

Vergleich von Dichte und photoelektrischer Absorption  
zwischen Messungen von Schlumberger  
(Litho-Density Log) und Western Atlas International  
(Z-Densilog)

**VERGLEICH VON DICHTEN UND PHOTOELEKTRISCHER ABSORPTION  
ZWISCHEN MESSUNGEN VON SCHLUMBERGER (LITHO-DENSITY LOG)  
UND WESTERN ATLAS INTERNATIONAL (Z-DENSILOG).**

H. Gatto

**ZUSAMMENFASSUNG**

Um einen Vergleich von Messungen der Dichte sowie der photoelektrischen Absorption durchzuführen, wurde bei der ersten Meßserie der Pilotbohrung KTB-Oberpfalz VB je ein Gerät der Firma Schlumberger sowie der Firma Western Atlas International eingesetzt.

Die Auswertung ergab eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den beiden Logs. Die Differenz der gemittelten Logdichten im Beobachtungsintervall von 90 - 430 m beträgt lediglich 0,014 g/cm<sup>3</sup>. Im niederen Dichtebereich ist dabei jene von Western Atlas geringfügig größer, im hohen Bereich dagegen jene von Schlumberger, im Vergleich zur jeweils anderen Dichte.

Aufgrund des Bohrverfahrens mit Rollenbohrkronen standen in diesem Abschnitt Kerne nur lückenhaft zur Verfügung. Ein Vergleich mit den Logs war daher nur in selektiven Intervallen mit gutem Kerngewinn zweckmäßig, der ebenfalls eine ausgezeichnete Übereinstimmung ergab.

Eine Möglichkeit, um die absolute Genauigkeit der Dichtelogs zu überprüfen, bot sich im Marmorabschnitt von 129 - 131 m an. Es handelt sich hier um einen Kalzitmarmor, der folglich eine Dichte von 2,71 g/cm<sup>3</sup> aufweisen müßte. Die exzellente Übereinstimmung der Logdichten von 2,71 g/cm<sup>3</sup> (Schlumberger) bzw. 2,72 g/cm<sup>3</sup> (Western Atlas) demonstriert die Verlässlichkeit der Dichtelogs.

Verglichen wurde auch die photoelektrische Absorption, die mangels anderer Daten nur im Marmorabschnitt auf ihre Genauigkeit überprüft werden konnte. Hier liegt Schlumberger um 0,51 barns/e über und Western Atlas um 0,06 barns/e unter dem Sollwert von 5,08 barns/e. Darüber hinaus fällt auf, daß bei kleiner Absorption die Differenz zwischen den beiden Absorptionskurven geringer ist als bei hoher.

## SUMMARY

In the first logging suite of the pilot borehole KTB-Oberpfalz VB a comparison was made between logs of Schlumberger and Western Atlas International, namely density and photoelectric absorption.

The analysis shows a very good agreement between the logs. The difference of their averaged densities over the interval from 90 - 430 m was a tiny 0.014 g/cm<sup>3</sup>. At low densities, the ones of Western Atlas were slightly above those of Schlumberger and vice versa at high densities.

The drilling method with roller bore crowns did not always allow a good core recovery. Therefore a comparison of core densities with log densities had to be restricted to selected intervals. An excellent agreement exists also between these data with only negligible differences.

A good horizon to check the correctness of the density values is the marble from 129 - 131 m. Investigations revealed that its composition is almost a pure calcite, hence with a known density of 2.71 g/cm<sup>3</sup>. The good agreement of 2.71 g/cm<sup>3</sup> (Schlumberger) and 2.72 g/cm<sup>3</sup> (Western Atlas International) demonstrates the absolute accuracy of the density logs.

On the other hand this is not surprising as the tools are calibrated in limestone so that no matrix effect can be expected.

Whether this is also true for crystalline rocks shall be investigated in a further report through comparison of log densities with core densities over a more suitable interval for this purpose.

Also compared was the photoelectric absorption which again was done in the marble section. Over the whole interval the averaged log value of Schlumberger was 0.51 barns/e above and that of Schlumberger was 0.51 barns/e above and that of Western Atlas 0.06 barns/e below the book value of 5.08 barns/e. It can be noticed that the difference between the curves is hardly noticeable for low absorption values but is getting bigger for higher ones.

---

Anschrift des Autors: Konsulte für Bohrlochgeophysik,  
Auftragnehmer des Niedersächsischen Landesamtes für Boden-  
forschung, Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik  
Deutschland, Projektleitung, Stilleweg 2, 3000 Hannover 51.



## 1 Einleitung

Die kontinuierliche Bestimmung der Dichte in einer Bohrung lässt sich mit Hilfe einer geeigneten Bohrlochsonde relativ schnell und preiswert ausführen. Die erfolgreiche Vermessung von Bohrungen in sedimentären Gesteinen ist in der Literatur vielfach belegt; z.B. SERRA (1984).

Für die Vermessung von kristallinen Bohrungen liegen bisher nur wenige Erfahrungen vor. Es wurden daher anlässlich der ersten Messerie in der Pilotbohrung KTB-Oberpfalz VB (KTB-Report 87-4) sowohl Messungen von Schlumberger als auch von Western Atlas International ausgeführt. Ziel der nachfolgenden Untersuchungen ist es daher (vergl. hierzu auch Teilziel 2 der Bohrlochgeophysik; KTB-Report 87-3) zu prüfen, inwieweit beide Messungen vergleichbar sind. Ausserdem sollen zur besseren Bewertung der Bohrlochmessungen die an Bohrkernen und Bohrklein erfolgten Dichtebestimmungen des Feldlabors gegenübergestellt werden.

Simultan mit der Dichtebestimmung wird auch der photoelektrische Absorptionsindex registriert, der nützliche Hinweise zur Lithologie des durchteuften Gesteins liefern kann. Deshalb soll auch dieser Parameter aus den beiden Messungen verglichen werden.

## 2 Allgemeine physikalische Grundlagen

Beim Beschuss von Materie mit Gammastrahlen, können im wesentlichen drei Reaktionen eintreten, nämlich die Paarbildung, der Compton-Effekt und der Photoeffekt. Welche von den Reaktionen eintritt, hängt von der Energie der Gammastrahlen ab. Für diesen Bericht sind dabei nur die beiden letzten Prozesse interessant, da die zur Paarbildung notwendige Energie von 1,02 MeV, durch die Verwendung einer Cäsium-137 Quelle von nur 662 KeV, nicht erreicht wird. Die Wahrscheinlichkeit mit der ein Gammastrahl mit Materie reagiert, wird durch den für jeden Prozess charakteristischen Einfangquerschnitt, auch Wirkungsquerschnitt genannt, ausgedrückt.

Unter Compton-Effekt versteht man die Wechselwirkung zwischen Gammastrahlen mit Elektronen, bei der ein Gammaquant nur einen Teil seiner Energie an ein Elektron abgibt. Es erfährt dadurch eine Richtungsänderung, wird also gestreut, und fliegt mit einer entsprechend kleineren Frequenz weiter.

Beim Photoeffekt verwandelt sich die Energie eines Gammaquants restlos in kinetische Energie eines Elektrons und dessen Austrittsenergie. Der Gammastrahl wird also vom Kern absorbiert und ein Elektron ausgestossen.

Dieser Prozess ist am wahrscheinlichsten, wenn die Energie des Gammastrahls klein und die Protonenzahl des Atoms gross ist.

## 2.1 Bestimmung der Dichte

Ein Teil der von einer radioaktiven Quelle (Cäsium 137) emittierten Gammastrahlen wird von einem Detektor registriert. Ihre Intensität ist dabei eine Funktion des Abstandes  $L$  zwischen Quelle-Detektor sowie der Streu- und Absorptionseigenschaften des Gebirges. Da die letzteren in erster Linie von der Dichte des Mediums abhängen, kann so indirekt ein kontinuierliches Dichteprofil erstellt werden. Für diesen recht komplexen Vorgang kann annäherungsweise geschrieben werden:

$$n = n_0 e^{-n_e \sigma_c L}$$

dabei bedeuten:

$n$  ... Anzahl der registrierten  $\gamma$ -Strahlen  
 $n_0$  .. Anzahl der emittierten  $\gamma$ -Strahlen  
 $n_e$  .. Elektronen/Volumeneinheit  
 $\sigma_c$  .. Compton-Wirkungsquerschnitt/Elektron  
 $L$  ... Distanz Quelle-Detektor.

Die Lösung dieser Gleichung besagt, dass die Anzahl der Elektronen pro Volumeneinheit eine lineare Funktion des Logarithmus der vom Detektor registrierten Gammastrahlen ist:

$$n_e = (1/\sigma_c L) \ln (n_0/n).$$

Die Dichte eines Minerals kann nun aus der Anzahl der Elektronen pro Volumeneinheit abgeleitet werden. Ein Mineral der Dichte  $\rho$  hat  $(N/A)\rho$  Atome und folglich mit  $Z$  Elektronen pro Atom:

$$n_e = N (Z/A) \rho$$

dabei bedeuten:

$\rho$  ... wahre Dichte des Gesteins  
 $Z$  ... Protonenzahl  
 $A$  ... Atomgewicht  
 $N$  ... Avogadro-Konstante ( $6,02 \times 10^{23}$ /mol).

Für die leichteren Elemente und viele gesteinsaufbauende Mineralien ist der Quotient aus  $Z/A$  bzw.  $EZ$ /Molgew. nahe bei 0,5, mit Ausnahme von Wasserstoff, für den er quasi 1,0 beträgt. Man kann nun einen Elektronendichte-Index  $\rho_e$  definieren:

bzw.  $n_e = N \rho_e / 2$

$$\rho_e = 2n_e / N.$$

Um den Einfluss des Wasserstoffs im Porenwasser und des geringfügig abweichenden Verhältnisses von Z/A für Kalkstein (0,49955) zu kompensieren, wird zwischen  $\rho_e$  und der von einem Gerät ermittelten Raumdichte  $\rho_b$  folgende Beziehung hergestellt:

$$\rho_b = 1,0704 \rho_e - 0,1883.$$

Für die meisten Gesteine ist die so ermittelte Dichte  $\rho_b$  praktisch identisch mit der wahren Dichte  $\rho$ , sodass nur bei Gesteinen mit abweichendem Z/A, wie beispielsweise Sylvit, Halit, Kohle etc. grössere Differenzen auftreten.

Abschätzungen haben ergeben (BÜCKER et al. 1989), dass auch für die kristallinen Gesteine angenähert Z/A=0,5 gilt. Inwieweit jedoch die Beziehung  $\rho_b = \rho$  ihre Berechtigung hat, wird speziell in der Arbeit von BÜCKER et al (1989) geprüft. In der vorliegenden Studie soll neben dem Vergleich Schlumberger/Western Atlas International auch versucht werden, Hinweise auf die Fragestellung zu finden, ob mit den in sedimentären Gesteinen erprobten Messsonden auch verlässliche Daten im Kristallin zu erwarten sind.

Die Eindringtiefe der Gammastrahlen liegt in der Grössenordnung von ca 10 cm und ist eine Funktion der Gesteinsdichte. Sie ist umso kleiner, je grösser diese ist.

## 2.2 Bestimmung der photoelektrische Absorption

Nachdem die Gammastrahlen durch Compton-Streuung soweit geschwächt sind, dass ihre Energie unterhalb einer Schwelle von ca 100 keV fällt, werden sie von einem Kern absorbiert. Dabei wird die um die Austrittsarbeit verminderte Energie einem Elektron übertragen, welches vom Kern emittiert wird. Die bei diesem Vorgang involvierten Elektronen stammen zu 80 % aus der innersten Schale.

Da der Wirkungsquerschnitt der Elektronen mit der Distanz vom Kern variiert, kann dieser Prozess besser mit dem Wirkungsquerschnitt pro Atom beschrieben werden:

$$\sigma_e = K Z^n / E_\gamma^m$$

dabei bedeuten:

$\sigma_e$  .. Einfangquerschnitt in  $\text{cm}^2/\text{Atom}$   
 $E_e$  .. Energie des Gammastrahls  
 $K^\gamma$  ... Konstante, abhängig von  $E_\gamma$  ( $\approx 48000/E_\gamma^{3,15}$ )  
 $n$  ... Exponent, abhängig von  $E_\gamma$   
 $m$  ... Exponent, abhängig von  $E_\gamma$  und  $Z$ .

Für den Energiebereich in welchen  $\sigma_e$  gemessen wird und für einen durchschnittlichen Wert von  $Z$  der in Sedimenten vorkommenden Mineralien, wurde folgende Beziehung gefunden:

$$\sigma_e = Z^{4,6} / E_\gamma^{3,15} \quad [\text{barns/Atom}],$$

wobei 1 barn einer Fläche von  $10^{-24} \text{cm}^2$  entspricht.

Daraus ergibt sich ein umso grösserer Wirkungsquerschnitt, je höher die Protonenzahl des Elementes und je kleiner die Energie des absorbierten Gammastrahles ist.

Analog zum Compton-Effekt wurde nun ein photoelektrischer Absorptionindex  $P_e$  bestimmt, welcher dem durchschnittlichen Wirkungsquerschnitt eines Elektrons proportional ist:

$$P_e = \sigma_e / KZ.$$

Da sich die Energieabhängigkeit von  $\sigma_e$  und  $K$  gegenseitig aufheben, ist  $P_e$  von dieser unabhängig und annäherungsweise:

$$P_e = (Z/10)^{3,6} \quad \text{barns/Elektron [b/e].}$$

Durch theoretische Überlegungen und experimentelle Messungen wurde bestätigt, dass das Verhältnis der Zählraten unterhalb und oberhalb von ca 150 KeV eine Funktion von  $P_e$  ist.

Die Werte für  $P_e$  bewegen sich in den Sedimenten zwischen zwei und 6 barns/e, was auch in etwa für das Kristallin repräsentativ ist. So z.B. beträgt  $P_e$  für Quarz 1,81, Kalzit 5,08, Alkalifeldspat 2,86, Plagioklas 1,68-3,13, Hornblende 5,99, Biotit 6,27 und für eisenhaltige Mineralien wie beispielsweise Pyrit 16,97 barns/e.

### 3 Geräte

Sowohl die Dichte als auch der photoelektrische Absorptionsindex werden mit denselben Messsonden in einem Messvorgang ermittelt. Um den Spülungseinfluss zu eliminieren und einen guten Kontakt zur Bohrlochwand herzustellen, wird der Messschlitten mittels eines federgesteuerten Armes fest an diese gedrückt. Auf Einzelheiten soll aber hier nicht eingegangen werden und

für ein genaueres Studium auf die einschlägige Literatur verwiesen.

Bei Schlumberger erfolgt die Messung mit dem Litho-Density-Tool (LDT). Neben der Elektronik besteht es aus einer 1,5 Curie Cäsium-137 Quelle, die Gammastrahlen von 662 keV liefert sowie aus zwei Szintillationszählern, einem nahen und einem fernen. Der ferne Detektor ist in zwei Energiebereiche unterteilt. In einem wird in mehreren diskreten Fenstern die Anzahl energiereicher Gammastrahlen registriert (Compton-Effekt), welche eine Funktion der Elektronendichte darstellt. Im anderen werden schwach-energetische Gammastrahlen gemessen, deren Anzahl nicht nur eine Funktion der Elektronendichte sondern auch des Photoeffekts ist. Das Verhältnis der Zählraten beider Bereiche ist bei gegebenen Energiefenstern, dem Abstand Quelle-Detektor, den Detektoreigenschaften sowie der Gerätekonfiguration eine Funktion des Absorptionsindex  $P_e$ . Im Gegensatz dazu werden im nahen Detektor nur die energiereichen Gammastrahlen gezählt. Durch Vergleich mit jenen des fernen Detektors ist es dann möglich, für die unterschiedliche Dichte des Filterkuchens zu kompensieren.

Im Compensated Z-Densilog von Western Atlas International werden ebenfalls Dichte und Absorptionsindex wiedergegeben. Die Funktionsweise des Gerätes ist ähnlich zu dem eben beschriebenen, weshalb auf eine Wiederholung verzichtet wird. Aus der vorhandenen Dokumentation war jedoch zu entnehmen, dass eine Quelle von 2 Curie zum Einsatz kommt und das gesamte Energiespektrum in 256 Kanälen aufgezeichnet wird.

#### 4 Anmerkungen zum Vergleich unterschiedlicher Messverfahren

Um einen Vergleich von Dichte- und photoelektrischen Absorptionsmessungen zu erhalten, wurden bei der ersten Logserie (27,4-478,5 m) sowohl Messungen von Schlumberger als auch von Western Atlas International ausgeführt und auf Magnetband und Film registriert. Zur Darstellung im Masstab 1:500 wurden die Kurven nachträglich geglättet, um so eine bessere Übersicht zu erhalten. Die in den Tabellen angegebenen Werte wurden jedoch mit jenen auf den Magnetbändern der Firmen vorgefundenen Originaldaten durchgeführt.

Darüber hinaus sollte auch ein Vergleich mit den im Feldlabor gemessenen Dichten vorgenommen werden, die aus Cuttings durchgehend und aus Kernen, bedingt durch Kernverluste, nur abschnittsweise vorliegen. Aufgrund der unterschiedlichen Messmethoden ist dies aber nur mit



gewissen Einschränkungen möglich und folgendes zu berücksichtigen:

- Bei der Dichtebestimmung an Kernen handelt es sich um die mittlere Dichte des entsprechenden Kernstückes, wobei die Länge stark variiert und bis maximal 0,80 m betragen kann. Eine genaue Beschreibung erfolgte im KTB Report 88-1. Bei Kernverlusten ist die Teufe nicht immer einwandfrei zu erruieren, war jedoch bei der Bestimmung des Dichtemittelwertes über ein längeres Intervall ohne Belang. Es besteht aber die Möglichkeit, dass bei der Kerngewinnung keine regelmässige Verteilung über den gesamten Dichtebereich erfolgte, sondern eventuell Abschnitte höherer Dichten grössere Gewinne brachten.

- Die Dichte aus Cuttings wird an Proben mit einem durchschnittlichen Gewicht von circa 50-100 g ermittelt, wobei eine gewisse Unsicherheit hinsichtlich von Nachfall und der genauen Teufe besteht.

- Die Logdichte entspricht der im Kalkstein kalibrierten Elektronendichte des Gesteins. Bei bestimmten Mineralien wie z.B. Plagioklas, Alkalifeldspat, Glimmer etc., kommt es jedoch zu Abweichungen, die umso grösser sind, je weiter sich der Quotient aus Kernladungszahl und Massenzahl von 0,5 entfernt. Dies bewirkt in manchen Gesteinen eine Dichtereduktion, die davon unabhängig auch durch Kalibereffekte wie Auskesselungen, Wandrauigkeit usw., verursacht werden kann.

Für den photoelektrischen Absorptionsindex gibt es keine Kerndaten, sodass nur ein Vergleich der beiden Messungen durchführbar ist.

## 5 Ergebnisse des Vergleichs

Die in den Abbildungen, Tabellen, Anlagen sowie im Text verwendeten Kürzel haben folgende Bedeutung:

CALI ..... Bohrlochdurchmesser  
RHOB ..... Dichte (Schlumberger)  
ZDEN ..... Dichte (Western-Atlas)  
RHOB-ZDEN .. Differenz der Dichten  
RHOK ..... Dichte der Kerne (Feldlabor)  
RHOC ..... Dichte des Bohrkleins (Feldlabor)  
PEF ..... Photoabsorptionsindex (Schlumberger)  
PE ..... Photoabsorptionsindex (Western-Atlas)  
PEF-PE ..... Differenz des Photoabsorptionsindexes  
Min ..... auftretender Minimalwert  
Max ..... auftretender Maximalwert  
Mittel ..... gemittelter Wert

Ein direkter Vergleich der beiden Dichtemessungen zeigt über den Tiefenbereich von 90-430 m eine generell gute Übereinstimmung; vergl. Anl. 1. Dies geht auch aus Tab. 1 hervor. Wie ersichtlich beträgt die Differenz lediglich 0,014 g/cm<sup>3</sup>.

Tabelle 1

Teufenintervall = 90,00 - 430,00 m				
Name	Min.	Max.	Mittel	Einheit
CALI	10,659	20,669	12,971	IN
CALI	270,75	525,00	329,47	mm
RHOB (Schlum)	1,7922	3,1089	2,7926	g/cm <sup>3</sup>
ZDEN (Western)	2,1330	3,0732	2,8067	g/cm <sup>3</sup>
RHOB-ZDEN	-0,3536	0,3131	-0,0141	g/cm <sup>3</sup>
PEF (Schlum)	1,8987	7,8004	4,9996	b/e
PE (Western)	2,0160	6,0506	4,6540	b/e
PEF-PE	-1,2528	2,9936	0,3455	b/e

Auch die Häufigkeitsverteilung (Abb. 1) der beiden Logdichten bestätigt die geringen Abweichungen über den interessanten Dichtebereich von ca 2,60-3,10 g/cm<sup>3</sup>. Lediglich bei einer Dichte um 2,80 g/cm<sup>3</sup> ist eine kleine Diskrepanz zu erkennen. Dichten unter 2,60 g/cm<sup>3</sup> sind auf Bohrlocheinflüsse zurückzuführen.

Da aber ein Vergleich nur bei masshaltigem Bohrloch sinnvoll erscheint, wurde die Teststrecke in mehrere Zonen unterteilt, um dadurch Kalibereffekte möglichst auszuschalten.

Im Bereich von 232-250 m (Tab. 2) erkennt man deutlich den negativen Einfluss der Bohrlochauskesselung auf die Dichte. Der maximale Durchmesser von 525 mm liegt dabei jenseits des Messbereichs der Bohrlochsonden und kann in diesem Ausmass auch nicht nachträglich korrigiert werden. In einem solchen Fall besteht kein guter Kontakt des Messschlittens mit der Bohrlochwand, sodass auch keine einwandfreie Dichtebestimmung erfolgen kann. Sie wird deshalb stets kleiner sein als die wahre Dichte, was schon im Vergleich mit den Cuttings zum Ausdruck kommt und mit 0,19 g/cm<sup>3</sup> für RHOB bzw. 0,16 g/cm<sup>3</sup> für ZDEN bereits grosse Differenzen aufweist. Ein Vergleich mit Kernen konnten in diesem Abschnitt nicht gemacht werden, da nur wenige vorlagen.

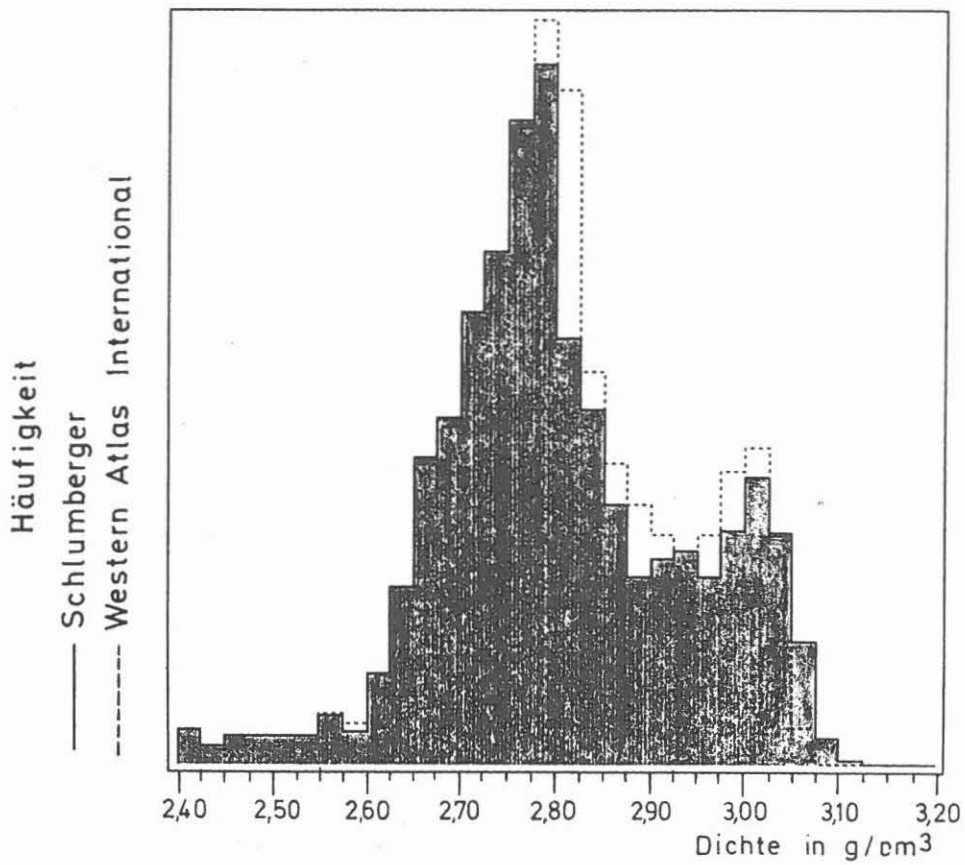


Abbildung 1 : Histogramm im Abschnitt 90 - 430 m

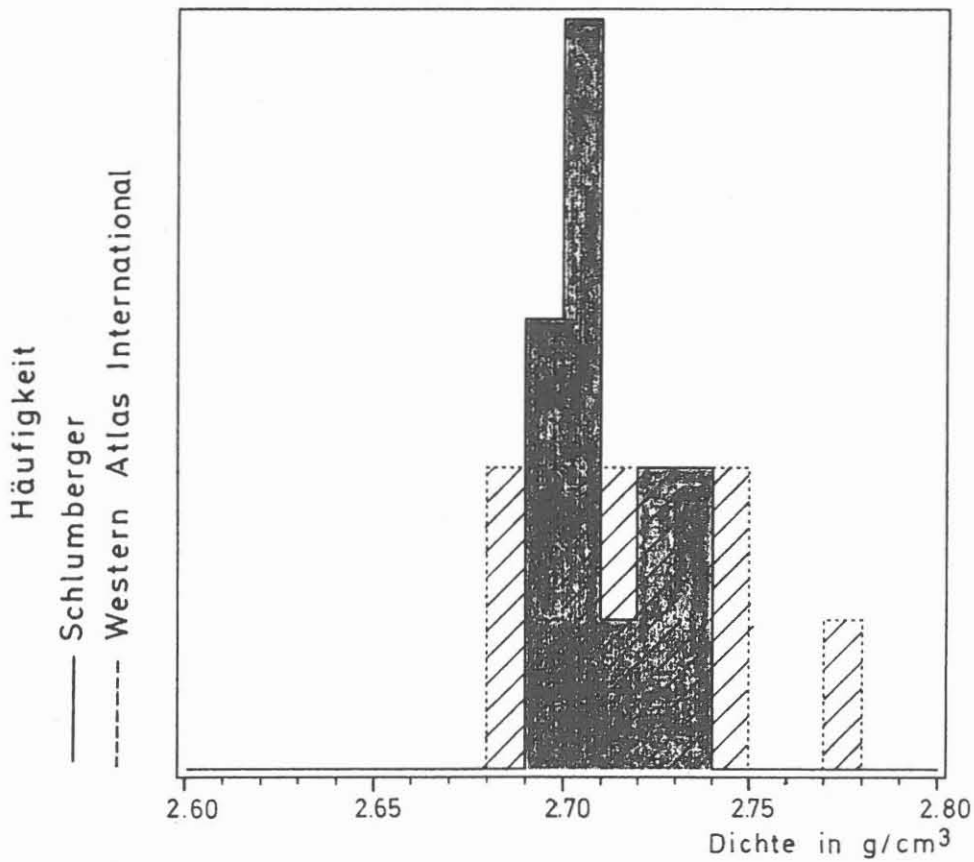


Abbildung 2 : Histogramm im Abschnitt 129 - 131 m

Tabelle 2

Teufenintervall = 232,00 - 250,00 m

Name	Min.	Max.	Mittel	Einheit
CALI	13,612	20,669	17,070	IN
CALI	345,75	525,00	433,59	mm
RHOB (Schlum)	1,7922	2,8854	2,5874	g/cm <sup>3</sup>
ZDEN (Western)	2,1330	2,8612	2,6209	g/cm <sup>3</sup>
RHOB-ZDEN	-0,3408	0,2013	-0,0335	g/cm <sup>3</sup>
RHOC (Cuttings)	2,7360	2,8200	2,7700	g/cm <sup>3</sup>
PEF (Schlum)	1,8987	5,7464	3,7702	b/e
PE (Western)	2,3861	5,1613	3,7672	b/e
PEF-PE	-1,2528	1,0178	0,0303	b/e

In Tab. 3 sind die Daten für den Abschnitt von 90 m bis 170 m aufgelistet. Die beiden Dichtekurven sind quasi identisch, was auch durch die geringe Dichtedifferenz von 0,019 g/cm<sup>3</sup> zum Ausdruck kommt. Der Vollständigkeit halber wurde auch die mittlere Dichte der Kerne und Cuttings berechnet. Ein direkter Vergleich ist jedoch problematisch, da vor allem bei den Kernen keine Analysen in regelmässigen Abständen vorliegen und das Resultat durch die arbiträre Beprobung grösserer oder kleinerer Dichten beeinflusst wird.

Tabelle 3

Teufenintervall = 90,00 - 170,00 m

Name	Min.	Max.	Mittel	Einheit
CALI	10,896	12,982	11,697	IN
CALI	276,75	329,75	297,09	mm
RHOB (Schlum)	2,6167	2,9280	2,7814	g/cm <sup>3</sup>
ZDEN (Western)	2,6855	2,9067	2,8003	g/cm <sup>3</sup>
RHOB-ZDEN	-0,1453	0,0641	-0,0189	g/cm <sup>3</sup>
RHOK (Kern)	2,5630	3,0410	2,8190	g/cm <sup>3</sup>
RHOC (Cuttings)	2,6990	2,9050	2,8022	g/cm <sup>3</sup>
PEF (Schlum)	2,5088	7,8004	5,5942	b/e
PE (Western)	2,9183	6,0506	5,0315	b/e
PEF-PE	-0,8275	2,6504	0,5627	b/e



Innerhalb dieser Zone wurde zwischen 129 m und 131 m auch ein Kalzitmarmor erbohrt, welcher als das ideale Gestein für die Bewertung der absolute Dichte angesehen werden kann. Bohrkernanalysen ergaben in diesem Abschnitt eine Dichte von 2,71 g/cm<sup>3</sup>, was auf eine Porosität von 0% schliessen lässt, da Kalzit ein spezeifisches Gewicht von genau 2,71 g/cm<sup>3</sup> aufweist. Da ja die Geräte für Kalkstein kalibriert werden, sollten die Dichten auch exakt diesen Wert ergeben. Wie aus Tab. 4 ersichtlich, ist dies beim Schlumberger-Dichtelog auch der Fall, während jenes von Western Atlas mit 0,01 g/cm<sup>3</sup> geringfügig darüberliegt und somit die ausgezeichnete Kalibrierung der Geräte bestätigt wird.

Tabelle 4

Teufenintervall = 129,00 - 131,00 m

Name	Min.	Max.	Mittel	Einheit
CALI	11,398	11,555	11,441	IN
CALI	289,50	293,50	290,61	mm
RHOB (Schlum)	2,6962	2,7375	2,7118	g/cm <sup>3</sup>
ZDEN (Western)	2,6855	2,7722	2,7227	g/cm <sup>3</sup>
RHOK (Kern)	2,7030	2,7260	2,7085	g/cm <sup>3</sup>
RHO (Kalzit)			2,710	g/cm <sup>3</sup>
RHO-RHOB			-0,0018	g/cm <sup>3</sup>
RHO-ZDEN			-0,0127	g/cm <sup>3</sup>
PEF (Schlum)	4,9894	6,2420	5,5927	b/e
PE (Western)	4,9287	5,0794	5,0208	b/e
P <sub>e</sub> (Kalzit)			5,084	b/e
P <sub>e</sub> -PEF			-0,5087	b/e
P <sub>e</sub> <sup>e</sup> -PE			0,0632	b/e

Da mitunter gemittelte Werte nur wenig Aussagekraft besitzen, wurde auch in diesem Bereich ein Histogramm erstellt (Abb. 2). Es zeigt ein Maximum zwischen 2,70-2,71 g/cm<sup>3</sup> für RHOB (Schlumberger) welches für ZDEN (Western Atlas) aufgrund der Streuung nicht ersichtlich ist. Ob dies auf einer unterschiedlichen Vertikalauflösung der Geräte beruht, kann mit nur einem Beispiel nicht beurteilt werden.

Die in den Sedimenten vorherrschenden Dichten liegen etwa zwischen 2,0 und 3,0 g/cm<sup>3</sup>, so z.B. für Steinsalz 2,03 und Anhydrit 2,98 g/cm<sup>3</sup>. Im Kristallin dagegen dürften sie sich zwischen 2,6 und mehr als 3,3 g/cm<sup>3</sup> bewegen, also z.T. ausserhalb des normalen Messbereichs. Da die Zählrate der Dichte invers proportional ist, also bei

höherer Dichte abnimmt, erreichen weniger Gammastrahlen den Detektor. Ob und inwieweit dies die Linearität der Logs beeinflusst, kann nur an Hand von Kerndaten beobachtet werden, da nicht bekannt ist, dass eine Kalibrierung für hohe Dichten vorgenommen wird.

Um also einen Vergleich der Logs bei solchen Dichten zu erhalten, wurde der Abschnitt von 335 m bis 350 m untersucht und in Tab. 5 wiedergegeben. Die Dichtedifferenz der beiden Logs beträgt hier weniger als 0,01 g/cm<sup>3</sup>, wobei RHOB grösser als ZDEN ist. Mangels einer Referenzdichte, wie im Marmor, kann hier nur mit der Kerndichte des Feldlabors verglichen werden, umzu sehen, inwieweit Übereinstimmung besteht. Die mittlere Kerndichte ist in diesem Bereich zwar etwas höher, doch ist die Differenz zu den beiden Logdichten minimal und zwar 0,019 g/cm<sup>3</sup> (Schlumberger), respektive 0,028 g/cm<sup>3</sup> (Western Atlas).

Tabelle 5

Teufenintervall = 335,00 - 350,00 m				
Name	Min.	Max.	Mittel	Einheit
CALI	11,102	12,077	11,260	IN
CALI	282,00	306,75	286,02	mm
RHOB (Schlum)	2,7977	3,0662	2,9858	g/cm <sup>3</sup>
ZDEN (Western)	2,8564	3,0487	2,9769	g/cm <sup>3</sup>
RHOB-ZDEN	-0,0696	0,0887	0,0088	g/cm <sup>3</sup>
RHOK (Kern)	2,7650	3,0860	3,0045	g/cm <sup>3</sup>
RHOC (Cuttings)	2,8700	3,0040	2,9392	g/cm <sup>3</sup>
PEF (Schlum)	4,3110	6,8076	5,6633	b/e
PE (Western)	4,3806	5,9719	5,2365	b/e
PEF-PE	-1,1452	1,5750	0,4267	b/e

Ähnlich verhalten sich die Dichten im gut beprobten Abschnitt von 388 m bis 430 m (Tab. 6). Die beiden Dichten sind quasi identisch und liegen, wie zuvor, nur geringfügig unter den Kerndichten. Ob dies auf einen etwas abweichenden Faktor von Z/A gleich 0,5 beruht, wird durch eine weitere Studie in einer hierfür besser geeigneten Zone untersucht werden. In beiden Abschnitten liegen die ermittelten Dichten aus dem Bohrklein mit 0,07 g/cm<sup>3</sup> deutlich darunter. Es wird daher vermutet, dass bei den Cuttings Minerale höherer Dichte verloren gehen.

Tabelle 6

Teufenintervall = 388,00 - 430,00 m

---

Name	Min.	Max.	Mittel	Einheit
CALI	10,659	13,770	11,274	IN
CALI	270,75	349,75	286,36	mm
RHOB (Schlum)	2,6134	3,1089	3,0013	g/cm <sup>3</sup>
ZDEN (Western)	2,8205	3,0732	2,9962	g/cm <sup>3</sup>
RHOB-ZDEN	-0,2255	0,0836	0,0050	g/cm <sup>3</sup>
RHOK (Kern)	2,8290	3,1300	3,0272	g/cm <sup>3</sup>
RHOC (Cuttings)	2,8690	3,0170	2,9520	g/cm <sup>3</sup>
PEF (Schlum)	3,0933	7,7346	5,6191	b/e
PE (Western)	4,0974	5,9739	5,0384	b/e
PEF-PE	-1,2452	2,9936	0,5807	b/e

Der photoelektrische Absorptionsindex konnte nur zwischen den beiden Logs verglichen werden, da keine Daten aus Kernen oder Cuttings vorliegen. Über den gesamten Bereich betrachtet, ist jener von Schlumberger höher und zwar im Mittel um 0,58 b/e. Zu bemerken ist auch, dass die Differenz bei kleinen  $P_e$ -Werten gering ist und mit höheren Werten zunimmt.

Wie schon bei der Dichte, so ist auch für die Photoabsorption der Marmor das einzige Intervall für Vergleichszwecke. In einem reinen Kalzit beträgt dieser Wert 5,08 b/e. Wie aus Tab. 4 hervorgeht, liegt Schlumberger mit 0,51 b/e über den Sollwert und Western Atlas mit 0,06 b/e darunter.

#### Literaturverzeichnis

- Schlumberger 1981: Litho Density Tool Interpretation.  
-Houston, Texas, 1331 Lamar Suite 1175,  
62 p.
- Schlumberger 1987: Log Interpretation Principles/  
Applications.  
-Houston, Texas, 1331 Lamar Suite 1175,  
198 p.
- Serra, O. 1984: Fundamentals of Well-log Interpretation.  
-Elsevier Science Publishers B.V.  
1000 AH Amsterdam, POB 330, 423 p.
- Western Atlas International: Compensated Z-Densilog.  
-Atlas Oilfield Services,  
Houston, Texas 77251, POB 1407