

ANWENDUNGEN DES FORMATION-MICROSCANNERS IN DEUTSCHLAND UND ÖSTERREICH

P. M. Lloyd, R. Lingnau

Zusammenfassung

Durch den Einsatz des Formation-MicroScanners (FMS) in Explorationsbohrungen Deutschlands und Österreichs konnte vielfach ein weitaus höherer Informationsgewinn über fazielle und tektonische Zustände der durchteuften Formation erzielt werden. Hauptanwendungen lagen dabei auf

- der Erkennung von Klüften in Verlauf und Ausbildung,
- der Erkennung sekundärer Lösungsporositäten in Karbonaten,
- der Analyse nicht gekernter Bereiche und/oder von Zonen mit geringem Kerngewinn,
- der Erfassung von Sedimentstrukturen und geringmächtigen Wechsellagerungen zur Analyse der sedimentären Fazies,
- der Unterscheidung produktiver bzw. unterschiedlich vertonter Speicherfazies,
- der Erkennung von diagenetisch bedingten Änderungen der Speicherfazies.

In allen Anwendungsschwerpunkten erbrachte der Formation-Micro-Scanner einen eindeutigen Informationsgewinn, der in Verbindung mit den anderen "Standardlogs" eine weitaus umfassendere Analyse der durchteuften Formationen erlaubte. Gleichzeitig erbrachte die Analyse der FMS-Images häufig ein besseres Verständnis für die Ergebnisse der anderen gemessenen Logs.

I. Einleitung

Als die Gebrüder Schlumberger im Jahre 1927 mit den ersten Bohrlochmessungen begannen, bezeichneten sie dieses als "Elektrisches Kernen". Seitdem sind verschiedene Techniken entwickelt worden, um Porosität, Kohlenwasserstoffsättigung und Permeabilität der in einem Bohrloch durchteuften Schichten zu messen. Das Ziel, ein reales Abbild der Formation - ein "Kernphoto" - zu erhalten, ist aber noch immer nicht erreicht.

1985 wurde durch die Einführung des Formation-MicroScanners (FMS) ein weiterer Schritt in diese Richtung unternommen. Die Sonde liefert ein hochauflösendes Widerstandsprofil (Image) der Bohrlochwand, welches Schichtung, Klüfte, sedimentäre und diagenetische Änderungen der Speicherfazies erkennen läßt. Zahlreiche Tests in verschiedensten klastischen und karbonatischen Formationen zeigten im Vergleich mit vorhandenem Kernmaterial ausgezeichnete Ergebnisse. Im folgenden sollen einige Beispiele aus unterschiedlichen Anwendungen in Deutschland und Österreich vorgestellt werden.

II. Sondentechnik

Die FMS-Sonde ähnelt konstruktiv dem Standard-SHDT mit je 2 Meßelectroden auf 4 rechtwinklig zueinander stehenden Sondenarmen. Zusätzlich sind jedoch auf 2 orthogonalen Armen je 27 Meßelectroden angebracht, die 2 orientierte, ca. 7 cm breite Widerstandsprofile der Bohrlochwand ermöglichen.

Für ein 8 1/2" Bohrloch ergibt sich daraus eine Überdeckung der Bohrlochwand von ca. 20 %, die durch zwei- bis dreimaliges Überfahren der interessanten Bereiche auf 40-50 % gesteigert werden kann. Voraussetzung ist hier eine entsprechende Rotation der Sonde zwischen den einzelnen Meßläufen.

Das Gerät liefert simultan Standard-SHDT Daten und bei Bedarf - nach Zuschalten der zusätzlichen Elektrodenfelder - Daten für das FMS-Image. Die Darstellung der Daten erfolgt in der Regel nach einer zuvor notwendigen Geschwindigkeitskorrektur und einem Ausgleich der unterschiedlichen, technisch bedingten Elektrodenempfindlichkeiten als Widerstandsprofil gegen die Teufe. Die gemessenen Widerstände werden dabei relativ zueinander in eine 16-stufige Grauskala umgesetzt. Je höher die Leitfähigkeit einer Schichtenheit, desto dunkler die entsprechende Farbe in der Darstellung.

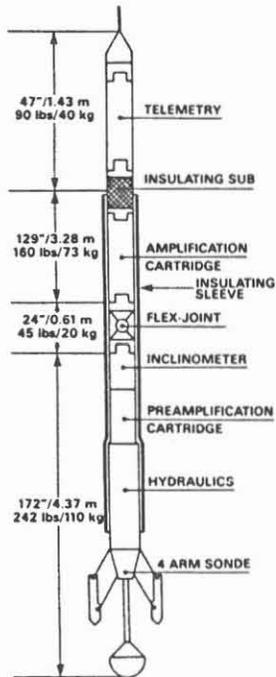
Hauptanwendungen der FMS-Sonde liegen in der Erkennung von Klfitten, sekundärer Porosität in Karbonaten, geringmächtigen Wechsellagerungen und Sedimentstrukturen sowie diagenetischen Veränderungen der Gesteinsfazies.

Einschränkungen in den Einsatzmöglichkeiten ergeben sich bei Ölspülungen und Drücken bzw. Temperaturen oberhalb von 1400 bar bzw. 175°C. Ebenso ist der Einsatz der Sonde derzeit auf Bohrlochdurchmesser größer als 5 7/8" begrenzt.

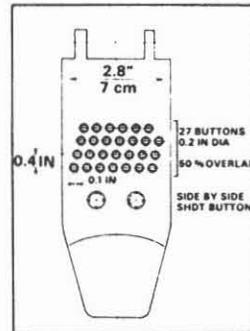
Einen Überblick über die technischen Merkmale des Formation-MicroScanners gibt Abb. 1.

The Tool - Technical Specifications

THE TOOL



THE PAD CONFIGURATION



20% BOREHOLE COVERAGE FROM IMAGES IN 8 1/2" HOLE

GENERAL SPECIFICATIONS

- Length	31 ft	(9.45 m)
- Weight	537 lbs	(243 kg)
- Minimum closing diameter	5.0 inches	(127 mm)
- Minimum recommended hole size	6 1/4 inches	(160 mm)
- Maximum opening diameter	21 inches	(533 mm)
- Pressure rating	20,000 psi	(1400 bars)
- Temperature rating	350 deg F	(175 deg C)
- Logging speed		
Dip and Images	1600 ft/hr	(500 m/hr)
Dip only	3200 ft/hr	(1000 m/hr)

OUTPUTS

- ALL NORMAL DIPMETER INFORMATION.
- TWO SETS OF MICRO ELECTRICAL RESISTIVITY CURVES (2 PADS X 27 BUTTONS).
- TWO 7 cm WIDE BOREHOLE IMAGES SET AT RIGHT ANGLES TO EACH OTHER.
- (IMAGING ARRAYS ON PADS 3 + 4).

OPERATIONAL LIMITATIONS

- CONDUCTIVE MUDS ONLY.
- TOOL ROTATION RATE SHOULD NOT EXCEED 1 TURN PER 40 ft (12 m).
- HOLE DEVIATIONS UP TO 70° CAN BE LOGGED WITHOUT ANY SONDE COLLAPSE.

III. Klufiterkennung und -beurteilung mit dem FMS

Eines der hervorragenden Anwendungsgebiete des FMS ist die Klufiterkennung. Er ermöglicht eine Bewertung der Käfte unter verschiedenen Aspekten:

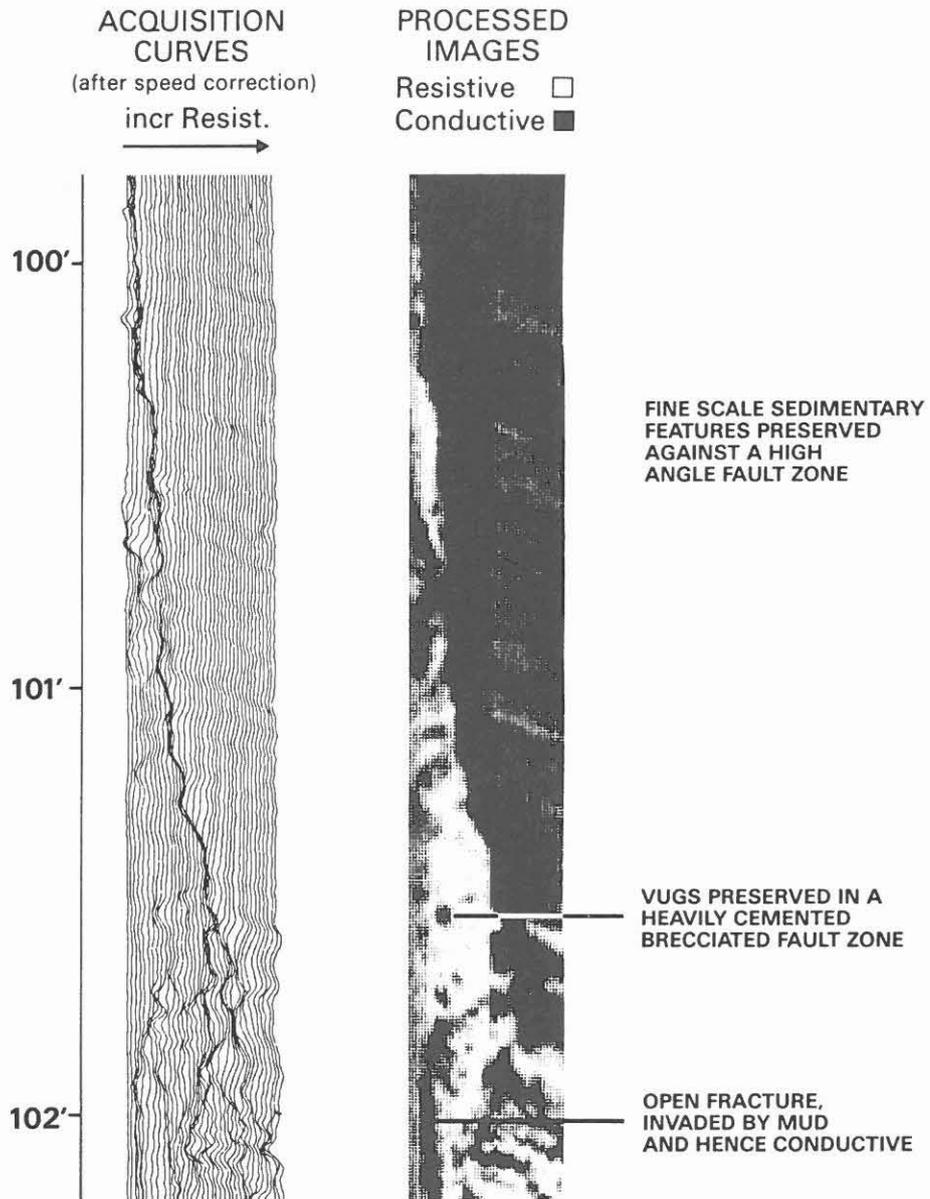
- offene oder mineral-verheilte Kluft
- Einfallrichtung und -winkel
- vertikale Kluftausdehnung im Bohrloch
- natürliche oder durch den Bohrvorgang induzierte Kluft.

Nachfolgend einige Beispiele zur Kluftbeurteilung aus Bohrungen in Deutschland und Österreich. Abb. 2 zeigt die bereits geschwindigkeitskorrigierten FMS-Meßkurven über einer steil einfallenden Störungszone und das resultierende Image. Die stark zementierte Störungszone hebt sich mit ihren hohen Widerständen auf dem Image deutlich gegen die permeablere, von der leitfähigen Spülung infiltrierten Formation ab. Innerhalb der ungestörten Formation ist, bedingt durch geringe Permeabilitätsunterschiede, eine feine sedimentäre Schichtung erkennbar. Einzelne größere Poren und steile offene Klüfte zeichnen sich ebenfalls durch dunkle Grautöne ab.

Abb. 3 zeigt ein orientiertes Zusammenspiel der Images aus drei Meßläufen über dieselbe Zone eines jurassischen Karbonatspeichers. Durch die Rotation der Sonde zwischen den einzelnen Meßläufen ergibt sich hier eine Überdeckung der Bohrlochwand von ca. 50 %, die eine räumliche Orientierung der auftretenden Klüfte erlaubt. Am unteren Endpunkt einer steil nach ENE einfallenden, von der Spülung infiltrierten Kluft zeigt sich eine weitere kurze ENE streichende Kluft, die als durch den Bohrvorgang induzierte Kluft interpretiert wird.

Bohrungs-induzierte Klüfte zeigt ebenfalls ein Beispiel aus dem Rotliegenden W-Deutschlands (Abb. 4). Während das vorliegende Kernmaterial keine Klüfte aufweist, lassen die FMS-Images deutlich nahezu vertikale spülungsinfiltrierte Klüfte erkennen. Der nahezu vertikale Verlauf der Klüfte parallel zur

Image Processing



Analysis of Fracture Strike and Dip

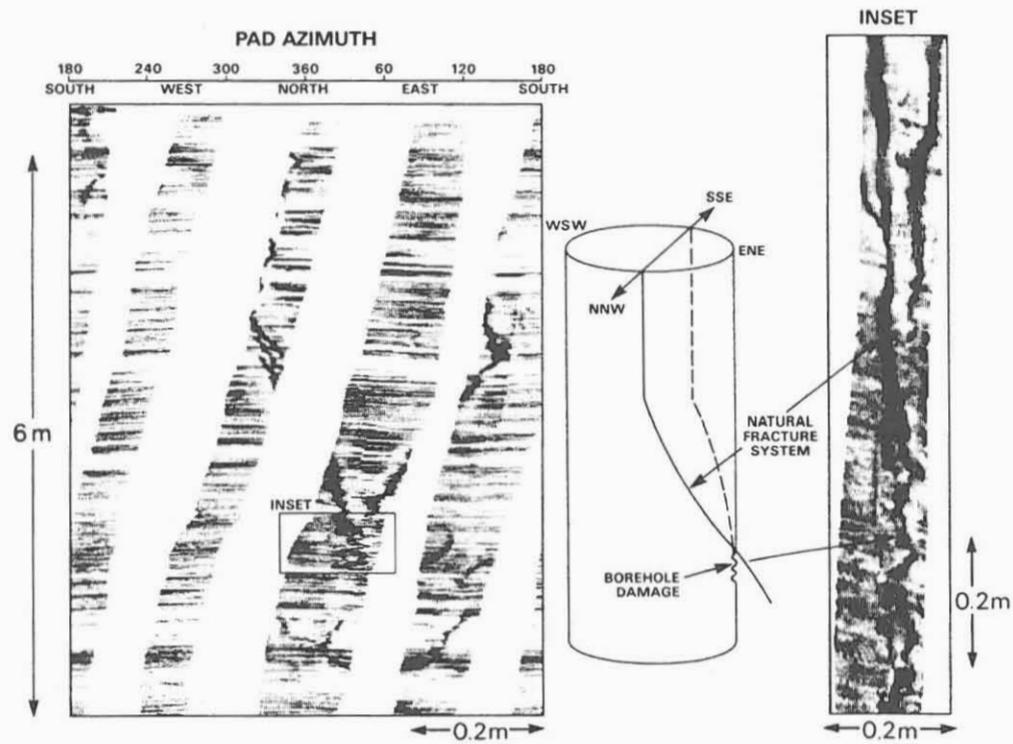
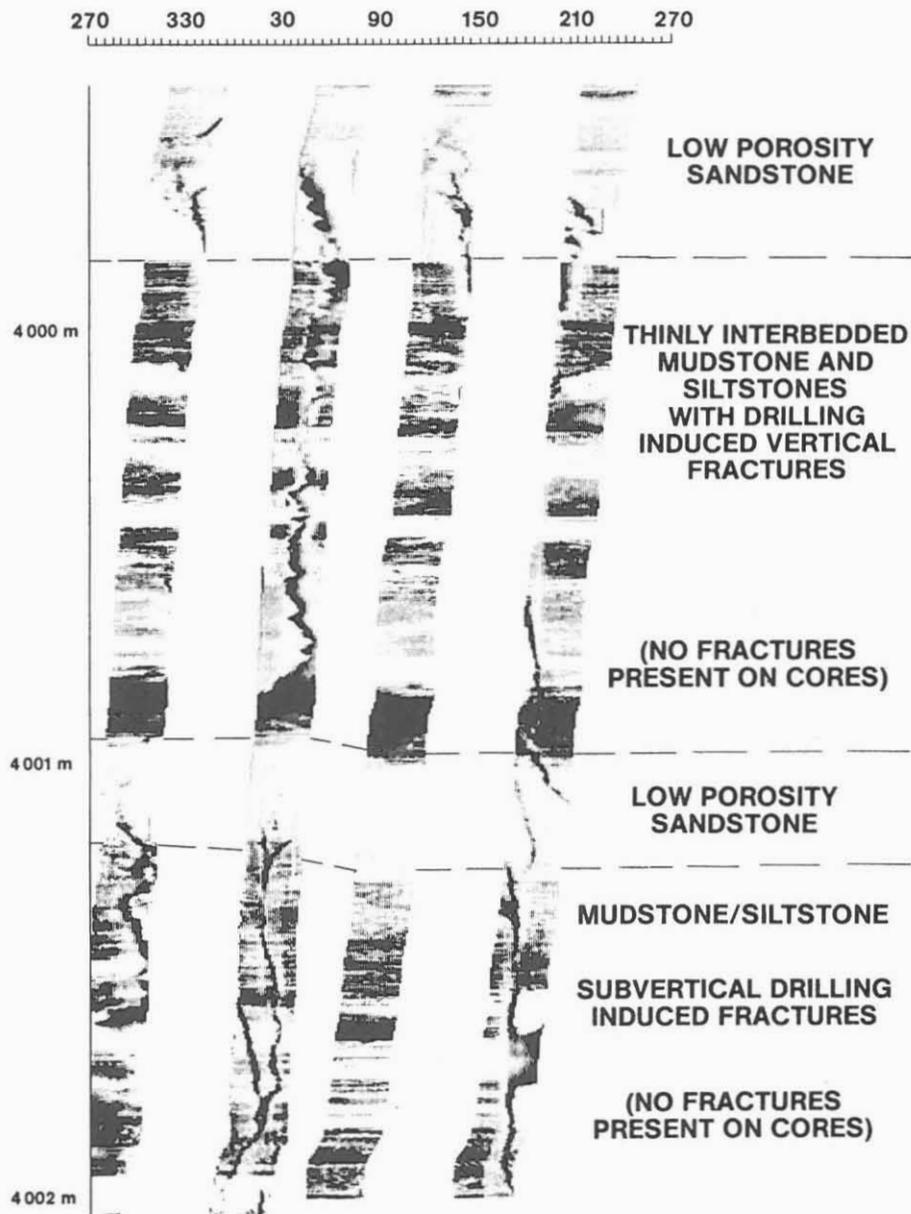


Abb. 4

Induced Fractures



Bohrlochwand und das Ausheilen an stärker zementierten Sandsteinlagen legen eine Interpretation als induzierte Klüfte nahe. Die oft unscharfe seitliche Begrenzung der Klüfte im FMS Image kann als weiterer Hinweis gelten. Ursache dürfte in diesem Beispiel eine über mehrere Tage erfolgte Erhöhung des hydraulischen Spülungsdruckes sein, die nötig wurde, um das festgefahrene Bohrgestänge zu lösen.

In tektonisch stark beanspruchten Zonen ist der erzielte Kerngewinn oft sehr gering, so daß nur stark eingeschränkte Aussagen über die durchteufte Formation gemacht werden können und ein Einhängen der gewonnenen Kernstücke nahezu unmöglich ist. Ein Beispiel aus dem Malm Süddeutschlands zeigt, wie auch hier mit Hilfe des FMS relativ detaillierte Informationen über Kluff- und Gesteinsausbildung gewonnen werden können (Abb. 5). Deutlich erkennbar ist ein engständiges offenes Kluftsystem in einer stark zementierten (hohe Widerstände) Gesteinsmatrix.

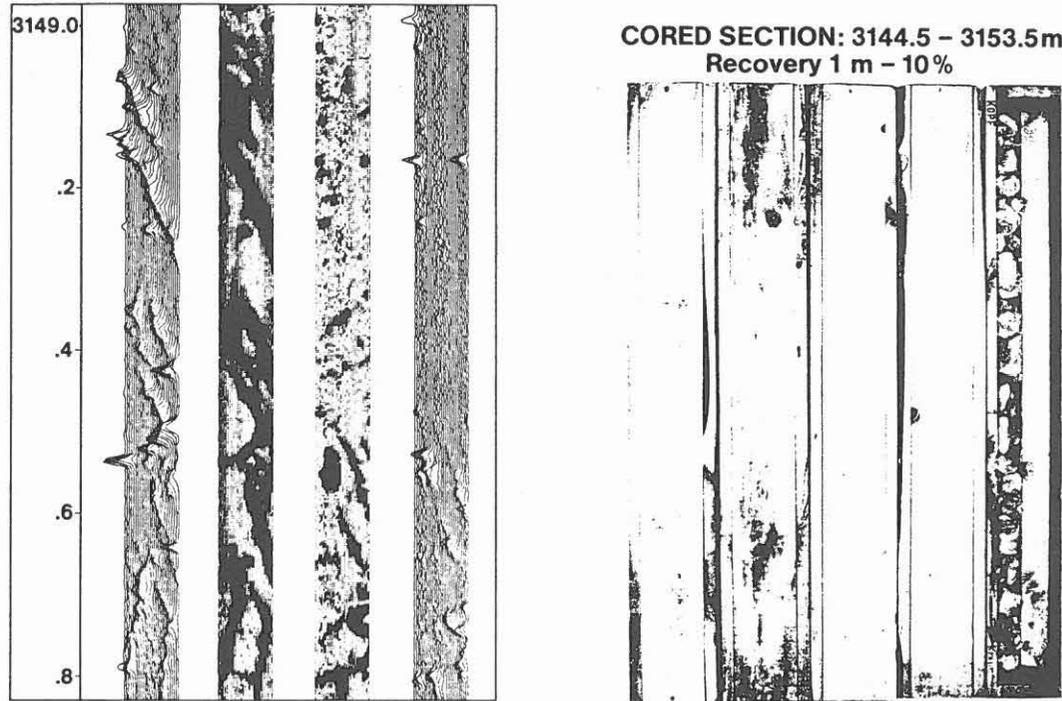
IV. Formationsanalyse mit dem FMS

Ein weiterer Schwerpunkt des FMS liegt in der Anwendung in Formationen, die aufgrund von geringmächtigen Wechsellagerungen, Heterogenitäten oder Faziesänderungen mit anderen Meßverfahren nur schwer interpretierbar sind.

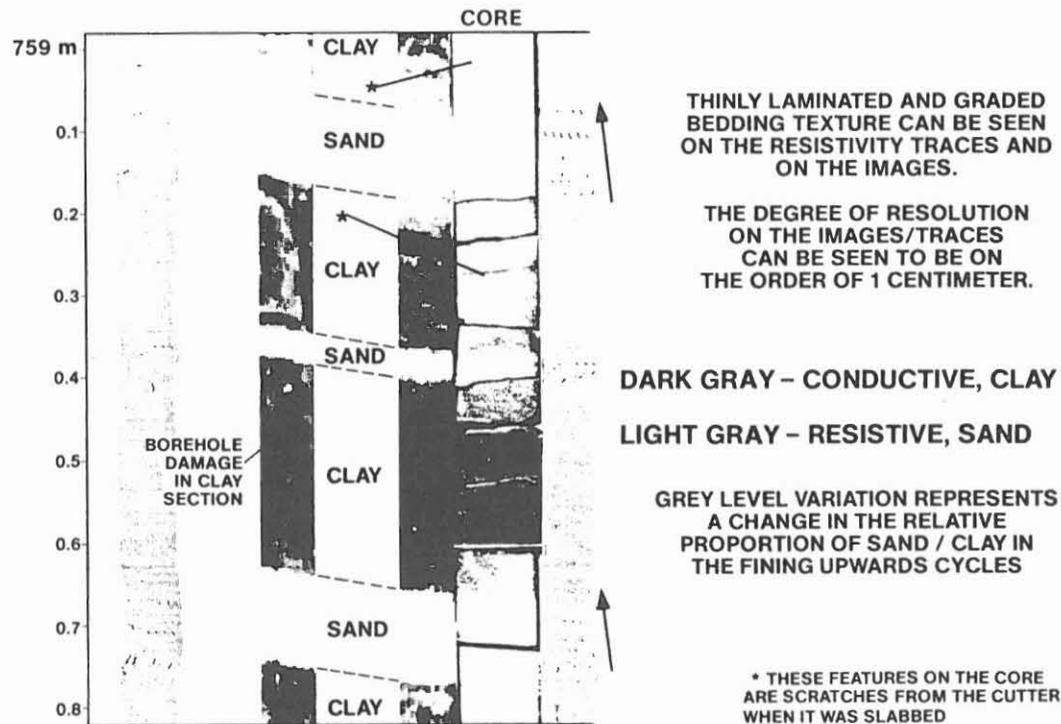
Ein Beispiel (Abb. 6) aus dem Molassebecken Österreichs zeigt die gute Vergleichbarkeit des FMS-Images mit S/W-Kernphotos. Einzelne dünne Sandlagen mit ca. 2 cm Mächtigkeit sind aufgrund ihrer höheren Widerstände ebenso erkennbar wie die feine Lamination und gradierte Schichtung individueller Sandlagen.

In der mehr proximalen Fazies dieser eozänen Puchkirchen Formation ist mit den Standardlogs eine Unterscheidung zwischen Konglomeraten mit sandiger bzw. toniger Matrix und/oder Sandsteinen und somit zwischen potentiell produktiver und nicht produktiver Speicherfazies kaum möglich. Mit Hilfe des FMS lassen sich hier weitere, für eine Lagerstättenanalyse wichtige Informationen gewinnen.

Zones of Poor Core Recovery



Thinly Bedded Sands 1



In dem gezeigten Beispiel (Abb. 7) wird eine Zone mit hohem Widerstand (Kalkpelit) scharf von einer mosaikartig gefleckten Zone überlagert, die ihrerseits in einen Bereich mit hohen Widerständen, der am Top einzelne Laminationen erkennen läßt, überleitet. Den Abschluß bildet ein Bereich mit niedrigen Widerständen. Aus dem Vergleich mit vorhandenem Kernmaterial ergab sich die folgende Faziesentwicklung: die Basis bildet ein Konglomerat mit leitfähiger toniger Matrix, welches unscharf in einen reinen Sandstein überleitet. Den Abschluß bildet nach einer geringmächtigen, feinlaminieren Sand-/Tonstein-Wechselfolge ein leitfähiger Tonstein. Insbesondere das Mosaikgefüge an der Basis aber auch die restliche Sequenz konnte in weiteren Bohrungen innerhalb dieser Formation wiedererkannt werden, so daß auch ohne vorhandenes Kernmaterial eine umfassende Analyse der lateralen Faziesentwicklung möglich war.

Ein anderes typisches Beispiel für fazielle Fragestellungen ergab sich im Randbereich eines Erdölfeldes mit kretazischen Speichergesteinen in Norddeutschland (Abb. 8).

Mit Hilfe der Standardlogs ergab sich keine verlässliche Aussage, ob der vorliegende Speicher bereits vollständig vertont oder noch ein geringes Speicherpotential in Form dünner Sandlagen vorhanden war. Auf dem über die fragliche Zone gewonnenen FMS-Image sind deutlich die noch vorhandenen Sandsteinlagen von den leitfähigeren Tonsequenzen unterscheidbar. Ebenso läßt sich in der unteren, ca. 80 cm mächtigen Sandsteinbank, eine durch feine Tonlagen bedingte weitere Untergliederung in feinere Einheiten erkennen. Das Image liefert keine Aussagen über vorhandene Porositäten, erlaubt aber in Verbindung mit den übrigen Logs eine bessere Einschätzung der Lagerstättenfazies und somit des Speicherpotentials.

Ebenso wie sedimentäre Strukturen lassen sich häufig auch diagenetisch bedingte Änderungen einer Gesteinsfazies anhand des FMS-Images beurteilen. In dem gezeigten Beispiel (Abb. 9) ist in einem undeutlich schräggeschichteten Sandstein an der Basis die unregelmäßige Zementation des Gesteins an den

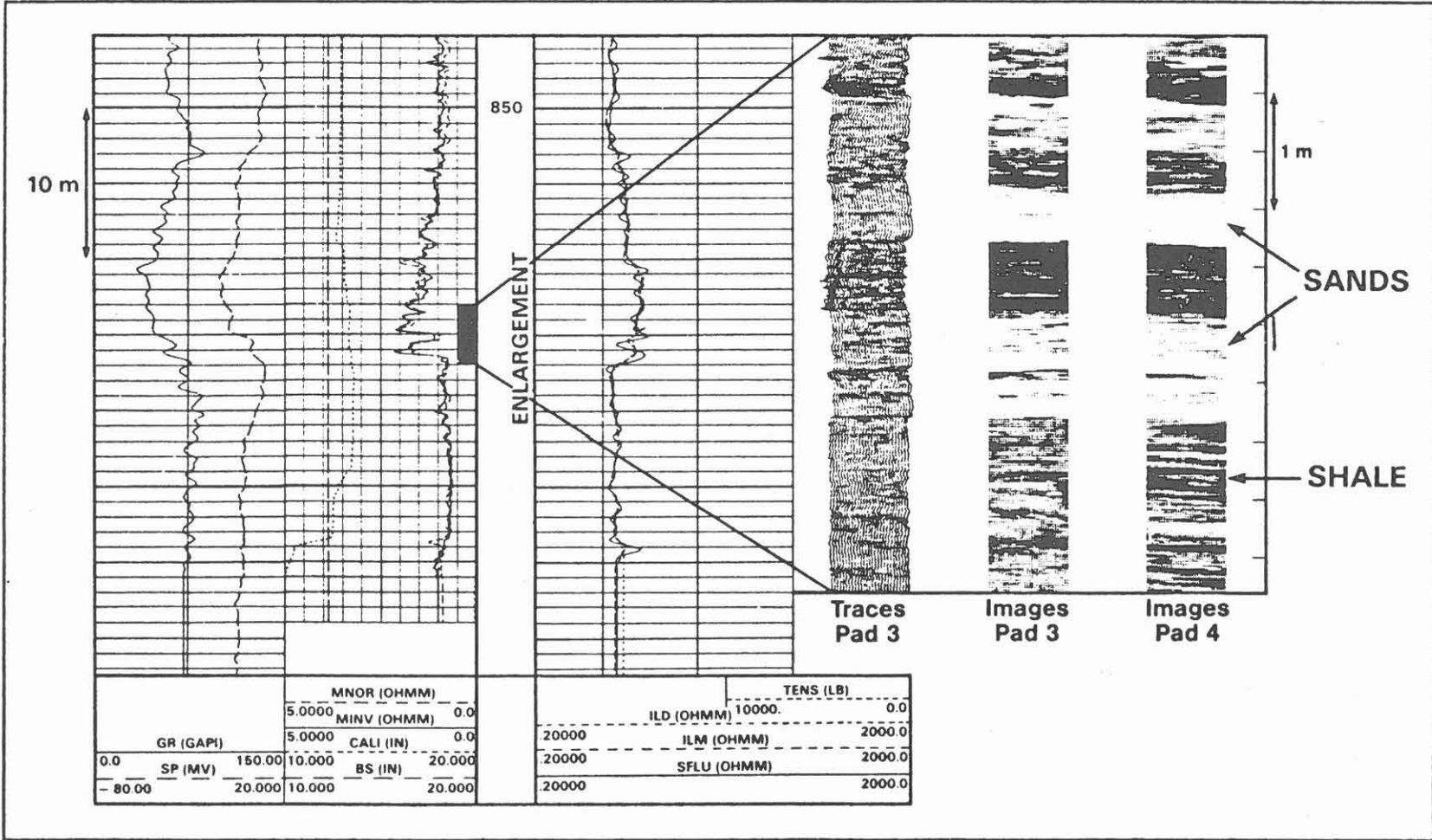
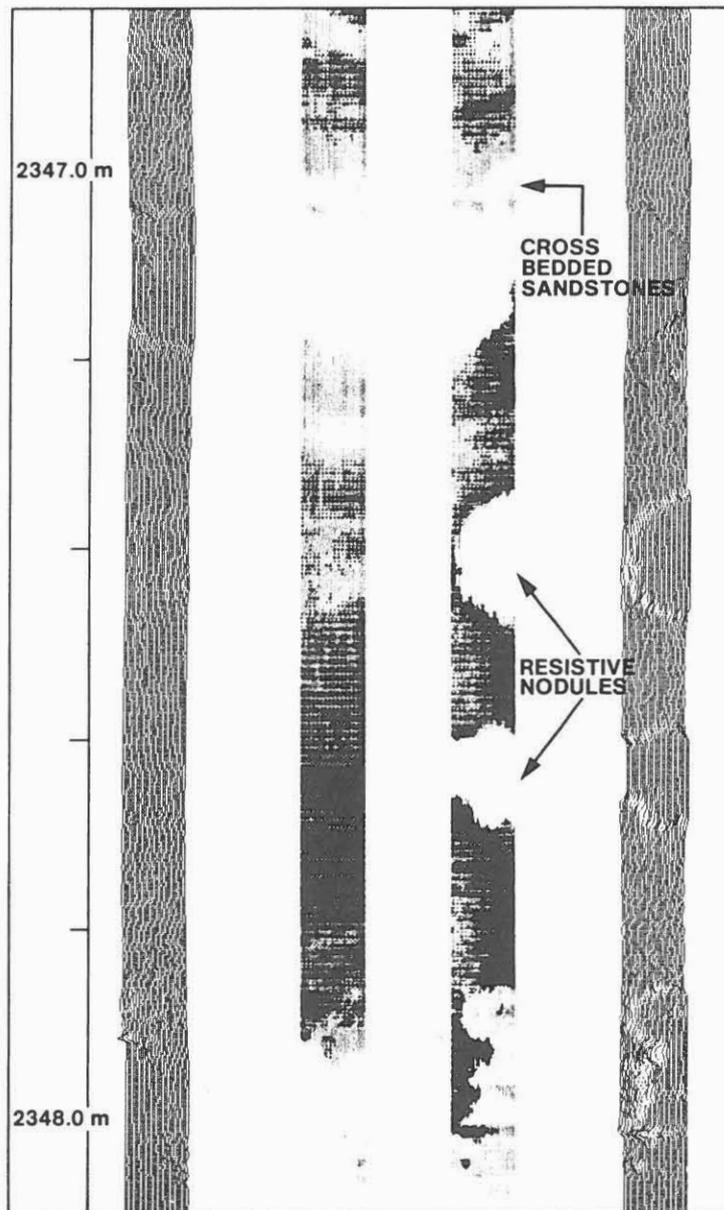


Abb. 8

Nodular Concretions



höheren Widerständen zu erkennen. Zum Hangenden treten verstärkt bis zu 10 cm große, dicht zementierte Konkretionen auf. Die Standard-Porositätslogs hatten hier eine gemittelte, einheitliche Porosität von 12 % angezeigt. Eine Aussage über unregelmäßige Porositätsverteilungen war aufgrund des geringeren Auflösungsvermögens dieser Sonden nicht möglich.

V. Literatur

Ekstrom M. P., Dahan C. A., Chen M. Y., Lloyd P. M. und Rossi D. J., Formation Imaging with Micro-Electrical Scanning Arrays, SPWLA 27th Annual Logging Symposium, Houston, 11.-12. Juni 1986.

Ekstrom M. P., Chen M. Y., Rossi D. J., Locke S. und Aron J., High Resolution Microelectrical Borehole Wall Imaging, SPWLA 10th European Symposium, Aberdeen, 23.-24. April 1986.

Lloyd P. M., Dahan C. und Hutin R., Formation Imaging from Micro Electrical Scanning Arrays: A New Generation of Stratigraphic High Resolution Dipmeter Logging Tool, SPWLA 10th European Symposium, Aberdeen, 23.-24. April 1986.