

# Fortschritte der Erdölgeophysik

Autor(en): **Süsstrunk, A.E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **24 (1957-1958)**

Heft 67

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-189012>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## **Fortschritte der Erdölgeophysik**

Von A. E. SÜSTRUNK, Geophysiker, Zürich

Es werden im Folgenden die technischen Neuerungen bei den geophysikalischen Methoden sowie neue Meßverfahren und deren Anwendungsgebiete kurz beschrieben, soweit sie für die Erdölprospektion von Bedeutung sind. Neben eigenen Beobachtungen und mündlich erhaltenen Informationen bei ausländischen Firmen wurden bei der Abfassung dieser Übersicht im Wesentlichen die am Schluß angeführten Quellen benutzt.

**1. Seismik:** Bis gegen 1950 hatte sich die vor und während des letzten Krieges in den USA entwickelte sogenannte Standardtechnik der Reflexionsseismik praktisch auf der ganzen Welt durchgesetzt: Apparaturen mit mindestens 24 Kanälen, Sprengung in einem Bohrloch in der Mitte einer Geophonlinie mit mindestens  $2 \times 12$  Seismometern in Intervallen von 15—40 m, Technik des kontinuierlichen Profils (jeweils 12 oder mehr Meßpunkte überlappt): Sprengpunktabstand = halbe Dispositiv-Länge; Verstärker mit in vielen Stufen regulierbaren Filtern zum Ausblenden unerwünschter Frequenzen respektive Wellen, automatische Verstärkungsregelung zur Erhöhung der Leserlichkeit und Vergleichbarkeit der Seismogramme; Schaltungen zum Mischen (Mixing) benachbarter Kanäle, womit ein stärkeres Hervortreten der Reflexionseinsätze auf dem Seismogramm bewirkt wird; photographische Registrierung der Verstärkerausgangssignale eng nebeneinander auf demselben Film. Diese Ausrüstung und Meßtechnik liefert unter den verschiedensten Bedingungen gute Resultate. Die Auswertung erfolgt durch Auftragen der vom Einfluß der Topographie und Oberflächenschichten befreiten Laufzeiten der reflektierten Wellen in einem Zeitplan (time-plot, coupe temps), aus welchem bei bekanntem Geschwindigkeitsverlauf mit der Sondiertiefe mittels graphischer Hilfsmittel die Profilschnitte gewonnen werden.

Zunächst wurden Verbesserungen angestrebt für den Einsatz dieser Methode unter schwierigen Verhältnissen, wo normalerweise keine brauchbaren Reflexionen auftreten. Vor wenigen Jahren glaubte man eine Zeitlang, mittels Sprengungen in der Luft viel bessere Resultate erreichen zu können (Methode Poulter), neuerdings wird versucht, die Wellen durch Fallenlassen einer schweren Platte von 3—4 t Gewicht zu erzeugen (Verfahren McCollum, auch «Geograph» genannt), sehr gute Erfolge ergeben andererseits das gleichzeitige Sprengen in mehreren verteilten Spreng-Bohrlöchern oder das gleichzeitige Sprengen einer großen Zahl ganz un tiefer kleiner Ladungen, sowie die Vervielfachung der Geophone («Pattern shooting», «multiple Geophones»); letztere hat sich allgemein durchgesetzt. In der Sahara werden z. B.

pro Kanal bis 100 Geophone, verteilt auf eine Fläche von rund  $100 \times 100$  m eingesetzt bei ähnlicher flächenhafter Anordnung sehr vieler oberflächlicher schwacher Sprengungen; auf diese Weise gelingt es, über mächtigen losen Sandlagen oder Schotterterrassen brauchbare Reflexionseinsätze zu gewinnen. Durch die Vervielfachung der Geophone, d. h. flächenhafte Aufnahme der Impulse, ergibt sich eine Reduktion der Streuenergie und der Intensität der die Reflexionen verdeckenden Oberflächenwellen.

Die Entwicklung der Elektronik gestattete, ohne Einbuße an Leistungsfähigkeit tragbare Apparaturen für Untersuchungen in schwer zugänglichen Gebieten zu bauen. Gewichte und Abmessungen der Geophone konnten ebenfalls reduziert werden, sodaß heute ein Haspel mit 6—10 Geophonen samt Verbindungskabeln kaum mehr wiegt als vor 10 Jahren ein einzelnes Seismometer.

Während früher Schichtgrenzen in weniger als 300—500 m Tiefe als mit dem Reflexionsverfahren nicht erfaßbar galten, weil unmittelbar nach der Sprengung die Oberflächenwellen («Ground-Roll») alle Reflexionseinsätze verdeckten, ist es heute möglich, mit Hilfe spezieller Apparaturen auch in Gebieten komplexer Lagerung innerhalb der obersten 30—600 m Reflexionsseismik zu betreiben und z. B. steile Schichtgrenzen und Überschiebungen nachzuweisen. In Gebieten in Texas gelang es sogar, mittels solcher Messungen bis in Tiefen über 1000 m in Sandschichten (= gute Reflexionen) eingelagerte Tonschieferkomplexe (= fehlende Reflexionen) zu separieren. Das Spezielle an diesen Apparaturen sind vor allem die Verstärker, welche einerseits sehr kurzzeitig reagierende automatische Verstärkungsregulierungen enthalten, welche die Verstärker sofort nach Durchgang eines starken Signals (Ground-Roll) wieder auf volle Empfindlichkeit bringen, und die andererseits Frequenzen zwischen ca. 60 und 300 Hertz durchlassen anstatt wie normale Apparaturen 30—80 Hertz. Man spricht von Apparaturen mit hoher Auflösung («High Resolution»). Die Seismometer werden bei diesen Messungen mit ganz kleinen Intervallen (3—8 m) angeordnet, und der Filmvorschub im Registriergerät erfolgt rascher.

Da saubere Reflexionseinsätze im Seismogramm weitgehend von der Stellung der Filter in den Verstärkern abhängen, und da in oberflächlichen Reflexionen meistens deutlich höhere Frequenzen vorherrschend sind als in Reflexionen tiefer Horizonte, mußten bisher mit derselben Geophonanordnung und variierter Filtereinstellung oft mehrere Sprengungen ausgeführt werden, um alle Reflexionseinsätze mit guter Qualität zu erhalten. Da aber das Bohren mehrerer Sprenglöcher (und die Sprengungen selbst) recht kostspielig ist, kam vor etwa drei Jahren die magnetische «Breitband»-registrierung auf: Die Erschütterungen werden praktisch ungefiltert und möglichst mit den ursprünglichen Kontrasten (viel geringere automatische Verstärkungsregulierung) auf Magnetband aufgenommen, und anschließend werden aus diesen Aufnahmen, wieder über Verstärker mit wählbaren Filtern, übliche Seismogramme registriert, wobei die günstigste Einstellung ausprobiert werden kann. Vor einem Jahr hielt man diese magnetische Registrierung noch für zu kostspielig für allgemeinen Gebrauch, Mitte 1958 werden indessen fast alle seismischen Trupps (inkl. Refraktionsseismik) damit ausgerüstet sein. Bereits sind auch tragbare Ausrüstungen erhältlich.

Mit der Einführung der magnetischen Registrierung (einzelne Fabrikate verwenden anstelle eines Bandes auch Platten: «Magnedisc») ergaben sich zugleich weitgehende Möglichkeiten für eine Automatisierung der Auswertungsarbeit: Schon bisher wurden die Seismogramme oft verkleinert reproduziert (mit genau gleichen Zeitmaßstäben) und profilweise nebeneinander angeordnet, wodurch sich ein unkorrigierter «Zeitplan» ergab, welcher als erste Näherung bereits ein qualitatives an-

schauliches Bild der Strukturen darstellt, das die Korrelation auch unzusammenhängender Einsätze ermöglicht und die Auswertung erleichtert. Die Umhüllenden der Reflexionen in einem Seismogramm haben aber infolge der ungleichen Längen der Wellenwege zu den verschiedenen Geophonen die bekannte Hyperbelform, deshalb besteht in diesem «Seismogramm-Profil» ein Horizont aus einer Guirlande; auch wirken sich darin alle Oberflächeneffekte störend aus.

Vor dem Abspielen magnetischer Registrierungen können die Abnahmeköpfe durch sehr präzise Vorrichtungen verschoben werden; die einzelnen Seismogrammspuren werden dabei gegenüber den andern um gewünschte Beträge verschoben, d. h. es können damit Zeitkorrekturen angebracht werden (topographische Korrektur, «Wegnahme» der Verwitterungsschicht etc.), ferner können die oben erwähnten durch die geometrische Anordnung der Geophone bedingten Laufzeitunterschiede («outmove-corrections») ausgeglichen werden. Beliebig viele solcher auf diese Weise korrigierter Seismogramme können nebeneinander auf Magnetschichttrommeln vereinigt werden, und die entsprechende sichtbare Registrierung (die meistens Spur um Spur durch Direktschreiber erfolgt) ergibt einen richtigen Zeitplan. Die Papiervorschubgeschwindigkeit kann noch entsprechend dem Verlauf der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen mit der Tiefe variiert werden, womit anstelle eines Zeitplanes ein approximatives Schichtprofil entsteht. In dieser Darstellung, wie auch im Zeitplan, erscheint der Reflexionseinsatz sozusagen als vertikal unter der Meßstrecke liegender Spiegelhorizont; tatsächlich aber liegen die Reflexionspunkte nur bei horizontaler Lagerung genau unter der Mitte zwischen Sprengpunkt und den betreffenden Meßpunkten. Werden schließlich die Laufzeiten der reflektierten Wellen auf den Seismogrammen noch dahin abgeändert, als ob die Wellen in richtiger Lage der Horizonte senkrecht unter der Meßstrecke reflektiert würden, dann resultiert ein unverzerrter Schnitt der erfaßten Strukturen. Zur besseren Anschaulichkeit werden die Seismogramme für diese Verarbeitung in Hell-Dunkel-Darstellung gedruckt («variable-intensity»- oder «variable-density»-cross sections), wobei guten Reflexionseinsätzen etwa starke schwarze oder weiße Linien entsprechen, während der leere Störpegel einen Grauton ergibt. Es werden in Amerika fertige Zusammenstellungen solcher elektronischer Maschinen inklusive Profil-Druckapparat angeboten; es sind dies nichts anderes als elektronische Analogie-Rechenmaschinen.

Natürlich ist es nicht so, daß diese Maschinen auf der einen Seite die im Feld aufgenommenen Magnetbandregistrierungen schlucken und nach wenigen Minuten einen fertigen Profilschnitt liefern. Die magnetische Registrierung erfolgt meistens parallel zur üblichen photographischen, oder der Meßtrupp kann gleich nach der magnetischen Registrierung einen normalen Film durch Abspielen erhalten. Nach wie vor müssen diese konventionellen Seismogramme betrachtet und zu einem großen Teil in üblicher Weise ausgewertet werden, bevor die verschiedenen Korrekturen (von Hand oder mittels Lochkarten) in die Maschine gegeben werden können. Die beschriebene Automatisierung hat vor allem große Bedeutung dort, wo sehr viele Daten aus Gebieten mit wenig variierenden Oberflächen- und Geschwindigkeitsverhältnissen zu verarbeiten sind, z. B. bei Offshoremessungen, wo ein seismisches Schiff im Tag 80—200 Registrierungen liefert (d. h. so viele, wie ein seismischer Landtrupp in 1—2 Monaten). Sobald die Korrekturen (wie etwa bei Untersuchungen im schweizerischen Mittelland) von Registrierung zu Registrierung wechseln, dürfte der Einsatz solcher sehr teurer Apparate unwirtschaftlich sein gegenüber der bisherigen manuellen Auswertungsmethode. Diese seismischen Rechenautomaten scheinen ziemlich stark auf die amerikanischen Verhältnisse zugeschnitten zu sein, und ihre Bedeutung wird wahrscheinlich propagandistisch stark übertrieben. Im Arbeitsgebiet

der europäischen geophysikalischen Firmen, wo die Probleme selten sehr einfach sind, dürfte diese Automatisierung in ihrer heutigen Ausbildung kaum verbreitet anwendbar sein. Bedeutende Firmen in Europa tendieren eher zur numerischen individuellen Verarbeitung der seismischen Daten mittels Rechenmaschinen (Berechnung der Koordinaten der Spiegelpunkte unter Berücksichtigung deren dreidimensionaler Lage und der Brechung der Wellenwege an Schichtgrenzen), welches Verfahren besser auf komplexe Verhältnisse anwendbar ist. Unbestritten sind dagegen die Vorteile der magnetischen Registrierung. Dieselbe birgt noch andere Möglichkeiten in sich als die oben beschriebene spektakuläre Entwicklung der Daten-Verarbeitung und -Darstellung. Z. B. wird es möglich sein, was Rieber schon 1937 mit seinem «Sonograph» anstrebte, durch Kombination benachbarter Registrierspuren gewünschte Richtungsempfindlichkeiten auszunützen, um z. B. an Verwerfungen gestreute Wellen zu separieren etc. Zur Zeit werden solche Möglichkeiten verschiedenenorts studiert.

In den letzten Jahren sind Meßanordnungen für seismische Untersuchungen (mittels Ultraschallimpulsen) an Modellen entwickelt worden; mit Hilfe derselben können energetische Fragen und bestimmte Ausbreitungsprobleme untersucht werden, deren theoretische Behandlung äußerst schwierig ist. Neuartige seismische Messungen in Bohrlöchern (Continuous Velocity-Log, siehe Abschnitt 6) haben überraschende Erkenntnisse über den Mechanismus der Bildung von Reflexionen ergeben, ja selbst gewisse Zusammenhänge zwischen den Erscheinungsformen einzelner Reflexionseinsätze (composite reflections) oder von Gruppen derselben und den Lagerungsverhältnissen in erdölführenden Strukturen. So beginnen sich Möglichkeiten abzuzeichnen, aus reflexionsseismischen Messungen über die Auskünfte über die tektonischen Verhältnisse hinaus noch weitere für Erdölvorkommen charakteristische Angaben zu gewinnen. Auch hierfür sind die naturgetreuere magnetische Registrierung und die dadurch erleichterte Analysemöglichkeit eine wesentliche Voraussetzung.

Auch das bereits erwähnte Fallgewichtverfahren («Weight Dropping» oder «Geograph») ist nicht denkbar ohne magnetische Registrierung: Der Wagen mit dem Gewicht bewegt sich auf einer Geraden zwischen den in zwei Gruppen angeordneten Geophonen und läßt das Gewicht in regelmäßigen Zeitabständen fallen. Eine große Zahl (20—100) von Registrierungen von Einzelschlägen werden nach erfolgten Korrekturen übereinander registriert; infolge der variierenden Abstände zwischen Schlagstelle und Geophonen ergibt sich durch Überlagerung verschiedener Phasen der Oberflächen- und Streuwellen eine Reduktion des Störpegels, während sich die in den Einzelaufnahmen kaum erkennbaren Reflexionseinsätze gleichphasig aufaddieren — mit allen Nachteilen einer solchen übertriebenen Mischtechnik. Dieses Verfahren scheint aber billiger zu sein als das übliche Sprengen in Bohrlöchern, und es führte angeblich in Gebieten zu Erfolgen, wo vorher keine Reflexionen gewonnen werden konnten. Zur Zeit stehen etwa 40 solcher Fallgewichtsausrüstungen in Betrieb, trotzdem kompetente Geophysiker dieser Methode skeptisch gegenüberstehen.

Das Gegenstück zu den «High-Resolution»-Ausrüstungen bilden die modernen Apparate für die Refraktionsseismik: Mit Hilfe von Verstärkern mit sehr hoher Empfindlichkeit in Frequenzbereichen zwischen 1—40 Hertz (Bereich mittels Filtern einengbar) und Geophonen mit sehr tiefer Eigenfrequenz (1—2 Hertz) ist es möglich geworden, mit relativ schwachen Sprengungen (unter 50 kg Sprengstoff) gebrochene Wellen aus mehreren Kilometern Tiefe als Erst- oder Zweit-Einsätze zu registrieren. Auch hierbei ist die magnetische Registrierung ein wichtiges Hilfsmittel geworden. Die Refraktionsseismik wird seit einigen Jahren wieder häufiger einge-

setzt für Übersichtsuntersuchungen und als Ergänzung der Reflexionsseismik für den Nachweis von Verwerfungen. Mehr und mehr werden — bei ungefähr unverändertem Gewicht und gleichbleibenden Abmessungen — universell verwendbare Apparaturen gebaut, welche umschaltbar für Refraktionsseismik und normale und hochfrequente Reflexionsseismik verwendbar sind.

Seit einigen Monaten hat sich ein Echolotverfahren zur Sondierung der obersten 30—50 m lockerer Sedimente unter Wasser als brauchbar erwiesen; es verwendet 10—15 Impulse pro Sekunde von ca. 4000 Hertz (gegenüber 12 000—20 000 Hertz bei der normalen Echolotung) und registriert wie eine Echolotapparatur direkt maßstäblich Kontrastkonturen (Korallenriffe, Felsrippen, Domstrukturen, Verwerfungen etc. unter Schlamm- und Sandbedeckung — oft als sekundäre Abbilder wesentlich tiefer gelegener Strukturen).

An instrumentellen Neuerungen wären noch einige spezielle Ausrüstungen für Messungen im Meer, über den Shelfgebieten, und in morastigen Gegenden zu erwähnen, sowie Verbesserungen der Radio-Peilsysteme für die genaue Ortsbestimmung, wie sie auch für andere geophysikalische Messungen auf Gewässern erforderlich sind.

**2. Gravimetrie:** Schweremessungen wurden früher hauptsächlich für großflächige Übersichtsmessungen verwendet. In den letzten Jahren wurden die Gravimeter wesentlich verbessert und in der Handhabung vereinfacht; mit Geräten von 2—3 kg Gewicht können relative Messungen über große Distanzen mit einer Präzision von  $\pm 0,02$  milligal (Erdbeschleunigung = 981 gal) ausgeführt werden. Durch diese erhöhte Präzision und Apparatekonstanz sind eigentliche Detailuntersuchungen (sogar für das Auffinden von Erzlagerstätten) lohnend geworden. Auch in der Interpretation der Anomalienkarten wurden in den letzten Jahren Fortschritte erzielt durch Verwendung (z. T. von den Drehwaagemessungen her altbekannter) zweiter Ableitungen und Gradienten. In den USA wird besonders die Verwendung der zweiten Ableitung (nach Elkins) propagiert, da dieselbe über Verwerfungsachsen Null-Linien liefert; oft werden in Zonen, wo reflexionsseismische Messungen Verwerfungen vermuten lassen, zur genaueren Abklärung Schweremessungen mit dichtem Stationsnetz angesetzt. In Europa wird der zweiten Ableitung eher der vertikale Gradient der Schwere (nach Baranov) vorgezogen, welcher den geologischen Bedingungen besser angepaßt zu sein scheint und weniger auf Ungenauigkeiten in den Ausgangswerten reagiert. Vertikal-Gradient und zweite Ableitung werden aus den Anomalienkarten durch Ablesung der interpolierten Werte auf Punkten eines aufgelegten Gitters und einfache Rechnung gewonnen. Für die Ausführung der mühsamen topographischen Korrekturen und übrigen Rechnungen werden mehr und mehr Rechenmaschinen eingesetzt, ebenfalls zur raschen Ermittlung des Schwerefeldes über angenommenen Massenverteilungen. Für letztere Aufgabe werden von amerikanischen Firmen auch sogenannte Schwere-Anomalie-«Simulators» hergestellt: Ein Ausschnitt der gewünschten Form (entsprechend einer «schweren Platte» im Untergrund) wird von unten durch eine Punkt-Lichtquelle beleuchtet; die Helligkeit darüber, abgetastet durch eine winzige Photozelle in einer der Tiefenlage entsprechenden Entfernung, ist (infolge analoger Gesetzmäßigkeit) proportional dem Verlauf der Schwere. Maßstab, Verstärkung etc. sind so gehalten, daß die Koordinaten z. B. in Meter und die Meßwerte direkt in milligal abgelesen werden können. Innert weniger Stunden soll mit Hilfe solcher Geräte durch schrittweise Approximation und Superposition des Einflusses verschiedener «Platten» eine Anomalie

durch bestimmte plausible Massenanordnungen interpretiert werden können. Einen wesentlichen Fortschritt für die Verwertung gravimetrischer Daten ermöglichte auch die Entwicklung der Dichtemessung mittels Gammastrahlen (siehe Abschnitt 6).

Seit einigen Jahren sind auch Unterwassergravimeter in Gebrauch, welche in Seen und Shelfgebieten vom Schiff aus auf den Boden abgesenkt und elektrisch fernreguliert und -abgelesen werden; die Genauigkeit solcher Messungen ist derjenigen auf dem Festland ebenbürtig.

**3. Magnetik:** In Gebieten, wo die Morphologie und Tektonik des kristallinen Sockels oder vulkanischer Aufstöße unter den Sedimentschichten von Interesse sein könnten, leisten die relativ billigen magnetischen Messungen noch immer gute Dienste für rasche Übersichtsmessungen, was besonders begünstigt wird durch den Einsatz des Aeromagnetometers, d. h. magnetischer Messungen vom Flugzeug aus. Letztere haben den großen Vorteil, dem Einfluß oberflächennaher Störungen entzogen zu sein und innert kürzester Zeit riesige Gebiete untersuchen zu können. Für die Ölprospektion sind diese Messungen allerdings in vielen Gebieten nur von sehr beschränkter Bedeutung, auch ist ihre Interpretation nicht einfach. Die Aeromagnetometer wurden aus während des Krieges in Flugzeugen eingesetzten Unterseeboot-suchgeräten entwickelt; die auf Feldänderungen reagierenden Bestandteile sind Spulensysteme mit Kernen aus magnetisch hochempfindlichem Material. Die Meßgenauigkeit ist besser ( $\pm 1 \gamma$ ) als bei Feldwaagen. Neuestens wurde das «Nuclear-Magnetometer» entwickelt, in welchem der Einfluß schwacher Magnetfelder auf gewisse Schwingungen (Kernresonanz) von Wasserstoffatomen ausgenützt wird; das eigentliche «Empfangsgerät», welches vom Flugzeug an einem etwa 50 m langen Kabel als «Schwimmer» geschleppt wird, besteht aus einem Solenoid in einem Wasserbehälter, weshalb man von einem («bottle») «Wasserflaschenmagnetometer» spricht.

**4. Elektrik:** Das altbekannte Gleichstromsondiervorfahren mit der Schlumberger-Elektrodenanordnung, dessen Nützlichkeit für die Erdölprospektion von französischen Fachleuten immer wieder hervorgehoben wurde, welches aber bis heute bei den anglosächsischen Firmen — im Gegensatz zu den kommunistischen Ländern — auf strikte Ablehnung stieß (wie auch die tellurische Methode), scheint in jüngster Zeit doch für großflächige Untersuchungen in Sedimentbecken mehr und mehr berücksichtigt zu werden. Eine neue Methode ist die tellurische Elektrik, kurz Tellurik genannt, welche vor ca. 15 Jahren in Frankreich entwickelt wurde und in der französischen Einflußsphäre und in den kommunistischen Ländern häufig verwendet wird, etwa im gleichen Rahmen wie gravimetrische Übersichtsmessungen. Schon lange ist bekannt, daß in der Erdkruste eine elektrische Strömung vorhanden ist, welche mit dem magnetischen Erdfeld, Vorgängen in der Ionosphäre, der Sonnenaktivität etc. zusammenhängt und zeitlich variiert. Diese Strömung ist im Mittel über große Gebiete gleichmäßig verteilt, Abweichungen von dieser Gleichmäßigkeit sind durch unregelmäßige Untergrundverhältnisse bedingt. Dieser Zusammenhang wird für die Untergrundprospektion ausgenützt. In einem Netz von Punkten werden die NS- und EW-Komponenten dieses elektrischen Erdfeldes über zwei in diesen Richtungen liegenden sich im «Meßpunkt» kreuzender Meßstrecken von einigen 100 m Länge gemessen und mit gleichzeitig ausgeführten entsprechenden Messungen in einem festbleibenden Referenzpunkt verglichen. Über Antiklinalen z. B. erfolgt

eine Verdichtung oder Verdünnung der Stromlinien, je nach Leitfähigkeitsunterschied zwischen Überlagerungsmaterial und dem Antiklinalkörper, auch Verwerfungen und andere tektonische Störungen sind erkennbar. Zur Interpretation ist die Kenntnis der elektrischen Leitfähigkeit respektive des spezifischen Widerstandes der Bodenschichten wesentlich; der Vorteil dieses Verfahrens gegenüber der Gravimetrie oder Magnetik besteht darin, daß diese Leitfähigkeiten durch geoelektrische Sondierungen von der Oberfläche aus ermittelt werden können, und daß somit bei Vorhandensein genügend großer Leitfähigkeits-Kontraste im Bereich der interessierenden Strukturen eindeutige Interpretationen möglich sind. Die geoelektrischen Schlüssel Sondierungen ergeben gleichzeitig die Tiefen der Bezugshorizonte. Die Darstellung der Resultate in Kurven und Schnitten sieht Isanomalienkarten und Schnitten mit seismischen Phantomhorizonten sehr ähnlich.

Elektrische Messungen in Bohrlöchern werden im Abschnitt 6 erwähnt.

**5. Radioaktivität:** Für die von großer Bedeutung gewordene Prospektion auf Uranvorkommen wurden zahlreiche neuartige Meßgeräte entwickelt, welche auch in der Bohrlochgeophysik (siehe Abschnitt 6) Anwendung finden.

Vor wenigen Jahren wurden Radioaktivitätsmessungen ( $\gamma$ -Strahlen) als Mittel zur Abgrenzung von Erdölvorkommen propagiert; es wurde behauptet, die radioaktive Strahlung (unbekannter Herkunft) über Ölfeldern sei geringer als anderswo (bei Messung vom Flugzeug aus, in einigen 100 m über Boden . . .). Es ist aber um dieses Prospektionsverfahren wieder still geworden.

**6. Bohrlochgeophysik:** Auf diesem Gebiet sind wohl die größten Fortschritte erzielt worden: Neben den bekannten geoelektrischen Schlumberger-Logs (R-Log = Resistivity, Widerstandsmessung mittels Gleichstrom, SP-Log = spontane Polarisation, Spannungen entstehend vorwiegend durch Eindringen von Spülflüssigkeit in die porösen Schichten, sowie den Varianten des R-Logs: Mikro-Log, Latero-Log etc.) stehen heute folgende Meßanordnungen zur Verfügung:

- a) das Induktions-Log,
- b) radioaktive Messungen:
  - 1. das  $\gamma$ -Log
  - 2. Das Neutron-Log
  - 3. das  $\gamma$ — $\gamma$ -(Dichte-)Log,
- c) das kontinuierliche Geschwindigkeits-Log = CVL (Continuous Velocity-Log).

Zu a): Das I n d u k t i o n s - L o g ist in Bohrungen mit Spülgut auf Ölbasis (Nichtleiter) ein Ersatz des R-Logs und des SP-Logs, welche ein leitendes Spülmittel voraussetzen. Eine Stromspule in der Bohrlochsonde erzeugt in der Umgebung der Meßstelle ein magnetisches Wechselfeld, welches in elektrisch leitendem Gestein Ströme induziert, deren Magnetfeld gemessen wird. Dieses Verfahren liefert eher genauere Widerstandswerte als das R-Log. Es kann aber das SP-Log insofern nicht ersetzen, als damit nicht leitende, poröse Schichten nicht erfaßt werden können. Das Induktionslog wird heute meistens kombiniert mit Radioaktivitäts-Logs eingesetzt.

Zu b): R a d i o a k t i v i t ä t s - L o g s : 1.  $\gamma$  - L o g : Die Gesteine weisen einen regional einigermaßen charakteristischen Gehalt an radioaktiven Uran-, Thorium- und Kalium-Mineralien auf, welche  $\gamma$ -Strahlen emittieren. Pro Gramm Material ist die Strahlung der am schwächsten radioaktiven Sedimente (reine Sande, Steinsalz, reine Kalke) äquivalent derjenigen von 1 bis  $2 \cdot 10^{-12}$  g Radium, marine Lehme und



Mergel dagegen sind im Mittel rund fünfzigmal aktiver. Durch Einführen z. B. eines Geiger-Zählrohrs ins Bohrloch kann diese natürliche  $\gamma$ -Strahlung in Funktion der Tiefe registriert werden, und ein solches Log stellt ein neues Korrelationsmittel dar zwischen benachbarten Bohrungen. Im Gegensatz zu den elektrischen Logs ist dieses  $\gamma$ -Log praktisch unbeeinflusst von Verrohrung und Eigenschaften des Spülmittels. Das  $\gamma$ -Log ermöglicht, abgesehen von der Lokalisierung von Lagen radioaktiver Stoffe, z. B. als Ergänzung der R- und SP-Logs, die Unterscheidung von Mergeln (erhöht aktiv) und Sanden (wesentlich weniger aktiv) trotz Anwesenheit salzhaltiger Spülmittel oder Sättigung des Sandes oder Sandsteins mit Salzwasser. Anstelle von Geiger-Zählern werden neuerdings Scintillations-Zähler mit Photovervielfacherröhren verwendet, welche wesentlich empfindlicher und betriebssicherer sind.

2. Das Neutron-Log ist eigentlich ein künstliches  $\gamma$ -Log: Die Sonde führt eine Neutronenquelle mit; die (schnellen) Neutronen werden beim Eindringen in das Gestein durch Zusammenstöße mit den Atomkernen verlangsamt. Ein Teil der resultierenden langsamen Neutronen wird von den Atomkernen des Gesteins eingefangen ( $n, \gamma$ -Prozeß), wobei  $\gamma$ -Strahlen emittiert werden. Das Abbremsen der Neutronen erfolgt vorwiegend durch die Wasserstoffatome. Bei großer Porosität des Gesteins respektive bei Wasserführung der Poren geschieht das Abbremsen und Einfangen der Neutronen bereits in sehr kleiner Entfernung von der Quelle, und die abgestrahlten  $\gamma$ -Strahlen müssen dabei einen relativ großen Weg zum Detektor zurücklegen, welcher etwas oberhalb der Quelle angebracht ist, und sie werden entsprechend stark abgeschwächt. Falls wenig Wasser (oder Öl) vorhanden ist, durchlaufen die Neutronen im Gestein größere Wege und es gelangen ihrer mehr in die Nähe des Empfängers, und die registrierte Intensität steigt. Praktisch ist also das Neutron-Log ein Wasserstoff- oder approximativer Porositäts-Anzeiger. Auch dieses Verfahren ist neuerdings technisch verbessert worden: Es werden in der Sonde Teilchenbeschleuniger in Miniaturlösung als Neutronenquellen verwendet, wobei die Energie der Neutronen und damit die Eindringtiefe variiert werden können.

3. Beim  $\gamma-\gamma$ -Log führt die Sonde einen  $\gamma$ -Strahler mit. Die emittierten  $\gamma$ -Strahlen werden im umgebenden Medium gestreut. Bei genau konstant gehaltener Strahlungsintensität und geometrischer Anordnung zwischen Quelle und Bohrlochwänden und einem gegenüber der direkten Strahlung abgeschirmten Detektor ist die aus der Bohrlochumgebung zurückgestrahlte  $\gamma$ -Streustrahlung proportional der Materialdichte (dieses Verfahren wird z. B. auch zur Dichtebestimmung von Beton und anderer Stoffe verwendet). Das  $\gamma-\gamma$ -Log beschreibt somit den Verlauf der Dichte, respektive approximativ der Porosität. Dieses Meßverfahren wurde entwickelt als Hilfsmittel der Gravimetrie, d. h. um Aufschlüsse über die Dichteverteilung im Untergrund zu erhalten, es hat aber unabhängig davon als Log-Methode Bedeutung erlangt. Hervorgehoben wird die relativ große Reichweite dieses Verfahrens, wodurch Aufschlüsse über das durch die Bohrung unbeeinflusste Gestein gewonnen werden können.

Es würde zu weit führen, hier die Besonderheiten dieser Radioaktivitätslogs und ihre Vor- und Nachteile in bestimmten Schichtfolgen zu diskutieren. Normalerweise werden eines oder zwei derselben parallel zu elektrischen Logs eingesetzt.

Zu c): Auch das kontinuierliche Geschwindigkeits- oder «Akustik»-Log, abgekürzt C V L genannt, wurde vorerst als Hilfsmittel der Seismik entwickelt: Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit seismischer Wellen für Wellen mit Frequenzen von wenigen Hertz bis zum Ultraschallgebiet praktisch dieselbe ist, können die Geschwindigkeitswerte mit Hilfe von Ultraschallimpulsen über sehr kurze Strecken (0,5—2 m) im Bohrloch kontinuierlich gemessen werden. Ein solches Log liefert unvergleichlich viel mehr Aufschlüsse über die Verteilung der Geschwindig-

keitswerte längs des Weges reflektierter Wellen und besonders auch über die den Reflexionen zuzuordnenden Horizonte als die bisherigen Geschwindigkeitsmessungen in Bohrlöchern. Dem CVL verdankt man auch wichtige Erkenntnisse über das Entstehen bestimmter Reflexionsbilder bei gewissen lithologischen Übergängen, ferner ist ein solches Log sehr nützlich zum Erkennen der wiederholten Reflexionen (Multiples), zu deren Eliminierung sonst keine sicheren Kriterien bekannt sind. Unabhängig von der Verwertung für die Seismik gewinnt das CVL als Bohrlochverfahren an sich mehr und mehr an Bedeutung, da der Geschwindigkeitswert auch mit der Porosität der Gesteine zusammenhängt und dieses Log weitgehend unabhängig von der Art des Spülmittels ist. In porösen Sanden ist der Geschwindigkeitswert praktisch derjenige der die Poren füllenden Flüssigkeit, das heißt Öl- oder Gas-gesättigte Sande haben deutlich geringere V-Werte als wasserhaltige. Durch Kombination eines R-Logs mit dem CVL ist es z. B. möglich, Öl- und Gas-führende Sande zu lokalisieren: Im R-Log ist der Widerstand in solchen Sanden höher als in wassergesättigten, ein höherer Widerstand könnte aber auch durch eine Abnahme der Porosität bedingt sein, im letzteren Falle würde aber der V-Wert ansteigen, im Falle erdölführender Sande dagegen nimmt er ab.

Alle diese neuen Log-Verfahren, unter denen das  $\gamma$ - $\gamma$ -Log und das CVL die jüngsten und kaum ausgereiften sind, werden noch weiter entwickelt; es werden noch dauernd eine große Zahl von Varianten und Verbesserungen zum Patent angemeldet. Durch geeignete Kombination der verschiedenen Logs kann aber aus solchen Messungen heute schon sehr viel mehr über die Erdölführung poröser Schichten ausgesagt werden als noch vor wenigen Jahren.

### Verwendete Quellen

- Reports and Mid-Year-Interim Reports on Geophysical Activity in 1952–1956*, erschienen in *Geophysics* 1953–1957, Bände 18–22.
- 10 Aufsätze «*New Tools for the Geophysicist*», in *World Petroleum*, March 1957.
- Prospekte der verschiedenen Hersteller geophysikalischer Ausrüstungen*.
- Publikationen über neue seismische Apparaturen sowie über Auswerteverfahren der Gravimetrie*, erschienen 1954–1957 in *Geophysics* und *Geophysical Prospecting*.
- Ferner:
- Baranow, V., et Richard, H.*: Application des procédés modernes de calculs à la Géophysique, Bulletin de l'Ass. Française des Techniciens du Pétrole 1957, No. 121, 10 Seiten.
- Dix, C. H.*: Seismic Prospecting for Oil, Harper's Geoscience Series, Harper & Brothers, New York 1952, 414 Seiten.
- 7 Vorträge, gehalten 1953 im Institut Français du Pétrole, herausgegeben von diesem Institut, 72 Seiten.
- Geneslay, R.*: Les matériels de prospection géophysique. Revue techniques et applications du pétrole, 8 pages dans No. hors série: Le matériel pétrolier, 1956.
- Kunetz, G.*: Principles of Telluric Prospecting, Broschüre, herausgegeben von der Cie Générale de Géophysique, Paris, 19 Seiten.
- Migaux, L., et Kunetz, G.*: Apports des méthodes électriques de surface à la prospection pétrolière, Proc. of the 4th World Petroleum Congress, Rome, Section I/E, p. 545–574 (1955).
- Nostrand, A. van*: Enregistrement continu de vitesse, Revue de l'Institut Français de Pétrole 11 (1956), No. 6, p. 743–756.
- Poldini, E.*: Aufsätze über Schlumberger-Logs und Tellurik, erschienen im Bulletin VSP.
- Richard, H.*: Généralités sur la supermultiplication, Bulletin de l'Ass. Française des Techniciens du Pétrole 1957, No. 122, 14 Seiten.
- Vacquier, V., Steenland, N. C., Henderson, R. G., Zietz, I.*: Interpretation of Aeromagnetic Maps. Memoir 47 of the Geol. Soc. of America, 1951.
- Wyllie, M. R. J.*: The Fundamentals of Electric Log Interpretation, Academic Press Inc. New York 1957, 136 Seiten (es sind darin auch alle andern Logs behandelt).