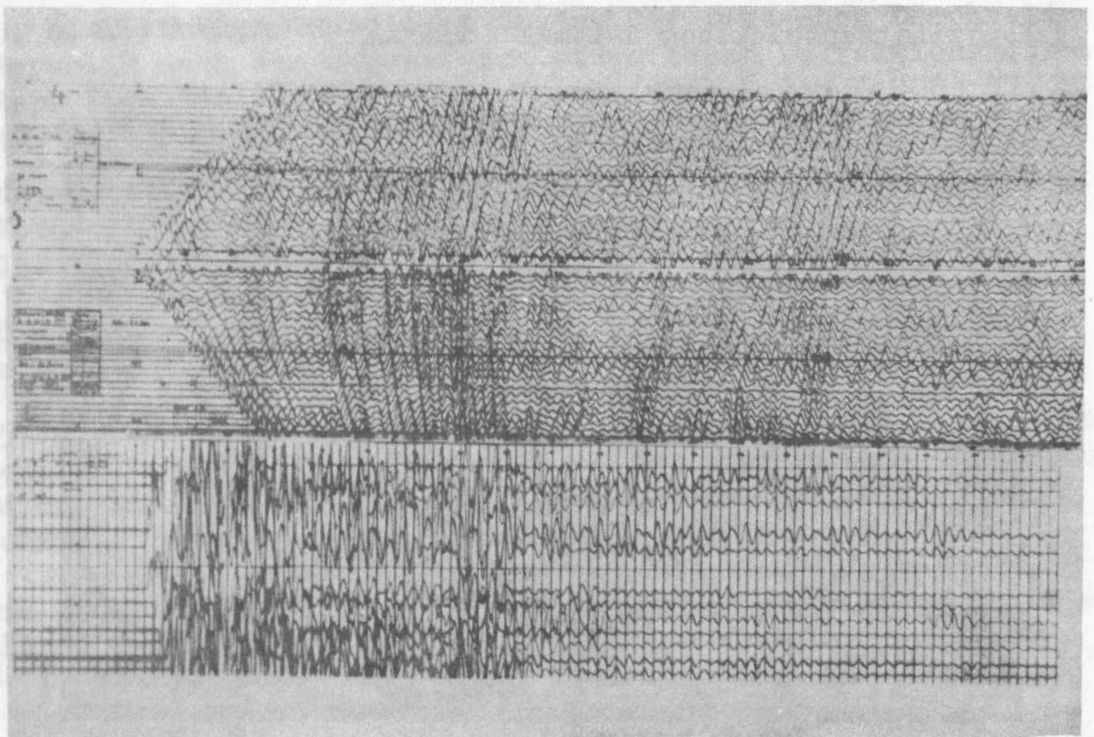
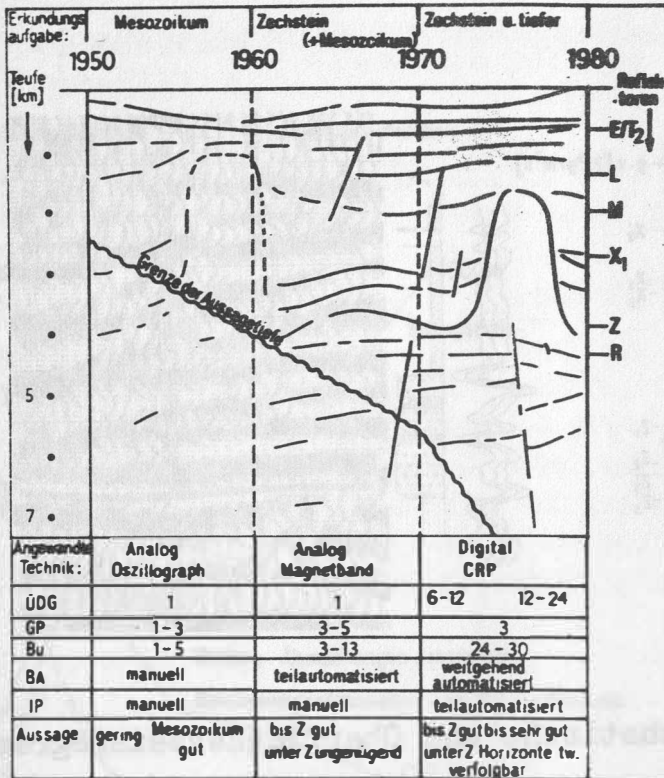


Abb. 5: Seismogramme 1953 (unten) und 1959 (oben)



Legende: ÜDG - Überdeckungsgrad BA - Datenbearbeitung
 GP - Ladungsgruppierung IP - Dateninterpretation
 Bu - Geophonbündelung

Schematische Übersicht zur Entwicklung der Seismik

Abb. 6: Entwicklung der Aussagesicherheit

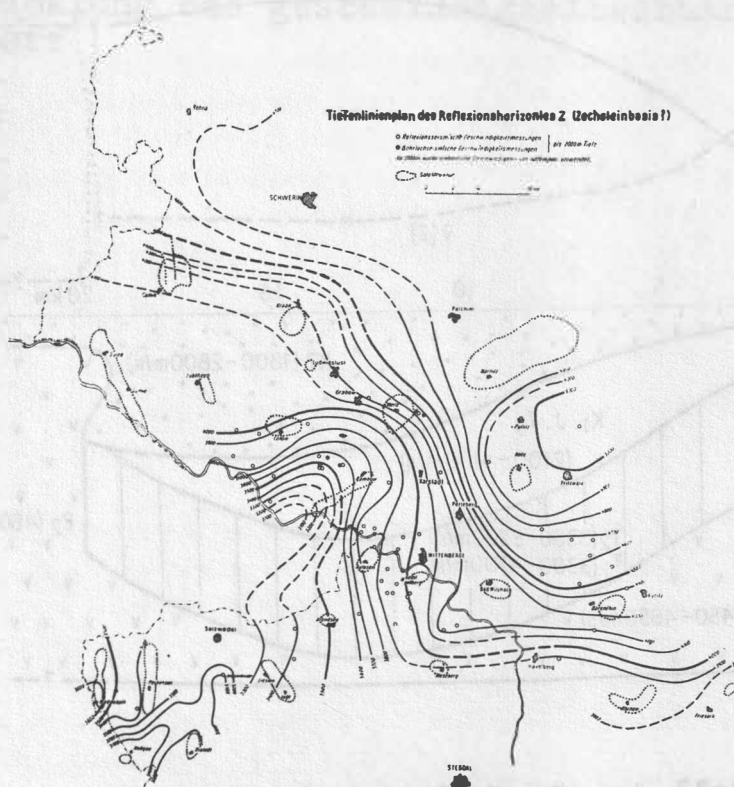


Abb. 7. Tiefenlinienplan des Reflexionshorizontes Z

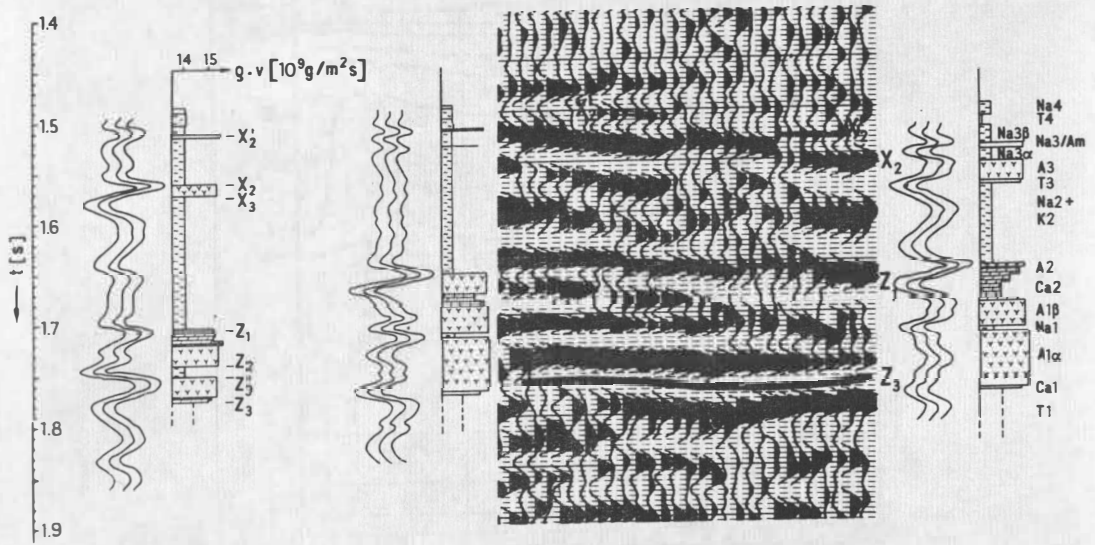


Abb. 8: Synthetische und Oberflächenseismogramme im Zechstein

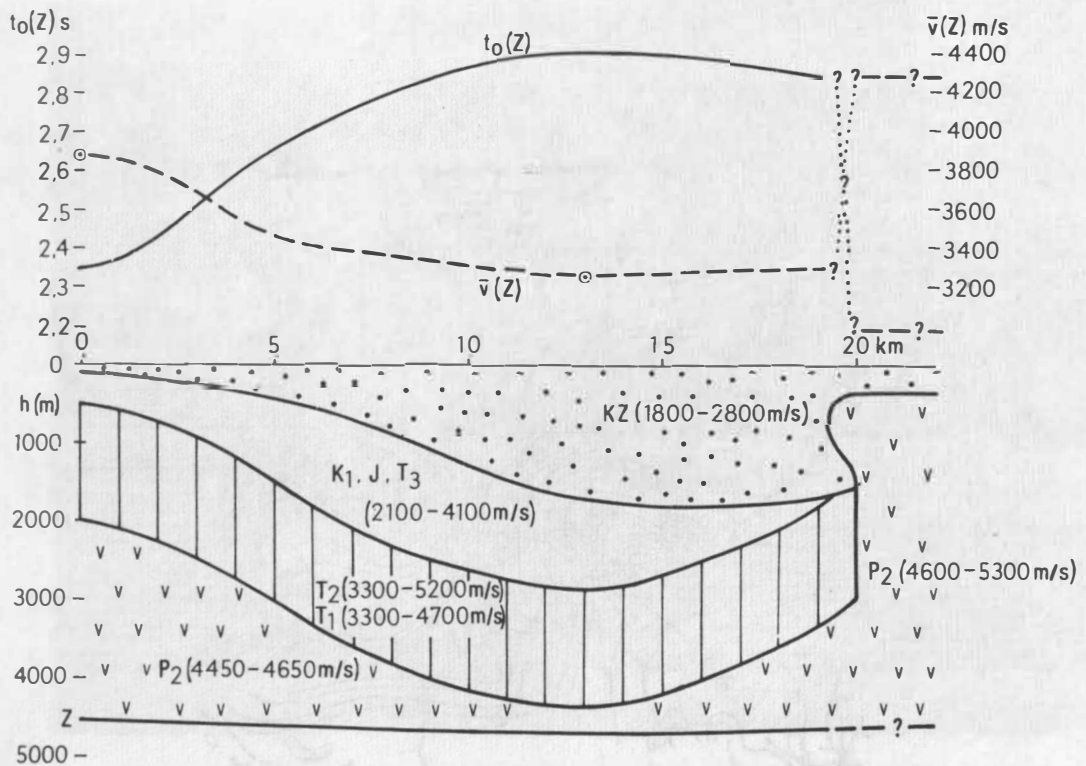


Abb. 9: Modell der Geschwindigkeitsverteilung

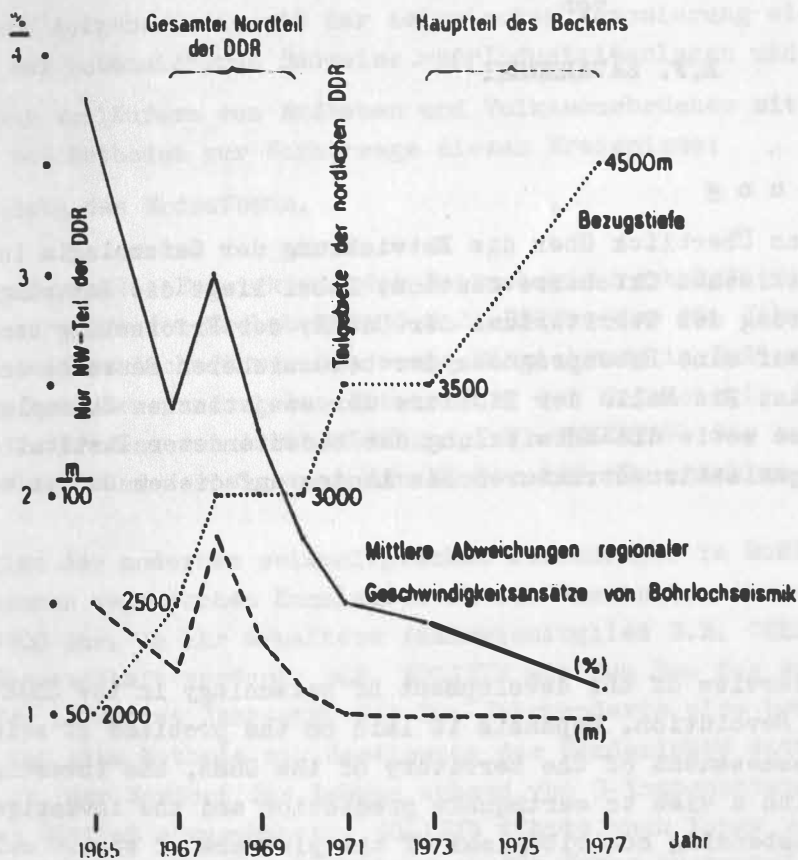


Abb. 10: Entwicklung des geschwindigkeitsabhängigen Tiefenfehlers

Abriß der 60jährigen Entwicklung der sowjetischen Seismologie (1917 bis 1977)

von

E.F. SAVARENSKI¹⁾

Z u s a m m e n f a s s u n g

Der Vortrag gibt einen Überblick über die Entwicklung der Seismologie in der UdSSR seit der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution. Dabei liegt die Betonung auf Fragen der seismischen Rayonierung des Territoriums der UdSSR, der Erforschung von Erdbebenvorläufern im Hinblick auf eine Bebenprognose, der bebensicheren Bauweise und der Untersuchung des Erdaufbaus. Die Rolle der Pioniere der sowjetischen Seismologie, wichtige Forschungsergebnisse sowie die Entwicklung der bedeutendsten Institutionen und zwischenbehördlichen Organisationsstrukturen des Landes auf diesem Gebiet werden kurz vorgestellt.

S u m m a r y

The paper gives an overview of the development of seismology in the USSR since the Great Socialist October Revolution. Emphasis is laid on the problems of seismic regionalization and risk assessment of the territory of the USSR, the investigation of earthquake precursors with a view to earthquake prediction and the investigation of the earth structure. Outstanding contributions of the pioneers of soviet seismology as well as the development of the most important institutions and organizational structures of this country in the field of seismology are briefly mentioned.

¹⁾ Prof. E.F. SAVARENSKI, Institut Physik der Erde der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, Moskau, verstorben am 22.1.1980. Der Vortrag ist eine gekürzte vom Autor erbetene Übersetzung einer früheren Veröffentlichung / 17. Sie wurde in der vorliegenden Fassung von G. KOWALLE und P. BORMANN besorgt und von letzterem zur Eröffnung der Tagung verlesen.

Die moderne Seismologie besitzt große praktische und theoretische Bedeutung. Drei Hauptprobleme ragen dabei heraus:

1. Praktische Aufgaben, die mit der seismischen Rayonierung wie der Entwicklung und Planung der bebensicheren Bauweise von Industrieanlagen und Gebäuden zusammenhängen;
2. Suche nach Vorläufern von Erdbeben und Vulkanausbrüchen mit dem Endziel der Erarbeitung von Methoden zur Vorhersage dieser Ereignisse;
3. Untersuchung des Erdaufbaus.

In Rußland war die Entwicklung der Seismologie verknüpft mit der Untersuchung der Folgen von zerstörenden Erdbeben in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts. Die Russische Geographische Gesellschaft war die erste Einrichtung in Rußland, in der seismologische Arbeiten aufgenommen wurden. Die Entwicklung der Seismologie förderten ihre Mitglieder, vor allem die Professoren A.P. ORLOV und I.V. MUSKETOV. Sie stellten den ersten Bebenkatalog Rußlands und der angrenzenden Länder auf. Er erschien 1893.

Den Beginn der modernen seismologischen Forschungen in Rußland stellt die Gründung der Permanenten seismischen Kommission an der Russischen Akademie der Wissenschaften im Jahre 1900 dar. In ihr arbeitete Akademiemitglied B.B. GOLIZYN (1862 - 1916) aktiv mit. Die Wissenschaft verdankt B.B. GOLIZYN mit dem Bau der ersten elektrodynamischen Seismografen im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts eine bedeutende Leistung. 1909 wurde von ihm eine Methode zur Bestimmung des Herdazimuts entwickelt. Diese Methode gestattet es, den Herdort des Bebens anhand von 3-Komponenten-Aufzeichnungen einer seismischen Station abzuschätzen. GOLIZYN führte auch lange vor der Einführung der Magnitudenbestimmung Energieabschätzungen für Beben ausgehend von Seismogrammen entfernter seismischer Stationen durch.

Nach der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution wurde die Entwicklung der Seismologie und Erweiterung der seismischen Beobachtungen durch die Erfordernisse der sozialistischen Ökonomie, der Entwicklung der Randgebiete des Landes, in denen der größte Teil der seismisch aktiven Gebiete liegen, bestimmt. Mitte der 20er Jahre nahmen 6 seismische Basisstationen des Landes in Pulkovo, Sverdlovsk, Taškent, Makeevka, Baku und Tbilissi ihren normalen Betrieb wieder auf. In Kučino bei Moskau wurde eine neue seismische Station eingerichtet. Diese Stationen bildeten die Basis für die Schaffung einer neuen sowjetischen Seismologie. Sie war aufs engste mit der Volkswirtschaft und der Stärkung der sozialistischen Gesellschaft verknüpft. Als Beispiel können die seismischen Untersuchungen bei der Projektierung der Turkestan-Sibirischen Eisenbahn 1927 dienen. Nach dem zerstörenden Krimbeben von 1927 entstand ein Bedarf an Ausgangsdaten für das bebensichere Bauen.

Notwendige Untersuchungen der regionalen Seismizität und damit die genauere Bestimmung der Lage der Epizentren der Beben und der Bebenstärke führten während des ersten Fünfjahrplanes zu einer wesentlichen Erweiterung der seismischen Beobachtungsstationen in der UdSSR. Neue Organisationsformen wurden erforderlich. 1928 wurde in der Akademie der Wissenschaften der UdSSR in Leningrad das Seismologische Institut geschaffen. Neben der Anleitung der seismischen Stationen der UdSSR und der systematischen Verallgemeinerung ihrer Beobachtungen, der Untersuchung der Seismizität der Randgebiete des

Landes, in denen zu dieser Zeit die Industrialisierung in Angriff genommen wurde, wurde im Seismologischen Institut die Entwicklung einer Reihe anderer wissenschaftlicher Richtungen vorangetrieben. Zu ihnen gehörten die seismischen Methoden der Ressourcenerkundung. Im Seismologischen Institut wurde ebenso mit Forschungen zur Ingenieurseismologie und zu Methoden des bebensicheren Bauens begonnen. Nach dem Umzug des Seismologischen Instituts aus Leningrad nach Moskau 1934 wurden dort Arbeiten zur Geräteentwicklung sowohl für seismische Stationen als auch für den Feldeinsatz aufgenommen. Mit den Namen der Akademiemitglieder V.I. SMIRNOV und S.L. SOBOLEV ist die Entwicklung neuer Methoden der Theorie der seismischen Wellenausbreitung verbunden. Eine der bedeutendsten und für die Praxis wichtigsten Aufgaben, die das Seismologische Institut in den ersten Jahren seiner Existenz zu lösen hatte, war die seismische Rayonierung des Territoriums der UdSSR. In dieser Zeit wurden auch große Erfolge bei der Schaffung seismischer Methoden und Geräte für die Lagerstättenenerkundung erzielt. Dieses Gebiet spaltete sich als erstes von der allgemeinen Seismologie ab und wurde in die Erdölindustrie und in die geologische Erkundung überführt. Zu dieser Zeit formierte sich auch der Kern des großen Kollektivs sowjetischer Seismologen.

In den ersten Nachkriegsjahren wurde das Netz der seismischen Stationen nicht nur wiederhergestellt, sondern wesentlich erweitert. Es wurden komplexe Untersuchungen des seismisch aktivsten Gebiets der UdSSR um Garm aufgenommen. Unter anderem wurden Untersuchungen zur Deformation der Erdkruste und Neigung der Erdoberfläche im Zusammenhang mit Beben durchgeführt. Diese Arbeiten standen seit 1946 unter der Leitung von Prof. V.F. BONČKOVSKIJ. Nach dem schweren Erdbeben vom 6. Oktober 1948 in Ašhabad setzte eine besonders intensive Entwicklung der Seismologie ein. Die Auswirkungen dieses Bebens verdeutlichten neben den großen Erfolgen auch einige Mängel der sowjetischen Seismologie.

Die Operativität des seismischen Beobachtungssystems war noch ungenügend entwickelt und die Genauigkeit der Bestimmung der Lage des Epizentrums, besonders der der Herdtiefe war noch zu gering. Auch fehlten Methoden zur Abschätzung der Stärke der Erschütterungen im Epizentralgebiet nach den Aufzeichnungen weit entfernter seismischer Stationen. Andererseits zeigte das Ašhabadbeben, daß die modernen bebenresistenten Bauten, die unter Berücksichtigung der seismischen Rayonierung errichtet worden waren, nur unwesentlich in Mitleidenschaft gezogen wurden. In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, daß mehr als 100 Großstädte der UdSSR, unter ihnen die Hauptstädte von neun Unionsrepubliken (Ašhabad, Alma-Ata, Erevan, Taskent, Dušanbe, Frunze, Baku, Kišinev, Tbilissi), in seismisch aktiven Gebieten liegen.

Nach dem Ašhabadbeben stand vor den sowjetischen Seismologen erstmals die Aufgabe, Methoden zur Bebenvorhersage zu entwickeln. Diese Aufgabe verlangte, die Ursachen und Entstehungsbedingungen von Erdbeben breiter zu untersuchen. Es wurde die ständige Beobachtung der im Erdinnern ablaufenden Prozesse erforderlich, die zur Entstehung von Erdbeben führen. Dabei mußte man neben einer eingehenderen Untersuchung der Erdbeben auch langsame Deformationen der Erdkruste überwachen, den Bau der Erdkruste in seismisch aktiven Gebieten mit Mitteln der Seismologie, Geologie und Gravimetrie untersuchen und die mit der Entstehung von Brüchen in Gesteinen in Zusammenhang

stehenden Prozesse ebenso wie die der Ausbreitung seismischer Wellen modellieren. Gleichzeitig damit entstand die Notwendigkeit zur Koordinierung aller seismologischen Untersuchungen in der UdSSR sowie deren bedeutende Erweiterung in den Unionsrepubliken. Zu diesem Zweck wurde 1943 an der Akademie der Wissenschaften der UdSSR der Rat für Seismologie gegründet. Er spielte bei der Entwicklung der Seismologie in den Unionsrepubliken eine wichtige Rolle.

In der Nacht vom 4. zum 5. November 1952 wurden im Ergebnis eines schweren Bebens auf Kamčatka die Küstenzonen dieses Gebiets sowie die der Kurilen von Tsunamis überspült. Die Wellen erreichten teilweise 20 m Höhe und im Mittel entlang einer Küstenlinie von etwa 1000 km Länge eine Höhe von 7 - 8 m. Dieses Ereignis zwang den Rat für Seismologie der AdW der UdSSR zur Schaffung eines Tsunami-Warndienstes. Außerdem wurde die Rayonierung der Küste nach dem Grad der Gefährdung durch solche Katastrophen veranlaßt. Die Aufgabe der Warnung vor Tsunamis wird heute durch das Sachaliner wissenschaftliche Komplexforschungsinstitut der AdW der UdSSR und den Hydrometeorologischen Dienst der UdSSR wahrgenommen.

In den 60er Jahren wurde die Erweiterung des Netzes der permanenten seismischen Stationen der UdSSR sowie die Schaffung von seismologischen Institutionen in einer Reihe von Unionsrepubliken in ihren Grundzügen abgeschlossen. Ein wichtiges Ergebnis der eingehenden Untersuchung der Seismizität des Territoriums der UdSSR auf der Basis instrumenteller Beobachtungen der sowjetischen seismischen Stationen ist der "Bebenatlas der UdSSR" (1962). Dem Erscheinen des Atlas gingen methodische Entwicklungen zur Magnitudenbestimmung der Erdbeben voraus. Der Atlas besitzt große Bedeutung für die Präzisierung der Rayonierungskarten der UdSSR. Die Größe der Intensität bzw. der relativen Bebenenergie ermöglicht bei Kenntnis der Herdtiefe die Abschätzung des relativen Energiestroms an der Erdoberfläche. Eine diesbezügliche seismische Rayonierung ist bei Einführung von Korrekturen für geologische und lokale Bodenbedingungen weitaus sicherer als die alte.

Die ersten Versuche zur Untersuchung des seismischen Regimes der Gebiete stärkster Zerstörung um das Epizentrum zeigten, daß eine Berücksichtigung der Besonderheiten des Tiefenbaus der Kruste in den Herdgebieten und die Festlegung der Tiefenbrüche erforderlich ist. Zu diesem Zweck wurden von G.A. GAMBURCEV und seinen Schülern Methoden und Geräte zur seismischen Tiefensondierung der Kruste entwickelt und zur Feststellung von Tiefenbrüchen angewandt. Diese Brüche werden durch eine Präzisionsortung der Herde sehr schwacher aber häufiger Erdbeben ermittelt, deren Herde gewöhnlich entlang der Tiefenbrüche in der Kruste verteilt sind.

Die seismische Tiefensondierung basiert auf der Nutzung verhältnismäßig schwacher Explosionen und der Anwendung von Korrelationsprinzipien zur Verfolgung seismischer Wellen in den Seismogrammen. Wichtige Ergebnisse wurden mittels der seismischen Tiefensondierung während des Internationalen Geophysikalischen Jahres (IGJ) erhalten. Im Rahmen dieses Programms wurden der Krustenbau des Ochotskischen Meers, Kamčatkas, der Kurilen, Sachalins und der Komandorskijs Inseln untersucht. Zur Zeit des IGJ wurde in der UdSSR auch das Erdbebendislokationsmodell entwickelt. Hunderte der stärksten Bebenherde wurden mit Hilfe dieser Modellvorstellungen untersucht.

Eine wichtige Aufgabengruppe der Seismologie bilden Untersuchungen des inneren Aufbaus der Erde, insbesondere des oberen Mantels und seiner Beziehungen zur Erdkrustenentwicklung. Durch Untersuchung der Ausbreitung elastischer Raum- und Oberflächenwellen von Fernbeben sowie der Analyse von Eigenschwingungen der Erde lieferten sowjetische Seismologen wichtige Beiträge zur Kenntnis der Struktur und der mechanischen Eigenschaften des Erdmantels und des Erdkerns.

Auf der Basis der seismologischen Institutionen der Akademien der Wissenschaften der Unionsrepubliken und der zu ihnen gehörenden seismischen Stationen werden ständig erweiterte lokale und regionale Zentren für den seismischen Dienst sowie regionale Stationsnetze für das Studium lokaler Beben, die Untersuchung des Krustenbaus, die seismische Rayonierung und die Erfassung von "strong-motion"-Daten bei schweren Beben geschaffen. Das Tashkenter Erdbeben von 1966 gab für die weitere Entwicklung der Seismologie in den 70er Jahren starke Impulse. Es unterstrich die Notwendigkeit, die seismologischen Forschungen nicht nur im Rahmen der Akademie der Wissenschaften, sondern auch in anderen Bereichen zu erweitern.

Die sowjetischen seismologischen Stationen registrieren täglich 10 - 15 Beben auf dem Territorium der UdSSR oder 3000 - 5000 jährlich. 100 - 200 von ihnen werden gespürt und können sogar in einigen Fällen Gebäudeschäden hervorrufen. Etwa 5 Beben pro Jahr können auf dem Gebiet der UdSSR gleiche oder auch verheerendere Zerstörungen hervorrufen als das Tashkentbeben von 1966. Bezieht man die der Kurilen-Kamčatka-Region ein, dann sind es mindestens 20 - 25 Erdbeben solchen Ausmaßes jährlich. Zwei bis drei schwere Beben ereignen sich alljährlich in den mittelasiatischen Unionsrepubliken. Deshalb gewinnt die Aufgabe der richtigen Auswahl des Ortes für zukünftige Großbaustellen und die Erarbeitung von Normativen für das bebensichere Bauen immer mehr an Bedeutung.

Die UdSSR hat Pionierarbeit geleistet bei der Untersuchung von Bebenvorläufern mit dem Ziel der Entwicklung von Methoden zur Bebenvorhersage. Solche Forschungsarbeiten waren ohne die Einbeziehung geologisch-geographischer Institutionen unmöglich. Die neue Situation innerhalb der Seismologie, die die Einbeziehung weiterer Bereiche neben der Akademie der Wissenschaften der UdSSR erforderte, führte zur Annäherung der Tätigkeit beispielsweise der Bauingenieure und Projektanten mit der der Geologen und Geophysiker. All das erforderte eine Verstärkung der Koordinierung. Ausgehend vom Rat für Seismologie wurde 1967 auf Beschluß des Präsidiums der AdW der UdSSR, des Komitees für Wissenschaft und Technik beim Ministerrat der UdSSR und des Staatlichen Amtes für Bauwesen der UdSSR der zwischenbehördliche Rat für Seismologie und bebensicheres Bauen gegründet.

Die neuen Anforderungen an das bebensichere Bauwesen führten zu qualitativen Änderungen bei der Festlegung entsprechender Baunormen und bei der seismischen Rayonierung. Der Bau von früher nicht gekannten Industriegiganten, insbesondere von Staumauern von 200 bis 300 m Höhe, großen Wohnkomplexen, Pipelines, Verkehrswegen und anderen Bauwerken und Einrichtungen, verlangte ein strengeres Herangehen an die ökonomischen Kennziffern. Das alte Rayonierungsschema fragte lediglich, ob Erdbeben einer bestimmten Stärke in einem Gebiet auftreten können. Jetzt galt es auch, die Wiederholungswahr-

scheinlichkeit zu berücksichtigen. Hoch aktuell wurde auch die Aufgabe der weiteren Entwicklung von Methoden der seismischen Mikrorayonierung von Städten und Baustellenkomplexen. Dabei erschien es als sehr wichtig, zusätzlich zu den Böden auch tektonische Störungen, insbesondere Krustenbrüche, auf dem Baustellengelände zu berücksichtigen. Bei der Entwicklung von Mikrorayonierungsmethoden wurden bestimmte Erfolge erzielt. Sie waren besonders wichtig bei den seismischen Untersuchungen für den Bau der Baikal-Amur-Eisenbahn. Die Mikrorayonierung in diesem Permafrostgebiet wird erheblich erschwert durch die starke jahreszeitliche Veränderung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften der obersten Bodenschichten.

Maßnahmen zur Erhöhung der Bebenresistenz verteuern und komplizieren das Bauen. Ihre Notwendigkeit gilt es deshalb in jedem Falle kritisch zu prüfen. Das erfordert quantitative instrumentelle Daten über die Stärke der Erschütterungswirkung schwerer Beben. Dabei wird der Grad der Gebäudeschäden den aus instrumentellen Beobachtungen abgeleiteten dynamischen Zusatzbelastungen gegenübergestellt. In diesem Zusammenhang wurde eine Reihe von ingenieurseismischen Stationen eingerichtet, die es ermöglichen, die seismischen Erschütterungen an den verschiedenen Elementen der Gebäude und Anlagen sowie an deren Fundamenten zu erfassen. Gegenwärtig sind mehr als 80 solcher Stationen in Großstädten der seismisch aktiven Gebäude der UdSSR in Betrieb.

Eine andere aktuelle Aufgabe der Seismologie ist die Suche nach Vorläufern von Erdbeben und die Erarbeitung von Verfahren zur Vorhersage des Zeitpunktes ihres Auftretens. Sie wurde in den 70er Jahren im großen Stil in Angriff genommen. Dabei konnte eine ganze Reihe möglicher Vorläufer entdeckt werden. Während der Vorbereitungszeit des TaskenterErdbebens und seiner Nachstöße wurde eine starke Änderung des Radongehalts in Bohrungen nachgewiesen. Erstmalig wurden starke Variationen der Geschwindigkeiten bzw. des Geschwindigkeitsverhältnisses von P- zu S-Wellen vor einem Beben beobachtet. Ebenso wurden Vorläufereffekte gefunden, die mit der Änderung des Herdmechanismus von schwachen Vor- und Nachbeben starker Ereignisse in Zusammenhang stehen, sowie Effekte, die eine Änderung der Magnitudenhäufigkeitsbeziehung für Vor- und Nachbeben beinhalten. Spezielle Untersuchungen während Expeditionseinsätzen zeigten, daß unmittelbar vor Erdbeben sich im Herdbereich der elektrische Widerstand und die magnetischen Eigenschaften der Gesteine ändern. Durch komplexe Beobachtung und gemeinsame Nutzung der verschiedenen Vorläuferphänomene ist man dem Ziel der Bebenprognose bereits wesentlich näher gekommen.

Die Lösung der seismologischen Fragen der Bebenprognose kann man als Hauptaufgabe der Seismologie bezeichnen. Hierbei geht in den Begriff der Prognose die Vorhersage des Ortes, der Stärke, des Zeitpunktes und der Auswirkungen eines Erdbebens ein. Hierzu gehören also die Untersuchung der Seismizität und des seismischen Regimes, die seismische Rayonierung und die Suche nach Bebenvorläufern.

Viele Erfolge der Seismologie werden erst durch kontinuierliche seismische Beobachtungen möglich. In der UdSSR werden diese Arbeiten im Rahmen des einheitlichen seismischen Beobachtungssystems durchgeführt. Ihm gehören Einrichtungen vieler Institutionen an. Das System wird vom Rat für Seismologie und bebensicheres Bauen koordiniert. Die Anzahl der seismischen Stationen wuchs von 17 im Jahre 1917 auf fast

250 im Jahre 1977 an.

Die Erfolge der sowjetischen Seismologie in den 60 Jahren des Bestehens und Aufblühens des Sowjetstaates sind sehr groß und vielschichtig. Man kann gewiß sein, daß sie die Grundlage für eine Weiterentwicklung der Seismologie sowohl in der UdSSR als auch im Ausland bilden. Es besteht kein Zweifel, daß wir uns der Lösung der Hauptaufgabe der Seismologie, d.h. der Entwicklung von Methoden zur Bebenvorhersage sowie von Verfahren des sicheren und ökonomisch vertretbaren bebensicheren Bauens nähern.

Literaturverzeichnis

- [1] SAVARENSKIJ, E.F.: Očer'k razvitija sovetskoj sejsmologii za šest'desjat let (1917 - 1977)
Izvest. Akad. Nauk, Fizika Zemli, Moskva (1977) 12, S. 87 - 97

Über die Vorgeschichte der experimentellen Erdzeitenforschung bis zum Ausgang des
19. Jahrhunderts

M. M. Schneider

Zusammenfassung

Die ersten Vorstellungen, daß der feste Erdkörper unter der lunisolaren Attraktion Gezeitenwirkungen erfährt, wurden Mitte des 17. Jahrhunderts entwickelt. Obwohl die theoretische Durchdringung des Problems im wesentlichen erst im 19. Jahrhundert abgeschlossen war, wurden eine Reihe Versuche unternommen, zunächst mit frei hängenden Pendeln, dann mit Flüssigkeitsniveaus, zeitliche Änderungen der Lotrichtung nachzuweisen, die als erdzeitenbedingte Effekte zu verstehen sind. Erst Mitte des 18. Jahrhunderts wurden die zu erwartenden Beträge dieser Effekte quantitativ abgeschätzt. Diese Versuche schlugen alle fehl. Ursachen dafür waren einerseits die geringe Winkelauflösung der benutzten meßtechnischen Anordnungen, andererseits die Störeinflüsse wie Temperaturschwankungen, Sonneneinstrahlung und Luftbewegungen, die Neigungseffekte größer als die zu erwartenden erdzeitenbedingten Lotrichtungsänderungen hervorriefen. Auch die in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts verwendeten Anordnungen mit mechanischer Ausschlagvergrößerung konnten weder die erforderliche Winkelauflösung erreichen noch die Störeinflüsse ausschalten. Erst die Verwendung des Horizontalpendels und die Verbesserung der äußeren Meßbedingungen leitete den Beginn der eigentlichen experimentellen Erdzeitenforschung ein.

Summary

The first ideas that the rigid earth shows tidal effects under the lunisolar attraction were developed in the middle of the 17th century. Though theoretically coping with the problem did not essentially succeed earlier than in the 19th century a number of experiments were undertaken, in the beginning with free pendulums, then with fluid levels, to prove the temporal variations of the plumbline, which have to be regarded as earthtide were made as to their expected amounts. All the experiments failed owing, on the one hand, to the small angular resolution of the equipment which was used for the experiments, and on the other hand, to the perturbing influences of temperature variations, sunshine and air movements which produced tilt effects larger than the expected tidal tilt changes. Yet, the equipment used in the second half of the 19th century, applying means of mechanical magnification of the pendulum deflection, could not achieve the necessary angular resolution and screen the perturbing influences. It was not before v. REBEUR-PASCHWITZ who applied the horizontal pendulum and improved the external measuring conditions that the beginning of the proper experimental earth tide research was initiated. The technical means for determining and measuring the gravity tides and the tidal deformations of the earth's body only been made available considerably later.

The above-said development is presented on the basis of original sources and bibliographical references.

Ergebnisse S. 177

Vollständiger Beitrag in "Gerlands Beiträge zur Geophysik",
DOI: <https://doi.org/10.2312/zipe.1981.064>

Das Mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872

von

W. SPONHEUER¹⁾ und G. GRÜNTAL²⁾Zusammenfassung

Für die Untersuchung der Erdbebengefährdung eines Gebietes spielen die stärksten in historischer Zeit beobachteten Erdbeben eine besondere Rolle. Das stärkste bekannte Erdbeben auf dem Territorium der DDR war das Mitteldeutsche Erdbeben am 6. März 1872. Die früheren Arbeiten zu diesem Erdbeben (v. SEEBACH, 1873; de LLARENA, 1925) werden diskutiert und der heutigen Interpretation der originalen makroseismischen Beobachtungen gegenübergestellt. Daraus wird deutlich, daß die früheren Untersuchungen zu Ergebnissen führten, die - sofern sie in weitergehende Bearbeitungen im Hinblick auf Aussagen zur Erdbebengefährdung Eingang finden - die Resultate beträchtlich fälschen würden. Hinreichend präzise Angaben über historische Erdbeben bedürfen somit des kritischen Studiums der Originalberichte der Beobachtungen.

Summary

The strongest observed earthquakes of any area are of greatest importance for the investigation of seismic hazard. The strongest known earthquake on the territory of the GDR was the Central German earthquake at March 6, 1872. The previous publications about that earthquake (v. SEEBACH, 1873; de LLARENA, 1925) are discussed and are contrasted to the modern interpretation of the original macroseismic observations. From this follows that the previous investigations led to results which could make wrong a further treatment with regard to seismic hazard estimations considerably. Consequently, sufficient precise data about historical earthquakes need a critical study of original reports of observations.

¹⁾ DDR-6900 Jena, Hölderlinweg 10

²⁾ Central Earth Physics Institute of the Acad. of Sciences of the GDR,
DDR-1500 Potsdam, Telegrafenberg

1. Einführung

In Anbetracht der Auswirkungen der Katastrophen-Erdbeben der letzten Jahre rückte die Seismologie mehr und mehr in den Blickpunkt des Interesses.

Den Seismologen obliegt die große Verantwortung der Festlegung künftiger Herdzonen, der Einschätzung des seismischen Risikos, der Zuarbeit zur Entwicklung von Bau-standards erdbebensicherer Bauweisen usw.

Jedoch sind Aussagen zur Erdbebengefährdung stets probabilistisch, und jegliche Wahrscheinlichkeitsaussage fußt auf die bisher beobachtete Erdbeben-tätigkeit; wobei die Aussagen zur auch künftig zu erwartenden Seismizität eines Gebietes um so sicherer sein werden, je besser das historische seismische Geschehen bekannt ist.

Die Zeitspanne der instrumentell beobachteten Beben von etwa 70 Jahren ist jedoch äußerst kurz, und um ein Vielfaches längere Beobachtungsperioden sind nötig, um abgesicherte Schlußfolgerungen zu ziehen.

So wurden beispielsweise für seismisch aktive Gebiete wie das östliche Mittelmeer, den Nahen und Mittleren Osten große Anstrengungen unternommen, gesicherte Erdbebenkataloge der vergangenen 2 000 Jahre zusammenzustellen (AMBRASEYS, 1971, 1976); während der Erdbebenkatalog für Nord-China recht vollständig und zuverlässig sogar den Zeitraum von 2 500 Jahren umfaßt (MEI CHI YUN, 1960).

Für die Einschätzung des Erdbebenrisikos auf dem Territorium der DDR steht ein katalogisierter Beobachtungszeitraum von etwa 1 000 Jahren zur Verfügung, der etwa ab dem Jahre 1500 hinreichend zuverlässig sein dürfte.

Somit sind die modernen Untersuchungen in der Seismologie zum Erdbebenrisiko zweifelsohne wie kein anderes geophysikalisches Fachgebiet aufs engste mit der Historie verknüpft.

Entscheidend für die Einschätzung der seismischen Gefährdung sind die stärksten bisher beobachteten Erdbeben eines Gebietes, die aber gleichzeitig sehr selten sind, d. h. mittlere Wiederholungsperioden von mehreren 100 Jahren haben. Es liegt somit in der Natur der Sache, daß zur Untersuchung der stärksten Beben einer Region zwangsläufig historische Beben einbezogen werden müssen.

Solchen historischen Starkbeben in Europa war während der letzten Generalversammlung der Europäischen Seismologischen Kommission ein spezielles Symposium gewidmet (RITSEMA, KÁRNÍK; 1979).

Auf dem Territorium der DDR ereignete sich im N-Teil das in den letzten 1000 Jahren vermutlich stärkste Erdbeben im Jahre 1410 im Raum Havelberg, während im seismisch weitaus aktiveren S-Teil das wahrscheinlich energiereichste Beben der letzten 500 Jahre das sogenannte Mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872 mit seinem Herd im Raum Ronneburg/Schmölln war. Im Herdgebiet traten leichte Gebäudeschäden auf. Sein Schüttergebiet reichte von Berlin im Norden bis Passau im Süden, Frankfurt/Main im Westen und dem damaligen Breslau im Osten.

2. v. SEEBACHs Bearbeitung des Mitteldeutschen Bebens

Der eingehenden Neuinterpretation des Mitteldeutschen Erdbebens von 1872 kommt der günstige historische Umstand zugute, daß es sich in einer Zeit ereignete, in der der allgemeinen Beschreibung geophysikalischer Phänomene große Aufmerksamkeit geschenkt wurde und im ausgehenden 19. Jahrhundert die Seismologie eine wahrhaft stürmische Entwicklung erlebte. HOBBS schreibt dazu:

"Kein Zweig der Naturwissenschaften, das Studium der strahlenden Energie vielleicht ausgenommen, hat während der letzten 10 Jahre so erstaunliche Fortschritte gemacht wie die Seismologie." (Zitat aus HOBBS, RUSKA; 1910)

Eine zielgerichtete Forschungstätigkeit zur wissenschaftlichen Sammlung der Beobachtungsdaten bei Erdbeben, die makroseismische Klassifizierung der beobachteten Bebenwirkungen und die Untersuchungen zur Ermittlung des Erdbebenherdes begannen mit den Arbeiten von EGEN (1828), NÖGGERATH (1847), MALLET (1858, 1862) und SUESS (1873, 1874). Insbesondere ist dem Göttinger Professor Karl v. Seebach zu danken, der glücklicherweise das gesamte von ihm zusammengetragene Original-Beobachtungsmaterial zum Beben von 1872 im Jahre 1873 veröffentlichte, um, wie er schreibt: die Beobachtungen "späteren Zeiten zugänglich zu machen, die mit schärferen Waffen an deren Sichtung und Verwertung herantreten werden."

v. SEEBACH legte das Schwergewicht seiner Interpretation des Bebens jedoch nicht auf die makroseismische Auswertung; sondern konzentrierte sich auf die bereits von HOPKINS 1847 vorgeschlagene und erstmals von ihm angewandte Methode, aus der Laufzeit des Eintreffens der Erschütterungen an verschiedenen Beobachtungspunkten das Epizentrum zu bestimmen.

Zwei Beobachtungsorte, die zu gleicher Zeit erschüttert wurden, liegen danach wie er definiert auf einer kreisförmig angenommenen Homoseiste. Werden jeweils zwei Orte einer Homoseiste durch eine Gerade verbunden, diese halbiert und das Lot errichtet, ist das Gebiet des Schnittpunktes der Lote das Epizentrum (Abb. 1).

Das ist vom Grundgedanken her praktisch die auch heutzutage verwandte Mehrstationsortungsmethode - natürlich unter Verwendung von Observatoriumsregistrierungen. v. SEEBACH standen dagegen nur die Zeitangaben zur Verfügung, die ihm die Personen mitteilten, die das Beben wahrgenommen hatten. Das ist natürlich ein hoffnungsloses Unterfangen. Obwohl er große Mühen aufbrachte, zu brauchbaren Zeitangaben zu gelangen, verwundert es nicht, daß er ein völlig falsches Epizentrum in der Nähe von Ilmenau erhielt. Dieses Ortungsergebnis liegt etwa 90 km vom wahren Epizentrum, dem Gebiet der stärksten Erschütterung, entfernt. Er selbst stellte kritisch fest, daß "die gesammelten Nachrichten zur genauen Zeitbestimmung sehr dürftig waren und ein wahrhaft betrübliches Zeugnis ablegen für die geringe Befähigung des sogenannten gebildeten deutschen Publikums zur Aufstellung exakter Beobachtungen."

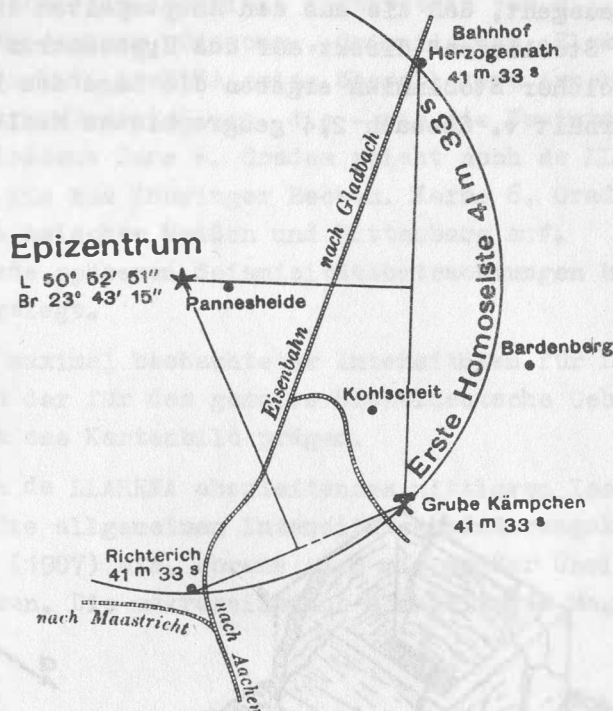


Abb. 1 Homoseistenmethode zur Bestimmung des Epizentrums nach HOPKINS (1847) am Beispiel des Herzogenrather Erdbebens vom 22. Oktober 1873 nach v. LASAULX (1874)

Doch von seiner Methode so überzeugt, hielt er an seiner Ortung fest und versuchte, die große Differenz zwischen seiner Epizentralbestimmung und dem Gebiet der stärksten Erschütterungen theoretisch zu deuten.

Die Abb. 2 zeigt die Resultate der Untersuchungen von Seebachs: Das Epizentrum im Thüringer Wald in der Nähe von Ilmenau. Die beobachteten Bebenwirkungen hat er in der Karte (Abb. 2) folgendermaßen unterteilt:

- das pleistoseiste Gebiet, das Gebiet, in dem auffällige Veränderungen der Wasserführung von Quellen nach dem Erdbeben beobachtet wurden
- die 1. "isoseistische Kurve", die großzügig die Ausbreitung der Wirkung des Bebens auf Gebäude umschreibt
- die 2. Isoseiste, die Verbreitung des Schallphänomens
- die 3. Isoseiste, die wahrscheinliche Grenze des Schüttergebietes

+ Abb. 2 als Anlage beigelegt

Zur Berechnung der Herdtiefe schlug v. SEEBACH eine Methode vor, diese aus den beobachteten Laufzeiten zu berechnen. Da die Genauigkeit der Zeitbeobachtungen die Anwendung dieser Methode nicht zuließ, griff er auf die Methode nach MALLET zurück, die davon ausgeht, daß die aus den Hauptspalten in bebengeschädigten Gebäuden abzuleitenden "Stoßlinien" direkt auf das Hypozentrum weisen (Abb. 3). Die Schnitte mehrerer solcher Stoßlinien ergeben die Lage des Erdbebenherdes im Untergrund. Als Resultat erhält v. Seebach 2,4 geographische Meilen, das sind 18 km.

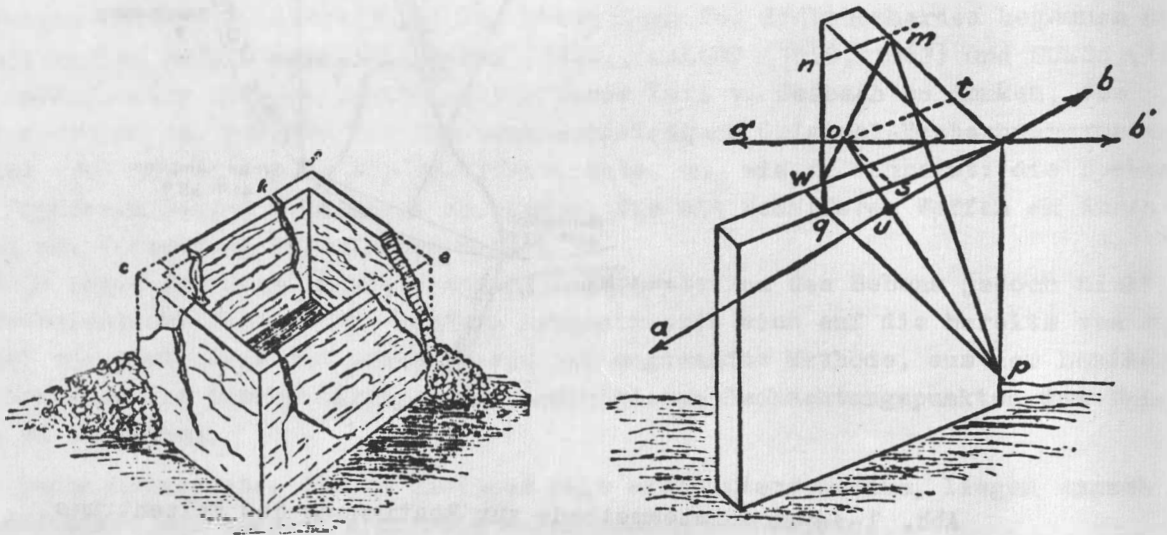


Abb. 3 Herdtiefenbestimmung aus der Richtung der Hauptspalten in Gebäuden nach MALLET (1862) aus HOBBS/RUSKA (1910); ab Stoßrichtung

In den darauffolgenden Jahrzehnten wurde das Untersuchungsergebnis v. SEEBACHs dahingehend erweitert, daß angenommen wurde, die auffällige Trennung des Epizentrums nach der Homoseistenmethode vom Gebiet der stärksten Erschütterungen sei durch zwei Herde zu erklären (z. B. HENNING, 1909). Diese Hypothese der gleichzeitig stattfindenden Mehrfachbeben auf verhältnismäßig kleinem Gebiet wurde zur Zeit der Jahrhundertwende von Seismologen wie DAVISON, MONTESSUS DE BALLORE aber auch LASKA favorisiert.

3. Reinterpretation des Mitteldeutschen Erdbebens von de LLARENA

Die erste grundsätzliche Neueinschätzung des Bebens von 1872 geht auf SIEBERG zurück. Er regte seinen Schüler de LLARENA an, das Mitteldeutsche Erdbeben neu zu bearbeiten. de LLARENA (1925) nutzte dazu das makroseismische Beobachtungsmaterial aus 324 Ortschaften, das v. SEEBACH zusammengetragen und veröffentlicht hatte. Nach der zu dieser Zeit üblichen makroseismischen Bewertungsmethodik nach der MERCALLI-SIEBERG-Skala wurde die jeweils stärkste Erdbebenwirkung herangezogen

und als Intensitätswert für einen Ort zugrundegelegt; selbst wenn sie nur einmal aufgetreten war.

Die Abb. 4 zeigt die Isoseistenkarte des Bebens nach de LLARENA mit einer Epizentralzone im Gebiet der Ortschaften Schmölln, Gößnitz, Posterstein von 8° ; einer Schütterfläche 7. Grades die Orte Waldenburg, Glauchau, Crimmitschau, Elsterberg, Greiz und Altenburg umschließend. Nach de LLARENA seien überall dort erhebliche Gebäudebeschädigungen aufgetreten - eine Feststellung, die - wie die Neuinterpretation ergab - übertrieben ist. Die geschlossene Zone 6. Grades reicht nach de LLARENA vom Vogtland bis Leipzig und im Westen bis zum Thüringer Becken. Kerne 6. Grades treten nach de LLARENA im Verlauf der Elbe zwischen Meißen und Wittenberg auf. Diese Interpretation des Bebens wurde späteren Seismizitätsbetrachtungen bis etwa zum Anfang der 70er Jahre zugrundegelegt.

Als Beispiele sei auf die Karte maximal beobachteter Intensitäten für Deutschland nach SPONHEUER (1962) verwiesen, in der für das gesamte Mitteldeutsche Gebiet die Schütterwirkungen des 1872er Bebens das Kartenbild prägen.

Die aus der Isoseistenkarte nach de LLARENA abzuleitenden mittleren Isoseistenradien fügen sich nur schlecht in die allgemeinen Intensitätsabminderungskurven nach SPONHEUER (1960) bzw. KÖVESLIGHETY (1907) ein, woraus sich mit großer Unsicherheit behaftet, als Herdtiefe 23 km ergeben. Die makroseismisch abzuleitende Magnitude ist 5,98 (SPONHEUER, 1969).

4. Neuinterpretation des Bebens

Die zunehmenden Forderungen nach einer präzisen seismischen Risikoeinschätzung verlangen eine kritische Sichtung und Überarbeitung der bisher verwandten Grundlagendaten zur Seismizitätsbewertung. Dem Beben von 1872 kommt dabei zweifelsohne eine Schlüsselstellung zu.

Die bisher vorgenommene Neuinterpretation beschränkte sich auf das Territorium der DDR, weil neben den Angaben bei v. SEEBACH - das sind detaillierte Beschreibungen der Schütterwirkungen aus 146 Ortschaften in der DDR - vor allem zusätzliche Quellen herangezogen wurden.

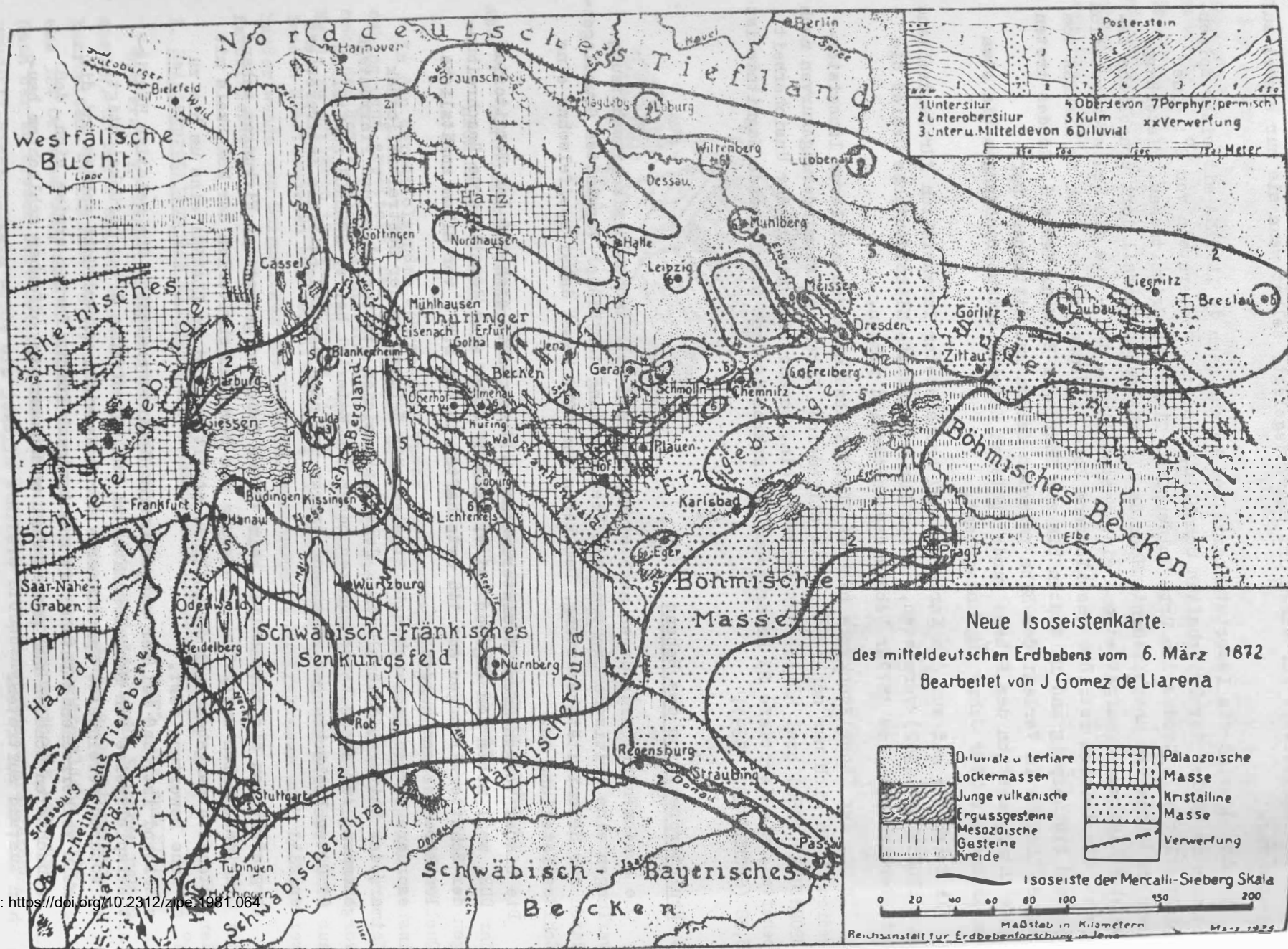
Insbesondere wurden Recherchen im Staatsarchiv Weimar, in der Zentralbibliothek Weimar, der Universitätsbibliothek Jena, zahlreichen Stadtarchiven und Pfarrämtern vorgenommen. Auf diese Weise konnten neben dem Material bei v. SEEBACH zusätzlich aus 82 Orten Beobachtungen zusammengetragen und nach der MSK-64-Skala interpretiert werden.

Vergleicht man die tatsächlich beim 1872er Beben aufgetretenen Wirkungen anhand der Originalquellen unter Zugrundelegung der Bewertungskriterien der MSK-Skala mit den Intensitätsangaben nach de LLARENA, stellt man bei de LLARENA eine um bis zu 1° zu hohe Bewertung fest.

Entscheidend ist, daß bei der vorgenommenen Neuinterpretation die relative Häufigkeit beispielsweise von Gebäudeschäden in den betroffenen Orten berücksichtigt wird, wodurch vereinzelte Spitzenwerte der Intensität unterdrückt werden und die allgemein vorherrschende Intensität zum Ausdruck kommt. Ferner erwies sich, daß die beobachteten Schäden zum großen Teil an Häusern in offenbar schlechtem baulichen Zustand auftraten.

Die Abb. 5 zeigt die so gewonnene Isoseistenkarte des Bebens.

Abb. 4 Isoseistenkarte des Mitteldeutschen Bebens nach de LLARENA (1925)



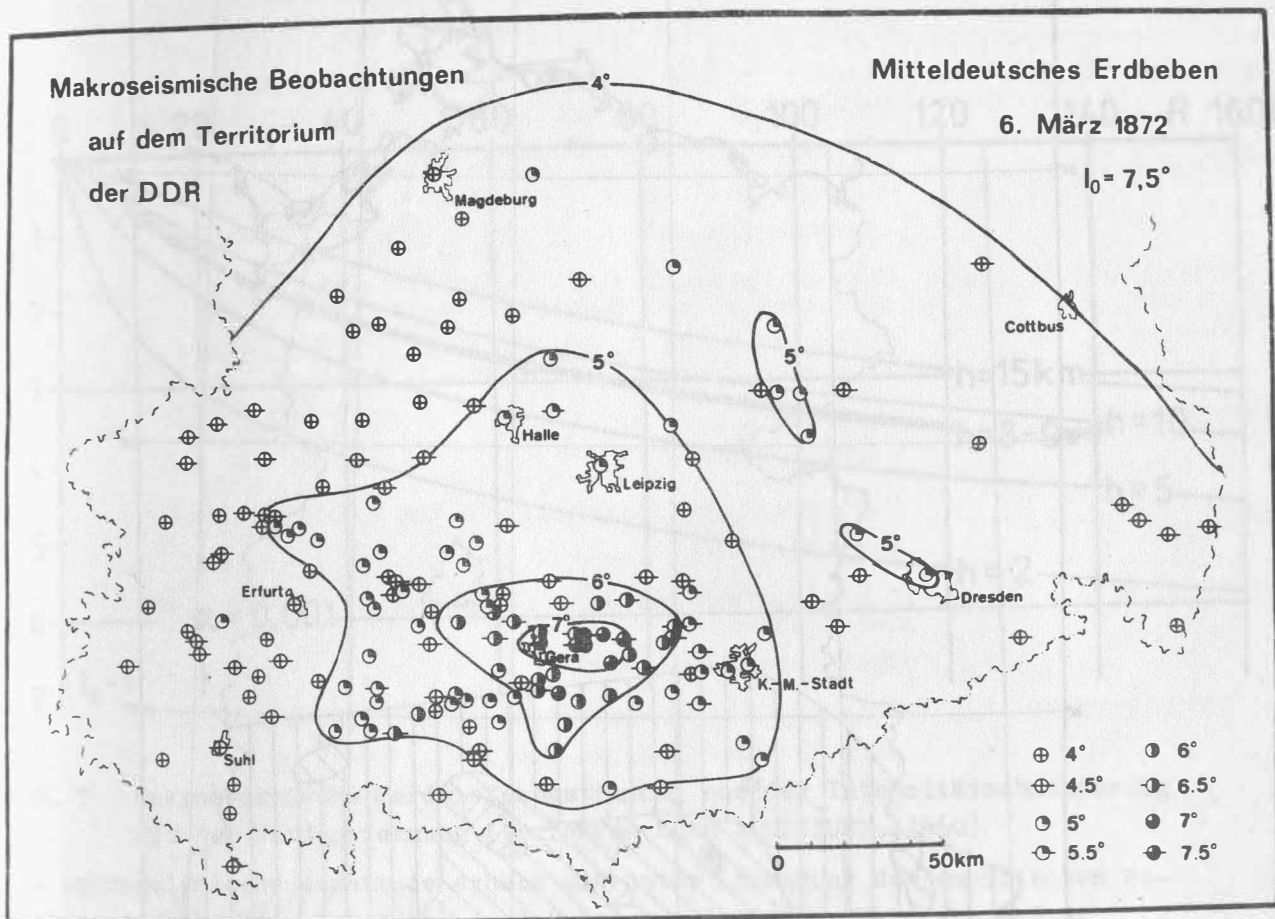


Abb. 5 Isoseistenkarte des Mitteldeutschen Bebens für das Territorium der DDR auf Grund der Neuinterpretation der makroseismischen Beobachtungen nach der MSK-Skala

Es ist auffällig, daß die Schütterflächen nach der Neuinterpretation wesentlich kleiner sind als nach der Interpretation bei de LLARENA. Ein Gebiet 8. Grades ist nicht mehr auszuweisen. Das Gebiet erhöhter Intensität im Verlauf der Elbe wurde nach der Neuinterpretation nicht mit 6° sondern mit 5° eingestuft. Insbesondere liegen das Vogtland und Orte wie Weimar, Jena und Leipzig außerhalb der 6° -Schütterfläche.

Da die Schütterwirkungen des 1872er Bebens in markanter Weise die Karte maximaler beobachteter Intensitäten prägen, folgt nach der Neuinterpretation eine z. T. wesentlich veränderte Karte I_{\max} (Abb. 6).

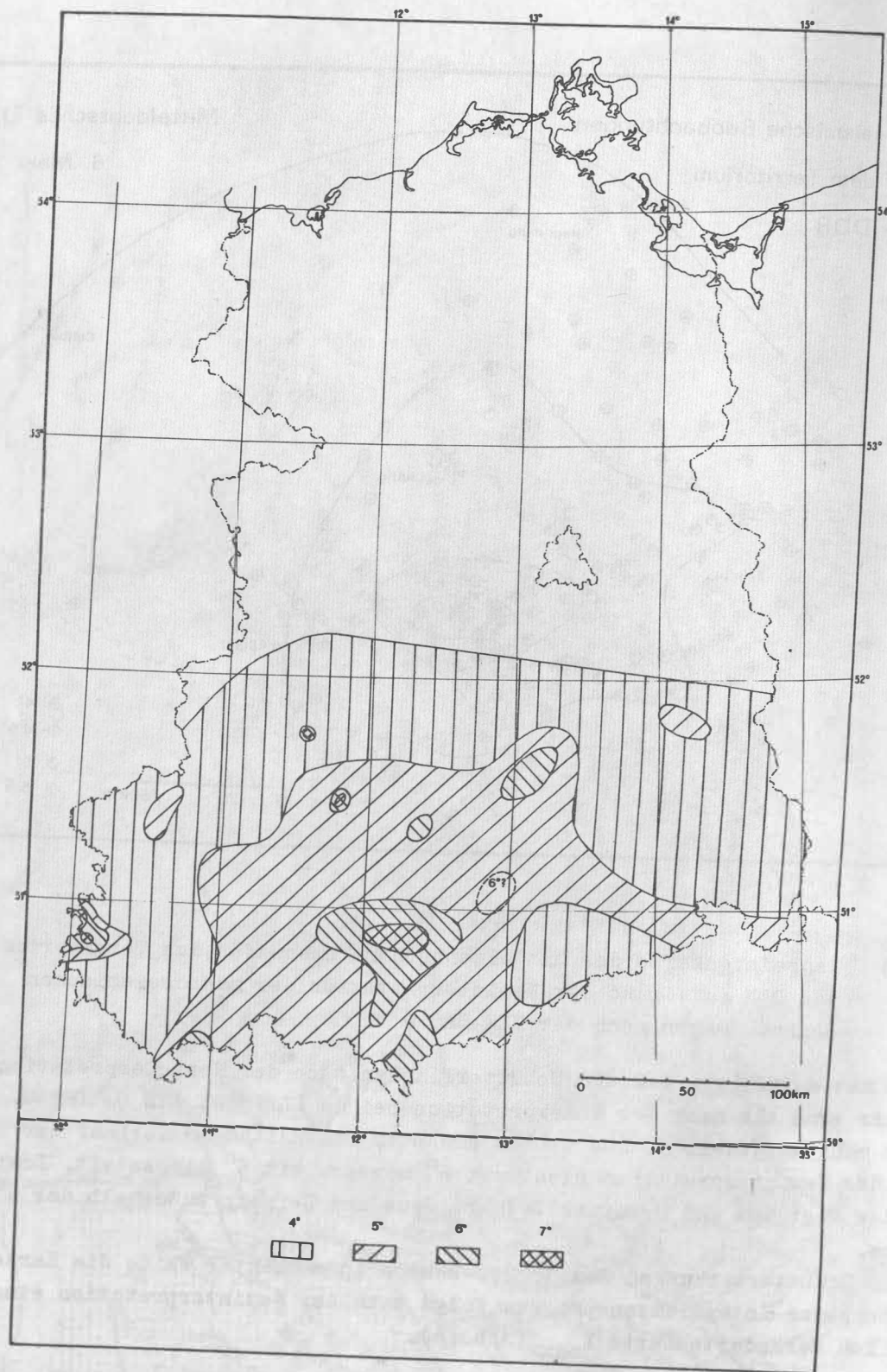


Abb. 6 Karte der maximal beobachteten Intensitäten auf dem Territorium der DDR im Zeitraum von 1500 bis 1978 (GRÜNTAL et al., 1979)

Die mittleren Isoleistenradien des Mitteldeutschen Bebens folgen auffallend gut den allgemeinen Intensitätsabminderungskurven nach SPONHEUER (Abb. 7). Als Herdtiefe ergeben sich somit 8 - 9 km.

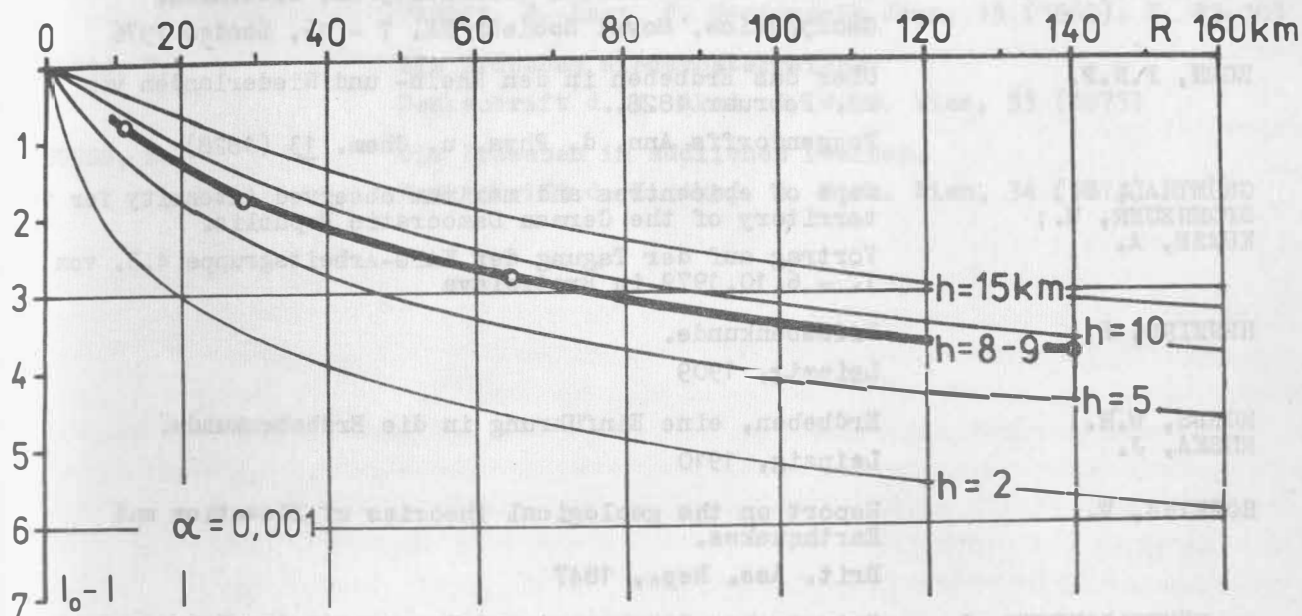


Abb. 7 Makroseismische Herdtiefenbestimmung aus der Intensitätsabminderung mit der Herdentfernung (Verfahren nach SPONHEUER, 1960)

Als makroseismische Magnitude erhält man unter Anwendung der empirischen Beziehung nach KARNIK $M=0,667 I_0 + 1,2 \log h - 1,0$ einen Wert von $M=5,1$.

5. Schlußfolgerungen

Am Beispiel der Resultate der Neuinterpretation des Mitteldeutschen Erdbebens vom 6. März 1872 wird deutlich, daß für weitergehende Untersuchungen wenn irgend möglich stets auf Originalberichte der Beobachtungen zurückgegriffen werden sollte.

Die international festzustellende Praxis beweist, daß zwischenzeitlich vorgenommene Interpretationen sehr von den jeweils vorherrschenden Vorstellungen, Meinungen und Tendenzen beeinflußt sind.

Diese Überprägungen aus früheren Bearbeitungen herauszufiltern, gelingt im allgemeinen nur recht ungenügend. Präzise Aussagen zu historischen Ereignissen bedürfen somit des Studiums der originalen historischen Quellen.

Literatur

- AMBRASEYS, N.N. Value of historical records of earthquakes.
Nature 232/5310 (1971), S. 375 - 379
- AMBRASEYS, N.N. Studies in Historical Seismicity and Tectonics.
Geodynamics, Royal Society IX, 7 - 16, London 1976
- EGEN, P.N.P. Über das Erdbeben in den Rhein- und Niederlanden vom
23. Februar 1828.
Poggendorffs Ann. d. Phys. u. Chem. 13 (1828)
- GRÜNTAL, G.;
SPONHEUER, W.;
KUNZE, A. Maps of epicentres and maximum observed intensity for the
territory of the German Democratic Republic.
Vortrag auf der Tagung der KAPG-Arbeitsgruppe 4.3. vom
1. - 6.10.1979 in Bratislava
- HENNING, E. Erdbebenkunde.
Leipzig, 1909
- HOBBS, W.H.;
RUSKA, J. Erdbeben, eine Einführung in die Erdbebenkunde.
Leipzig, 1910
- HOPKINS, W. Report on the geological Theories of Elevation and
Earthquakes.
Brit. Ass. Rep., 1847
- v. KÖVESLIGHETHY, R. Seismischer Stärkegrad und Intensität der Beben.
Gerl. Beitr. Geophys. Bd. VIII (1907)
- v. LASAULX, A. Das Erdbeben von Herzogenrath am 22. Oktober 1873.
Ein Beitrag zur exakten Geologie, Bonn, 1874
- de LLARENA, J.G. Die neue Isoseistenkarte des Mitteldeutschen Erdbebens
vom 6. März 1872.
Zeitschr. f. Geophys. 5 (1925), S. 182 - 186
- MALLET, R. On the Facts of Earthquake Phenomena. II. Report.
Rep. Brit. Assoc. for the Advanc. in Sc., London Meeting
1858
- MALLET, R. The great Neapolitan Earthquake.
London, 1862
- MEI SHI YUN Characteristics of earthquake activity in China.
Acta geoph. Sinica 9 (1960), S. 1 - 19
- HÖGGERATH, J. Das Erdbeben vom 29. Juli 1846 im Rheingebiet und den
benachbarten Ländern.
Bonn, 1847
- RITSEMA, A.R.;
KÁRNÍK, V. (ed.) European Catastrophic Earthquakes.
Tectonophys. (special Issue), 53 (1979) 3/4
- v. SEEBACH, K. Das Mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872.
Leipzig, 1873
- SPONHEUER, W. Methoden zur Herdtiefenbestimmung in der Makroseismik.
Freiberger Forsch.hefte C88 (1960)

- SPONHEUER, W. Untersuchungen zur Seismizität von Deutschland.
Veröff. Inst. f. Bodendyn. u. Erdbebenforsch. Jena,
H. 72 (1962) (Emil-Wiechert-Gedenkheft), S. 23 - 52
- SPONHEUER, W. Die Verteilung der Herdtiefen in Mitteleuropa und ihre
Beziehung zur Tektonik.
Veröff. d. Inst. f. Geodynamik Jena, 13 (1969), S. 82-103
- SUESS, E. Die Erdbeben Niederösterreichs.
Denkschrift d. K. Akad. d. Wiss. Wien, 33 (1873)
- SUESS, E. Die Erdbeben im südlichen Italien.
Denkschrift d. K. Akad. d. Wiss. Wien, 34 (1874)

Seismologische Forschungen in Jena seit 1923¹⁾

von

Ch. Teupser²⁾Zusammenfassung

Im Jahre 1923 wurde in Jena die Reichsanstalt für Erdbebenforschung gegründet. Das Institutsgebäude enthielt auch die seismische Station. 1946 wurde dieses Institut in die Akademie der Wissenschaften eingegliedert. Der Neubau am Burgweg 11 wurde 1955 fertiggestellt. Am 1. Januar 1964 nahm die neue Station Moxa offiziell ihren Betrieb auf und wurde in das Weltstationsnetz einbezogen. Seit 1969 ist diese Forschungsstätte ein Teil des Zentralinstituts für Physik der Erde. Es wird ein allgemeiner Überblick über die wissenschaftlichen Arbeiten seit 1923 gegeben. Gleichfalls wird die instrumentelle Ausrüstung der seismologischen Station vom rußregistrierenden Seismograph bis zur Installation eines Prozeßrechners beschrieben.

Summary

In 1923 the Reichsanstalt für Erdbebenforschung was founded in Jena. The building of the institute included the seismological station, too. In 1946 this institute was incorporated into the academy of sciences. The new building of the institute in Burgweg 11 was finished 1955. On the 1st January 1964 the new station Moxa started work officially and was taken up in the world network. Since 1969 this research institution is a part of the Central Earth Physics Institute. The researches carried out since 1923 are described in a general view including the instruments equipment used in the seismological stations from smoked paper seismographs till to the installation of an on-line computer.

1) Mitteilungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, Nr. 774

2) Dr. rer. nat. habil. Christian Teupser, Zentralinstitut für Physik der Erde der AdW der DDR, Institutsteil Jena, 69 Jena (DDR) Burgweg 11

Bei der Ausarbeitung dieses Beitrages habe ich bald erkennen müssen, daß eine einigermaßen umfassende Darstellung den gegebenen Rahmen sprengen müßte. Ich muß Sie daher auf das Material verweisen, das anläßlich des Doppeljubiläums "75 Jahre seismologische Registrierungen und 50 Jahre seismologische Forschungen in Jena" von D. GÜTH, D. GERMANN und J. STELZNER zusammengestellt wurde. Diese Ausarbeitung, die mit der Gründung des Zentralinstituts für Physik der Erde im Februar 1969 abschließt, liegt natürlich auch meinen Betrachtungen zugrunde. Allerdings sind seitdem bereits 10 Jahre vergangen und in diesen ist die Geschichte nicht stehen geblieben. Es sei mir daher gestattet, im folgenden auch diese Jahre der Weiterentwicklung zu skizzieren. In diesen Jahren nach der Akademiereform festigte sich die Stellung der Akademie als sozialistische Forschungseinrichtung der DDR, sogleich erhöhten sich aber auch die Aufgaben der Seismologen und die an sie zu stellenden Forderungen, so daß dieser Rückblick erkennen lassen soll, welche Vorbereitungen zur Lösung künftiger Aufgaben getroffen worden sind.

Blicken wir zunächst auf die Zeit kurz nach dem Ende des ersten imperialistischen Weltkrieges und nehmen sie als Anknüpfungspunkt zu meinem Vorredner. Damals war die seismologische Station Jena faktisch unbesetzt, und es stand durch den Zusammenbruch des Deutschen Kaiserreiches den deutschen Seismologen ihre frühere zentrale Forschungsstelle in Straßburg nicht mehr zur Verfügung. Die unermüdlichen Bemühungen von Oskar HECKER, der als Nachfolger von Georg GERLAND seit 1. 7. 1910 die ehemalige Kaiserliche Hauptstation für Erdbebenforschung geleitet hatte, führten am 4. April 1923 zur offiziellen Gründung der Reichsanstalt für Erdbebenforschung in Jena. Kurz vorher konnte bereits das von der Carl-Zeiß-Stiftung finanzierte Institutsgebäude am Fröbelstieg bezogen werden. Das war in der damaligen tiefgreifenden Krise des kapitalistischen Systems ein beachtlicher Erfolg; der besondere Dank dafür gilt der wohlwollenden und tatkräftigen Unterstützung von Prof. Rudolf STRAUBEL. In der Anfangsphase des Aufbaues der neuen Forschungsstelle hatte HECKER nur einen aus Straßburg mitübersiedelten Mitarbeiter, August SIEBERG, zur Seite. Gleich nach der Gründung hat er dann 1924 durch die Einstellung von Otto MEISSER und Gerhard KRUMBACH sowie 1925 durch die von Hans MARTIN das Kollektiv gebildet, das das wissenschaftliche Profil der Reichsanstalt in der ersten Phase ihres Bestehens im wesentlichen bestimmen sollte.

In den ersten Jahren wurden die rein seismologischen Forschungsgebiete, die Makro- und die Mikroseismik nur von je einem Wissenschaftler bearbeitet. Allerdings war in der Makroseismik, d. h. die Erforschung der unmittelbar wahrnehmbaren Erdbebenerscheinungen und Bodenbewegungen, mit SIEBERG ein erfahrener und bereits international sehr anerkannter Spezialist tätig, der besonders die geologisch-geographischen Aspekte der Erdbebenkunde bearbeitete und mit seiner Erdbebengeographie und den Beiträgen zum Erdbebenkatalog Deutschlands grundlegende Werke über die Seismizität der Welt und Mitteleuropas schuf. Für die Mikroseismik, die Bearbeitung der Erdbebenerscheinungen mit instrumentellen Mitteln, war der WIECHERT-Schüler KRUMBACH gewonnen worden. Ihm oblag nicht nur die Auswertung der Seismogramme, sondern auch die Einrichtung und Komplettierung der Seismischen Station Jena. Im Jahre 1926 konnte mit Hilfe des 1200-kg-Wiechertseismographen der alten Station und den beiden neu aufgebauten Geräten, einem 1300-kg-Vertikalseismographen und der EW-Komponente des kurzperiodischen 15-t-Pendels der Beobachtungsdienst im Keller des neuen Institutsgebäudes aufgenommen werden. Die NS-Komponente des letzteren wurde erst 1935 fertiggestellt. Zu etwa der gleichen Zeit wurde auch die EW-Komponente eines 200-kg-Kegelpendels mit 25 s Eigenperiode und 25facher Vergrößerung eingesetzt.

Den Berichten der seismischen Station Jena lagen bis zum Ende der 40iger Jahre die Aufzeichnungen dieser rußregistrierenden Instrumente allein zugrunde. Das Bulletin der Station Jena wurde bis 1945 von KRUMBACH und dann bis 1964 von Friedrich GERECKE bearbeitet. Besonders nach 1945 wurden an der Station Jena auch optisch und galvanometrisch registrierende Geräte zunächst versuchsweise und dann routinemäßig eingesetzt.

Neben diesen beiden Gebieten war es die angewandte Geophysik, die HECKER an der Reichsanstalt pflegen wollte. Das hat er auch bereits in seinen Ausführungen zur Gründung dieser Institution betont. Es war nicht nur die seismische Lagerstättenforschung, die durch das Verfahren von L. MINTROP aus dem Jahre 1917 immer stärker an Bedeutung gewann, sondern auch alle anderen Gebiete der angewandten Geophysik, auf denen in dieser Pionierzeit mit großem Elan gearbeitet wurde. Zusätzliche Mittel wurden hierfür beschafft und wissenschaftliche Hilfskräfte konnten zum Teil auch unentgeltlich gewonnen werden. Der ersten großen Monographie von MEISSER "Beiträge zur experimentellen Seismik" folgten bald weitere Arbeiten, die neben der Seismik besonders auf dem Gebiet der Gravimetrie lagen. Die notwendigen Instrumente wurden teils in eigener Werkstatt teils mit Hilfe des Zeisswerkes gebaut, wovon nur die Verbesserung der EÖTVÖSschen Drehwaage und die Entwicklung invariabler Pendel für die Schweremessung erwähnt werden sollen. Den internationalen Rang dieser Pionierarbeiten kann man daran ablesen, daß an dem im Jahre 1930 durchgeführten Kursus über angewandte Geophysik unter den 57 Teilnehmern Wissenschaftler aus Japan, den Niederlanden, Oesterreich, Schweden, der Schweiz und der Tschechoslowakei vertreten waren.

Es war sicher nicht nur der Wechsel in der Leitung der Reichsanstalt - SIEBERG wurde zunächst 1932 nach der Pensionierung von HECKER kommissarisch mit der Leitung betraut und erst 1936 endgültig zu deren Direktor ernannt - sondern der allgemeine Trend, daß die Bearbeitung von Prospektionsaufgaben zurücktrat, denn diese wurden in zunehmendem Maße von Firmen betrieben. Die Arbeiten zur angewandten Geophysik begannen sich zu Arbeiten der Ingenieur- und Talsperrengophysik zu verlagern. Sie sollten durch die Untersuchungen von MARTIN immer mehr Bedeutung gewinnen. Die Verstärkung der rein seismologischen Arbeiten fanden ihren sichtbaren Ausdruck in der 1934 erfolgten Einstellung von Wilhelm SPONHEUER als Assistent von SIEBERG. Er war es auch, der nach dessen Tode 1945 dieses Forschungsgebiet übernahm und durch seine Arbeiten zur makroseismischen Herdtiefenbestimmung, der Fertigstellung der Erdbebenkataloge und die Neufassung der makroseismischen Skala zusammen mit anderen internationalen Fachleuten, bis in unsere Tage hinein erfolgreich weiterbetrieb.

Der durch den Hitlerfaschismus heraufbeschworene zweite Weltkrieg und die verbrecherische totale Kriegführung bewirkten von Anfang an eine wesentliche Minderung der wissenschaftlichen Forschungstätigkeit der Reichsanstalt. Nicht nur der Abbruch der für die Seismologie notwendigen internationalen Kontakte, sondern auch die Einberufung von Mitarbeitern zum aktiven Kriegsdienst schränkten die Arbeit schließlich bis auf die notwendigen Routinedienste ein. Selbstverständlich mußten auch alle Projekte der baulichen Erweiterung des Institutes erst einmal aufgegeben werden.

Obwohl das Institut am Gebäude und an seinen Einrichtungen nur geringe Kriegsschäden erlitten hatte, stellte der völlige Zusammenbruch des Deutschen Reiches die Reichsanstalt vor das Problem ihrer Weiterexistenz. Die neuen antifaschistisch-demokratischen Behörden leisteten aber schnelle Hilfe und gaben auch die notwendige finanzielle Unterstützung. Da zudem SIEBERG kurz nach Kriegsende verstorben war, mußte auch über die Leitung neu entschieden werden. Das erfolgte recht bald, denn am 1. 5. 1946 wurde KRUMBACH zum neuen Direktor ernannt. Bereits am 18. 10. 1946 wurde die ehemalige Reichsanstalt als "Zentralinstitut für Erdbebenforschung" als 8. Institut in die vor kurzem aufgrund des Befehles 187 der damaligen Sowjetischen Militäradministration in Deutschland wiedereröffnete Deutsche Akademie der Wissenschaften übernommen. So kurz nach der Zerschlagung des Hitlerfaschismus wurde der Wissenschaft in der damaligen sowjetischen Besatzungszone von seiten der UdSSR die nötige Starthilfe gegeben. Von der weiteren großzügigen Förderung erhielt auch - wie es die folgenden Ausführungen zeigen werden - die Seismologie und ihre Forschungsstätte in Jena einen beträchtlichen Anteil. Das Institut hatte sich im wesentlichen folgende Aufgaben gestellt: Seismischer Stationsdienst mit internationalem Datenaustausch, Aufstellung von Erdbebenkatalogen, Untersuchungen über Bodenunruhe, bergbauliche Störungen sowie über Erschütterungen, Sprengungen und ähnliche Erscheinungen, Entwicklung und Neukonstruktion seismischer Instrumente. Arbeiten zur Lagerstättenforschung wurden zwar in Angriff genommen, sie gewannen aber aus den bereits genannten Gründen kein Gewicht.

Die großzügige Förderung, die die Partei- und Staatsführung der DDR bereits im ersten Jahrzehnt ihres Bestehens der Wissenschaft zuteil werden ließ, kommt am Beispiel unseres Institutes dadurch zum Ausdruck, daß KRUMBACH bald Pläne zum Neubau eines Institutsgebäudes schmieden konnte. Bereits am 24. 6. 1954 fand die feierliche Grundsteinlegung auf dem neuen Gelände am Burgweg 11 statt, gleichzeitig erfolgte eine Umbenennung in "Institut für Bodendynamik und Erdbebenforschung". Hierdurch sollten die im Institut durchgeführten Arbeiten zur angewandten Forschung auch in seinem Namen zum Ausdruck kommen. Das waren einmal schwingungstechnische Untersuchungen und Präzisionsnivellements mit der Schlauchwaage (MARTIN mit G. GENSCHEL, J. STELZNER, Ch. TEUPSER), zum anderen Untersuchungen von Gebirgserschütterungen in Bergbau- und Senkungsgebieten mit seismischen Nebenstationen, die bereits 1938 von KRUMBACH begonnen und von A. HERRMANN, F. GERECKE und H. NEUNHÖFER fortgeführt worden sind. In den Jahren 1945 bis 1967 konnten auf diesen Gebieten in zahlreichen Gutachten der aufstrebenden Volkswirtschaft der DDR wertvolle Hilfe geleistet werden. Bis auf die Untersuchungen mit seismischen Überwachungsstationen werden ab Mitte der 60er Jahre diese angewandten Arbeiten von den einschlägigen Industriezweigen selbst durchgeführt, nachdem eventuell notwendige Richtlinien dazu erarbeitet worden waren.

Der Umzug in das neue Institutsgebäude im August 1956 markiert äußerlich einen wichtigen Einschnitt im Leben des Institutes. Kurz vorher war MARTIN zum Nachfolger des Ende 1955 verstorbenen KRUMBACH berufen worden. In diesen 50er Jahren traten auch wesentliche Änderungen im Kreis der Wissenschaftler ein. Im Institut waren beim Umzug nur noch drei Mitarbeiter tätig, die ihm bereits vor dem Krieg angehörten (MARTIN und SPONHEUER) bzw. kurz danach zu ihm gekommen waren (F. GERECKE). Durch die Einstellung von wesentlich jüngeren Mitarbeitern (W. ULLMANN, 1950; Ch. TEUPSER, 1954; R. MAAZ, 1954; J. STELZNER, 1956; D. GÜTH, 1957; G. GENSCHEL, 1957; H. NEUNHÖFER, 1960) begann sich das Kollektiv zu formen, das in der folgenden Zeit das Institut repräsentierte und erst in

der zweiten Hälfte der 60er Jahre erweitert wurde. Die Seismologie war den Kinderschuhen entwachsen und so wurde auch in unserem Institut auf eine gute theoretische Fundierung der wissenschaftlichen Arbeit Wert gelegt. International erhielt die Seismologie in dieser Zeit großen Auftrieb, da sie Methoden liefern konnte, um internationale Abkommen über Kernwaffenexperimente zu überwachen. Notwendig dafür war eine gute instrumentelle Ausrüstung, also hochempfindliche Seismographen, und die zu ihrer Aufstellung erforderlichen Stationen mit geringem Störpegel. Es stellte sich daher bald heraus, daß der bereits vor dem Krieg schon geplante Neubau der Station nur außerhalb Jenas wegen der steigenden Industrie- und Verkehrsunruhe erfolgen konnte.

Bereits im Herbst 1956 wurde ein geeignetes Gelände in der Nähe der Ortschaft Moxa gefunden. Das ausgewählte Gebiet liegt im Bereich der Ziegenrücker Kulmmulde (Unterkarbon) des Thüringisch-fränkischen Schiefergebirges ca. 5 km südlich seines Randes innerhalb des intensiv gefalteten, geschieferten und geklüfteten Grundgebirges. Diese Gründung auf Gesteinen des variszischen Grundgebirges hat den Vorteil, daß nicht wie im Raum Jena mit der Beeinflussung seismischer Energie durch die Zechsteinsalze gerechnet werden mußte. Das Gebäude wurde in einen NS-streichenden Hang gebaut. Am Anfang des Hanges liegen die Räume für die Seismographen, direkt in den Hang wurden die in NS- und EW-Richtung verlaufenden Stollen für die beiden Strainseismographen getrieben. Die Räume für die photographischen Registriergeräte, Dunkelkammer, Überwachungs- und Zeitkontrollraum sowie die Klimaanlage befinden sich außerhalb des Hanges. Unweit der Station wurde ein Wohnhaus für den Stationswart sowie Aufenthalts- und Übernachtungsräume für zeitweilig an der Station beschäftigte Mitarbeiter errichtet. Die Planungsperiode war 1959 abgeschlossen, 1960 wurde der Stollen gebaut, ihm folgte 1961/62 das Wohnhaus, während 1962/63 das Stationsgebäude entstand, so daß am 1. 1. 1964 der Stationsbetrieb aufgenommen werden konnte. Durch die Erweiterung der Anlagen mit einem Notstromaggregat im Jahre 1966 war die erste Phase des Anbaues der Station abgeschlossen.

Das Hauptgewicht in der Instrumentierung der neuen Station lag in den elektrodynamischen Seismographen. Bereits ab 1965 waren die im Rahmen der KAPG standardisierten Typen A, B und C (kurz-, mittel- und langperiodisch) in allen drei Komponenten im Einsatz. Von den rußregistrierenden Instrumenten der 1964 außer Betrieb gesetzten Station Jena waren der 1200-kg-Wiechertseismograph und die beiden langperiodischen Kegelpendel übernommen worden. Die letzteren Geräte waren bis März 1971 in Betrieb. Neben den Standardtypen arbeiten noch zwei speziell abgestimmte Vertikalseismographen und zwar mit einer dem Störpegel angepaßten Charakteristik und 100 000facher Vergrößerung bei 1 s (seit Januar 1967) und mit einer im Bereich von 4 bis 10 Hz 300 000fachen Vergrößerung (seit Ende 1969). Diese beiden Instrumente erlauben die Erkennung schwacher Signale und die Unterscheidung zwischen nahen Sprengungen und fernen Ereignissen. Die Strainseismographen wurden Ende 1965 in Betrieb genommen. Aufgrund der Registrierungen der galvanometrisch registrierenden Instrumente und den Ausarbeitungen von P. BORMANN wird das Bulletin der Station Moxa seit 1965 in einer gegenüber dem der Station Jena wesentlich erweiterten Form angefertigt. In dieser wird es bis zum Jahrgang 1977 erscheinen, um von einem mit Hilfe der EDV hergestellten gemeinsamen Bulletin der drei DDR-Basisstationen Moxa, Collm und Berggießhübel abgelöst zu werden.

Wenn man von den von der Akademie der UdSSR geschenkten kurzperiodischen Seismographen vom Typ SKM-III absieht, beruht die Ausrüstung der Station Moxa ausschließlich auf Eigenentwicklungen des Instituts. Die Entwicklung von Seismographen hat in Jena große Tradition. Sie ist im immer stärker werdendem Maße durchgeführt worden. Bereits 1900 war von STRAUBEL ein Vertikalseismograph entwickelt worden, der leider in der Station am Fröbelstieg nicht mehr aufgestellt worden war. Von KRUMBACH wurden nicht nur die rußregistrierenden Instrumente weiterentwickelt und komplettiert, er konstruierte auch optisch registrierende Horizontalseismographen sowie galvanometrisch registrierende Vertikalseismographen. In den 20er und 30er Jahren trugen auch Arbeiten von MEISSER, MARTIN, SCHMERWITZ und HERRMANN zur Instrumentenentwicklung bei. Die Entwicklung neuer elektrodynamischer Seismographen wurde in der zweiten Hälfte der 50er Jahre aufgrund eingehender theoretischer Untersuchungen von ULLMANN und TEUPSER, später zeitweise unterstützt von MALISCHEWSKY, aufgenommen. Es entstanden die langperiodischen Seismographen HSJ-I und VSJ-I sowie die kurzperiodischen Geräte HSJ-II und VSJ-II. Diese Geräte wurden, wie früher auch schon die kurzperiodischen Geräte von KRUMBACH, in Kleinserie gefertigt und nicht nur in den Stationen der DDR, sondern auch im Ausland installiert. Seit Mitte der 60er Jahre wurden in zunehmendem Maße elektronische Mittel eingesetzt. Das geschah auf zweierlei Weise. Einmal durch den Bau von Verstärkern mit integrierten Schaltkreisen, die als mechanische Empfänger die eben genannten Seismographen und ihre elektrodynamischen Wandler benutzten und zum anderen vor allem durch E. UNTERREITMEIER mit der Entwicklung neuer elektronischer Wandler, um Seismographen mit Rückkopplung aufbauen zu können. Das vorläufige Endprodukt ist der elektronische Dreikomponentenseismograph EDS 1, der auch zur Fernübertragung auf Postleitungen geeignete Signale liefert. Die Konstruktion der mechanischen Empfänger aller dieser Geräte lag seit Ende der 50er Jahre in den Händen von Ing. M. SCHUHMANN, der auch die zugehörigen Registriergeräte entwickelte.

Im Jahre 1962 war das Institut wieder einmal im größeren Rahmen Treffpunkt der europäischen Seismologen, als vom 24. 9. bis 30. 9 die Tagung der Europäischen Seismologischen Kommission hier stattfand und sich 69 Seismologen aus 14 Staaten trafen. In der ersten Hälfte der 60er Jahre wechselte nach dem Ausscheiden von MARTIN 1961 die Leitung des Institutes häufig. Zunächst führte es vertretungsweise SPONHEUER, bis es 1964 unter der Leitung von MEISSER mit der Außenstelle "Praktische Geophysik" zum "Institut für Geodynamik" vereinigt wurde. Dem damit verbundenen Versuch, erneut Prospektionsgeophysik in Jena zu treiben, war aber wenig Erfolg beschieden und es trat erst 1966 mit der Ernennung von H. STILLER zum neuen Direktor die notwendige Stabilisation ein. Die Forschungsarbeiten des Institutes konzentrierten sich auf die Seismologie und deren Zusammenhänge mit Untersuchungen über das Verhalten der Materie im Erdinneren. Die Observatoriumsarbeiten wurden erweitert. Das geschah vor allem durch die Nutzung der neuen Station Moxa und dem zielgerichteten Ausbau eines Netzes zur Beobachtung von Oberflächenwellen. Mit deren Hilfe wurden seismologische Methoden zur Erforschung des tieferen Untergrundes der DDR eingesetzt.

Mit der Gründung des Zentralinstitutes für Physik der Erde am 1. 2. 1969 im Rahmen der Akademiereform wurde die Jenaer seismologische Forschungseinrichtung mit den in der Akademie beheimateten Forschungseinrichtungen für Geophysik, Geodäsie und Geologie zusammengeschlossen, um durch diese Verflechtung eine effektive Weiterentwicklung und allseitig komplexe Erforschung des Erdkörpers zu ermöglichen. Zum Direktor des Zentralin-

stitutes mit Sitz in Potsdam wurde H. STILLER berufen, später wurde es zeitweilig von H. KAUTZLEBEN vertretungsweise geleitet, der 1973 entgültig zum Direktor berufen wurde. Die Aufgaben der Jenaer seismologischen Einrichtungen bestehen jetzt im wesentlichen in der Sammlung und Bereitstellung von seismologischen Daten mit Hilfe der Hauptstation Moxa und den Nebenstationen im Vogtland, einigen besonderen Stationen in ausgewählten Bergbau- und Senkungsgebieten sowie denen des Oberflächenwellennetzes, in der Entwicklung von seismologischen Geräten, in der Auswertung der Daten und ihrer Interpretation inklusive Fragen der Seismizität sowie in der Bearbeitung theoretischer Probleme zur Physik des Erdinneren. Diese Arbeiten werden in der 1973 gegründeten Struktureinheit "Seismologisches Observatorium" durchgeführt. Veröffentlichungen zu diesen Arbeitsgebieten erschienen in dem letzten Zeitraum von den Mitarbeitern BORMANN, GENSCHEL, GÜTH, MAAZ, MALISCHEWSKI, NEUNHÖFER, STELZNER, TEUPSER, ULLMANN, UNTERREITMEIER und WALZER. Die Arbeiten zur Ingenieurgeophysik wurden völlig dem VEB Geophysik übergeben. Die in der zweiten Hälfte der 60er Jahre zunächst begonnenen experimentellen Arbeiten zur Erforschung der Materie unter extremen Bedingungen wurden in Potsdam konzentriert, ebenso wurden die makroseismischen Arbeiten, bis auf die Fertigstellung des Erdbebenkataloges der DDR, in die neu aufgebaute seismologische Forschungsgruppe nach Potsdam verlagert. Ebenfalls in Potsdam konzentriert bzw. neu aufgebaut wurden Untersuchungen der Erdkruste und des oberen Erdmantels sowie des Erdkerns und der Kern-Mantel-Grenze mittels seismischer Raumwellen, methodische Untersuchungen zur Analyse seismischer Registrierungen, Arbeiten zur Theorie der Wellenausbreitung und zur Physik seismischer Herdprozesse sowie die Entwicklung mobiler digitaler seismischer Feldapparaturen und deren Nutzung für tiefenseismische Arbeiten oder zeitweilige seismische Überwachungsaufgaben in seismisch aktiven Gebieten. In Potsdam befindet sich heute auch die Zentrale für die Erfassung seismischer Daten, wobei Registrierungen der Basisstationen der DDR in Realzeit unter Nutzung von Standleitungen der Deutschen Post nach Potsdam übertragen werden.

Dem internationalen Trend folgend begann in den 60er Jahren der Einsatz der EDV auch an den Jenaer Einrichtungen und zwar zunächst für Fragen der Seismizität (MAAZ) und für die Bearbeitung von Oberflächenwellen (NEUNHÖFER). Die Forderungen nach einer online Verarbeitung der Observatoriumsdaten und der direkten Bereitstellung von digitalen Seismogrammen für spätere off-line-Verarbeitung wurden immer stärker. Im Jahre 1974 wurden mit der Investitionsaufgabenstellung zur Automatisierung des seismologischen Observatoriums die ersten Voraussetzungen zur Realisierung eines umfangreichen Projektes geschaffen. Da der Aufbau eines Rechners mit seiner umfangreichen Peripherie an der Station Moxa zu große Investitionen für bauliche Maßnahmen nicht nur für den Rechner an sich, sondern auch für das notwendige Personal erfordert hätte, wurde entschieden, den Rechner in Jena zu installieren und die Daten über Postleitungen von Moxa aus fernzübertragen. Trotzdem kam das Projekt nicht ohne bauliche Erweiterung in Jena und Moxa aus. In Moxa mußten zusätzliche Arbeitsräume für die gewachsene Zahl von Mitarbeitern sowie Räume zur Unterbringung elektronischer Geräte geschaffen werden.

1976 wurde mit den Baumaßnahmen in Moxa begonnen. Sie waren Ende 1977 im wesentlichen abgeschlossen, so daß 1978 der Betrieb in den neuen Räumen aufgenommen werden konnte. Ende 1978 begannen die Baumaßnahmen für den Rechneranbau in Jena. Sie konnten 1979 abgeschlossen werden. Der Rechner wird zur Zeit installiert. Die bereits auf anderen Strecken gewonnenen Erfahrungen in der Datenfernübertragung und erste on-line Programme auf

dem Prozeßrechner in Niemeck ermutigen zu der Annahme, daß der richtige Weg eingeschlagen worden ist. Es stehen damit den Seismologen des Zentralinstituts für Physik der Erde mit den erweiterten und modernisierten Einrichtungen in Jena und Moxa in Kürze Mittel der digitalen Datenerfassung und -bearbeitung zur Verfügung, die es gemeinsam in vollem Umfang konsequent zu nutzen gilt.

Dieser Rückblick auf die letzten Jahre zeigt uns, daß wir einen nicht unmerklichen Teil unserer Arbeitskraft darauf verwandt haben, Voraussetzungen für die zukünftige Arbeit zu schaffen, die es uns hoffen läßt, dem schnell steigenden internationalen Niveau zu entsprechen. Die dazu uns zuteil gewordene großzügige Unterstützung durch die Akademie der Wissenschaften ist ein Beispiel für die Förderung der Wissenschaften in unserer sozialistischen DDR. Sie wird den Jenaer Mitarbeitern eine Verpflichtung sein, die großen inhaltlichen Aufgaben der 80iger Jahre mittels dieser materiellen Basis mit Elan und größerer Effektivität anzugehen.

Literatur

- GÜTH, D.; D. GERMANN; J. STELZNER: Zur Geschichte der Forschungseinrichtungen für Seismologie in Jena von 1899 bis 1969
Potsdam 1974 (als Manuskript gedruckt vom Zentralinstitut für Physik der Erde)
24 S.
- HECKER, O.: Zur Gründung der Reichsanstalt für Erdbebenforschung in Jena
Veröff. der Reichsanstalt für Erdbebenforschung 3 (1924)
- HECKER, O.: Tätigkeitsbericht der Reichsanstalt für Erdbebenforschung für die Zeit vom April 1930 bis März 1931
Veröff. der Reichsanstalt für Erdbebenforschung 15 (1931)
- SIEBERG, A.: Tätigkeitsberichte der Reichsanstalt für Erdbebenforschung für die Zeit vom April 1931 bis Sept. 1944
Veröff. der Reichsanstalt für Erdbebenforschung 19, 21, 24, 32, 43, 44, 45
(1932, 1933, 1934, 1937, 1938, 1944)
- ... Jahrbücher der Deutschen Akademie der Wissenschaften 1946 - 1967
Akademie Verlag Berlin 1950 bis 1968

von

B. TITTEL ¹⁾Zusammenfassung

Seit seinem Beginn im Jahre 1934 wurde der seismologische Beobachtungsdienst am Geophysikalischen Observatorium Collm den jeweiligen Anforderungen gemäß kontinuierlich weiterentwickelt.

Die bisher fast lückenlosen Seismogrammreihen (WIECHERT- und BENIOFF-Seismographen) stellen oft einen wertvollen Beitrag bei Untersuchungen älterer Erdbeben dar. Seit über 10 Jahren werden außerdem Registrierungen mit elektrodynamischen Seismographen der Typen SSJ-I und SSJ-II durchgeführt. Diese Anpassung des Instrumentariums an international geforderte Standardcharakteristiken, eine entsprechend zuverlässige Seismogrammauswertung sowie rasche Datenberichterstattung führten zur Einbeziehung des Observatoriums Collm in das internationale Netz der seismologischen Basisstationen.

Das Observatoriumsprogramm und eigene Forschungsarbeiten sind durch Wechselbeziehungen miteinander verknüpft.

Ein ausführlicher Beitrag (mit Abbildungen und Literaturverzeichnis) wird dazu in "Geophysikalische Veröffentlichungen der KMU Leipzig, Geophysik und Geologie", III, 2(2), 1980, erscheinen.

Abstract

Since the beginning in 1934 the seismological observation program at the Collm Geophysical Observatory was developed continuously appropriate to the respective demands.

Frequently the so far almost complete series of seismograms from WIECHERT and BENIOFF seismographs give a valuable contribution for researches of older earthquakes. Moreover, since more than 10 years records with electrodynamic seismographs of SSJ-I and SSJ-II types was performed. This adaptation of the instruments to international standard characteristics, an appropriate reliable seismogram interpretation, and a quick data reporting have induced the admission of the Collm observatory into the international network of seismological reference stations.

The observatory program and own research work are connected jointly by correlations.

A detailed information with figures and references will be published in "Geophysikalische Veröffentlichungen der KMU Leipzig, Geophysik und Geologie", III, 2(2), 1980.

¹⁾ Karl-Marx-Universität Leipzig, Geophysikalisches Observatorium Collm, DDR-7261 Collm.

Erdbeben-theorien und Prodigia in der griechisch-römischen Antike und einige Aspekte ihrer Rezeption in späterer Zeit

von

H. WILSDORF ¹⁾ und P. SCHMIDT ²⁾

Summary

In this paper the most important theories of earthquakes and prodigies of the antiquity are presented under consideration of the texts of sources used and the aspects of different philosophical doctrines. The later influence of the theories seen historically is shown by outlines.

Das primäre Erlebnis eines Erdbebens und die sekundäre Bemühung um die Erfassung seiner Ursache gehörten stets zusammen, auch wenn die Katastrophe nur durch das Eingreifen von geheimnisvollen göttlichen oder dämonischen Mächten der Tiefe erklärbar erschien. Das nicht vorhergesehene plötzliche Unglück und seine tiefgreifenden Folgen für den einzelnen, für seine Familie wie für die Siedlungsgemeinschaft und den Staat zwangen geradezu, Vermutungen über dessen Ursache anzustellen. Das geschah keineswegs nur um der bloßen Erkenntnis der Natur willen, sondern im Bestreben, irgendwie künftig einer solchen Katastrophe ausweichen zu können. Dazu suchte man "Wissenschaft" über den Bau des Erdinneren - und darin unterscheidet sich auch die griechisch-römische Forschung nicht von der bloßen Erdbebendeutung im Alten Orient. Insofern ist das antike Anliegen stets zwiefach: Die Ermittlung der Ursachen soll zugleich die Vorzeichen eines Erdbebens erkennbar machen.

Die Erdbeben-theorien der Antike entsprachen dem Stand der gesellschaftlichen Entwicklung in jener Zeit ³ - die Epoche des Alten Orients, die Naturereignisse schicksalsergeben hingenommen hatte, war vorüber. Das darf allerdings nicht zu einer Überschätzung der Abstraktionsfähigkeit im Hinblick auf so schwierige Vorgänge im Erdinneren, wie sie bei einem Erdbeben zur Wirkung kommen, führen. Noch immer waren auch in der Antike Mythos und Symbolik zwei viele Lebensbereiche beherrschende Elemente des Geisteslebens. Die mythische Vorstellung und Erzählung konnte dabei recht poetisch sein und Maler wie Dichter weit späterer Epochen inspirieren. Abb. 1 zeigt den Riesen ATLAS, der die Erdkugel ⁴ zu tragen hat; jedesmal, wenn er den Erdball von einer Schulter auf die andere nimmt, "erbebt" die Erde. Die späte Ausformung dieser im klassischen Altertum noch nicht ausgeprägten Sage ist sehr wirksam gewesen, weil sie ein anschauliches Bild ergab. In der Regel aber haben die Griechen in dem Gott POSEIDON den gewaltigen "Erdschütterer" gesehen und ihn in frommem Glauben weithin im Lande verehrt und gefürchtet. Abb. 2 führt eine bisher noch unveröffentlichte Darstellung vor. ⁵

1) DDR-8020 Dresden, Grunaer Weg 17

2) DDR-9200 Freiberg, Bergakademie, Schließfach 47

Allein die damit mögliche Erklärung der Ursache - der Götterzorn des irgendwie verletzten POSEIDON - reichte den Denkern der griechischen Frühzeit in den ionischen Küstenstädten Kleinasiens nicht aus. Sie bemühten sich um eine rein rationale, theologiefreie Erklärung des Naturvorgangs. In der Tat konnten die ionischen Naturphilosophen aus ihrem Anspruch, die Natur "vernünftig" erklären zu können, ein so markantes Geschehen nicht ausklammern. Darum mußten sie eine Theorie entwickeln, die das Beben aus naturgegebenen, naturgesetzlichen Ursachen verständlich machte.



Abb. 1 ATLAS mit der Erdkugel auf den Schultern

Wenn wir über die Auffassungen der älteren Theoretiker überhaupt noch einigermaßen⁶ klar informiert sind, so verdanken wir das zum Teil den Meteorologica (Buch II cap. 7 und 8) des ARISTOTELES, im wesentlichen aber der Erdbebenmonographie des SENECA de terrae motu, die als Buch VI der "Naturwissenschaftlichen Probleme" überliefert ist.⁷

Ihr berühmter Autor - einer der ersten Männer ⁸ seiner Zeit und ein engagierter Philosoph der stoischen ⁹ Schule - hob hervor, daß er bereits in seiner Jugend diesem Problem in einer Monographie nachgegangen war. Zweifellos beherrschte SENECA diesen Stoff und vermag auch uns noch einen gedrängten Abriß der antiken Erdbeben-theorie zu geben. Allerdings begnügte er sich zu unserem Bedauern mit zwar sehr klaren, aber letztlich allzukunftigen Grundlinien.

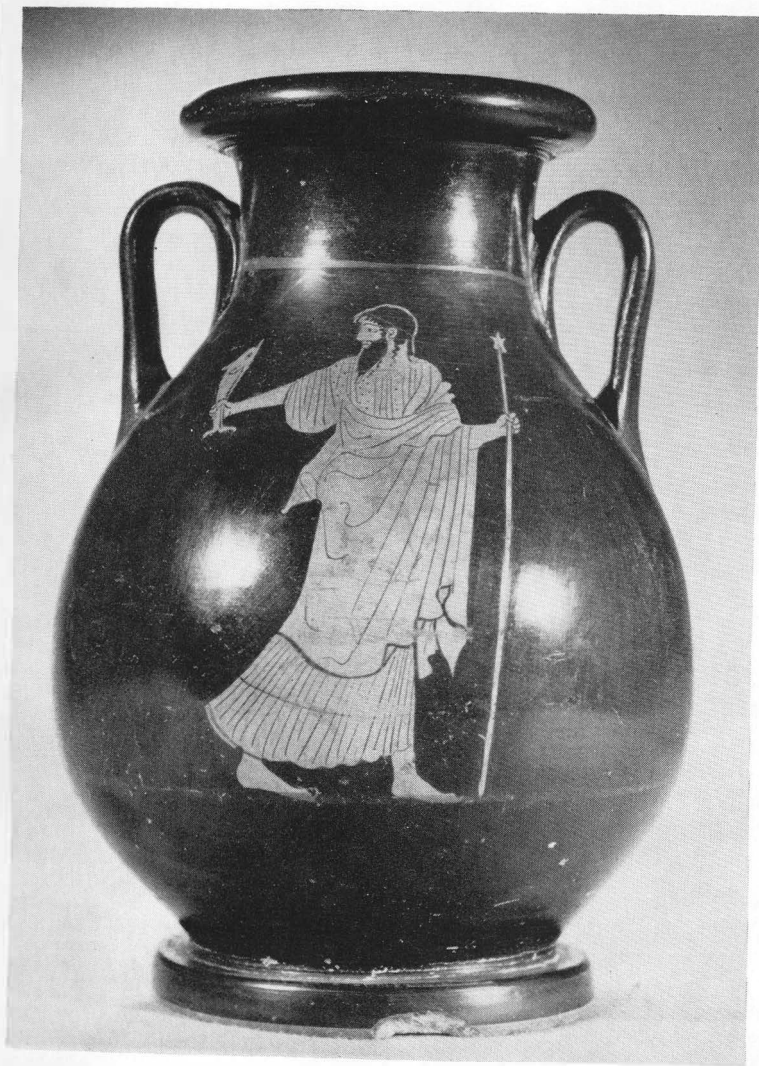


Abb. 2 POSEIDON in langem Chiton und Mantel mit Szepter und Delphin auf einer rotfigurlichen Pelike des SYRAKUS-Malers. Attisch, 475 - 450 v.u.Z. Höhe 30,5 cm. Die (hier nicht abgebildete) Rückseite zeigt ein nach links schreitendes Mädchen in Ärmelchiton und Mantel, in der Linken eine Schale, in der Rechten eine Kanne. Das in Cumae/Unteritalien gefundene Gefäß diente sowohl zur Vorratshaltung als auch zum Transport von Wasser, Öl oder Wein. - Skulpturensammlung der Staatlichen Kunstsammlungen Dresden Inv. Nr. Dr. 294

Als ersten Hauptpunkt hob **SENECA** (VI.1.12) hervor: Kein Gebiet der (ihm bekannten) Erde (rings um das Mittelmeer) ist absolut sicher vor Erdbeben, und solche entstehen (1.15) aus vier Ursachen. Immerhin sind Erdbeben relativ seltene Übel (2.1) und man muß solche Katastrophen nicht übertrieben fürchten, zumal sie sich verschieden äußern. Manchmal ist es bloß ein Zittern, manchmal treten Spalten auf, mitunter freilich stürzt das Oberste zu unterst (2.3). Der entscheidende Satz folgt dann (3.1): Erdbeben werden nicht von Göttern und nicht von überirdischen Gewalten verursacht, sondern durch eigene, natürliche unterirdische Ursachen bewirkt. Damit sind die Erdbeben als Objekte und Aufgaben der Naturforschung anerkannt. Wenn weiterhin der verständliche Wunsch besteht, sie "vorherzusagen", dann muß man nicht die Götter, sondern die Erde selbst befragen. Im Absatz 4.2 stellt **SENECA** als "Lohn" der Erdbebenforschung die Einsicht in die Naturgesetze heraus. Daran schließt sich bei dem damaligen Stande der Naturerkenntnis die einzig mögliche Analyse der vier in Betracht kommenden Kräfte an, nämlich die Wirkung von Wasser oder Feuer oder Dampf (Wind) /Luft/, respektive die in der Erde selbst liegende Ursache und schließlich das mögliche Zusammenwirken dieser vier "substantiellen" Kräfte.¹⁰

Tab. 1 Erdbebenvorstellung der Vorsokratiker (**SOKRATES** wurde 399 v.u.Z. hingerichtet)

Vorstellung über das Erdbeben	Philosoph	Bemerkungen
Beben der Erdscheibe auf dem sturmbewegten Ozean	THALES von Milet 624-546 v.u.Z.	ionischer materialistischer Naturphilosoph
Erdschrumpfung durch Austrocknung und Reißbildung	ANAXIMANDER von Milet 611-546	dito
Einsturzbeben durch Zusammenbruch unterirdischer Hohlräume	ANAXIMENES von Milet 585-525	dito
Versuch der Erdbebenvorhersage	PHEREKYDES von Samos ca 575-525	Anhänger der PYTHAGORAS
Auswirkung komprimierter Luft im Erdinneren	ANAXAGORAS von Klazomenai 500-428	Anhänger der Sophistik
"Perforation" des Erdinneren durch luftgefüllte Räume (daneben) Theorie der Metallstruktur	DIOGENES von Apollonia 499-428	dito
Daneben Prodigium: Windstille, da alle "Luft" unter der Erdoberfläche ist (wie ANAXAGORAS)	ARCHELAOS von Athen oder von Milet ca 470-420	Anhänger (Schüler) des ANAXAGORAS in Athen
Beben durch Auswirkung von Pneuma (Luft) und Wasser unter Tage, stets lokal begrenzt	DEMOKRIT von Abdera 460-370	materialistischer Philosoph
Feuerwirkung unter Tage und Einsturz leergebrannter Räume	EMPEKOKLES von Agrigent/Sizilien 495-435	idealistischer Naturphilosoph
Feuerwirkung unter Tage	ANTIPHON von Athen ca 450-400 (?)	Anhänger der Sophistik
Beben lokal begrenzt, da abhängig von der wechselnden Untergrundstruktur	METRODOROS von Chios ca 420-370 (?)	Anhänger des DEMOKRIT

Wir versuchen in zwei Tabellen eine Übersicht über die Theorien zu geben - müssen aber die darin auf Stichworte begrenzten Aussagen für die meisten Theoretiker noch etwas erläutern - eine "Geschichte der Erdbebenlehre" kann im vorgegebenen Umfang natürlich nur als Grundriß geboten werden.

Tabelle 1 faßt die Erdbebenlehren und Vorstellungen der VORSOKRATIKER zusammen.

THALES sah "Wasser" als Erdbebenursache an. Er meinte, die auf dem Außenozean schwimmende Erdscheibe müsse ins Schwanken geraten, so oft der Ozean (durch Stürme) in Wellenbewegung käme. Die Konsequenz dieser schlecht und spät überlieferten Auffassung¹¹ war, daß jedes Erdbeben stets die Erde insgesamt erschüttert. Wir sehen sofort, daß diese Vorstellung nicht richtig, aber dennoch eminent wichtig war - wichtig deshalb, weil THALES nicht länger die im Volksglauben als Urheber geltenden Götter und ihre Zornesäußerungen gelten ließ. Als erster Denker hat er nach den Ursachen in der Natur selbst gesucht. Daß er die wirkliche Ursache der Erdbeben nicht fand, mindert seinen Ruhm, die erste richtige Fragestellung getan zu haben, keineswegs.

ANAXIMENES ist in seiner Meinung widersprüchlich überliefert, zumal einige Quellen die Auffassung des ANAXIMANDER damit vermengt haben. Auf jeden Fall scheint einer der beiden zuerst die Reißbildung des Erdreichs aus vorhergehender Trockenheit oder aus übermäßiger Nässe als Erdbebenursache erklärt zu haben. Es war glaubhaft, daß damit ein Losreißen von Erdmassen verbunden sein konnte, die in die Tiefe der Hohlräume im Erdinneren stürzten und dabei die Erde erschütterten. Nach SENECA soll ANAXIMENES aber auch die These vertreten haben, daß die in die Erde eingedrungene atmosphärische Luft durch ihren mächtigen Andrang gegen das Erdinnere Erschütterungen hervorruft, wenn sie einen Ausgang sucht,¹² da Luft nach oben strebt.

ANAXAGORAS, der sich die Erde als walzenförmiges Gebilde dachte, die auf dem "Äther" (feinster Luft) ruht, konnte von dieser These¹³ aus zu der Überzeugung kommen, daß Äther (Luft) von unten her in die Erde eindringt und nach oben einen gewaltsamen Ausgang sucht, wenn die Oberseite der Erdscheibe durch Regen verschlämmt und undurchlässig geworden ist.

3a. ARCHELAOS ließ sich von einer zufälligen Beobachtung einer absoluten Windstille unmittelbar vor einem Erdbeben täuschen: er meinte, alle Luft sei dann ins Erdinnere gepreßt und suche nun gewaltsam Ausgang. Ob er die Auffassung seines Lehrers bloß übernahm oder Zusätze machte, ist schwer zu ermitteln.¹⁴

DIOGENES von Apollonia hat als erster Probleme der "Meteorologie"¹⁵ behandelt und mußte wohl auch Erdbeben berücksichtigt haben - er hat sogar Fragen der Metallstruktur und der Magnetkräfte erörtert,¹⁶ doch wird seine Theorie in einem Ansatz erst bei DEMOKRIT faßbar.

DEMOKRIT vertrat eine bemerkenswert vermittelnde Stellung in dieser Vielzahl von Meinungen. Er hielt das Zusammenwirken von "Wasserdruck" und vom Eindringen großer Wassermengen ins Erdinnere mitsamt eindringender Luft für die Erdbebenursache. Außerdem rechnete er mit einer "Austrocknung" des Erdinneren und benutzte die "Dochtlehre" des DIOGENES von Apollonia ("trockene" Räume ziehen wie ein Docht Wasser "nach oben"), um ein Anprallen des Wassers an die inneren Wände der Hohlräume zu veranschaulichen.

Leider sind gerade seine Auffassungen nicht klar überliefert, SENECA und ARISTOTELES stimmen in den Angaben über DEMOKRIT nicht überein.¹⁷

METRODOR erfaßte als erster (soviel wir wissen), daß Erdbeben immer nur lokale Ereignisse sind und nicht die Erde insgesamt davon betroffen wird. Im Gegensatz zu seinem Lehrer hielt er "Luft" für die einzige Ursache und glaubte, daß die Reaktion der ursprünglich schon im Erdinneren vorhandenen Luft auf ein Hineinpressen der atmosphärischen Luft (durch Wind) von außen zu Erderschütterungen durch "Überdruck" führen würde.¹⁸

EMPEDOKLES von Akragas auf Sizilien, der seinen Tod im Krater des Ätna gesucht haben soll, war dagegen ein Vertreter der Auffassung, daß Feuer im Erdinneren die Erdbeben bewirke, doch wird seine Theorie erst bei einem Nachfolger greifbar.¹⁹

ANTIPHON hat sich zu der Wirkung des Feuers im Erdinneren so geäußert, daß die im Erdinneren herrschende Hitze nach und nach einen "Schrumpfungsprozeß" bewirkt. Da sich die Erde bei diesem Vorgang "krümmt", erfolgt eine Erschütterung. Auf die wichtige Frage, welches "Brennmaterial" denn nun das innere Feuer bewirkte, fehlt uns seine Antwort - er (oder EMPEDOKLES) wird sicher eine gegeben haben, aber die trümmerhafte Überlieferung hat sie uns nicht übermittelt.²⁰

PHEREKYDES, der zu den Anhängern des PYTHAGORAS zählt, hat sich wohl als erster bemüht, ein Faktenmaterial zusammenzutragen, das die (zufällig beobachteten) Nebenerscheinungen eines Erdbebens registrierte, um aus dem Zeitpunkt, den Wetterverhältnissen und aus Geräuschen im Erdinneren abzuleiten, ob und wann ein Erdbeben zu erwarten sei. Die Erdbebenvorhersage nahm natürlich das Hauptinteresse in Anspruch. Soweit es die damalige Einsicht²¹ erlaubte, sind die griechischen Denker auch hier echte Naturforscher geblieben. Sie haben Beobachtungen gesammelt und systematisiert, dann aber haben sie Abstraktionen gewagt, ohne erkennen zu können, daß das ihnen zur Verfügung stehende kasuistische Material keine genügend gesicherte Basis für weitreichende Schlüsse erlaubt hätte.

Mitunter ist eine wichtige Erkenntnis auch einem "Außenseiter" gelungen - nicht nur Philosophen und Naturforscher haben über Erdbeben nachgedacht. So äußerte sich der große Historiker THUKYDIDES sehr klar über ein Seebeben²²: "Ich für meinen Teil sehe die Ursache (der Überflutung des Landes) darin, daß der Erdstoß dort, wo er am stärksten war, das Meer zurückstaute und es dann plötzlich wieder loslassend um so gewaltsamer die Überflutung bewirken ließ. Ohne ein Erdbeben aber glaube ich nicht, daß ein solcher Vorgang hätte eintreten können." Dieser Schluß bildet den Ausgang einer sorgfältigen Beschreibung der Ereignisse, die eine Küstenveränderung auf der Insel Euböia bewirkten und weit darüber hinaus Zerstörungen anrichteten.

Tabelle 2 versucht, die Erdbebenvorstellungen der klassischen Philosophie aufzugliedern.

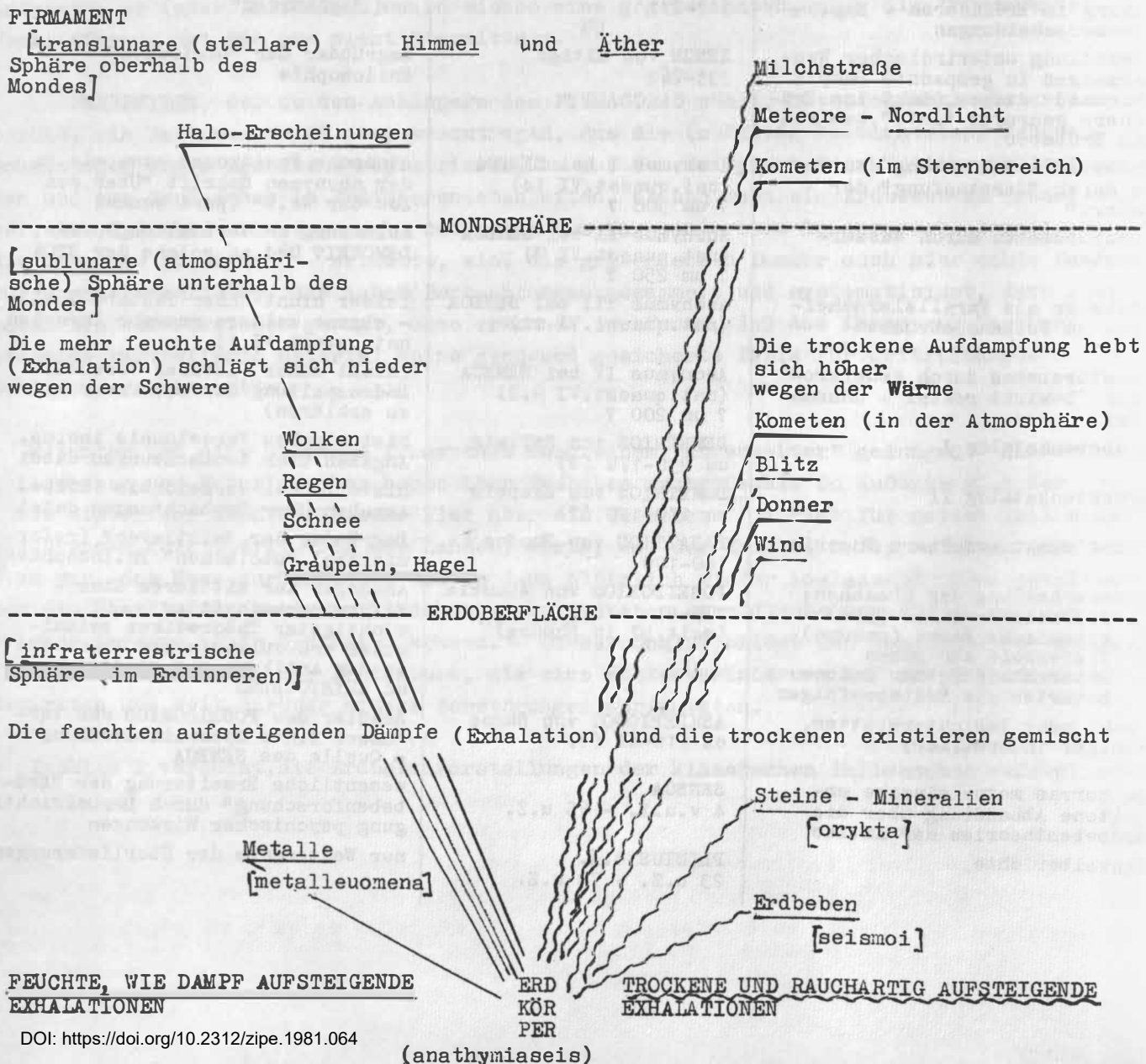
Tab. 2 Erdbebenvorstellungen der klassischen Philosophie

Vorstellungen über das Erdbeben	Philosoph	Bemerkungen
Beben sind lokale Ereignisse, bedingt durch Hohlräume, bewirkt durch eingeschlossenes pneuma	PLATON von Athen 427-347	idealist. Universalphilosoph
trockene anathymiasis mit Entzündung des in engen Hohlräumen komprimierten pneuma ./. Prodigium: Windstille bei aufgeregter See ./. Unterteilung in horizontale + vertikale Stöße, örtlich begrenzt	ARISTOTELES v. Stageira 384-322	idealist. Universalphilosoph
keine Erdbeben-theorie, aber Studien zum Vulkanismus (Ätna)	THEOPHRASTOS von Eresos 371-288	Nachfolger des ARISTOTELES (und Fortsetzer angelaufener Forschungen)
geographische Eingrenzung von seismisch gefährdeten Küsten	KALLISTHENES von Olynth 370-327	Anhänger des ARISTOTELES
"Platzwechsel" (antiperistasis) heißer und kalter Luftmassen	STRATON von Lampsakos 350-270	Nachfolger des THEOPHRASTOS
Ursachen: Einsturz + Auswaschung im Erdinneren + Explosionserscheinungen	EPIKUR von Samos 342-271	Gründer der Philosophenschule der "Epikuräer"
Umwandlung unterirdischer Wassermengen in gespannte Dämpfe (pneuma) dieses, nicht ins Erdinnere gepreßte "Luft", bewirkt das Erdbeben	ZENON von Kition 335-262	Begründer der "stoischen" Philosophie
Erdbeben = Erkrankung der Erde durch "Verstopfung" der "Adern"	Anonymus I bei SENECA (nat. quaest. VI 14) ? um 306 ?	stoische Positionen etwa wie in der anonymen Schrift "Über den Bau der Welt" (peri kosmu)
Einsturzbeben durch Wassererosion	Anonymus II bei SENECA (nat. quaest. VI 7) ? um 250 ?	Anlehnung an Vorstellungen des DEMOKRIT und an solche der STOA
Erdbeben als Parallelerscheinung zu Vulkanausbrüchen	Anonymus III bei SENECA (nat. quaest. VI 11)	leider nicht näher faßbare Quelle - ebenso weitere anonyme Theorien nat. quaest. VI 15
Einsturzbeben durch Feuererosion (bewirkt rektai + chasmatai)	Anonymus IV bei SENECA (nat. quaest. VI 9.2) ? um 200 ?	(nicht näher faßbarer Versuch, Bodenspaltung und Bodensenkung zu erklären)
Erdbebenkatalog I	DEMETRIOS von Kallate ca 230-170 (?)	historisches Verzeichnis inclus. Angaben über Beobachtungen dabei
Erdbebenkatalog II	DEMETRIOS von Skepsis ca 170-120 (?)	historisches Verzeichnis inclus. Angaben über Beobachtungen dabei
nicht exakt erfaßbare Theorie	PANAITIOS von Rhodos 180-100	Begründer der "mittleren" (reformierten) "stoischen" Philosophie
Unterscheidung der Ursachen: 1. vulkanische Beben (pyr) 2. seismische Beben (pneuma) / Tiefenzone der Beben - Unterscheidung der Erdbebenarten aus Erdbebenfolgen	POSEIDONIOS von Apameia 135-51 (seit 97 in Rhodos)	Anhänger der mittleren Stoa - Naturwissenschaftler wichtigster Theoretiker seismischer und vulkanischer Phänomene in der Antike - z.T. Anlehnung an ARISTOTELES
(wohl mehr Berichterstatter, weniger Theoretiker)	ASKLEPIODOT von Samos ca 110-40 (?)	Schüler des POSEIDONIOS und Verfasser einer Spezialabhandlung = Quelle des SENECA
de terrae motu: einzige erhaltene Abhandlung über die Erdbeben-theorien der Antike	SENECA 4 v.u.Z. - 65 u.Z.	wesentliche Erweiterung der "Erdbebenforschung" durch Berücksichtigung psychischer Wirkungen
Einzelberichte	PLINIUS d.Ä. 23 u.Z. - 79 u.Z.	nur Weitergabe der Überlieferungen

PLATON hat (in nicht erhaltenen Schriften) erklärt, daß Erdbeben in "lockeren" Bodenpartien durch eingeschlossene Luftmassen entstehen. Da er die Hypothese von unterirdischen Hohlräumen, die er wohl in Anlehnung an DIOGENES von Apollonia formulierte, sehr anschaulich darlegte, können wir uns ein Bild machen, wie er sich das Erdinnere dachte. So konnte er Erdbeben auf Einsturz von Hohlräumen und auf Wirkung gespannter Gase (Luftmassen) zurückführen - doch ist im einzelnen auch seine Erdbebentheorie nicht überliefert.

ARISTOTELES unterschied - und das bedeutete einen echten Fortschritt - die Erdbebenarten nach vertikal oder horizontal verlaufenden Stoßrichtungen. Dagegen müssen wir ihm anlasten, eindeutig vulkanische Erscheinungen als seismisch gedeutet zu haben. Auch sonst kam er zu keiner neuen These, da er seine Erdbebenerklärung in seine allgemeine Lehre von der Anathymiasis, der "Exhalation" aus dem Erdinneren bis zum Firmament eingliederte. Zum Verständnis seiner Auffassung dient Tabelle 3. ²⁴

Tab. 3 Auffassungen von ARISTOTELES über die aus dem Erdinneren aufsteigenden Exhalationen (anathymiasis)



Von den Nachfolgern des ARISTOTELES in der Leitung der Schule sind THEOPHRASTOS von Eresos und STRATON von Lampsakos mit Erdbebenfragen vertraut gewesen. THEOPHRASTOS folgte der "Anathymiasis" nicht, er hat sich stärker mit vulkanologischen Theorien beschäftigt und sie als erster monographisch²⁵ dargestellt, womit er über den Ansatz seines Lehrers erfolgreich hinausging. Erdbebenvorstellungen hat er entwickelt; die (nur arabisch erhaltenen) Fragmente einer Schrift über Erscheinungen von gespannten Dämpfen und Gasen zeigen, daß er in seinen diesbezüglichen Auffassungen eher PLATON folgte. STRATON, der die Schulleitung nach dem Tode des THEOPHRASTOS übernahm, erhielt in der Antike den Ehrennamen "der Physiker".²⁶ Seine Gedankenarbeit ging nahezu restlos verloren, da sie von späteren Zeiten nicht mehr bewältigt wurde. Erkennbar ist, daß er - sozusagen an die Stelle der "anathymiasis" des ARISTOTELES - eine "antiperistasis" (einen "Platzwechsel") setzte; darunter verstand er den gesetzmäßigen Wechsel von W → K (warm/kalt oder feucht/trocken). Daraus ließ sich ableiten, daß auch im Bereich von Luftmassen unter der Erde eine ständige Umschichtung stattfinden müsse, die bald kleine, bald katastrophenartige, die Erdoberfläche in Mitleidenschaft ziehende Bewegungen auslöste.

EPIKUR hat seine philosophische Lehre keineswegs nur auf die Gewinnung von Lust und Befriedigung im irdischen Leben ausgerichtet, sondern auch die Naturforschung²⁷ einbezogen. Im Hinblick auf Erdbebenursachen vertrat er den "liberalen" Standpunkt, daß dafür vielerlei Kräfte in Betracht kommen könnten: Auswirkung unterirdischer Feuer, Überdruck gespannter Gase und Umsetzung von Wasser in Dämpfe, aber auch Zusammenbruch von Hohlräumen. Die EPIKURÄER haben diese Lehre nicht ausgebaut, andere Philosophenschulen sind wieder zu Versuchen zurückgekehrt, (möglichst) nur ein Prinzip als Ursache anzusetzen.

ZENON, der Stifter der stoischen Philosophie hat sich gleichfalls zur Erdbeben-theorie geäußert: "Das Erdbeben beruht auf dem unter der Erde befindlichen Wasser, das in Luft sich umsetzt und verwandelt".²⁸ Er sah also Wasserdampf als Ursache an.

Sonst ist die ältere Stoa nicht sehr interessiert an naturwissenschaftlichen Problemen gewesen, erst die mittlere Stoa hat diese Thematik erneut aufgegriffen. Zunächst haben die Historiker, auch die Fachhistoriker, die sich zur Lehre der Stoa bekannten, manches beigetragen. Der Zufall will es, daß zwei Historiker mit dem gleichen Namen DEMETRIOS sich um die Katalogisierung historischer Erdbeben bemüht haben.

DEMETRIOS von Kallatis (Mangalia am Schwarzen Meer) hat um 200 v.u.Z. alle Erdbeben verzeichnet, die er bei umfassender Lektüre²⁹ historisch festlegen konnte. Aus dieser Kenntnis - so wird berichtet - habe er ein Erdbeben "prophezeien" können, weil ihm in reichem Maße die äußeren Umstände von Erdbeben aller Art bekannt gewesen seien.

DEMETRIOS von Sinope scheint etwa 50 Jahre später eine Nachlese zum Erdbebenkatalog geschaffen zu haben - sonst wissen wir wenig³⁰ von ihm; vielleicht war sein Katalog auch anders aufgebaut. Auf jeden Fall zeigen beide Autoren, daß einerseits an der Thematik ein lebhaftes Publikumsinteresse bestand, andererseits Forschung und Tradition ein reiches Material an Schilderungen und Fakten zusammengetragen hatten.

Schwierig zu trennen ist auch das geistige Eigentum der beiden bedeutenden stoischen Denker PANAITIOS³¹ von Rhodos und POSEIDONIOS³² aus (dem erdbebengefährdeten) Apameia in Syrien; der ältere ist vom jüngeren fast verdrängt worden, aber auch von diesem blieben nur Splitter. POSEIDONIOS konnte das historische Faktenmaterial (vgl. DEMETRIUS) bei seinen ausgiebigen vulkanologischen Studien gedanklich durchdringen und ordnen. Wie er es tat, ist freilich nur noch in Grundzügen deutlich, zumal es nicht möglich ist, Erkenntnisse älterer Denker klar auszugliedern. Was sich aus den Fragmenten ergibt, ist also nicht nur die Lehre und die Erkenntnis des POSEIDONIOS, sondern der Wissensstand der STOIKER, ja der Griechen insgesamt in der ersten Hälfte des letzten vorchristlichen Jahrhunderts - mit dem Christentum setzte eine ganz und gar gegenläufige Tendenz in der Beurteilung der Erdbebenursachen ein.

Bei der hier erforderlichen Kürze muß eine Zusammenfassung in Thesen zur Orientierung genügen - obwohl Thesen stets die Gefahr einer Einzwängung, Verallgemeinerung, Vergrößerung und Verminderung der entwickelten Gedankenfülle mit sich bringen. Immerhin läßt sich - ohne allzu unvorsichtig zu sein - etwa folgende Formulierung präzisieren: POSEIDONIOS kam nach den Vorarbeiten einiger stoischer Denker zu einer wesentlichen Vertiefung der griechischen Erdbebenlehre aus zwei fundamentalen Überlegungen und aus der Summierung des von seinen Vorgängern vielfältig errungenen Wissens:

1. Er erkannte, daß gleichgerichtete Kräfte seismische und vulkanische Erscheinungen - mitunter gleichzeitig - bewirkten.
2. Aus der Wahrnehmung von seismischen Ereignissen und Vulkanausbrüchen in mancher Landschaft schloß er, daß lange vor der überlieferten Geschichte bereits die gleichen Kräfte aus dem Erdinneren unabhängig von Göttern und Menschen auf die Erdoberfläche eingewirkt haben.
3. Mindestens einige weit verstreute Gegenden wiesen mit Einschluß der Meere eine besondere, zu Erdbeben und Vulkanausbrüchen "geneigte" (d.h. geologisch bedingte) Untergrundstruktur auf, so daß er sie als "Rißzonen" charakterisierte, wie wir ohne unstatthafte Modernisierung sagen dürfen.
4. Ferner nahm der kritische Beobachter wahr, daß Menschen in Erdbebenregionen sich in ihren Lebensäußerungen und in ihren Wirtschaftsgewohnheiten - etwa bei der Pflege der Rebkulturen auf alten vulkanischen Böden - "ähnlich" verhielten. Auch diese bemerkenswerten Erkenntnis war also herangereift!
5. Die kulturgeschichtliche Besonderheit, daß die Griechen (und Römer) in POSEIDON ein und denselben Gott als "Herrn des Erdbebens" und als "Beherrscher der Meere" verehrten, interpretierte er scharfsinnig: Küstenferner Poseidonkult deutete auf eine Erdbebenregion in der Vergangenheit - POSEIDONIOS entthronte definitiv den alten POSEIDON als Urheber des Erdbebens.
6. Schließlich vermochte er die Vorstellungen von der Tiefe der Erdbebenherde auf "wirkliche" Dimensionen zurückzuführen und sogar die Fortpflanzung der Erdbebenstöße als Problem zu sehen, obgleich er dazu nicht viel beibringen konnte.

Da die vulkanologische Theorie dieses Denkers eben erst im Zusammenhang mit der Erinnerung an den Vesuvausbruch vor 1900 Jahren dargelegt worden ist³³, sei hier der Verweil darauf gestattet. Rein seismologische Forschungen haben ihn und wohl schon einige anonym gebliebene Vorgänger³⁴ zu einem Neuansatz des Denkens geführt: Die Vorstellung wurde abgelehnt, atmosphärische Luft könne "vernunftwidrig" in nennenswertem Umfang unter die Erdoberfläche geblasen werden und dort die im Erdbeben manifestwerdenden Kraft-

leistungen erbringen. Vertreter der stoischen Philosophie haben daher eine Diffusion der zweifellos vorhandenen unterirdischen Wassermassen angenommen. Als glaubhafte Ursache erschien ihnen die Zersetzung von Wasser zu gespanntem Dampf und die Freisetzung dieser "Luft" im Ablauf des Prozesses, den sie als einen physikalischen ansahen.

Damit stand bei Beibehaltung alter Begriffe eine neuartige Auffassung den alten Theorien und Vorstellungen gegenüber.³⁵ Die gesamte Akzentsetzung wurde etwas anders durch die Erforschung von Wirkungsgrad und Wirkungsart der Erdbeben. Unterschieden wurden nun:

1. Vertikal gerichtete Stoßbeben.
2. Horizontale Zitterbeben.
3. Bodenspaltenbildungen.
4. Bodensenkungen.
5. Seebeben mit und ohne vulkanische Erscheinungen (Inselbildung).
6. Erdbebenzonen mit konjugierten Erdbebenercheinungen.
7. Vorstellungen über die Tiefenhorizonte der Erdbebenherde.
8. Entstehungsursachen für unterirdische Geräusche.

Ferner ist zu beachten, daß die Antike zu diesem Komplex noch drei weitere Bereiche gezählt hat, die wir trennen würden:

9. Weitgehend unwissenschaftlich verabsolutiert wurden an sich richtig beobachtete Erscheinungen als Prodigia (wie z.B. Versiegen von Quellen, Witterungserscheinungen, Verhalten von Tieren vor, während und nach dem Beben, Frequenz der Erdbeben nach Jahreszeit und Tagesstunde).
10. Die alte Grundvorstellung, daß die Erde von adernartigen Hohlräumen durchzogen sei, führte aber immer noch zu abwegigen Auffassungen von einem "animalischen" Leben der Erde selbst, dessen "krankhafte" Äußerungen eben Erdbebenercheinungen seien.
11. Aufgegeben ist die Annahme mythischer Vorstellungen über die Ursachen von seismischen und vulkanischen Erscheinungen und die "Zuständigkeit" des Gottes POSEIDON. Einzelheiten lassen sich kaum differenzieren, weil die Überlieferung wirklich sehr lückenhaft ist. Wir müssen uns begnügen, das Gesamtwissen zu integrieren, es sozusagen als Summe darzustellen. Was nach POSEIDONIOS und seinem kaum greifbaren Schüler ASKLEPIODOT noch an Gedanken zur Erdbebenkunde entwickelt worden ist,³⁶ wiegt nicht mehr schwer.

Nunmehr nahmen auch Römer wie LUCRETIUS Stellung zu Erdbebenfragen, und so konnte auch das dichterische Vorhaben, Auffassungen über die Natur der Dinge zu begründen, daran nicht vorbeigehen. Wir müssen vielmehr gerade LUKREZ zubilligen, daß er nicht bloß die überlieferten Auffassungen rekapitulierte. Um dem Leser das Verständnis zu erleichtern, bot er alles auf, was ihm an leichtfaßlichen Beispielen aus dem täglichen Leben dazu geeignet schien: Die Erschütterung der Häuser an der Straße durch Lastwagen - die Erschütterung der Lastwagen durch den Anstoß der Räder an ein hochstehendes Hindernis - die Eigenbewegung eines großen Kessels, dessen Wasserinhalt in Bewegung ist³⁷ - sogar die Kälte, die den Menschen zum Zittern bringt - das alles diente ihm zur Veranschaulichung. Aber aus diesen Bemühungen geht hervor, daß LUKREZ die Erklärung, die er versuchte, nicht geben konnte. Er blieb in bildlichen Vergleichen hängen, während ihm die logischen Deduktionen mißlangen.

Es wäre ungerechtfertigt, SENECAs Erdbebenschrift nur als Quelle für ältere seismische Theorien zu nutzen und nicht nach seinen eigenen Auffassungen zu fragen. Diese sind indessen sehr knapp formuliert und lassen sich folgendermaßen zusammen-

fassen: Im Gegensatz zu POSEIDONIOS wollte er nicht nur "Erderschütterung" (succussio als vertikal gerichteter Stoß von unten) und "Erdschwankung" (inclinatio als horizontal verlaufende Bewegung), sondern auch als dritte das "Zitterbeben" (tremor) unterscheiden. Er erinnert an die Erschütterung der nächsten Umgebung bei Felsstürzen³⁹ und veranschaulicht infraterrestrische Erschütterungen mit dem gleichen Ereignis unter Tage, das die Einsturzbeben erklären konnte. Sehr verständig ist seine Ablehnung von Vorstellungen, die das Verhalten des (kranken) menschlichen Körpers⁴⁰ - wie LUKREZ es tat - als Hilfsvorstellung für die Erdbebenerklärung heranzogen. Auch sonst hat er die Berichterstattung über seine Vorgänger mit kritischen Anmerkungen versehen, doch müssen wir Einzelheiten hier nicht aufführen. Nicht übergehen darf man aber die Tendenz seiner Mitteilungen in den Kapiteln 27-31 über die Ereignisse des Jahres 63 in Campanien. Er bemühte sich, für die "wunderbaren" Vorkommnisse dabei, jeweils rationale Gründe zu finden, aber auch die leidige Frage⁴¹ zu beantworten, warum die Erdstöße viele Tage nicht zur Ruhe kamen. Dem Einwand, die Kraft der gespannten Dämpfe müsse mit ihrem Ausbruch aus dem Erdinneren zu Ende sein, begegnete er mit der Vorstellung, daß nur ein Teil der Dämpfe sofort freigesetzt würde, ein anderer aber den Ausgang nicht gefunden habe, sondern im Erdinneren weiter umherirre, bis auch er - schwächer werdend - sich den Ausgang durch die schon vorgebahnten Spalten verschaffe.

Unter der naturwissenschaftlichen didaktischen Poesie nimmt nach LUKREZ einen hohen Rang die anonyme Dichtung DER ÄTNA ein. Sie versuchte, das Wesen des Vulkanismus dem Verständnis zu erschließen - ohne Mythen und Götter zu bemühen. Gerade deshalb streifte der Dichter auch die Erdbebenursachen kurz, weil er unter dem Einfluß des POSEIDONIOS - mit Recht - die beiden Erscheinungen auf die gleichen Kräfte und Ursachen zurückführte. Dicht gepreßte Dämpfe (spiritus⁴²) toben in engen unterirdischen Adern und drängen gegen weichende Massen - daher kommt das Zittern, - daher die Bewegung der Erde. Die Gewalt der Winde (ventus⁴³) rüttelt mit wildem Zausen an den Grundfesten der Erde und bringt die wankenden Städte zum Beben. - Diese wesentliche Verbindung der seismischen mit der vulkanologischen Theorie ist fast ohne Resonanz geblieben. Das ist umso merkwürdiger, weil sie die geradezu obligate Ergänzung zu SENECAs Darlegungen bot und gewissermaßen dessen Anforderung erfüllte, den Ätna zu beschreiben. Denn SENECA ist auf vulkanische Probleme gar nicht eingegangen. Noch stärker befremdet, daß nicht einmal der Vesuvausbruch des Jahres 79 der Dichtung eine breitere Resonanz verschafft hat.

PLINIUS d.Ältere hat in seiner Universaldarstellung der "Naturgeschichte" neun Kapitel⁴⁴ den seismischen Problemen im Abschnitt "Über die Welt und ihre Bausteine" (de mundo et elementis) gewidmet. In seinen Ausführungen beschränkte er sich weitgehend auf Prodigia, die er in Ermanglung sicherer Kriterien aus der Kasuistik ableiten mußte, so daß er nur Zufallsumstände bieten konnte. Die griechische Erdbeben-theorie streifte er nicht, dafür erwähnte er die babylonische Auffassung von der Einwirkung der Gestirne auf die "Entstehung" der Erdbeben. In der Tat ist wohl damals - als seltene Ausnahme - eine Übersetzung aus Keilschrifttexten ins Griechische erschienen, die den sogenannten ADAD-Text⁴⁵ als angebliche "Fachschrift" (peri seismu) bot, mitunter aber auch den Gott HERMES als Verfasser dieser "Offenbarungstexte" angab.

Einzelheiten aber hat PLINIUS viele berichtet, auch von Seebeben; manche besonders "prodigiose" Katastrophe datierte er genau. An anderer Stelle⁴⁶ erwähnte er, der Diatempel zu Ephesus sei auf einem elastischen Grund und Boden zur Erdbebensicherung

erbaut worden. In dieser Form ist die Nachricht bedenklich; aber nicht ungläubhaft ist, daß mancherorts aus lokalen Erfahrungen später Baustellen vermieden wurden, die erdbebengefährdet erschienen.

War es bei PLINIUS d.Ä. ein naturhistorisches Interesse, so bei PAUSANIAS das geographisch-historische Anliegen des "Reiseführers", das zahlreiche Mitteilungen veranlaßte. Auch PAUSANIAS ging es um "Prodigia", und er meinte sogar, POSEIDON selbst würde die Menschen warnen, ehe er das Unglück eintreten ließe.⁴⁷ "Die Erdbeben von besonderer Stärke und Ausdehnung pflegt die Gottheit gleicherweise und durch ein allgemeines Vorzeichen" anzukündigen. PAUSANIAS zählt auf: entweder Regengüsse oder Trockenheit - anormale Temperatur, anormale Farbe der Sonnenscheibe, Ausbleiben der Quellen, Sturm, feurige Erscheinungen am Himmel, unterirdische Geräusche. Er unterschied drei Erdbebenarten: eine Horizontalverschiebung, die nicht zur Rißbildung führt - einen Vertikalstoß, der alles umwirft - ein Aufbrechen der Erde mit totaler Vernichtung.

In der späteren Kaiserzeit sind Erdbeben nur noch historisch-geographische Fakten, aber nicht mehr dringende Erkenntnisprobleme. Um die Zeitenwende hatte STRABON⁴⁸ noch zielgerichtet angegeben, wo ein Ort oder eine Landschaft von Erdbeben heimgesucht worden war. Er tat das nicht obenhin und von ungefähr, sondern gestützt auf POSEIDONIOS, dessen theoretische Positionen er teilte und überlieferte, um landschaftskundliche Erkenntnisse zu ermöglichen. PAUSANIAS setzte bei seinen Lesern solche Ansprüche gar nicht mehr voraus - das Niveau war inzwischen tiefer gestuft.

So wundert es uns nicht, daß die Erdbebenforschung zum Stillstand kam. Sie hat sicher viele Irrwege gehen müssen, war aber stets um Fortschritte in der Erkenntnis vom Bau der Erde und des Weltalls bemüht. Als Abschluß erscheint die Resignation angesichts der überaus schwierigen Materie, wie sie Aulus GELLIUS (130-200) zum Ausdruck brachte:⁴⁹ "Was als Ursache der Erdbeben in Anspruch genommen wird, ist nicht bloß dem normalen Verständnis und Vorstellungsvermögen des Menschen unbegreiflich, sondern auch unter den Naturkundigen gibt es keine Übereinstimmung, ob mächtiger Wind, der die Hohlräume und Klüfte der Erde durchtobt - ob Anprall und Strömung unterirdischer Wassermassen die Ursache ist. Das ist ja die Auffassung der ältesten Griechen gewesen, die Neptun (=POSEIDON) den "Erd-Schütteler" genannt haben".

AULUS GELLIUS geht dann auf die Schwierigkeit ein, unter den vielen Möglichkeiten den jeweils zürnenden Gott zu ermitteln, und berichtet, daß die Römer bei Erdbeben oder auch schon bei Erdbebengerüchten ohne Nennung eines Götternamens Opfer darbrachten, um Unheil abzuwenden. Es ist uns nur allzugut verständlich, daß die Römer hier von Staats wegen aus Vorsicht einen Ausweg suchten; denn wenn auch der Glaube an die Hilfe der Götter stark reduziert war, so gewiß nicht die Furcht vor ihrem im Erdbeben vergegenständlichten Zorn.

Bei dem letzten großen heidnischen Historiker der Antike, der sich dem bereits dominierenden Einfluß des Christentums als Angehöriger der obersten Schichten zu entziehen wußte, finden wir die Erkenntnisse über die seismischen Vorgänge noch einmal rekapituliert: AMMIANUS MARCELLINUS hatte Anlaß,⁵⁰ die schweren Erdbebenschäden, von denen die Hauptstadt der Provinz Bithynien, Nikomedeia, im Jahr 358 betroffen wurde, ausführlich - und dramatisch - zu schildern. Im Anschluß daran zählte er in einem Exkurs die vier Erscheinungsformen (mit griechischen Bezeichnungen) noch einmal auf, wobei er seine Unsicherheit nicht ganz überspielen konnte (im Grund nannte er nur drei Formen - wußte aber

noch, daß es vier sein sollten!) *brasmatae - climatiae - chasmatae - mycematae*.⁵¹ Gemessen an der mittlerweile differenziert erarbeiteten Fachterminologie⁵² war das wenig, aber es ging ja nur um eine kleine Abschweifung vom "historischen" Bericht und nicht um eine die Seismologie systematisch erfassende Darstellung. Auf jeden Fall zeigt sich hier, daß die Gebildeten an dem einmal erlangten Stand der Einsicht in die naturwissenschaftlich faßbaren Ursachen festgehalten haben. Daß sie sich schließlich einer ganz andersartigen Deutung beugen mußten, die ihnen von der Theologie vorgeschrieben wurde, lag allerdings in der Unzulänglichkeit der Theorie begründet. Insofern hatten es die Theologen leicht, Glauben zu finden: Exaktes Wissen war eben unerreichbar. Sie erklärten daher wie die alten Babylonier das Erdbeben als Anzeichen und Ausdruck für göttlichen Zorn. Sie haben so sehr gerade im Erdbeben Gottes Zorn gesehen, daß sie auch sprachlich zu einer Gleichsetzung kamen: *Theomenia = Gotteszorn = Erdbeben*. Sogar der alte Ausdruck (*seismos*) werde wenig mehr gebraucht. Die neue Interpretation hinderte die Theologen nicht, die Wirkungen exakt zu beschreiben oder dichterisch zu gestalten, wie das am eindringlichsten JOSEPHOS SIKELIOTES,⁵³ der "Hymnograph", getan hat. Wir können sein Gedicht als den Ausklang der "Erdbebenfurcht" in der griechischen Welt betrachten. Es faßte prismenartig zusammen, was in der Ostkirche Doktrin geworden war - in "Erdbebenpredigten" etwa seit 387 durch JOHANNES CHRYSOSTOMOS⁵⁴ begründet und dann ständig wiederholt. In den 38 Strophen der Hymnendichtung des JOSEPHOS fand die um Erlösung von dem Übel des Erdbebens bittende Kirche den ihr geeignet erscheinenden "Gemeindegang" bei gegebener Veranlassung.

Die byzantinischen Historiker notierten daher Erdbeben, die sie vielfach erlebten und nach Autopsie der Schäden schilderten, als Gottes Strafe, Drohung und Warnung, ohne überhaupt noch nach naturgesetzlichen Ursachen zu fragen. Das hat aber einige - wie AGATHIAS (536-583) nicht gehindert, sehr exakte Angaben über Erdbebenschäden auf der Insel Kos im Jahr 554 oder in Thrakien im Jahr 557 zu machen.⁵⁵ Die bildliche Überlieferung verzichtete dagegen auf die Darstellung der Folgen. Die Miniatur im Menologion des Kaisers BASILEIOS II.⁵⁶ *Bulgaroktonos* (976-1025) blieb ein aussageloses Andachtsbild, obwohl einst das pompejanische Relief in der Casa di Cecilio Giocondo die Erdbebenszenerie des Jahres 63 u.Z. sehr gut veranschaulicht hatte. Wichtiger ist der Bericht des genannten Historikers AGATHIAS über ein ganz eigenartiges Experiment, das (um 525?) mit hochgespanntem Wasserdampf ein "künstliches Erdbeben" bewirkte. Am Faktum und am Miniatureffekt wird nicht zu zweifeln sein, obwohl uns die Versuchsanordnung unbekannt bleibt, die ANTHEMIOS von Tralleis (485-536), der ein bedeutender Techniker und seit 532 Architekt beim Bau der Hagia Sophia in Konstantinopel war, traf. Die angebliche Veranlassung⁵⁷ zu diesem in jeder Hinsicht auffälligen Experiment mag ein bißchen legendär aufgemacht sein, denn 30 Jahre nach dem Ereignis konnte die Phantasie walten; allein man konnte kaum ganz grundlose Behauptungen aufstellen und es bestand auch nicht die geringste Veranlassung dazu.

So müssen wir diesen Versuch des ANTHEMIOS als ein Zeichen von neuartigen Überlegungen zur Erdbebenproblematik einschätzen, auch wenn uns der Verlust aller näheren Angaben die Möglichkeit nimmt, zu entscheiden, ob das Experiment eine theoretische oder praktische Zielsetzung gehabt hat - denkbar wäre ein Test, ob man bautechnische Absicherungen gegen Erdbebenstöße⁵⁸ treffen konnte oder was man sonst unternehmen mußte.

Abgesehen von der Erdbebenforschung bewährte sich die Antike aber auch in der Erdbebenhilfe: Befreundete Städte, Regenten, wohlhabende Einzelpersonen, Religionsgemeinschaften bewiesen vielfach eine opferwillige Solidarität mit den Betroffenen. Auch die in späterer Zeit üblichen "Gedenkmünzen" fehlen nicht.

Antike Erdbebentheorien blieben nicht auf die Antike beschränkt. Sie wurden vielmehr von den darauffolgenden Gesellschaftsordnungen rezipiert. Dieser Vorgang verlief nicht gleichmäßig, sondern erreichte im Mittelalter, in der Renaissance und während der Aufklärung Höhepunkte. Er stand auch nicht isoliert von der übrigen Antike-Rezeption da, sondern war einer ihrer Teile.

Die Rezeption der antiken Erdbebentheorie im Mittelalter hatte sich der scholastischen Philosophie unterzuordnen. Wie auf allen Gebieten, so wurde auch bezüglich der Erdbebenursachen die Bibel zur Richtschnur der Meinungsbildung, die "Oberherrschaft der Theologie" gewann Macht über die Wissenschaft. Dennoch ist die Erdbebenmonographie des SENECA gelesen und studiert worden, weil der gefälschte Briefwechsel zwischen ihm und dem Apostel Paulus ihn sozusagen legitimierte. Wohl wurde auch ARISTOTELES rezipiert und als notwendige Ergänzung der christlichen Lehre anerkannt, aber gerade seine das Erdbeben erörternde Schrift ist erst in der Renaissance voll zur Wirkung gekommen. Auch KONRAD von MEGENBERG, dessen deutsch abgefaßtes "Buch der Natur" erhebliche Breitenwirkung hatte, hielt sich noch ganz an SENECA. Einzelheiten zu ALBERTUS MAGNUS (1193-1280), THOMAS von Aquino (1225-1274) und KONRAD von MEGENBERG (und dessen Vorbild THOMAS CANTIMPRATENSIS) haben ADAMS,⁵⁹ STEGMANN⁶⁰ und andere ermittelt.

In der Renaissance wurden die antiken Erdbebentheorien in der ganzen Breite aufgegriffen. SENECA lag seit 1475 in Venedig gedruckt⁶¹ vor. Die darin enthaltenen Vorstellungen wurden zwar zur Kenntnis genommen, aber - nicht aus besserer Einsicht, sondern aus religiösen Bedenken - abgelehnt: "wieviel man auch solche natürliche Ursachen findet, so ist für allen Dingen zu bedenken: die gewisse und gruendliche und unfehlbare hauptursache ist ... Gott". Diese oder ähnliche Äußerungen findet man fast in allen, Erdbebenfragen erörternden Schriften jener Zeit. Mit dem Buchdruck und der Holzschnittillustration erhielt aber auch die chronikalische Nachricht ein wirksames Mittel der Illustration ihrer Berichte. Erstmals hat die 1493 in Nürnberg gedruckte "Weltchronik" des Hartmann SCHEDEL⁶² die historischen Berichte über Erdbeben "illustriert"; ebenso gab Gregor REISCH 1502 seiner "Enzyklopädie" der geistlichen und weltlichen Wissenschaften, der 'margarita philosophica', eine Illustration bei. Es gibt Einblattdrucke für besonders bemerkenswerte Naturereignisse wie das Auftauchen des Monte nuovo 1538 im Zuge eines "Erdbebens" bei Neapel. Seit 1544 (Neubearbeitung 1550) informierten dann Text und Bild in Sebastian MÜNSTER's grandioser 'Cosmographie'⁶⁴ breite Kreise durch fast 50 Ausgaben (deutsch, lateinisch, italienisch, französisch, tscheschisch, englisch). Noch immer aber wurde das Erdbeben als ein göttliches Zeichen angesehen, der Mensch war angehalten, bei Erdbeben bußfertig und wacker zu sein, er hatte zu beten und die seismischen Ereignisse als Gottes Fügung zu verstehen. Die allgemeine kritische Auseinandersetzung mit den antiken Auffassungen von den Erdbeben fand zwar statt - AGRICOLA hat sehr treffend Schwächen bei ARISTOTELES und anderen herausgestellt, aber er konnte - im Prinzip - noch nichts Besseres bieten. Wichtig ist jedoch, daß er als erster seine Bergbauerfahrungen nutzte, um irriige Vorstellungen der Antike abzuweisen und zu korrigieren. Die breite Erörterung, die AGRICOLA den antiken Theorien gewidmet hat, bedurfte einer

gesonderten Darstellung, hier kann nur der Hinweis auf die Hauptstelle ⁶⁵ gegeben werden - eine andere hat SCHMIDT ⁶⁶ bereits gestreift.

Die seismologischen Veröffentlichungen der Aufklärung orientierten sich an den alten Griechen und Römern in neuer Qualität. Wie SCHMIDT zeigte, läßt sich für die europäische Seismologie des 18. Jahrhunderts ein Umbruch konstatieren. ⁶⁷ Charakteristisch ist, daß der Meinungsstreit über die Erdbeben auf der Grundlage der Erfahrung, der Vernunft und der Philosophie des Nützlichen ausgetragen wird. Physikotheologie ist vielfach typisch. Experimenten und verschiedenen Seismometern kommen hohe Stellenwerte zu. Studien über die Beschaffenheit des Erdinnern werden in größerer Anzahl in Bergwerken gemacht. Dem Feuer, der eingeschlossenen Luft, den Höhlen im Erdinnern und dem Wasser wird beachtliche Bedeutung zugemessen. ⁶⁸ Vorstellungen über die genetische Verbindung von Vulkanismus und Erdbebenstätigkeit finden wir im Gebiet der Kleinplastik. ⁶⁹ Mit dem Motiv des SEISMOS in der klassischen Walpurgisnacht des Faust II erfährt die griechische Mythologie eine Weiterentwicklung. Den antiken Volksglauben greift GOETHE dadurch wieder auf, daß er auf einem für GERNING bestimmten Diplom SEISMOS als Personifikation des Erdbebens darstellen ließ. ⁷⁰

Während der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts beginnt die Seismologie abermals in eine neue Etappe ihrer Entwicklung einzutreten. Das war u.a. möglich, weil einerseits die Geologie und Tektonik solche Fortschritte erzielten, die es erlaubten, die seismischen Ereignisse ursächlich weitaus besser als früher zu erklären. Andererseits wurden sowohl Mathematik und Physik als auch Handwerk und Feinmechanik mehr und mehr in die rasch wachsenden Aufgaben und Anwendungsgebiete von Seismologie und Seismometrie einbezogen. Eine Dreigliederung der Erdbeben nach ihren Ursachen wird aufgestellt und allgemein anerkannt. Ihre Wurzeln lassen sich bis in die Antike verfolgen. Die Vielzahl der in antiker Zeit entwickelten genetischen Erdbeben-theorien wird auf diese Art und Weise drastisch reduziert. Zahlreich sind die Arbeiten, die während dieser Entwicklungsepoche den Fortgang der Seismologie bestimmten. Dabei spielte der Bergbau - wie schon bei AGRICOLA - keine unbedeutende Rolle. ⁷¹ Einen Abriß über die Geschichte der deutschen Erdbebenforschung von Alexander v. HUMBOLDT bis zur Wende des 19./20. Jahrhunderts gab u.a. TAMS. ⁷²

Die moderne Seismologie unserer Zeit hat sich von den antiken Erdbeben-theorien weit entfernt. Überblicken wir die enorme Entwicklung, so wird einerseits sehr deutlich, was der Mensch seit der Antike zu leisten vermochte, andererseits aber auch begreiflich, daß die antiken Vorstellungen über seismische Ereignisse zum vielgestaltigen kulturellen Erbe gehören. ⁷³

Zusammenfassend können wir feststellen: Die Rezeption der seismologischen Vorstellungen in postantiker Zeit war nicht nur ein Bewahren, war aber auch nicht nur Bruch mit dem Alten, sondern diese Aneignung war beides. Gebrochen wurde in der Endkonsequenz mit den schon in sich widerspruchsvollen, logisch unzulänglichen Vorstellungen, bewahrt wurden die der Forschung zugrundeliegenden Agenzien und Triebkräfte in neuer Qualität. Die Ursachen für das Aufnehmen oder das Verwerfen des antiken Gedankengutes lagen in den gesellschaftlichen Verhältnissen begründet und wurden insbesondere von der wissenschaftlichen und weltanschaulichen Entwicklung der jeweiligen Zeiten bestimmt.

Obgleich sich in der Vergangenheit mehrere Autoren der Geschichte der antiken Erdbebenkunde zugewendet haben und darauf aufbauend bestimmte Gesichtspunkte der Seismologiegeschichte in neuerer Zeit darstellten, ⁷⁴ bleibt noch wesentliches zu tun. Das betrifft insbesondere die dialektische Bearbeitung der Wirkungsgeschichte der antiken Erdbebenkunde während des Mittelalters, der Renaissance und der Frühaufklärung. Eine eingehende und geschlossene Untersuchung der Seismologiegeschichte von der Antike bis zur Gegenwart bedarf noch zahlreicher detaillierter Vorarbeiten, wobei auch Bezüge der Volkskunde zu beachten sein werden, wie sie z.B. LASCH angedeutet hat. ⁷⁵

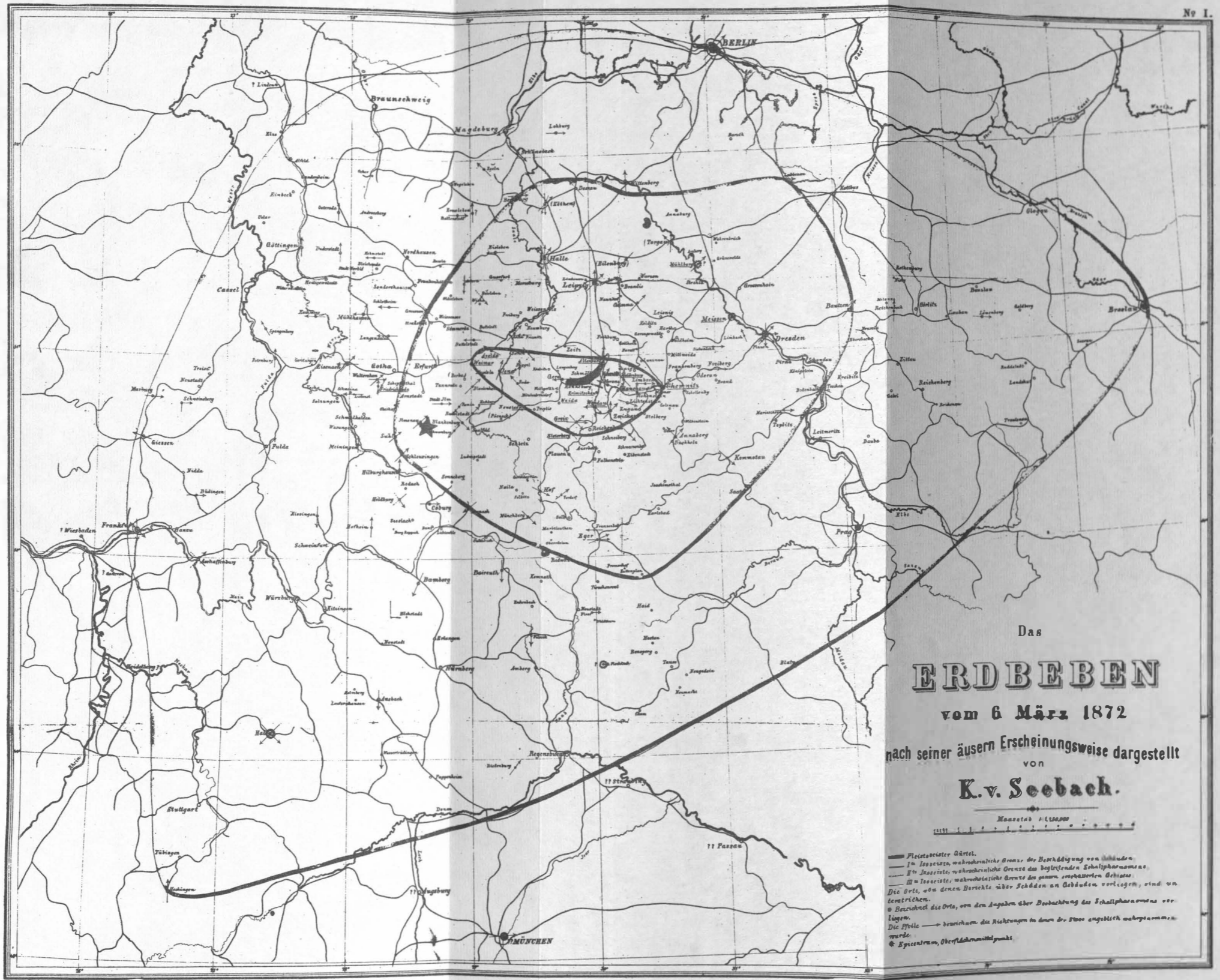
Anmerkungen

- 3 F. ENGELS : "Erst die Sklaverei machte die Teilung der Arbeit zwischen Ackerbau und Industrie auf größerem Maßstab möglich und damit die Blüte der antiken Welt, das Griechentum. Ohne Sklaverei kein griechischer Staat, keine griechische Kunst und Wissenschaft; ohne Sklaverei kein Römerreich. Ohne die Grundlage des Griechentums aber auch kein modernes Europa." (Anti-Dühring, MEW Bd. 20. S. 167-168)
- 4 ATLAS stützt nach griechischer Auffassung den Himmel; er trägt nie die Erdkugel, sondern immer nur die Weltkugel, allenfalls stemmt er sich zwischen Himmel und Erde. In Persien entwickelte der Religionsstifter MANI die Vorstellung vom "Omophoros" (dt. "Schulterträger"), dem überaus starken Genius, der die Erdkugel an ihrem Platz im Weltganzen hält, damit sie nicht aus der Mittelpunktstellung gerät. Erst diese nicht ganz klare Vorstellung der vom Christentum stets als "Ketzer" betrachteten Manichäer ist von der Renaissance aufgegriffen und in nicht ganz zulässiger Weise der klassischen Antike zugeschrieben worden. Verbreitet wurde diese Vorstellung durch das - von da an "Atlas" genannte - Kartenwerk des MERCATOR, der 1595 die (frei erfundene) Figur "Atlas mit der Erdkugel" als Titelkupfer wählte. - Diese Neubelebung des Mythos ist ein recht instruktives Beispiel für das Bemühen der Renaissance, möglichst viele Elemente aus der griechisch-römischen Geisteswelt zu übernehmen und zu ergänzen, was nicht vorhanden war - notfalls durch freie und der eigentlichen antiken Vorstellung zuwiderlaufende Gestaltung!
- 5 Vgl. H. HETTNER : Die Bildwerke der Königlichen Antikensammlung zu Dresden. 4. Aufl. Dresden: E. BLOCHMANN & Sohn 1881. S.12 Nr.27. - Herrn Dr. HEINER PROTZMANN, Skulpturensammlung der Staatlichen Kunstsammlungen Dresden, danken wir für Hinweise und Genehmigung zur Erstveröffentlichung des schönen Stückes sehr herzlich.
- 6 In der "Meteorologie" sucht ARISTOTELES - wie Tab. 3 zeigt - zu erklären, was "zwischen Himmel und Erde" vorhanden ist. Dt. Übersetzung von H. Strohm = ARISTOTELES Werke Bd. 12. Berlin 1967. OTTO GILBERT hat die meteorologischen Theorien des griechischen Altertums in einer von der Kgl. Bayrischen Akademie mit dem ZOGRAPHOS-Preis ausgezeichneten Monographie analysiert: O. GILBERT : Die meteorologischen Theorien des griechischen Altertums. Leipzig: B.G. Teubner 1907. IV, 746 S.
- 7 SENECA, quaestiones naturales - für unsere Thematik nur Buch VI 'de terrae motu' : "Vom Erdbeben". Eine neuere dt. Übersetzung fehlt, lat. von A. Gercke, Leipzig 1907 (Bibliotheca Teubneriana)
- 8 SENECA, der ein sehr leichtes Latein schrieb, ist stets von allen gelesen worden, die sich fast 1700 Jahre lang mit diesem Thema beschäftigt haben - er hat sie alle mehr oder weniger beeinflußt und bevormundet!
- 9 Die Stoiker lehrten, sich von den Zufällen des Lebens nicht beirren zu lassen, dem Weltgeschehen nur bedingte Aufmerksamkeit zu schenken und innere Ruhe dem Glück des Menschen gleichzusetzen. Um des Seelenfriedens willen forderten sie vom Menschen, Gutes zu tun, nicht auf Dank zu rechnen, Böses aber zu meiden. Naturwissenschaftlich waren sie nicht interessiert, bis auf Ausnahmen.
- 10 Die älteren ionischen Naturphilosophen suchten die den Aufbau des Kosmos in mannigfacher "Mischung" bestimmende "Urmaterie" (arche) zu ermitteln. Dafür sind als "Grundstoffe" ERDE WASSER FEUER LUFT bald einzeln, bald gemeinsam in Anspruch genommen worden.
- 11 THALES = Diels-Krantz, Fragmente der Vorsokratiker I A 15 aus SENECA nat. quaest. VI 6.1

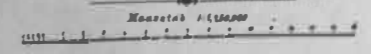
- 12 ANAXIMENES = Diels-Krantz II Nr. 28 aus a) ARISTOTELES meteor. II 7 p 365 b 6;
b) SENECA n.q. VI
- 13 ANAXAGORAS = Diels-Krantz I 46 A 89 aus ARISTOTELES meteor. II 7 p 363 a 17
- 14 ARCHELAOS = Diels-Krantz 47 A 16a
- 15 DIOGENES von Apollonia = Diels-Krantz II 51-69 - darunter ist kein Fragment, das direkt die Erdbebenproblematik berührt
- 16 Seinen Beitrag zur Bestimmung des Oberbegriffs "Metalle" analysierte R. HALLEUX :
Le problème des métaux dans la science antique. Paris 1974 (Bibliothèque de la
Faculté de Philosophie et Lettres de l'Université de Liège Nr. 209) Zur Vulkan-
theorie, die er auf der Vorstellung von einem durch viele, zum Einsturz neigende
Hohlräume durchzogenen Erdinneren aufbaute, vgl. H. WILSDORF : Zur Vulkantheorie
der Antike - Die Dichtung "Der Ätna" und der Vesuvausbruch des Jahres 79.
In: Schriften der Winkelmann-Gesellschaft Stendal, Protokollband der Tagung in
Güstrow zur Erinnerung an den Untergang von Pompeji vor 1900 Jahren (im Druck)
- 17 DEMOKRIT = Diels-Krantz 55 A 97
- 18 METRODOROS = Diels-Krantz A 57 A 21 - METRODOR nutzte zur Veranschaulichung der
"Wirkung" von "eingesperrten" Luftmassen unter Tage die Feststellung des ANAXAGORAS,
daß ein (luftgefülltes) Tonfaß ins Vibrieren kommt, wenn man hineinsingt. So müsse
auch ein Hohlraum unter der Erde ins "Zittern" kommen, wenn zusätzlich Luft hinein-
gepreßt wird.
- 19 EMPEDOKLES = Diels-Krantz 21 A 68 (auch 52 !) - aber ohne näheren Bezug auf "Erdbeben"
- 20 ANTIPHON = Diels, Doxographen; frgm 30, 31, 32
- 21 PHEREKYDES : Es ist nicht ganz sicher, daß er zu den Pythagoräern gehörte, zumal
seine Lebenszeit schwer festzulegen ist; vielleicht lag noch sehr wenig Material vor,
als er sein Werk "Über die Natur des Kosmos" (schon um 510 v.u.Z. ?) schrieb.
- 22 THUKYDIDES 3.89,5
- 23 Zum Schema der platonischen Auffassung von den Hohlräumen im Erdinneren vgl.
P. FRIEDLÄNDER : Platon Bd. I. Eidos - Paideia - Dialogos. Berlin 1928 Tafel I
Abb. 3 - PLATONS Erdbebenauffassung wird nur von PLUTARCH plac. philosoph. III 15
überliefert; ferner charakterisiert GALEN hist. philosoph. 86 Platons Auffassung
vom "pneuma enapokleisthen" (ein- und abgeschlossene gespannte Luft) als der erd-
bebenverursachenden Kraft.
- 24 Die Hauptstelle des ARISTOTELES Meteor. II 7-8 ist bereits in Anm. 6 zitiert. Rand-
bemerkungen aus anderen Schriften des ARISTOTELES aufzuführen, liegt kein Anlaß vor.
- 25 Zur Schrift des THEOPHRAST "Über den Lavastrom auf Sizilien" vgl. H. WILSDORF a.a.O.
(= Anm. 16) Zur arabischen Fassung des HASAN ibn BAHLUL der (vermutlich) "Über die
Meteorologie" betitelten Schrift vgl. C BERGSTRÄSSER = Abh. d. Heidelberger Akademie
d. Wissenschaften 1918, phil.-hist. Klasse, Heft 9. Die darin enthaltenen §§ 62-69
vom Erdbeben sind in den Darstellungen zur Geschichte der Seismologie u.w. bisher
noch nie berücksichtigt worden.
- 26 S. WEHRLI : Straton von Lampsakos. Basel 1950 - Wir können hier nicht näher auf die
bedeutenden Leistungen des großen Theoretikers eingehen.
- 27 EPIKUR meinte prinzipiell, da der Kosmos auf zufälligen Wirkungen der Naturkräfte
beruhe, ließe sich nicht entscheiden, welche Kraft gewirkt habe - nur müsse sie inner-
halb der materialistisch-atomistischen Struktur liegen.
- 28 Überliefert ist das oben übersetzte Zitat aus ZENON durch PLUTARCH, plac. philosoph.
III. 15
- 29 Für DEMETRIOS von Kallatis stand das Schwarze Meer im Vordergrund seiner historisch-
geographischen Schriften - die Angaben in PAULY RE IV,2 col 2806/07 Nr. 77 gehen über
seine Verdienste um die Erdbeben-Katalogisierung wortlos hinweg!
- 30 Für DEMETRIOS von Skepsis stand die Landschaft um Troia im Vordergrund - auch über
seine Verdienste um die Erdbebenkatalogisierung geht PAULY Re IV,2 col 2807/13 -
Nr. 78 wortlos hinweg!

- 31 PANAITIOS modifizierte die auf ethische Zielsetzungen vereinseitigte ältere stoische Philosophie und begünstigte die Naturforschung, damit der Mensch sich als "Glied im Kosmos" erkennen und in seinen Funktionen entsprechend verhalten könne.
- 32 Den Umfang der vulkanologischen und seismologischen Studien des POSEIDONIOS - ein kleiner Ausschnitt aus dem immensen Arbeitsbereich dieses Universalgelehrten - ermittelte schon S. SUDHAUS : Aetna, erklärt. Leipzig 1898
- 33 vgl. WILSDORF a.a.O. (Anm. 16)
- 34 Diese lassen sich nicht eruieren, verbergen sich aber wohl z.T. hinter den anonymen Autoren, deren Theorien SENECA erwähnt hat.
- 35 Die "Fachsprache" ist schwer zu erfassen und noch schwerer zu datieren. Für die unten als 1-2-3-4-8-10 genannten Begriffe existieren feste Termini; die anderen 5-6-7-9-11 wurden sehr verschieden umschrieben, manchmal so knapp, daß kaum kenntlich wird, was gemeint war.
- 36 SENECA nat. quaest. VI 21.2 - Auf ASKLEPIODOT berief sich SENECA mehrfach; uns ist nicht einmal der Titel des gemeinten Werkes überliefert, in dem er die seismisch-vulkanischen Theorien seines Lehrers POSEIDONIOS behandelt hat (vielleicht : "aitiai physikai" = Ursachen der Naturerscheinungen" ?). Für Leben und Wirken des ASKLEPIODOT sind nur dürftige Anhaltspunkte zu ermitteln.
- 37 LUCRETIUS CARUS de rer. nat. VI 535-607 (639-679) folgt die Schilderung der Vulkan-tätigkeit des Ätna).
- 38 SENECA nat. quaest. VI 21.2
- 39 SENECA nat. quaest. VI 22.2
- 40 SENECA nat. quaest. VI 24.3
- 41 SENECA nat. quaest. VI 31.1
- 42 Aetna - vers 153/54
- 43 Aetna - vers 171/72
- 44 PLINIUS nat. hist. II cap. 81-89 §§ 191-207
- 45 Der Buchtitel "peri seismōn" wirkt ganz wissenschaftlich, verrät aber durch die Verfasserangabe (Hermes Trismegistos = Dreimal größter Hermes) seine abergläubische Tendenz und konnte als Übersetzung des babylonischen "Adad-Textes" erkannt werden. Daran zeigt sich, daß es nicht nur die sachliche Beschäftigung mit Erdbebenphänomenen gab. Später ist das Streben nach Macht über die Erdbebenwirkungen ausgeartet, indem CYPRIAN von Antiochia als "Zauberlehrling" geradezu lernte, Erdbeben zu "machen".
- 46 PLINIUS nat. hist. XXXVI cap. 21 §§ 96-97
- 47 PAUSANIAS descript. Graec. II 22, 4/5 und II 34,1 resp. V 8,8/9
- 48 STRABON ist durch SUDHAUS a.a.O. (Anm. 32) auf seinen Beitrag zur Erdbebentheorie im Kommentar zur Dichtung "Aetna" untersucht worden.
- 49 AULUS GELLIUS noct. Att. II 28, 1-2
- 50 AMMIANUS MARCELLINUS hist. XVII 7-13 (1-6 vorher : Beschreibung der Erdbebenschäden von Nikomedeia im Jahr 358)
- 51 Die Bezeichnungen richteten sich nach äußeren Phänomenen, nicht nach eigentlichen Ursachen. Wir würden eine Gruppenbildung - wie sie bei SENECA tatsächlich erscheint - bevorzugen, die entweder 'neptunistische' oder 'pneumatische' oder 'animalistische' "Ursachen" hervorhebt - oder auch "Einsturzbeben" (als Zusammenbruch unterirdischer Hohlräume) klassifiziert! So wurden nur unterschieden:
 horizontale Erdstöße : 'brasmatiae'
 vertikale Erdstöße : 'climatiae' (mit großer Wirkung)
 Erdrisse und Spalten : 'chasmatiae' (mit größter Wirkung)
 bloßes Erdbebengetöse : 'mycematiae'.

- 52 Die bereits gewonnenen feineren Unterscheidungen der Bildung von Spalten und Rissen gingen dabei verloren; die Terminologie verarmt allmählich wieder (wie in anderen Fachsprachen gegen den Ausgang der Antike auch).
- 53 JOSEPHOS Sikeliotes Hymnographos : Text in der Patrolog. Graec. Bd. 105, S. 984-1421
- 54 JOHANNES CHRYSOSTOMOS : Text ebendort Bd. 48, S. 1025-1032 (Beachtlich ist die Tendenz seiner ersten "Erdbebenpredigten", die sich gegen die "Reichen" - an Gott nicht Interessierten - richteten und die "Armen" priesen, als die "Gottesfürchtigen").
- 55 AGATHIAS hist. II 16, V 3
- 56 Das "Stundenbuch" des "Bulgarentöters" BASILEIOS II. ist reich illustriert, aber gerade das "Erdbebenerinnerungsbild" ist völlig unsachlich - reproduziert in der Propyläen-Weltgeschichte, erste Ausgabe - Bd. III. S. 176, Tafel IX
- 57 AGATHIAS hist. V 5-8
- 58 Erdbebensicherung für Bauwerke erwähnte schon PLINIUS, aber wohl mit falscher Zuschreibung an einen der ersten Architekten Griechenlands überhaupt.
- 59 ADAMS, F.D.: The Birth and Development of Geological Sciences. London: Baillière, Tindall and Cox 1938
- 60 STEGMANN, O. : Die Anschauungen des Mittelalters über die endogenen Erscheinungen der Erde. Phil. Diss. Univ. Tübingen vom 20. Mai 1913
- 61 Zwischen 1475 und 1500 ist SENECA in mindestens 12 Ausgaben erschienen
- 62 Zu den Abbildungen bei Hartmann SCHEDEL vgl. H. WILSDORF : Präludien zu Agricola. Berlin 1954. S. 80 (Freiberger Forschungshefte D 5) sowie J. KOZAK : Die Darstellung von Erdbeben in alten europäischen Drucken. Geophys. Sborn. Praha 23 (1975), S.141-154
- 63 PRESCHER, H.: Gregor Reisch - Das Erdbeben (1504). Jahrbuch Staatl. Museum Min. u. Geol. Dresden, Dresden (1961), S. 111-115
- 64 Die Holzschnitte aus der Cosmographia sind in den in Anm. 60 zitierten Veröffentlichungen reproduziert
- 65 AGRICOLA, G.: De ortu et causis subterraneorum lib II fol. 24 - fol 34. Basel 1546 (Georgius Agricola. Ausgewählte Werke. Gedenkausgabe des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie zu Dresden. Bd. 3. Berlin 1956, S. 109-121, dazu eine tabellarische Übersicht S. 200)
- 66 SCHMIDT, P.: Beziehungen zwischen Bergbau und Seismologie/Seismik bis etwa 1920. In: ICOHTEC. Internationales Symposium zur Geschichte des Bergbaus und Hüttenwesens. Vorträge. Bd. 2. Freiberg: Bergakademie (1980). S. 385-402
- 67 SCHMIDT, P.: Gedanken zum Umbruch in der europäischen Seismologie während des 18. Jahrhunderts. Z. geol. Wiss., Berlin 8 (1980), S. 189-206
- 68 Die Wirkung des Feuers hatte man z.B. einerseits bei der Ausdehnung von Gasen und Dämpfen kennengelernt, andererseits zeigte das Beispiel der Luftpumpe, daß die Luft auch ohne die Einwirkung von Feuer eine hohe Federkraft besitzt.
- 69 SCHMIDT, P.: Seismologie und Medaillen vom 17. Jahrhundert bis in unsere Zeit. Jahrbuch Staatl. Kunstsammlungen Dresden, Dresden (1976/77), S. 193-208
- 70 SCHMIDT, P.: Das Motiv des Seismos in der klassischen Walpurgisnacht des Faust II. Z. geol. Wiss., Berlin 5 (1977), S. 395-402
- 71 SCHMIDT, P.: Ferdinand Reich (1799-1882) und das Interesse des sächsischen Bergbaus an der Erdbebenforschung während der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Neue Bergbautechnik, Leipzig 8 (1978), S. 471-476
- 72 TAMS, E.: Materialien zur Geschichte der deutschen Erdbebenforschung bis zur Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert. Teil I: Neues Jahrbuch Geol. u. Paläont., Abhandl., Stuttgart 95 (1952), S. 92-292. Teil II und III: Berlin: Akademie-Verlag 1950. 169 S.



Das
ERDBEBEN
 vom 6 März 1872
 nach seiner äußern Erscheinungsweise dargestellt
 von
K.v. Seebach.



— Pleistocener Gürtel.
 — In Isoselen, wahrscheinliche Grenze der Beschädigung von Gebäuden.
 — In Isoselen, wahrscheinliche Grenze des begleitenden Schallphänomens.
 — In Isoselen, wahrscheinliche Grenze des genau beobachteten Schalles.
 Die Orte, von denen Berichte über Schäden an Gebäuden vorliegen, sind von Sternchen.
 * Bezeichnet die Orte, von den Angaben über Beobachtung des Schallphänomens vorliegen.
 Die Pfeile — deuten die Richtungen an, nach der Erde angeblich wahrgenommen wurde.
 * Epizentrum, Oberflächennahpunkt.

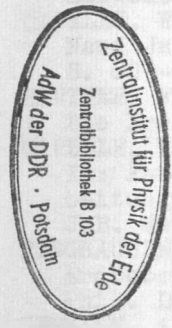
Zu S. 181

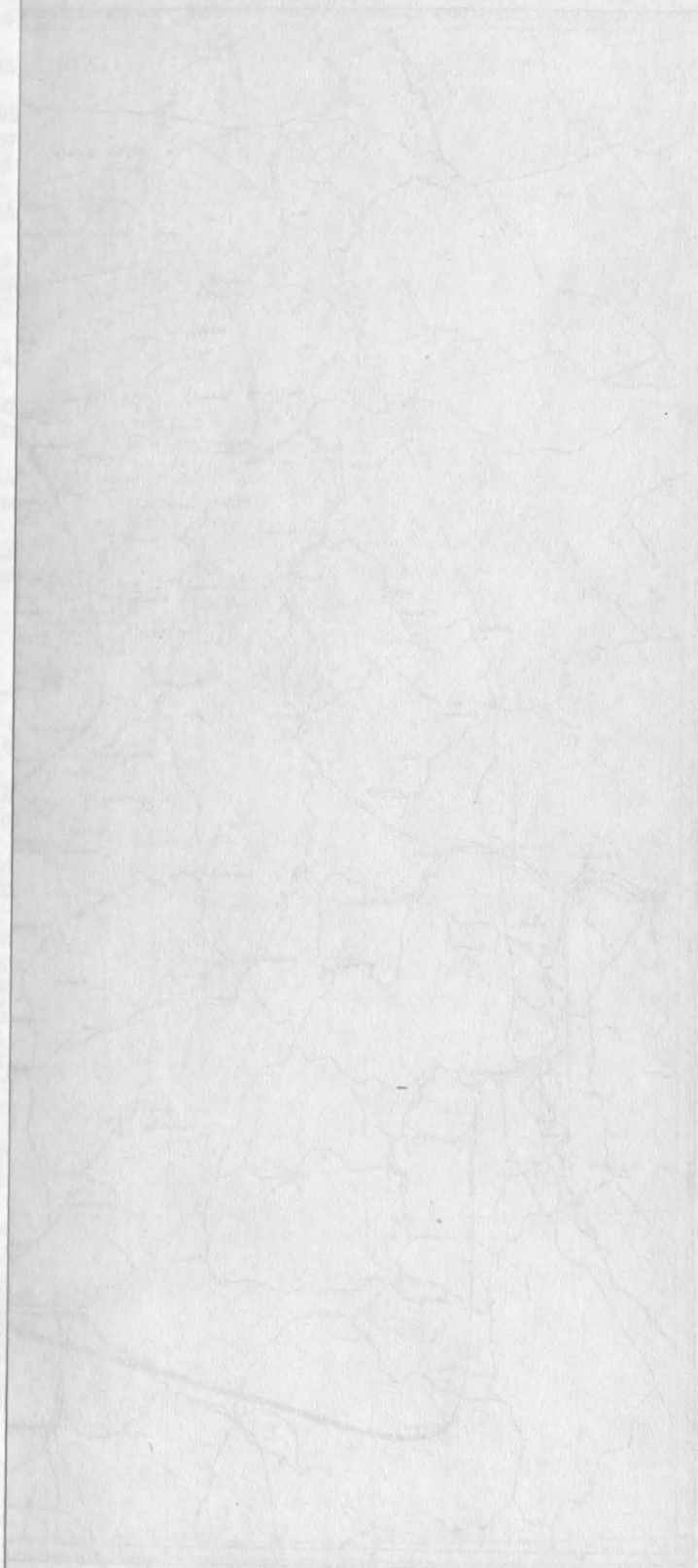
Abb. 2 Wiedergabe der Karte 1 bei v. SEEBACH (1873) mit seinen Untersuchungsergebnissen des Mitteldutschen Bebens vom 6. März 1872

★ - Epizentrum nach der Homoseistenmethode

Anlage zu S. 181

add
2548





Das ist ein Entwurf für ein Dokument, das am 1. April 1912 in Berlin veröffentlicht wurde. Es enthält Informationen über die Geschichte der Stadt und die Entwicklung der Infrastruktur.

Die Stadt Berlin hat eine lange Geschichte und ist heute eine der größten Städte der Welt. Die Entwicklung der Infrastruktur hat die Stadt in den letzten Jahrzehnten stark verändert.



Das ist ein Entwurf für ein Dokument, das am 1. April 1912 in Berlin veröffentlicht wurde.

- 73 Diese Sachverhalte können im 50. Todesjahr ALFRED WEGENERS (1880-1930) auch bezüglich unserer Vorstellungen über die Neue Globaltektonik sowie hinsichtlich der weltweiten Bemühungen um Fortschritte bei der Erdbebenprognose Aufmerksamkeit beanspruchen
- 74 Als Beispiele werden zitiert:
- LERSCH, B.M.: Ueber die Ursachen der Erdbeben, ein historischer Rückblick
Gaea, Leipzig 15 (1879), S. 213-222, 296-301, 356-362, 423-429
- SCHWIPPEL, K.: Ältere und neuere Anschauungen über Vulkane und Erdbeben, mit Rücksicht auf die Gebirgsbildung
Gaea, Leipzig 23 (1887), S. 265-275, 329-340
- ENGELHARDT, J.: Ansichten über die Ursachen der Erdbeben
Gaea, Leipzig 25 (1889), S. 145-163
- MAAS, G.: Aeltere Anschauungen über die Ursache der Erdbeben
Naturwiss. Wochenschrift, Berlin 10 (1895), S. 201-206
- OTTO, F.: Anschauungen der Griechen und Römer über Erdbeben und Vulkane
Budweis: Staatsrealschule 1903. 23 S.
- CAPELLE, W.: Erdbeben im Altertum
Neue Jahrbücher klass. Altertum, Gesch. u. deutsche Literatur, Leipzig 11 (1908), S. 603-633
- HINTNER, F.: Erdbebenforschung im Altertum
Die Erdbebenwarte, Laibach 9 (1909/10), S. 62-68
- CAPELLE, W.: Erdbebenforschung
In: Paulys Real-Encyclopädie der classischen Altertumswissenschaft. Neue Bearbeitung. Begonnen von G. Wissowa. Hrsg. von W. Kroll. Suppl.-Bd. 4. Stuttgart: J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung 1924. Sp. 344-374
- RINGHAUSEN, K.W.: Poseidonios - Asklepiodot - Seneca und ihre Anschauungen über Erdbeben und Vulkane
Phil. Diss. Universität München vom 9. März 1929
- HERMANN, A.: Erdbeben
In: Reallexikon für Antike und Christentum. Hrsg. von T. Klausner. Bd. 5. Stuttgart: Anton Hiersemann 1962. Sp. 1070-1114
- 75 LASCH, R.: Die Ursache und Bedeutung der Erdbeben im Volksglauben und Volksbrauch
Archiv Religionswiss., Tübingen und Leipzig 5 (1902), S. 236-257, 369-383