

WIDERSTANDSANOMALIEN BEIM LATEROLOG:
DIAGNOSE UND KORREKTUR
Feldversuche und Modellrechnungen zum "Groningen-Effekt"

W. H. Fertl, L. Riepe, M. Schmelz

Zusammenfassung

Bereits in den 50er Jahren zeigten die mit fokussierten elektrischen Strömen arbeitenden Bohrlochmeßverfahren (Laterolog 7, Laterolog 3) unterhalb von hochohmigen Schichten (Anhydrit, Salz) Widerstandswerte an, die wesentlich größer als die tatsächlichen Widerstände waren ("Delaware-Effekt").

Eine ähnliche Anomalie ist später auch beim Dual Laterolog (DLL) für die stärker fokussierte und tiefer eindringende Widerstandsmeßkurve (Laterolog Deep) zuerst im Gasfeld Groningen beobachtet worden und wird seither als "Groningen-Effekt" bezeichnet.

Diese Effekte, die zu vorgetäuschten Kohlenwasserstoff-sättigungen führen können, sind u. a. unabhängig von der relativen Lage der Elektroden zum Rohrschuh und zu den hochohmigen Schichten sowie vom Widerstandscontrast.

Durch geänderte Anordnung der Stromrückführungs- bzw. Referenzspannungselektroden ist es prinzipiell möglich, das Auftreten des "Groningen-Effektes" zu erkennen und - unter günstigsten Voraussetzungen - auch meßtechnisch zu eliminieren.

Aus Modellrechnungen erzeugte Korrektur-Diagramme für die "Anti-Groningen"-Version des Dual Laterolog werden vorgestellt und der Einfluß der Elektrodenanordnung auf die Eindringtiefe der Widerstandsmessungen wird diskutiert.

In dem vorangegangenen Beitrag über Widerstandsmessungen sind bereits allgemein die gerätebedingten Einfluß- und Fehlergrößen bei Dual Laterolog-Messungen behandelt worden. Darin wurde der "Groningen-Effekt" als ein meßtechnisch ungelöstes Problem angesprochen. In unserem Beitrag berichten wir über Zwischenergebnisse neuester Untersuchungen, die sich mit meßtechnischen Korrekturmöglichkeiten des "Groningen-Effektes" befassen.

Das hier vorgetragene Material ist als vorläufiges Versuchsergebnis einer noch nicht abgeschlossenen Studie zu werten und beruht ausschließlich auf den gerätetechnischen Voraussetzungen des heutigen Dual Laterolog (Typ 1229) - Meßsystems von Dresser Atlas.

In zweierlei Hinsicht sind die hier vorgetragenen Untersuchungen von besonders aktueller Bedeutung:

1. Für die Kohlenwasserstoff-Exploration in Speicherhorizonten, die unterhalb hochohmiger Schichten liegen, wie z. B. bei Bohrungen im Zechstein.
2. Für die Untersuchungen extrem hochohmiger Schichten und Widerstandskontraste im Kristallin der KTB-Tiefbohrung.

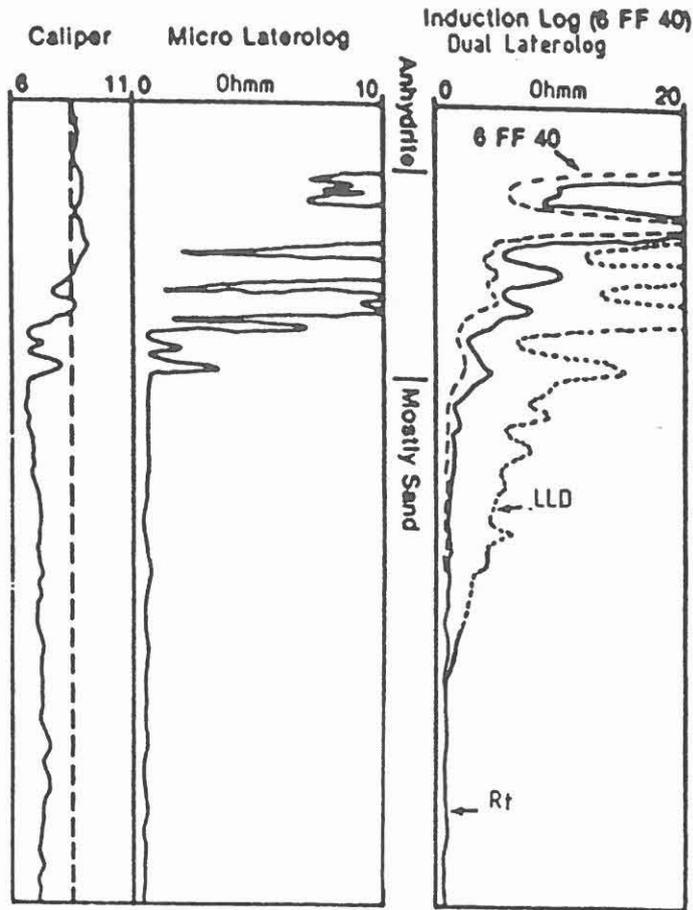
Abb. 1 ist ein typisches Beispiel zur Veranschaulichung des "Groningen-Effektes": unterhalb der extrem hochohmigen Anhydrit-Schicht zeigt die LLD-Kurve (Laterolog deep) ab einer bestimmten Teufe wesentlich höhere Widerstände mit nach oben zunehmender Tendenz, im Vergleich zu den beiden anderen Widerstandsmeßverfahren (Micro Laterolog, Induction Log).

Zusätzlich zu einer hochohmigen Grenzschicht ist das Vorhandensein einer Rohrtour (von der Grenzschicht bis zutage) die entscheidende Voraussetzung für das Auftreten des "Groningen-Effektes".

Abb. 2 ist die schematische Darstellung der Elektroden-Konfiguration mit den dazugehörigen Meß- und Fokussierströmen beim Dual Laterolog von Dresser Atlas.

Die symmetrische Meßsonde ist mit 7 Elektroden bestückt, die paarweise miteinander verbunden sind. Die metallischen Hüllrohre (5) der dazugehörigen Meßelektronik über und unter dem isolierten Sondenkörper dienen ebenfalls als Elektroden. Aus Strom- und Spannungsmessung läßt sich unter Einbeziehung der konstanten Sondengeometrie der Spezifische Formationswiderstand R ermitteln:

$$r = u/i \qquad r = R * L/A$$



Groningen-Effekt: LLD-Kurve, Rohrschuh im Anhydrit-Bereich Abb. 1

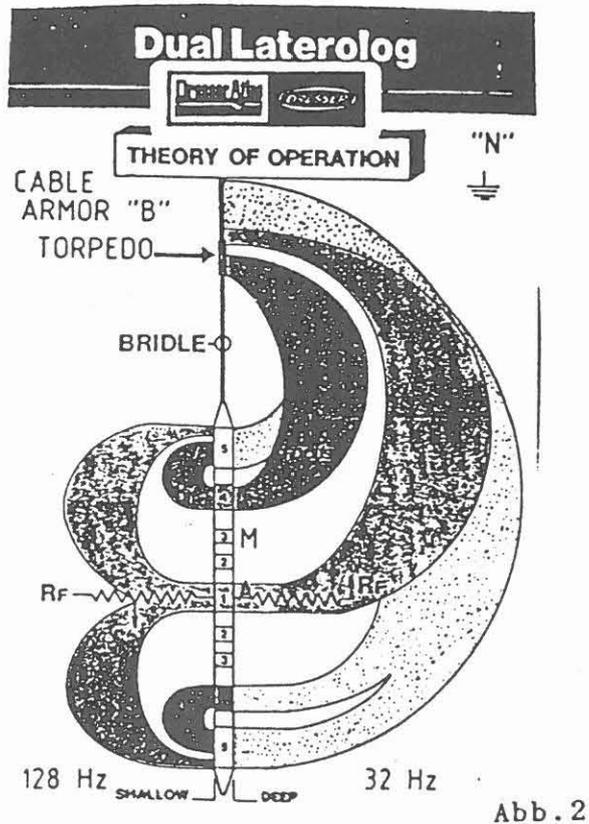


Abb. 2

Das "shallow" Meßsystem der linken Bildhälfte ist eine symmetrische Anordnung und bleibt damit unbeeinflusst vom "Groningen-Effekt". Anders sind die Verhältnisse beim "deep" Meßsystem in der rechten Bildhälfte:

Als Stromrückführungselektroden dienen Kabelarmierung und Torpedo. Dabei tritt der gesamte Strom nicht in einem eng begrenzten Kabelabschnitt zurück, sondern er verteilt sich normalerweise auf eine Wiedereintrittsstrecke von ca. 180 m. Wir stellen uns vor, daß sich dann die in Abb. skizzierte Potentialverteilung entlang des Bohrlochs einstellen würde.

Bedingt durch die verschiedenen großen Elektrodenflächen der Stromaustritts- (A) und Rückführungselektrode (B) ergeben sich unterschiedliche Übergangswiderstände, die zusammen mit der veränderlichen Größe des umgebenden spezifischen Widerstandes, das Abfallen des Potentials bestimmen.

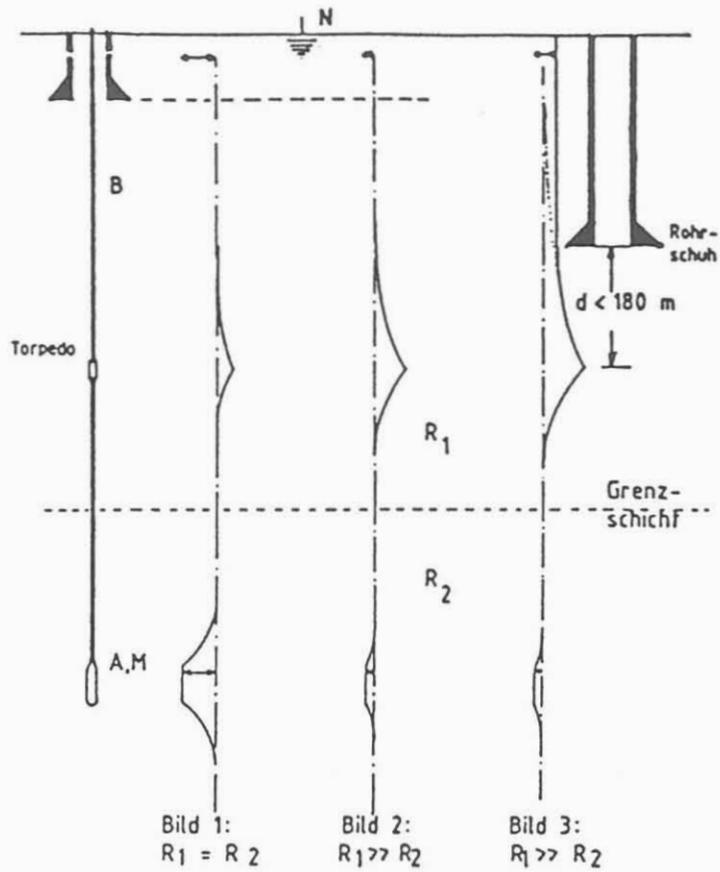
Im linken Teil (Bild 1) von Abb. 3 ist der qualitative Potentialverlauf skizziert für den Fall, daß der Formationswiderstand im zu messenden Abschnitt konstant bleibt.

Bild 2 in Abb. 3 veranschaulicht, welche Veränderung sich ergeben würde, wenn wir einen großen Widerstandskontrast einführen. Sowohl in Bild 1 als auch in Bild 2 ist die an der Oberflächenelektrode N abgegriffene Spannung ein unverfälschtes Maß für den Formationswiderstand in der Umgebung der Meßstromelektrode A.

Das stimmt nicht mehr, sobald die Entfernung zwischen Rohrschuh und Torpedo 180 m unterschreitet. Dann passiert (Bild 3) nämlich folgendes: im Vergleich zur Kabelarmierung besitzen die Rohre einen wesentlich geringeren Widerstand. Dieser Widerstand ist so klein, daß durch den Wiedereintritt des Meßstromes näherungsweise kein Potentialabfall entlang der Rohrtour entstehen kann. Damit herrscht an der Oberflächenelektrode N ein Potential, das ungefähr dem Potential am Rohrschuh entspricht. Damit wird der Spannungsabgriff an N verfälscht: eine zu große Spannung wird gemessen und ein entsprechend zu hoher Widerstand aufgezeichnet.

Mit dieser sehr vereinfachten Modellvorstellung können wir also das Zustandekommen des "Groningen-Effektes" meßtechnisch erklären.

Abb. 4 zeigt mit welcher meßtechnischen Änderung dieser Störeffekt ausgeschaltet werden kann: die Stromrückführungselektrode wird nach unten gelegt "B", so daß die Referenzelektrode N nicht länger durch Potentialänderungen entlang der Kabelarmierung bzw. der Rohrtour beeinflusst werden kann. (Abb. 4, Bild 4).



DLL: Standard-Konfiguration

Abb. 3

Potentialverlauf entlang des Bohrlochs

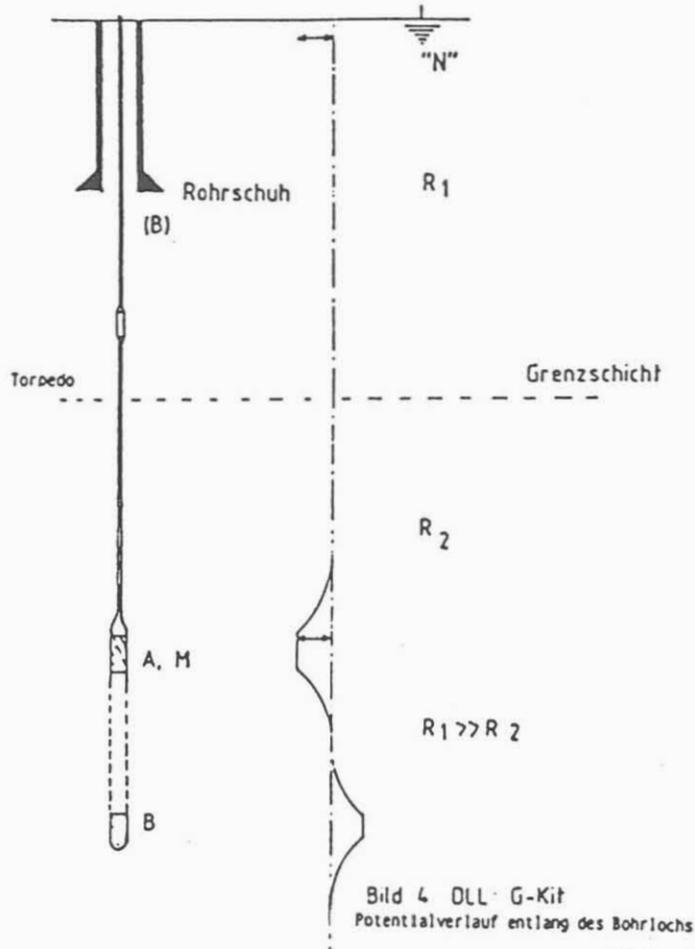


Bild 4 DLL: G-Kit
Potentialverlauf entlang des Bohrlochs

Abb. 4

Aus Abb. 5 geht hervor, in welchen Abständen unterhalb der Meßelektrode diese neue Stromrückführungselektrode bisher verwendet worden ist.

In der DLL-Standard-Konfiguration (Bild 1) beträgt der Abstand zwischen Meßelektrode und Stromrückführungselektrode (Torpedo plus Kabelarmierung) 26 m.

Beim Umschalten auf die untere Stromrückführungselektrode (bei der DLL-G-Kit Konfiguration) verkürzt sich dieser Abstand auf 9 m (Bild 2) bzw. auf 10,6 m (Bild 3). Außerdem verringert sich die effektive Oberfläche der Stromrückführungselektrode, was ebenfalls zu berücksichtigen ist.

Wie wirken sich diese geometrischen Änderungen auf das Meßergebnis aus?

Um diese Frage quantitativ beantworten zu können, wurden Modellrechnungen nach dem bekannten "Geometrical Factor"-Konzept durchgeführt.

Die Eindringtiefe von LLD in Abhängigkeit vom Abstand (zwischen Stromaustritts- und Rückführungselektrode) und vom Widerstandskontrast zwischen Spülung (R_m) und Formation (R_t) kann anhand von Diagrammen bestimmt werden.

Abb. 6 zeigt das Ergebnis für den Fall, daß anstelle des Standard-Abstandes von 26 m ein auf 7 m verkürzter Abstand gewählt wird.

1. Beispiel:

Bei der Standard-Konfiguration von 26 m und einem Widerstandskontrast von 1000:1 kommen 75% des LLD-Signals aus der Umgebung der Meßsonde bis zu einem Radius (bzw. Eindringtiefe) von knapp 49" (1,24 m). (Vorstellung eines zylindrischen Meßvolumens, konzentrisch zum Bohrloch). Durch die Verkürzung des Abstandes auf 7 m vermindert sich die Eindringtiefe auf 41,5" (1,05 m). Bei der Standard-Konfiguration (Abb. 5, Bild 1) bewirkt die Verkürzung des Elektrodenabstandes eine um ca. 15% geringere Eindringtiefe.

2. Beispiel:

Das Diagramm in Abb. 7 erlaubt die Abschätzung der Eindringtiefe für den Fall, daß die Stromrückführungselektrode unterhalb der Meßsonde angeordnet ist, nach der in Abb. 5, Bild 3 gezeigten Konfiguration.

Unter der Annahme eines Widerstandskontrastes von 1000:1 entspricht einem 75% Signal ein Meßvolumen-Durchmesser von 75" (1,90 m), d. h. die LLD-Messung hat eine radiale Eindringtiefe von 0,95 m.

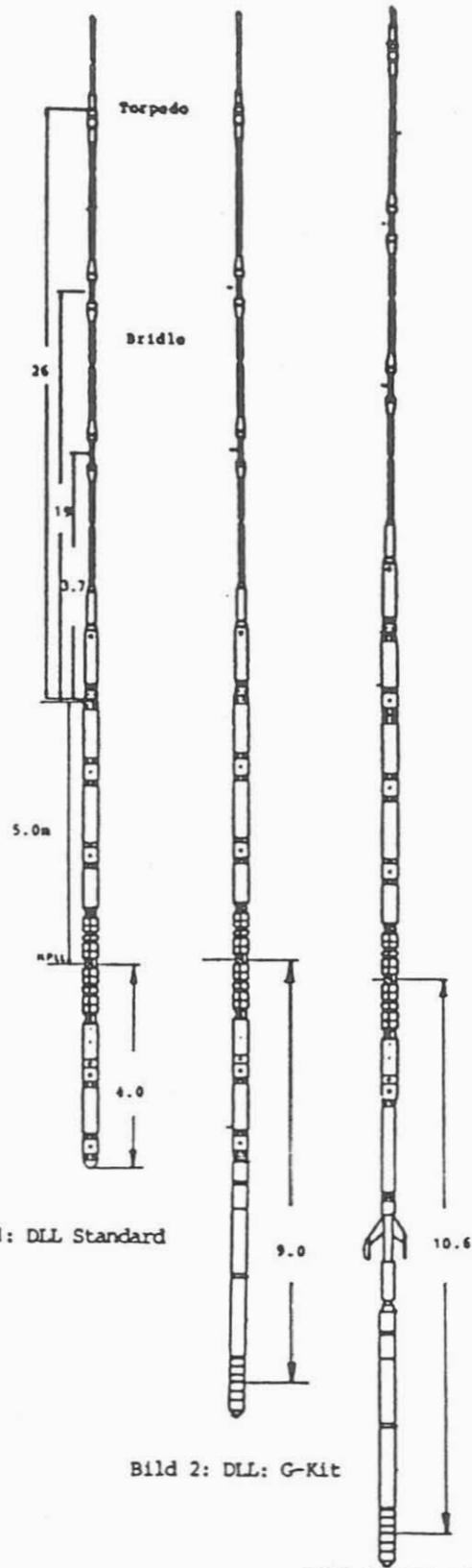
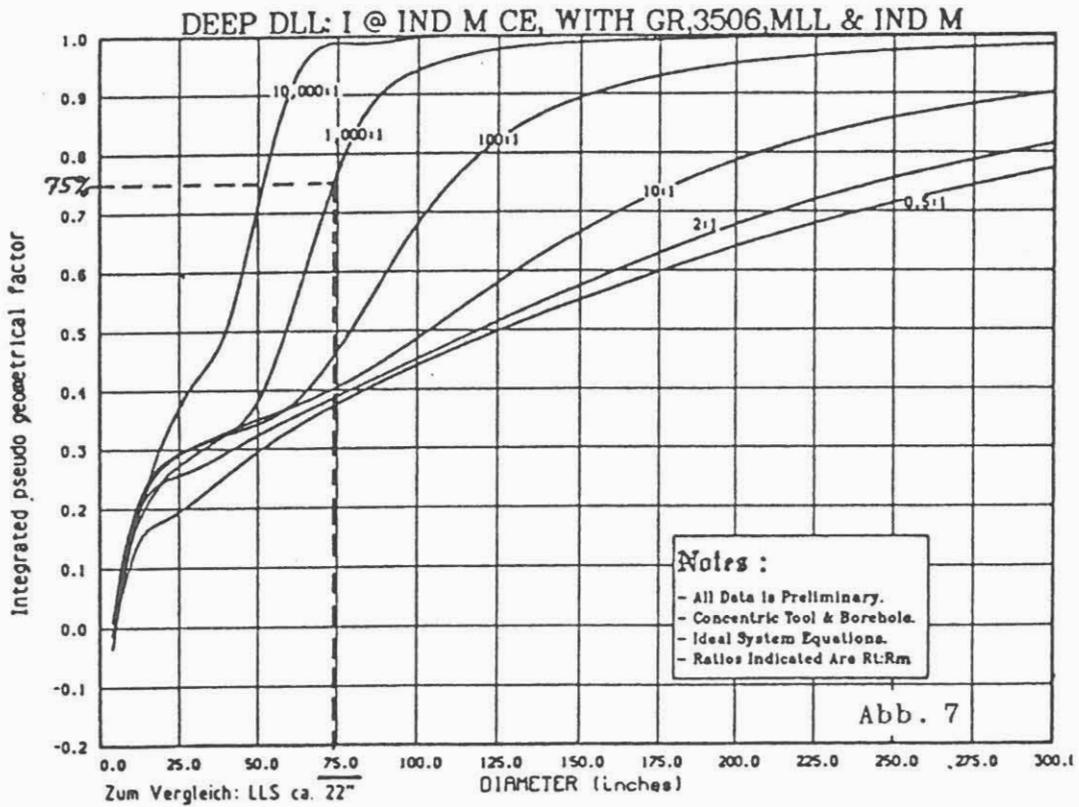
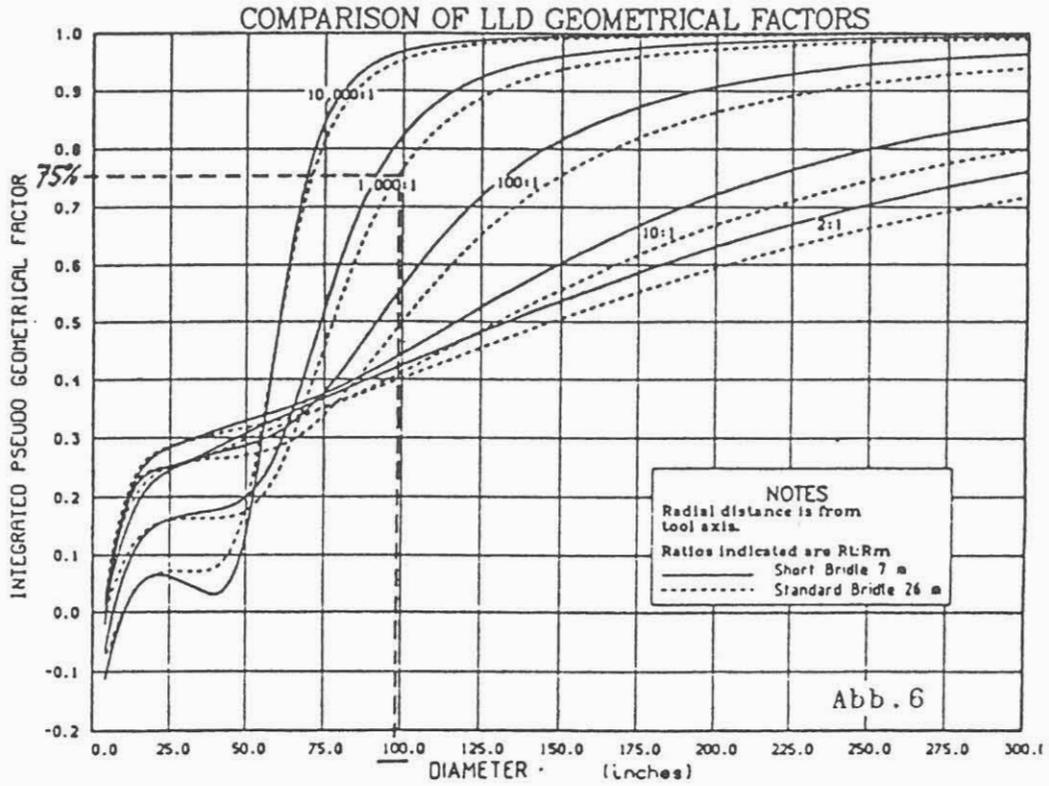


Bild 1: DLL Standard

Bild 2: DLL: G-Kit

Bild 3: DLL + MLL + G-Kit

Abb. 5



Demnach hat die Verlegung der Stromrückführungselektrode unter die Meßsonde eine ca. 24% geringere Eindringtiefe der LLD-Messung zur Folge. Damit bleibt jedoch der markante Unterschied zur Eindringtiefe des "shallow" Laterolog weiterhin gewahrt.

Schlußfolgerungen

Der Vergleich von Messungen mit unterschiedlichen Positionen der Stromrückführungselektrode ermöglicht das Erkennen des "Groningen-Effektes".

Außerdem liefert die mit Hilfe der G-Kit Konfiguration gemessene LLD-Kurve - unter bestimmten Voraussetzungen - quantitativ brauchbare Werte.

Das Feldbeispiel in Abb. 8 zeigt deutlich den Korrektur-Effekt der "Anti-Groningen" Version des Dual Laterolog (G-Kit). In mehreren Fällen konnten die LLD (G-Kit) Messungen durch Vergleiche mit anderen Widerstandslogs im Trägerbereich bestätigt werden. Diese Feldbeispiele wurden noch nicht zur Veröffentlichung freigegeben.

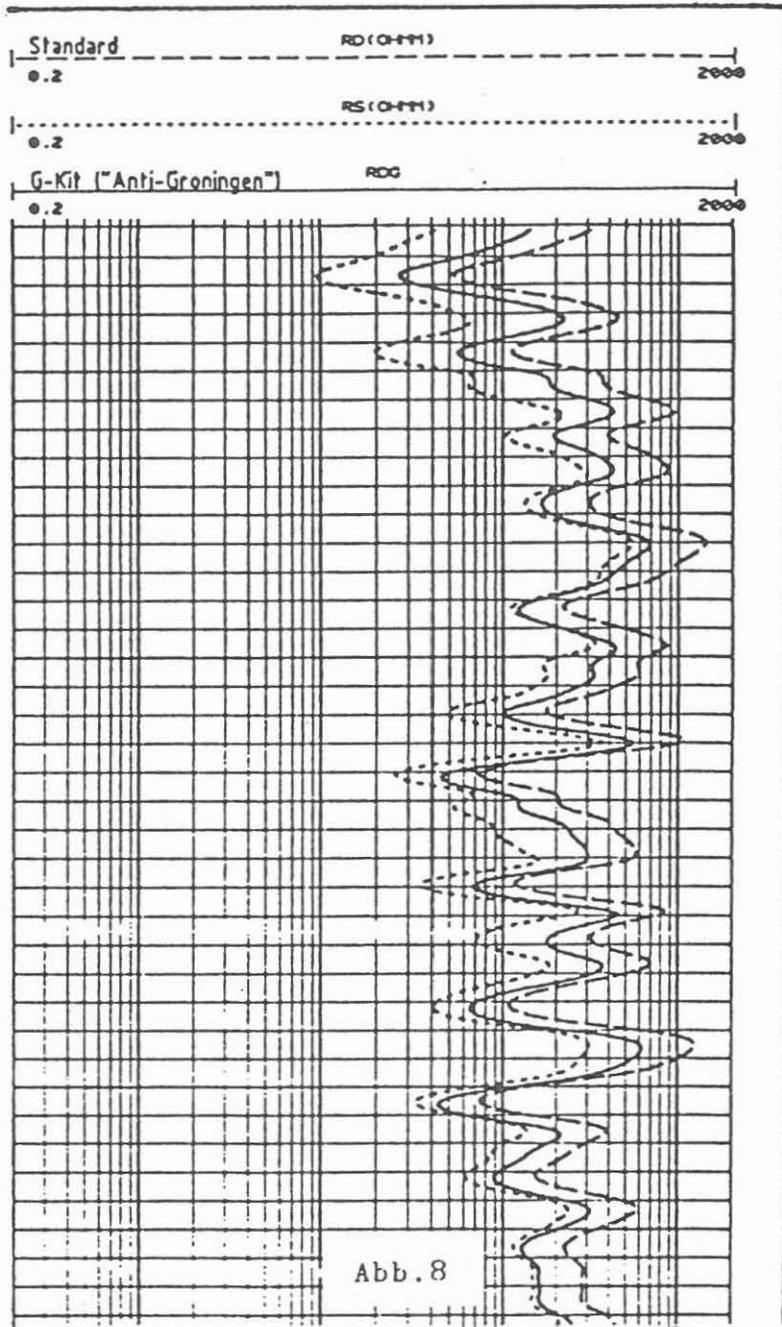
Da nach wie vor eine Asymmetrie in der Elektroden-Konfiguration gegeben ist, wurden beim Messen extrem hochohmiger Schichten Abweichungen gegenüber der Standardmessung beobachtet, die mit der noch zu geringen Elektrodenoberfläche bei der jetzigen G-Kit Konfiguration zusammenhängen.

Andere Störeffekte (z. B. kurz vor dem Einfahren in die Verrohrung) lassen sich durch den Einbau von isolierten Zwischenstücken im Meßgerätestrang ausschalten.

Ausblick

An der gerätetechnischen Verbesserung der G-Kit Konfiguration wird weiter gearbeitet, so soll u. a. demnächst die gleichzeitige Aufzeichnung von zwei LLD-G-Kit Kurven erprobt werden.

Ziel der laufenden Modellrechnungen ist die Erstellung eines kombinierten Korrektur-Algorithmus für die Laterologmessung, in dem die wichtigsten Einflußgrößen gleichzeitig erfaßt werden, darunter auch der "Groningen-Effekt" und die Auswirkung des Widerstandscontrastes geringmächtiger Schichten (Squeeze-Effekt) bzw. die "bed thickness correction" (Abb. 9 und 10).



DEEP LATEROLOG - BED THICKNESS CORRECTION

CONDUCTIVE BEDS $R_T/R_M = 20$ RESISTIVE BEDS $R_{SH}/R_M = 20$

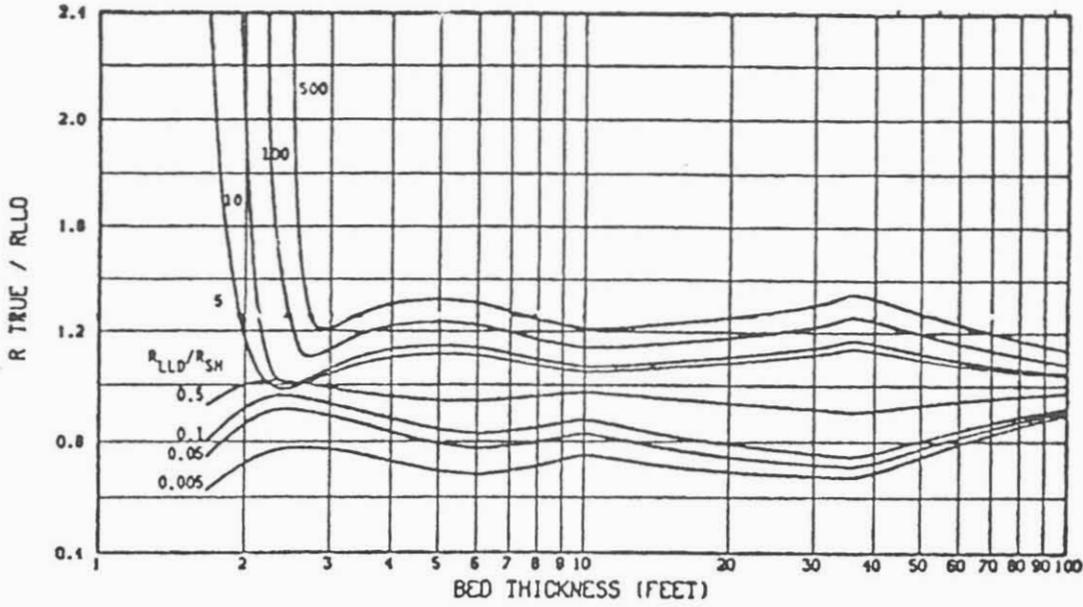


Abb. 9



SHALLOW LATEROLOG - BED THICKNESS CORRECTION

CONDUCTIVE BEDS $R_T/R_M = 20$ RESISTIVE BEDS $R_{SH}/R_M = 20$

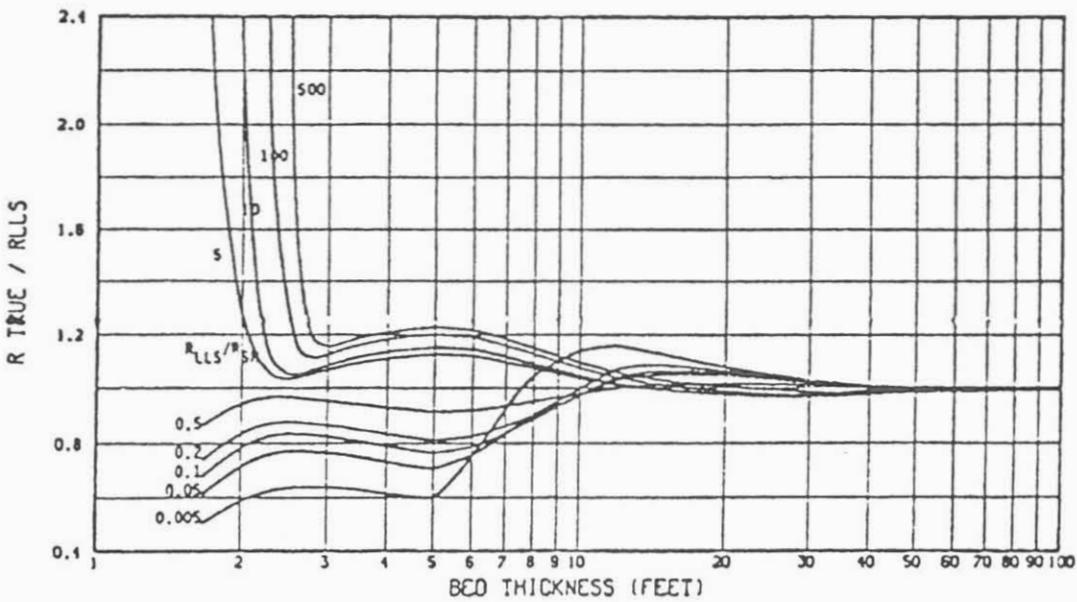


Abb. 10



Quellennachweis

Die Modellrechnungen wurden von R. W. Khokar (Dresser Atlas, Houston) durchgeführt. Außerdem wurden firmeninterne Berichte von H. Lechen (Dresser Atlas, Bremen) und von D. Beard (Dresser Atlas, Aberdeen) mit einbezogen.

Im Text verwendete Abkürzungen und Symbole:

G-Kit : "Groningen-Kit" bezeichnet die gerätetechnische Ausführung der "Anti-Groningen" Schaltung.
LLD : Meßkurve des "deep" Laterolog
RD : Meßkurve des "deep" Laterolog - Standard
RDG : Meßkurve des "deep" Laterolog - "Anti-Groningen"
RS : Meßkurve des "shallow" Laterolog
R : Spezifischer Widerstand (allgemein)
L : Länge
A : Querschnitt
u : Spannung
i : Strom

Literaturhinweise

- Dresser Atlas (1982): Well Logging and Interpretation Techniques, The Course for Home Study, 466 p., Houston (Dresser Industries)
- Bateman, R. M. (1985): Open-Hole Log Analysis and Formation Evaluation, 647 p., Boston (Reidel IHRDC), Dordrecht (Kluwer)
- Desbrandes, R. (1985): Encyclopedia of Well Logging, 584 p., Paris (Editions Technip)
- Fertl, W. H., Hammack, G. W. (1972): Resistivity Gradients Observed on the New Dual Laterolog and the Laterolog, in "The Log Analyst", July-August, 1972, 29-31