

stanz bei niedriger Temperatur unverändert über, während sie bei höherer Temperatur, also bei beginnender Glut, verschmiert. Diese Indifferenz, die auch die Hydroprodukte der anderen hochhydrierten aromatischen Kohlenwasserstoffe zeigen, kann geradezu als Gruppencharakteristik aromatischer Per- und Polyhydrüre ange- sprochen werden.

Das Chrysenhekkeidekahydrür zum Beispiel ist also ein typisch synthetisch hergestelltes Schmieröl mit all den Eigenschaften, die wir an einem solchen Körper voraussetzen müssen, dabei aber natürlich nicht etwa identisch mit den Bestandteilen des Erdöles.

Seine chemische Zusammensetzung ist $C_{18}H_{28}$ ($C\ 88,52\%$, $H\ 11,48\%$), was die Analyse bestätigte. Ähnlich hochsiedende Fraktionen des Erdöles, die als die besten Schmieröle anzusprechen sind, ergeben z. B.:

Art des Öles	Elementaranalyse		Beobachter
	C %	H %	
Bakuin I . . .	86,48	11,92	Kramer und Spilker ⁴⁾
Helles russisches Öl:	85,6	13,0	Holde u. Eickmann ⁵⁾
Bibi-Eibat-Öl . . .	86,56	13,12	Albrecht ⁶⁾

Sie zeigen also nennenswert höheren Wasserstoffgehalt. Das obige Hydrochrysen entspricht der Elementaranalyse nach der allgemeinen Formel C_nH_{2n-8} . Die Elementaranalysen der Erdölschmieröle ergeben Zahlen, die darauf hindeuten, daß in ihnen Verbindungen enthalten sind, die weit weniger Wasserstoff als die Paraffine der allgemeinen Formel (C_nH_{2n+2}) und Naphthene der Formel (C_nH_{2n}) enthalten. Sie entsprechen etwa der Formel $C_nH_{2n-4 \text{ bis } 6}$, bei etwa 24 Kohlenstoffatomen. Es werden also scheinbar wasserstoffreiche Verbindungen ähnlicher elementarer Zusammensetzung in diesen Schmierölen vorhanden sein, wie der von uns dargestellten Hydrüre, die aber anders konstituiert sein müssen. Es geht dies daraus hervor, daß das spezifische Gewicht hoch- oder perhydrierter aromatischer Kohlenwasserstoffe stets über 1 liegt, während die Erdölschmieröle Zahlen geben, die um 0,9 liegen und ihren Höchstwert mit 0,98 für Zylinderschmieröle erreichen. Auch lassen sich durch Dehydrogenisation nach bekannten Methoden aus dem Erdölschmieröl keine aromatischen, also mit Sechsringen ausgestattete Körper gewinnen, während die hydrierten aromatischen Körper nach geeigneten Methoden leicht wieder zu ihren Ausgangskörpern, den gewöhnlichen Aromaten abgebaut werden können.

Wir haben es hier also mit den von uns hergestellten Verbindungen mit einer neuen Klasse von schmierfähigen Körpern zu tun, die aber doch berufen sein kann, in der Technik eine erhebliche Rolle zu spielen. Denn es gelang uns, wie aus dem Obengesagten schon hervorgeht, auch aus dem Pech, ja sogar aus der Steinkohle selbst durch Hydrierung ein Gemisch von Körpern oder richtiger gesagt, ein hochsiedendes Öl zu erzielen, das in seinen einzelnen Fraktionen Viscositäten bei 50° von z. B. 2 bis hinauf zu 16° Engler und noch weit darüber aufweist. Diese hohen Viscositätszahlen sind begreiflich, wenn man sich vergegenwärtigt, daß mit steigendem Molekulargewicht die Zähflüssigkeit zunimmt, und daß die Verbindungen, aus denen sich z. B. das Pech zusammensetzt, weit größere Molekulargewichte haben als das Chrysen. Daß für die Untersuchung solcher Öle andere Normen angesetzt werden müssen als für die Beurteilung der Erdölschmieröle, ist natürlich. Sie werden später näher auszuarbeiten sein.

⁴⁾ B. 24, 2791 [1891].

⁵⁾ Mitt. aus dem Königl. Materialprüfungsamt 1907, S. 152.

⁶⁾ Vgl. Engler-Höfer, Das Erdöl. Bd. I, S. 382.

Katalytische Methoden zur Hydrierung von Steinkohle oder von hochsiedenden Anteilen der Steinkohlenteere und des Pechs scheiden zunächst wegen deren Schwefelgehalt, zu dessen Entfernung eine wirtschaftlich tragbare Methode bisher nicht gefunden wurde, aus. Das Verfahren nach Bergius, das ohne Katalysatoren arbeitet, dürfte zur Zeit die einzige anwendbare Methode zur Hydrierung der genannten Produkte sein. Daß entgegen einigen Hinweisen in der Literatur die Berginisierung nicht lediglich eine schonende Krackung darstellt, sondern daß ein wahrer Hydrierungsvorgang dabei eine wesentliche Rolle spielt, werden wir an anderer Stelle durch zahlreiches experimentelles Material belegen.

Welche wirtschaftliche Bedeutung dieses künstliche, durch Berginisierung von Steinkohle und Steinkohlenteeren erzeugte Schmieröl gewinnen kann, ist leicht zu schätzen, wenn man bedenkt, daß bei der Berginisierung von Steinkohle je nach der angewandten Kohle bis gegen 5 % eines solchen Schmieröles entsteht, dessen Menge sich naturgemäß je nach dem erwünschten Raffinations- und Viscositätsgrad erhöht oder vermindert. Wie bekannt, entstehen daneben Benzine und Dieselmotoröle in bester Beschaffenheit in solchen Mengen, daß bis zu 50 % der Kohle in die genannten wertvollen Stoffe übergeführt werden. In der Praxis wird vermutlich eine Mischung aus abfallender Staubkohle der jüngsten Steinkohleformationen und weichem Steinkohlenteerpeche im Verhältnis von 2:1 das beste Rohmaterial für die Berginisierung behufs Erzeugung der angezogenen Produkte sein.

Über die Kosten der Herstellung dieser Körper und über die Frage, ob sie in ihrer Herstellung so billig sein werden, daß sie bei den heutigen Preisen mit den aus Erdöl stammenden Erzeugnissen wirtschaftlichen Wettbewerb aushalten können, möchte ich hier nähere Angaben und Ausführungen unterlassen, kann aber versichern, daß die vorliegenden Ergebnisse und Berechnungen die besten wirtschaftlichen Ausblicke geben, und daß demnächst von der Gesellschaft für Teerverwertung in Duisburg-Meiderich die Errichtung einer Großanlage zur Hydrierung von Steinkohle und ihren Abkömmlingen nach dem Verfahren von Bergius gewissermaßen als Probe aufs Exempel durchgeführt werden wird, über deren Ergebnisse ich vielleicht später einmal berichten kann.

[A. 128.]

Über die geophysikalischen Untersuchungsmethoden und ihre Anwendung in der Praxis.

Von Prof. Dr. J. WEIGELT, Halle.

Vortrag auf der Dortmunder Gautagung der Nordwestdeutschen Bezirksvereine des Vereins deutscher Chemiker am 2. Mai 1926.

(Eingeeg. 31. Mai 1926.)

Der Vortrag von Paneth hat uns in anschaulichster Weise vor Augen geführt, wie die chemische Untersuchung auch vor dem Kosmos nicht Halt macht, und wie wir über die stoffliche Zusammensetzung der Weltkörper verhältnismäßig recht gut orientiert sind¹⁾. So kommt man zu einer Gliederung des Erdballs in eine granitische Zone auf der Außenseite von nur 60 km Mächtigkeit, eine peridotitische Zone, wo Silicium und Magnesium überwiegen, die 1600 km stark ist, eine pallasitische Zone, wo außer Silicium und Magnesium hauptsächlich Eisen an der Zusammensetzung beteiligt ist, und einen Eisenkern, der aus Nickel und Eisen besteht. Dabei nimmt die Dichte über 3,35 auf 4,35 und 9,5 im Eisenkern zu, was beträcht-

¹⁾ Vortrag auf der Gautagung der nordwestdeutschen Bezirksvereine in Dortmund.

lichen Elastizitätsunterschieden entspricht. Die Bestätigung für diesen stofflich-chemischen Aufbau der Erdrinde, der tatsächlich in verhältnismäßig schroffem Wechsel ohne fließende Übergänge vor sich geht, erhielt durch geophysikalische Untersuchungen eine außerordentliche Stütze. In Sonderheit ließ sich wirklich beweisen, daß der Erdkern nicht aus Gasen unter hoher Spannung bestehen kann, sondern aus Nickelstahl. Die Untersuchungen wurden auf makroseismischem Wege geführt, d. h. unter Benutzung der Fernbebenwellen. Je nach der Entfernung von Beobachtungsstation und Erdbebenherd ist der Weg der Erdbebenwellen durch den Erdkern selbst oder nur durch einen bestimmten Teil der Erdrinde zu suchen. Trägt man auf der Abszisse den zurückgelegten Weg und auf der Ordinate die dabei verbrauchte Zeit auf, so erhält man eine Laufzeitkurve, die sich um so mehr der Abszisse nähert, je weniger Zeit notwendig ist, einen langen Weg zurückzulegen, oder der Ordinate, je mehr Zeit es braucht, einen kurzen Weg zurückzulegen. Handelte es sich beim Erdkörper um homogenes Material, so würde eine vollständig gerade Linie entstehen. Bei den Untersuchungen von Adams und Williamson zeigten sich aber deutlich zwei Knicke in dieser Kurve, von denen der eine ganz offensichtlich der Grenze des Nickeleisenkernes gegen die peridotitische Zone entspricht. Die dabei erreichten Geschwindigkeiten gruppieren sich oberhalb 5000 m in der Sekunde und sind rechnerisch z. B. beim Peridotit bedeutend höher als beim Granit. Bei sehr hohem Drucke ist innerhalb der Erdrinde der Effekt der thermischen Expansion auf die elastischen Konstanten sehr klein.

Mikroseismisch geht man ganz ähnlich vor. Durch Explosion einer Dynamitladung oder auf andere Weise erzeugt man ein künstliches Erdbeben; in abgemessenen Entfernungen stellt man die transportablen Seismographen auf und erhält mittels eines Lichtschreibers ein Diagramm, das eine Beziehung des zurückgelegten Weges zur dazu benötigten Zeit zu berechnen gestattet. Die Elastizität ist in lockeren Sanden ganz gering, oft können nur 500 m in der Sekunde zurückgelegt werden. Tone, die noch nicht allzu sehr verfestigt sind, kommen auf 1000–1200 m, Kalksteine wesentlich höher, und recht hoch aus zusammengefügten Kristallen bestehende Substanzen, wie Steinsalz, Marmor oder ähnliches, wo die Werte bis auf 5500 m pro Sekunde steigen können. Darauf beruht das Wesen der seismischen Bodenuntersuchungen. Man bedient sich gewöhnlich zum Vergleich der im Boden erreichten Geschwindigkeit der Zeit, die der Schall durch die Luft braucht, die immer größer ist als die Zeit, die die Bodenerschütterung erfordert. Beide Erschütterungen, durch die Luft wie durch den Boden, werden vom Instrument registriert. Man kann sich aber auch elektrischer Verbindung bedienen oder mittels Radio Signale herstellen, was außerordentlich vorteilhaft ist. Dies ist nur ein Beispiel, wie man die verschiedenen Eigenschaften der festen Erdrinde und ihre stofflichen Differenzen für geophysikalische Methoden benutzen kann. Wir werden an den anderen Methoden das gleiche beobachten.

Die Dichte eines Körpers ist das Verhältnis seiner Masse zu dem von ihm eingenommenen Raum. Dementsprechend wächst das spezifische Gewicht der Körper mit der Dichte. Darauf beruhen die Schwerkraftuntersuchungen mittels der Drehwage. Die Gravitationsuntersuchungen wurden früher mit Hilfe der Lotabweichungen festgestellt. Für praktisch geologische Zwecke ist diese Methode nicht genau genug. Die Drehwage wurde zuerst von Eötvös konstruiert und neuerdings von Schwy-

dar u. a. erheblich verbessert. Die meisten der heute in Benutzung befindlichen Instrumente sind von den Askania-Werken nach dem Schwyderschen Vorschlag gebaut. Etwas billiger ist die Freiburger Drehwage der Gesellschaft für praktische Geophysik. Irgend eine schwerere Masse in Richtung oder senkrecht unter dem Wagebalken, der an einem 15 cm langen, torsionsfreien, nur 0,4 mm starken Platin-Iridiumfaden aufgehängt ist, übt gar keine Wirkung aus. Das ändert sich aber, sobald die schwere Masse sich seitlich befindet. Das Gewicht an einem Ende des Wagebalkens ist an einem Draht 60 cm tiefer aufgehängt, was die Wirkung sehr erhöht. Zur Steigerung der Leistungsfähigkeit des Apparates und zur Ersparnis von Zeit vereinigt man gewöhnlich zwei Gehänge in einem Gehäuse. Das Gehäuse besteht gewöhnlich aus dreifachen Metallhüllen, die zusammen mit einem doppelwandigen Zelt die Wärmeschwankungen möglichst ausschalten sollen. Sehr erleichtert ist die Auswertung durch die automatische photographische Registrierung. Würde es sich um homogene Massen in der Erdrinde handeln, so würden die Ebenen gleicher Gravitation in gleichem Abstande wie Kugelschalen um den Mittelpunkt der Erde angeordnet sein. Die von Schneiderhöhn geschilderten Konzentrationsvorgänge, die zur Differenzierung leichterer und schwererer Massen führen, bringen Krümmungen und Verbiegungen in den Verlauf dieser Ebenen gleicher Gravitation. Das Krümmungsmaß dieser Ausbuchungen ist ein Maßstab für die Unterschiede in der Dichte. So wird ein Salzhorst als Dichtedefizit bemerkbar. Der Einfluß des Geländes, wenn es nicht eben ist, muß rechnerisch eliminiert werden, was bei kompliziertem Bau des Geländes nachteilig werden kann. Entsprechend der Abnahme der Schwerkraft im Quadrat der Entfernung ist die Fernwirkung nicht eindeutig, was an anderer Stelle bereits erwähnt worden ist. Die Resultate der Untersuchung stellt man gewöhnlich durch Gradienzen dar, d. h. durch die Beträge, um die sich die Schwerkraft auf der horizontalen Längeneinheit in irgendeiner Richtung ändert. Praktisch bringt man sie zur Darstellung durch Pfeile, die von einem Schweredefizit wegstreben und den Schweremaxima zustreben.

Neuerdings beschäftigt man sich auch viel mit der elektromagnetischen Leitfähigkeit. Hier wird nicht die Elastizität wie bei der seismischen Methode und nicht die Gravitation wie bei der Drehwagenmethode zur Untersuchung herangezogen, sondern der verschiedene Widerstand gegenüber dem Durchgang von elektrischem Strom durch verschiedene Gesteinskörper. Man kann den Verlauf der Ströme in homogenem Gestein vergleichen mit dem Bild der magnetischen Kraftlinien, wie sie mit Hilfe von Magnet und Eisenfeilspänen im Schulexperiment zur Anschaufung gebracht werden. Dieses Kraftflächenbild verhält sich also ähnlich wie konzentrische Halbkugelschalen. Krahnmann gebraucht das Bild eines halb durchgeschnittenen Apfels, bei dem Stiel und Blüte den Elektronen entsprechen. Die guten Leiter werden den Strom anziehen und die Kraftlinien auf sich konzentrieren. Schlechte Leiter werden im umgekehrten Sinne eine Deformation der Kraftlinien hervorrufen. Besonders im Gebrauch ist das Elbofgerät. Mit Hilfe eines Benzinmotors und Dynamos oder mit Autoantrieb wird Strom erzeugt und mit Hilfe von Spießbündeln in den Erdboden eingeleitet. Der Aufnahmeapparat ist ringförmig und steht mit dem Sendegerät nicht in direkter Verbindung. Der Ring kann um die vertikale wie um die horizontale Achse gedreht werden und enthält einen Mehrröhrenverstärker zur Steigerung des entstehenden Induktionsstromes. Zwei Bündel von Erdspießen werden mit einem

dritten so geschaltet, daß man abwechselnd a und b und a und c einschalten kann. Beide Schaltungen werden unterschieden durch bestimmte Morsezeichen. Das akustische Optimum der Morsezeichen wird durch Neigen und Drehen des Ringes bestimmt. Die Streichrichtung in akustischer Minimumstellung dagegen entspricht der Richtung der Äquipotentiallinien.

Der Äquipotentiallinien, die alle Punkte gleichen magnetischen Potentials verbinden, bedient sich die Äquipotentialmethode von Lundberg und Nathorst, sowie die von Schlußberger. Durch Linienelektroden wird ein annähernd lineares System von Äquipotentiallinien geschaffen. Mit Hilfe eines Spannungsmessers, der die nötige Empfindlichkeit besitzen muß, und mit Hilfe von Strichsonden bei direkter Verbindung mit dem Sender werden dann die Messungen vorgenommen. Die Tiefenwirkung soll bei dieser Untersuchungsmethode nicht groß sein. Eine neuere schwedische Methode bedient sich nur der induktiven Stromzuführung.

Eine gewisse Bedeutung beansprucht zweifellos noch die magnetische Intensitätsuntersuchung, die mit ursprünglich recht einfachen Instrumenten auf den dazu allerdings besonders geeigneten riesigen schwedischen Magnetitlagerstätten vorgenommen wurde. Als paramagnetisch bezeichnet man die Gesteine, die die erdmagnetischen Kraftlinien anziehen, als diamagnetisch diejenigen, die magnetische Minima erzeugen. Dazu käme noch der Eigenmagnetismus, der gewöhnlich als Ferromagnetismus bezeichnet wird. Man mißt weniger die Richtung als die Intensität der Deklination und Inklination. Die Askania-Werke haben ein recht brauchbares magnetisches Lokalvariometer konstruiert. Beachtenswert ist aber auch eine neue Konstruktion von Königslberger. Von Schuh wurde die magnetische Untersuchung mit Erfolg auf die Mecklenburger Salzlagerstätten angewandt. Man deutet die Feststellbarkeit der Salzhorste damit, daß die Sande und Tone der norddeutschen Tiefebene im Vergleich zu den reinen Salzkörpern doch so viel eisenhaltiger seien, daß deutliche Differenzen entstehen.

Die seismische, die Gravitations-, die elektromagnetische und die magnetische Untersuchungsmethode sind zweifellos die wichtigsten. Die amerikanische Ölindustrie bediente sich bisher hauptsächlich der Drehwage und des Seismographen. Auf verschiedenen Eigenschaftsgefällen der Erdrinde beruhend, ist natürlich auch der Aktionsradius und die Verwendbarkeit der einzelnen Methoden durchaus nicht identisch. Der Aktionsradius überschneidet sich nur teilweise. Die geeignete Methode muß von Fall zu Fall entschieden werden, und es wird oft vorteilhaft sein, die Methoden miteinander zu kombinieren. Man wird in Überschwemmungsgebieten oder da, wo verhüllte alte Flußläufe mit lockeren Kiesansammlungen Schwere-minima, die an Salzdome erinnern, vortäuschen, sich mit Vorteil der seismischen Methode bedienen. Die Drehwage dagegen eignet sich ausgezeichnet zu exaktem Ausarbeiten von Strukturen, die mittels Seismographen gefunden worden sind. Das ganze ist eine Frage ziemlich komplizierter Erwägung. Man muß vor allen Dingen berücksichtigen, daß der Faktor der Schnelligkeit häufig von enormer Bedeutung für die Bedürfnisse der Praxis ist. Die Wirksamkeit der geophysikalischen Methoden in der Praxis ist aber nicht bloß auf die positive Auffindung gesuchter Lagerstätten beschränkt. Wenn man sich vor Augen führt, welche ungeheuren Gelder das Erwerben der Schurfberechtigungen und das Reservierthalten von Gelände für Bohrungen oder Untersuchungsarbeiten verschlingt, die selbst bei kapitalkräftigen Firmen immer nur das Erfassen gewisser Landstriche gestatten, so ist es

von großem Wert, durch eine schnelle Untersuchung entscheiden zu können, ob man eine Parzelle preisgeben kann oder ob man die Verträge noch verlängert. Das Abbohren solcher Gebiete — obwohl man Schnelligkeit wie Wirtschaftlichkeit des Bohrens in Amerika sehr gesteigert hat — ist doch nicht wettbewerbsfähig mit den Fortschritten der geophysikalischen Untersuchungen. Diese Methoden gehören heute bereits, ich möchte beinahe sagen zum selbstverständlichen Rüstzeug beim Schürfen und Prospektieren, und es ist zu hoffen, daß alle diese Arbeiten für recht praktische Ziele auch unsere theoretischen Kenntnisse von der Erdrinde und ihrem Bau wesentlich vermehren werden.

Der Vollständigkeit halber mögen noch eine Reihe von anderen Methoden besprochen werden, denen es bisher nicht gelungen ist, in der Praxis eine größere Rolle zu spielen. Besonders Erzgänge und ähnliche Lagerstätten besitzen Eigenpotentiale oder zum Teil sogar elektrische Erdströme. Zur Untersuchung von Erzkörpern, Grundwasserspiegeln, Salzstöcken, Laugen kann ihre Feststellung von Bedeutung sein, aber die starken Schwankungen in der Untergrundsfeuchtigkeit stellen entschieden eine betrachtliche Fehlerquelle dar. Gute Leiter des elektrischen Stromes reflektieren die elektrischen Wellen, während gerade die Dielektrika für elektrische Wellen Fortpflanzungsmittel darstellen. Die Untersuchung des Erdbodens mit Hilfe von akustischen Wellen ist ebenfalls noch nicht sehr weit entwickelt. Die Methode der drahtlosen Telegraphie benutzt man ja schon weitgehend zum Loten von Meerestiefen. In ähnlicher Weise will man sie auch anwenden auf das Feststellen von festeren Horizonten und Gesteinskörpern im Erdinnern. Man glaubt auf diese Weise Erzlager lokalisieren zu können. Die Radioaktivitätsuntersuchungen beruhen darauf, daß steigende Emanationen gewöhnlich in der Nähe von Verwerfungs-spalten und -gängen auftreten. Gesteinsproben werden im Elektrometerkasten untersucht. Die Entladungszeit ist umgekehrt proportional dem Emanationsvermögen. Teilweise findet die Untersuchung auf dem entblößten Erdboden statt, teilweise gelangen aus dem Boden genommene Proben zur Untersuchung. Geothermische Untersuchungen hat man herangezogen, weil sich in der Umgebung von Öllagerstätten, Kohlenflözen, gewissen Erzlagern, auch wohl in der Umgebung von Salzstöcken Anomalien der geothermischen Tiefenstufe gezeigt haben. Das Untersuchungsmaterial ist aber schwer zu beschaffen, und diese Methode wird wohl niemals eine größere Rolle spielen können.

Der Vortrag von Schneiderhöhn¹⁾ hat in ausgezeichneter Weise klargelegt, wie auf Grund der geochemischen Verteilungsgesetze innerhalb der Erdrinde Konzentrationsvorgänge entstehen, die ein Neben- und Übereinander verhältnismäßig stark differenzierter, chemisch und physikalisch stark voneinander abweichender Massen im Gefolge haben. Je stärker diese Kontraste von Natur aus sind, umso geeigneter ist das betreffende Gebiet für das Ansetzen geophysikalischer Untersuchungsmethoden. Es geht gleichzeitig aus dieser Betrachtung hervor, daß die Kontraste bald am stärksten hervortreten auf dem Gebiete der Elastizität oder aber auf dem der Schwere oder dem der elektrischen Leistungsfähigkeit usw. Das quantitative Ausmaß dieser Differenzen überschneidet sich sozusagen, und es gehört für jede Methode ein bestimmter Minimalbetrag der Einwirkung, eine Art von Reizschwelle, oberhalb deren die Untersuchungsmöglichkeit überhaupt erst eintritt; oder wie Schweyda sich ausdrückt: „Die verschiedenen Bestandteile der

¹⁾ Auf der Gautagung in Dortmund.

unterirdischen Massen müssen eine Differenzierung in solchen physikalischen Eigenschaften besitzen, die auf die Ferne sich noch bemerkbar machen, daß sie gemessen werden können. Aus der meßbaren Fernwirkung muß auf die Lage und Ausdehnung der uns entsprechenden unterirdischen Massen geschlossen werden können.“ Gewöhnlich unterscheidet man, wie das auch von A m b r o n n , später von K r a h m a n n geschehen ist, Methoden, die auf unmittelbaren Fernwirkungen beruhen und solche, die mittelbare Fernwirkungen darstellen. Zu den unmittelbaren Fernwirkungen gehören:

1. die Verteilung der Gravitation (Schwere, Dichte);
2. der Magnetismus in horizontaler und vertikaler Richtung und Intensität;
3. die elektrischen Erdströme und Eigenpotentiale;
4. die Radioaktivität;
5. die geothermischen Eigenschaften.

Zu den mittelbaren Fernwirkungen dagegen gehören:

1. die Leit- und Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen künstlich erzeugte elektrische Ströme;
2. die Durchdringungs- oder Reflektionsfähigkeit gegenüber elektrischen Wellen;
3. die seismischen Wellen, die durch künstliche Bodenerschütterung erreicht werden können;
4. die akustischen Wellen.

Es ist gegenwärtig ganz außerordentlich schwer und sozusagen eine undankbare Aufgabe, über das Gebiet der praktisch angewandten Geophysik einen Vortrag zu halten. In den letzten 10 Jahren ist sehr viel gearbeitet worden, und der Aufschwung in den letzten drei Jahren ist geradezu fabelhaft. Der Hauptanteil entfällt auf deutsche Forschungen und Patente, aber die Hauptarbeit wird nicht innerhalb Deutschlands, sondern im Auslande geleistet. Die Schwierigkeit der Darstellung besteht darin, daß, meist gar nicht mit Bewußtsein oder schlechter Absicht, jeder für diejenige Methode, der er nahe steht oder von deren Verwendbarkeit er sich überzeugt hat, eintritt, und bei der Schilderung von Mißerfolgen die übrigen Methoden heranzieht und die eigene entlastet. Das ist durchaus begreiflich, und ich bin überzeugt, daß eine ganze Reihe der vorhandenen Arbeiten objektiv gemeint sind und doch einen subjektiven Kern enthalten. Die Schwierigkeit läßt sich gegenwärtig wohl überhaupt nicht gänzlich überwinden. Es kann hier nur unsere Aufgabe sein, uns einen gewissen Überblick zu verschaffen, wobei wir uns natürlich klar sein müssen, daß wir den Nachdruck auf diejenigen Methoden zu legen haben, die von der Praxis nun wirklich am meisten zu Bearbeitungen herangezogen würden.

Die Erkenntnis der Bedeutung der geophysikalischen Methoden als Hilfsmittel des Bergbaues und der praktischen Geologie hat in den letzten Jahren stark gewachsen. Es ist besonders die amerikanische Industrie und vor allen Dingen die Petroleumindustrie, die sich nach anfänglichem Zögern bewußt und energisch auf dieses Gebiet stürzte. Es ist noch gar nicht so lange her, daß die amerikanischen Geologen über die „Dudelbogs“, wie sie die Drehwage und all die übrigen Instrumente nannten, scherzten. Eine Art Wendepunkt war es, als auf der vorjährigen Tagung der Vereinigung der amerikanischen Petroleumgeologen die Drehwage und die seismischen Instrumente Gegenstand einer scherhaft Theateraufführung waren. Heute sprechen alle diese Männer der Praxis von geophysikalischen Fragen, Methoden und Arbeitsweisen, wie von etwas Selbstverständlichem. Einen wichtigen Punkt in dieser Entwicklung bildet die Veröffentlichung von Roy Wallace Davis im „Oil Weekly“ vom 4. September 1925. Ein wichtiger

Passus möge hier angeführt sein: „All in all the coming of recent geophysical methods of citing salt domes has practically brought about a reawakening in the industry. The mere fact that every large company in the Texas Gulf Coast is at present either using the seismograph or torsion balance, or both, or is making preparations for using them, may be considered proof enough of such an awakening. Such methods of discovery have whetted competition in the rush for new findings. With such feasible means of discovering domes has developed the desire of companies to test sections believed to be the location of pools.“ Aufsehen erregend war, daß es den Geologen nach Erschöpfung der Oberflächenbeobachtungen innerhalb dreier Jahre mit Mühe und Not gelungen war, zwei Salzdome auf Grund äußerer Kennzeichen aufzufinden. In der gleichen Zeit waren durch die Drehwage zwei Dome und durch die deutschen Seismographen vier Dome aufgefunden worden. Die Aussichten, mit rein geologischen Methoden neue Funde zu machen, wurden immer geringer, und so stürzten sich die Ölkompanien nach anfänglichem Zögern mit fabelhafter Energie auf das Gebiet der geophysikalischen Untersuchungen mit dem Erfolge, daß von den Seismographen bald noch weitere Dome aufgefunden wurden. Man muß auch damit rechnen, daß bei dem scharfen Konkurrenzkampf keineswegs alle Resultate an die Öffentlichkeit gelangen. Ähnlich interessant wie die zitierte Darstellung von Roy Wallace Davis ist die Äußerung des bekannten Ölgeologen A. Deussen, der als Spezialist für die Salzdomgegend gilt, an der gleichen Stelle: „While all the methods discussed have to do with the finding of underground structures rather than directly with oil, yet the relationship of subsurface structure and oil is so close that the possibilities for finding production are much entranced, if the structure is known. Nearly all oil fields, particularly the larger pools, are associated with underground structures, and the value of determining the extent and location of those structures can not be overestimated when searching for new oil supplies“. Auf einem etwa 100 Meilen breiten Streifen an der Golfküste von Texas und Louisiana liegen etwa 50 Salzdome, von denen eine ganze Reihe sich schon zu sehr bedeutenden Ölfeldern entwickelt haben. Alarmierend wirkte der Gusher von Spindletop im Jefferson-County im Jahre 1901, wo ein einziges Bohrloch täglich 75 000 Barrels oder 10 900 metrische Tonnen lieferte. Hier stieg der Wert des Landes für den acre von 10 Dollar auf Tausende von Dollars. Wirft man einen Blick auf die jährlichen Produktionsmengen der großen amerikanischen Petroleumdistrikte, so zeigt sich deutlich, daß das Appalachengebiet in ständigem langsamem Abfall begriffen ist, daß dagegen die Steigerung im Oklahoma-Kansas-Gebiet ebenso wie in Nordtexas noch anhält. Die Produktionsziffern im Golfküstengebiet spielen seit dem Jahre 1901 erst eine Rolle und zeigen seit dem Weltkrieg ein beträchtliches Anschwellen. Man erwartet hier noch erhebliche Erweiterungen der vorhandenen Erdölbasis, besonders da sich herausgestellt hat, daß man, wenn man weiter vom Salzdome weggeht und tiefer bohrt, noch ganz neue Ölhorizonte erschließen kann. Für die Weltvorräte von Erdöl kann man ja überhaupt sagen, daß, sobald die Preise anziehen, sich auch stärkeres Explorieren lohnt. Mit dem steigenden Gewinn werden kostspieligere Untersuchungen und Aufschließungsverfahren angewandt und damit der greifbare Vorrat immer wieder erweitert. Zentrum der Raffinerien und der Ölverschiffung ist das in fabelhaftem Aufschwung begriffene Houston, das sich jetzt zum zweitgrößten Hafen der Union aufgeschwungen hat. Harris-

County, dessen wirtschaftlichen Mittelpunkt Houston bildet, besitzt bei 441 Meilen Eisenbahnen 641 Meilen Pipelines, um das Öl zur Küste zu transportieren. Dicht bei Houston befindet sich ein sehr interessantes Ölfeld, Goosecreek, das von einem bekannten amerikanischen Ölgeologen aufgefunden wurde, der beim Angeln das Aufsteigen von Gasblasen entdeckte. Bei der Untersuchung der Bohrlöcher zeigt es sich, daß sich dieses Ölfeld sehr gut darstellen läßt durch Flächen gleichen Chlornatriumgehaltes, bei denen sich der Ölpool sowohl im Querprofil wie in der Aufsicht deutlich heraushebt. Einige Bilder mögen den Charakter dieses Ölfeldes näher verdeutlichen. Auffällig erscheint im südlichen Teil des Feldes eine eigenartige Anordnung der Bohrtürme, die durch Holzbrücken vom Lande aus erreichbar sind, aber mitten im Wasser stehen. Sie geben noch die Kontur einer Halbinsel an, die früher tatsächlich bestanden hat. Durch die Abzapfung von Öl kam es zu Senkungserscheinungen, und das ehemals über dem Wasserspiegel gelegene Gebiet tauchte unter. Das führte zu einem interessanten Prozeß. Alles Land unter Wasser gehört der Regierung von Texas, damit erhob sich der Rechtsstreit, ob die Ölkompagnien bei der Nutzung auf Öl nicht dem Staat Abgaben zu zahlen hätten, bzw. ob der Staat nicht überhaupt Eigentümer des geförderten Öles wäre. Der Prozeß ist dann so entschieden worden, daß ein Eigentum des Staates bestehen würde, falls das Versinken nicht durch menschliches Eingreifen, sondern durch natürliche Einwirkungen verursacht wäre.

Texas ist heute der Erzeuger von 90% des Welt-schwefels, und der dort gewonnene Schwefel geht als Rohprodukt für die australische Phosphatindustrie, für die chemische Industrie, für die Ölraffinerien, für die Papierindustrie und für die Gummiindustrie in alle Welt. Abhängig von dieser Erzeugung ist die skandinavische Zellstoff- und Papierindustrie, die französische chemische Industrie und Weinkultur und der Schwefelsäurebedarf der ostindischen Ölindustrie. Die Möglichkeit der billigen Gewinnung ist gegeben durch den interessanten Prozeß von Flash, der ihn nach vielen Mißerfolgen bergmännischer Art am Sulphur Salt Dome in Louisiana zum ersten Male mit vollem Erfolg einführte. Überhitztes Wasser wird unter hohem Druck in dem schwefelführenden Teil des Bohrprofils zum Austritt gebracht, der Schwefel wird gelöst und in flüssigem Zustand mit Luft wieder aufgepreßt. Eine solche Anlage ist zunächst sehr teuer. Es muß also ein an Qualität und Menge bedeutender Vorrat von Schwefel vorhanden sein. Es müssen 15—30 000 PS erzeugt werden. Der Wasserbedarf ist 10 Millionen Gallonen täglich. Kessel, Hitzer, Pumpen, Pipelines, die wärmeisoliert sein müssen, und Bohrtürme, dann die Vorratsbassins für Öl und Wasser erfordern erhebliche Ausgaben. Dafür hat die Sulphurmine in Louisiana, die sich jetzt ihrer Erschöpfung nähert, bisher 9 Mill. t Schwefel produziert, die einen Geldwert von 150 Mill. Dollar darstellen.

In die Bohrlöcher wird eine Verrohrung eingeführt, die zwei weitere Röhren enthält. Die äußere ist 6 Zoll, die zweite 3 und die dritte 1 Zoll im Durchmesser. Die äußere ist durchbohrt; und zwar wird das Rohr so eingerichtet, daß die verschiedenen schwefelführenden Partien des Bohrprofiles mit Lochreihen im Rohr korrespondieren. Es wird nun bei 330° Fahrenheit heißes Wasser unter außerordentlich hohem Druck eingeführt, zunächst auch aus der 3-Zollröhre, die später zum Aufstieg des gelösten Schwefels benutzt wird. Nach dem Prinzip der Mammutpumpe wird in das 1-Zollrohr Luft eingepreßt und in dem 3-Zollrohr der kochende Schwefel nach oben

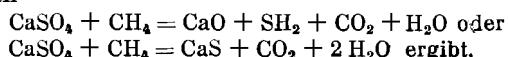
befördert mittels „air-lift“. Durch das Herauslaugen des Schwefels entstehen allmählich große Erdfälle, und man benutzt die alten Schwefelbohrlöcher später gewöhnlich zur Wasserrückgewinnung, so daß man den Wasserhaushalt eines solchen Domes einigermaßen kontrolliert.

Ein anderer Schwefeldom ist Bryan Heights Salt Dome, der drei Meilen südlich von Freeport gelegen ist. Er zeichnet sich in der ganz flachen Küstenebene als höchster Punkt mit 24 Fuß Seehöhe aus. Die Oberfläche des Domes ist, wie die Querprofile zeigen, viermal stärker gebösch als die Erhebung über Tage. In wärmeisolierten Röhren wird der kochende Schwefel in riesige Holzformen geführt, in denen er erstarrt. Oft sind für 1 Mill. Dollar in einem einzigen solchen Riesenblock vereinigt. Die Eisenbahngleise werden längs des Blockes herangeführt. Man setzt auf den Block kleine Bohrmaschinen und schießt den Schwefelstoß mit Dynamit herunter, so daß die Verladung stattfinden kann. Dieser ganze Prozeß in seinen Stadien wurde in einer Reihe von Bildern näher erläutert. Die Bilder stammen alle von dem Dome Gulf an der Matagorda Bay, wo gegenwärtig der bedeutendste Abbau stattfindet.

Man wird mit Recht fragen, was diese Schwefeldome eigentlich mit den geophysikalischen Untersuchungsverfahren zu tun haben. Da ist die Antwort sehr einfach. Die Vorräte dieses bequemen und lohnenden Abbaues sind durchaus beschränkt. Durch die feste Kappe von Kalk, Schwefel, Gips und Anhydrit bilden diese Lagerstätten besonders für die seismische Methode ein sehr kontrastreiches und leicht auffindbares Untersuchungsobjekt. Und so werden diese schwefelführenden Domstrukturen gegenwärtig von den bestehenden Schwefelkompagnien, deren greifbare Vorräte durch den intensiven Abbau schnell zusammenschmelzen, aufs eifrigste gesucht. Jede geophysikalische Methode hat ihre Vorteile und ihre Nachteile. So hat die Drehwage bei der Tätigkeit auf solchen Domen mit einer gewissen Schwierigkeit zu kämpfen. Die Salzmasse stellt ein Schwereminimum dar, so daß bei der Untersuchung ein Salzdom sich dadurch auf der Aufnahmekarte bemerkbar macht, daß von ihm radial ausgehend die Gradienten nach der schwereren Umgebung zeigen. Nun liegt aber im Falle eines solchen Schwefeldomes mit starker Caprockkappe eine Masse darauf, die schwerer ist als die Schichten der Umgebung. Halten sich beide Einflüsse die Wage, so wird das für die Untersuchung kritisch. Gewöhnlich aber überwiegt der Schwereeinfluß des Caprocks den negativen Schwereeinfluß der Steinsalzmasse, so daß in diesem Falle die Gradienten auf den Schwefeldom zu zeigen würden. Man muß sich ja immer klar sein, daß bei der Drehwage der Einfluß einer Schweremasse abnimmt im Quadrat der Entfernung. Es ist also streng genommen der Einfluß einer schwereren Masse von wenigen Kubikmeter Größe, die sich in geringem Abstand seitlich von der Drehwage befindet, quantitativ ebenso stark bemerkbar, als eine große Lagerstätte schweren Gesteins in einer Tiefe von einigen 100 m. Hier muß eine taktvolle geologische Interpretation den wahrscheinlichen Fall zu ermitteln wissen.

Wie kommt es denn nun zur Anreicherung so gewaltiger Massen gediegenen Schwefels aus den Salzdomen? Wir hatten in den Salzdomen Strukturen kennen gelernt, die die als Ölträger geeigneten Sande innerhalb der marinen und brackischen tonigen Sedimente stark nach oben auswölben, so daß natürliche Rezipienten für Erdöl und Gas entstehen; zum Teil sind die Salzdomen aber so hoch gestiegen und durch Brüche geöffnet, daß die Kohlenwasserstoffe einen natürlichen Ausweg finden. Dabei tritt

Methan in Berührung mit schwefelsaurem Kalk, so daß sich



Die freiwerdende Kohlensäure entweicht entweder ungebunden oder, wie in diesem Falle deutlich zu beobachten ist, sie tritt in Verbindung. Kohlensäure wandelt Calciumsulfid in Calciumcarbonat und Schwefelwasserstoff um. Schwefelwasserstoff in Berührung mit Luft scheidet Schwefel aus. Es ist also die Entstehung des gediegenen Schwetels durch Reduktion zu vergleichen mit dem Vorkommen gediegenen Silbers auf asphaltführenden Gangspalten in Skandinavien oder mit dem Vorkommen von Schweißkies, Bleiglanz, Kupferkies und Zinkblende in der Steinkohle.

In der Nähe des Schwefeldomes von Gulf liegt ein anderer interessanter Dom des Golfküstengebietes, nämlich der von Markham, der ebenfalls im Bilde vorgeführt worden ist.

Dieser Dom ist theoretisch dadurch bekannt geworden, daß hier zum ersten Male Kali, allerdings nicht in abbauwürdiger Form, aufgefunden ist. Ebenso enthält das Erdgas des Domes von Markham verhältnismäßig viel Helium, das für Luftschiiffzwecke hier gewonnen worden ist. Gegenwärtig ist von Markham eine Gasleitung nach dem Schwefelwerk von Gulf geleitet worden, das seine Ölfeuerung abwirkt und zu einer bequemen Gasfeuerung übergeht. Ebenso wird der Dom von Markham jetzt an die große Gasleitung angeschlossen, die aus dem Kleberg-County und der Gegend von Corpus Christi nach Houston geführt wird.

In der gleichen Gegend, 38 Meilen südwestlich von Houston, liegt im Brazoria-County der interessante Dom Damon Mount. Hier hatten früher die Karanava-Indianer ihren Wohnsitz und sie verhandelten den „Sour-Dirt“ als Heilerde an die benachbarten Stämme. Der Dom heißt nach Samuel Damon, einem Schwarzschnied, der sich 1831 dort ansiedelte, nachdem er in der steinarmen Gegend des Osthanges einen Kalksteinausbiß gefunden hatte, der sich zum Häuserbau benutzen ließ. Der Caprock des Domes kam hier zutage. In den Schluchten kamen reine Schwefelkristalle vor. Inzwischen haben eine ganze Reihe von Bohrungen auch dieses Schwefelvorkommen bestätigt. Trotz zahlreicher Versuche kam es aber nicht zur Anlage eines Schwefelwerkes, weil Vorrat und Qualität doch nicht genügend befriedigte.

Damit möchte ich meine Ausführungen schließen. Ich nehme an, es wird mehr interessiert haben, über die Anwendung der geophysikalischen Methoden aus einem besonders bedeutsamen Arbeitsgebiet zu hören, als eine Aufzählung aller Arbeitspunkte, aller Erfolge, aller Fehlschläge und Irrtümer sich vorführen zu lassen. Ich möchte nicht schließen, ohne darauf aufmerksam zu machen, daß die Entwicklung der geophysikalischen Untersuchungsmethoden in den nächsten Jahren noch eine außerordentlich starke sein wird, und daß unsere theoretischen Kenntnisse vom Bau der Erdrinde durch die praktische Betätigung derselben hoffentlich eine erfreuliche Bereicherung erfahren werden.

[A. 146.]

Einiges über Tetanustoxin und seine Zerstörung.

Von Dr. G. WESENBERG, Elberfeld.

Vorgetragen in der Fachgruppe für medizinisch-pharmazeutische Chemie auf der Hauptversammlung in Kiel.

(Eingeg. 29. Mai 1926.)

Bei stark zerrissenen, mit Kleiderfetzen, Erde, Holzsplittern usw. verunreinigten Wunden besteht immer die Gefahr des Auftretens von Wundstarrkrampf (Tetanus).

Die örtliche Wundbehandlung wird daher gern solche Mittel zur Anwendung bringen, welche neben allgemeiner Desinfektion besonders den Erreger des Wundstarrkrampfes, den *Tetanusbazillus*, abtöten oder doch wenigstens das von ihm gebildete Gift, das *Tetanustoxin*, zerstören. Die Benutzung solcher chemischen Stoffe scheint dann besonders angebracht, wenn die Serumbehandlung, die ja namentlich bei prophylaktischer Anwendung den sichersten Schutz gegen Ausbruch des Tetanus bietet, nicht rechtzeitig erfolgen kann, wie z. B. auf dem Lande. In der Veterinärmedizin werden solche Mittel besonders gern benutzt.

Ehe ich zu meinen eigentlichen Ausführungen komme, möchte ich erst ganz kurz auf die Bakteriologie des Wundstarrkrampfes eingehen. Der *Tetanusbazillus* ist ein schlankes, schwach bewegliches grampositives Stäbchen, das sehr widerstandsfähige, endständige Sporen bildet, so daß ein solches Stäbchen die sogenannte Trommelschlägerform besitzt. Es wächst nur unter Abschluß von Sauerstoff — also anaerob; bei Gegenwart von sehr sauerstoffbedürftigen anderen Bakterien, z. B. Fäulnisregen, die ihm den Sauerstoff wegnehmen, kommt er auch zur Vermehrung, also auch in bakteriell noch anderweitig verunreinigten, ziemlich oberflächlichen Wunden.

Gefährlich wird der *Tetanusbazillus* in der Wunde nicht durch seine Vermehrung, die häufig nur eine verhältnismäßig geringe ist, sondern nur durch die Ausscheidung eines Giftes, des *Tetanustoxins*. Dieses Toxin wird dann aus der Wunde durch die motorischen Nervenbahnen zum Zentralnervensystem geleitet und dort verankert; mit der fortschreitenden Anreicherung treten dann die verschiedenen Erscheinungen des Wundstarrkrampfes auf. Neben dem die hervorstechende krampferzeugende Wirkung besitzenden *Tetanospasmin* ist im *Tetanustoxin* noch ein *Tetanolysin* genannter Anteil vorhanden, der auf die roten Blutkörperchen auflösend wirkt. Dieses *Tetanolysin* soll hier aber unberücksichtigt bleiben.

Auch in den künstlichen Kulturen, die mit eigenartigem Geruch unter reichlicher Gasentwicklung (Wasserstoff und Methan) wachsen, kommt es zur Bildung des Giftes, das ein Exotoxin ist, also von dem Bakterium in seine Umgebung — die Wunde oder den Nährboden — ausgeschieden wird.

Zur künstlichen Gewinnung des *Tetanustoxins* benutzt man am besten Reinkulturen in flüssigen Nährösungen, die unter anaeroben Verhältnissen gehalten werden. Nach 6—8 Tage langer Bebrütung bei 37° ist meist eine starke Toxinbildung eingetreten; die Flüssigkeit wird dann durch bakteriendichte Filter von den Bakterienleibern getrennt. Von einem solchen Filtrat genügt unter Umständen bereits die Einspritzung von $\frac{1}{100\,000}$ ccm ($\frac{1}{100}$ mg), um bei einer Maus die typischen Erscheinungen des Wundstarrkrampfes — also allein durch Giftwirkung — auszulösen und das Tier zu töten.

Das Gift verliert in der dünnen Lösung, in welcher Form es im Kulturfiltrat vorliegt, ziemlich rasch seine Wirksamkeit; es kann aber, am besten durch Fällen mit Ammoniumsulfat nach B r i e g e r und F r ä n k e l, zur Ausscheidung gebracht und dann trocken aufbewahrt werden. Die chemische Natur des Giftes ist noch nicht geklärt, es scheint noch nicht einmal ganz einwandfrei festzustehen, ob es zu den Eiweißkörpern gehört oder nicht. Bei meinen im Herbst 1914 begonnenen Versuchen ging ich vom Filtrat einer 4 Tage alten Bouillonkultur aus; von ihm tötete bei der Einspritzung unter die Haut 0,1 ccm eine Maus (von etwa 20 g) innerhalb 24 Stunden; bei