

Abstract

Proper petrophysical analysis of deposits is essential for economy. Intensive exploration and extraction activities, such as deep drilling and mining, require rock parameters such as porosity, permeability and mechanical properties to be determined using integrated methods. In addition, the knowledge of the petrophysical rock properties is helpful for a long-term assessment of the risk in the extraction and long-term use of the resources (e.g. anthropogenic seismicity, flood risk).

In addition, the problem is of fundamental scientific interest. In their physical properties and their dependencies, the carbonate and clastic sedimentary rocks show great differences.

The aim of this work is the determination of petrophysical characteristics of carbonate rock samples from different regions. The rocks from the Caspian region, especially the carbonate formations, have economic relevance in connection with oil and gas deposits, but also with mining and the extraction of building materials.

The Carbonate series in total 39 from the Caspian region was extended to samples from Germany (Rüdersdorf, Lower Saxony), Somalia and the Bahamas in order to be able to experimentally record as many different pore space structures and lithological properties as possible.

Detailed mineralogical and petrophysical analyses were conducted on all samples. In order to investigate the pore space structures the parameters volumetric porosity, inner surface, permeability and density were measured in addition to microscopic and SEM images. The multi-method petrophysical investigations included NMR parameters, the spectra of the complex electrical conductivity (approx. 1 mHz to 20 kHz) and the velocities of P- and S-waves. All petrophysical parameters were determined on water-saturated cylindrical samples. The elastic wave velocities were also measured on dry samples.

The evaluation and interpretation of the extensive data set were conducted using the carbonate classification of Lucia (2007) and empirical models, some of which were further developed to take into account the specifics of the carbonate rocks. Carbonates with non-connective pore space, i.e. isolated or touching pores, could be distinguished from carbonates with predominantly connective particulate pore space. This model-based evaluation of the correlations led to the following main results:

- (1) Differentiation of the carbonate types based on the seismic and electrical parameters, which is based on the specific influence of the complex pore space geometries;
- (2) Determination of porosity and permeability from electrical measurements and from wave velocities considering pore types;
- (3) Derivation of dynamic moduli based on a complex petrophysical analysis.

For the carbonates from the Caspian Region and the other carbonate samples, it can be shown that the determination of reservoir parameters such as porosity and permeability from electrical and acoustic measurements is only meaningful if the pore space geometry is taken into account. In addition to the correlation of the complex electrical properties with the pore space properties and the permeability, elastic moduli for the various carbonate lithologies were derived from the wave velocities in particular and compared with static measurements in the case of the Young's modulus.

Zusammenfassung

Eine korrekte petrophysikalische Analyse von Lagerstätten ist für die Wirtschaft wesentlich. Intensive Erkundungs- und Gewinnungsarbeiten, wie etwa Tiefbohrungen und Bergbau, benötigen Gesteinsparameter wie Porosität, Permeabilität und mechanische Eigenschaften, die durch integrierte Methoden ermittelt werden. Außerdem sind die Kenntnisse der petrophysikalischen Gesteinseigenschaften hilfreich für eine Gefährdungsabschätzung bei der Gewinnung und langfristigen Nutzung der Ressourcen (z.B. anthropogene Seismizität, Hochwasserrisiko).

Darüber hinaus ist die Problematik von fundamentalem wissenschaftlichem Interesse. In ihren physikalischen Eigenschaften und deren Abhängigkeiten weisen die karbonatischen und die klastischen Sedimentgesteine große Unterschiede auf.

Gegenstand dieser Arbeit ist die Bestimmung petrophysikalischer Charakteristika von Karbonatgesteinsproben aus verschiedenen Regionen. Die Gesteine der Kaspischen Region, insbesondere die Karbonatformationen haben wirtschaftliche Relevanz in Verbindung mit Öl- und Gasvorkommen, aber auch mit Bergbau und mit der Gewinnung von Baumaterial.

Die Probenserie aus der kaspischen Region wurde mit Proben aus Deutschland, Somalia und den Bahamas zu einer 39 Proben umfassenden Serie erweitert, um möglichst viele unterschiedliche Porenraumstrukturen und lithologische Eigenschaften experimentell erfassen zu können.

An allen Proben wurde eine detaillierte mineralogische und petrophysikalische Analyse durchgeführt. Für die Erfassung der Porenraumstruktur wurden neben mikroskopischen und REM-Aufnahmen die Parameter Porosität, innere Oberfläche, Permeabilität sowie Dichte gemessen. Die multimethodischen petrophysikalischen Untersuchungen beinhalteten NMR-Parameter, die Spektren der komplexen elektrischen Leitfähigkeit (ca. 1 mHz to 20 kHz) sowie die Geschwindigkeiten der P- und S-Wellen.

Die Auswertung und Interpretation des umfangreichen Datensatzes erfolgte unter Einbeziehung der Karbonatklassifikation von Lucia (2007) und empirischer Modelle, die zur Berücksichtigung der Spezifik der Karbonate weiterentwickelt wurden. Karbonate mit isolierten oder sich berührenden Poren konnten von Karbonaten mit überwiegend partikulären Porenraum unterschieden werden. Diese modellbasierte Auswertung der Korrelationen führte zu folgenden wesentlichen Ergebnissen:

- (1) Differenzierung der Karbonattypen anhand der seismischen und elektrischen Parameter, die mit dem spezifischen Einfluss der komplexen Porenraumgeometrien begründet ist;
- (2) Bestimmung von Porosität und Permeabilität aus elektrischen Messungen und aus Wellengeschwindigkeiten unter Berücksichtigung von Porentypen;
- (3) Ableitung dynamischer Moduli auf Basis einer komplexen petrophysikalischen Analyse.

Für die Karbonate konnte gezeigt werden, dass die Bestimmung von Reservoirparametern wie Porosität und Permeabilität aus elektrischen und akustischen Messungen nur unter Berücksichtigung der Porenraumgeometrie sinnvoll ist. Neben dem Zusammenhang der komplexen elektrischen Eigenschaften mit den Porenraumeigenschaften und der Permeabilität wurden insbesondere aus den Wellengeschwindigkeiten elastische Moduli für die verschiedenen Karbonatlithologien abgeleitet und im Fall des E-Moduls mit statischen Messungen verglichen.