

## Tafelbankiger Dolomit in der Kernbohrung Moosburg SC4: Ein Schlüssel zum Verständnis der Zuflussraten in Geothermiebohrungen des Malmaquifers (Östliches Molasse-Becken, Malm $\delta$ - $\zeta$ ; Süddeutschland)

Thick-bedded dolomitic Upper Jurassic (Malm) in the Moosburg SC4 well: A key for interpreting flow rates in geothermal wells in the Malmaquifer (Eastern Molasse-Basin, Malm  $\delta$ - $\zeta$ ; S-Germany)

Moosburg SC4 井上侏罗系(Malm组)厚层白云岩: 解释地热井中流速的关键要素(德国南部东Molasse盆地Malm组 $\delta$ - $\zeta$ 段)

FRANZ BÖHM (München), JOHANNES BIRNER (Berlin), ULRICH STEINER (Berlin), ROMAN KOCH (Erlangen), ROBERT SOBOTT (Erlangen), MICHAEL SCHNEIDER (Berlin) & ANJIA WANG (Erlangen)

**Key words:** Kernbohrung Moosburg SC4, Faziesanalyse, Malm, Malmaquifer, tafelbankiger Dolomit, Petrophysik, Produktivitätsindex, Matrixpermeabilität, Zuflussraten, Geothermie, Molasse-Becken, S-Deutschland; Moosburg SC4 well, thick-bedded dolomite, petrophysics, Molasse-Basin, S-Germany, flow rate, productivity, permeability, geothermal energy

**关键词:** Moosburg SC4 井, 厚层白云岩, 岩石物理, Molasse 盆地, 德国南部, 流速, 产量, 渗透率, 地热能。

### Zusammenfassung

Die Bohrung Moosburg SC4 wurde 1990 auf eine Endteufe von 1585,20 m abgeteuft und Purbeck (134 m) und Malm (453 m) durchgehend gekernt. Die tafelbankigen Dolomite des Malm  $\delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\zeta$  1 und  $\zeta$  2 (236 m Mächtigkeit) bestehen aus einer alternierenden Folge von mittel- bis grobkristallinen, mit zwischengeschalteten sehr fein- bis feinkristallinen Dolomiten. Sie stellen einen Sandwich-Aufbau (layer-cake) mit bevorzugt horizontalen Wegsamkeiten für Fluide und vertikalen Permeabilitätsbarrieren dar.

Die fazielle Entwicklung (31 Dünnschliffe) wird von der Basis des Malm bis zur Unterkreide beschrieben. Der Schwerpunkt liegt auf dem tafelbankigen Dolomit des Malm  $\delta$  bis  $\zeta$  2, der im Vergleich zu Aufschlüssen in der Nördlichen und Südlichen Frankenalb diskutiert wird.

Größe und Morphologie der verschiedenen Dolomit-Typen sowie Gesamtporosität (18 Proben) und Luft-Permeabilität (Hasslerzelle; 36 Plugs) wurden ermittelt.

Die Mächtigkeiten der nutzbaren Einheiten mit wechselnden petrophysikalischen Eigenschaften betragen etwa 106 m für den Malm  $\delta$  und  $\epsilon$ , 37 m innerhalb des Malm  $\zeta$  1 und 61 m innerhalb des Malm  $\zeta$  2. Die ermittelten Porositäten bewegen sich zwischen  $\ll$  1 und 17,1 %. Permeabilitäten sind durch Interkristallinporen zwischen den Dolomitkristallen bedingt (Matrixpermeabilität) und streuen von 0,03 mD bis zu 62,7 mD.

Größe, Morphologie und Verzahnung der Dolomitkristalle steuern die Permeabilität. Im Malm  $\delta/\epsilon$  weisen Dolomite fein-, mittel- bis grobkristalline, hypidiomorphe und idiomorphe Kristalle (bis 300  $\mu\text{m}$ ) und Permeabilitäten von bis zu 48,0 mD und 62,7 mD auf. In den Einheiten mit höherem Anteil an Nichtkarbonaten (Tone; höheres Gamma-Log) sind dagegen

überwiegend xenomorphe bis hypidiomorphe Dolomitkristalle von bis 100  $\mu\text{m}$  Größe anzutreffen und die Permeabilitäten liegen im Bereich von 0,03 bis 0,26 mD. Sehr poröse Zonen (bis 17,1 %) im Malm  $\zeta$  1 bestehen aus idiomorphen Kristallen (20–70  $\mu\text{m}$ ), die ein loses Kristallgefüge bilden (6,5 und 46,2 mD Permeabilität).

Basierend auf den ermittelten Permeabilitäten von 0,03 mD bis 62,7 mD berechnen sich unter Reservoirbedingungen ( $T = 77\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $c = 650\text{ mg/l}$ ) in der Bohrung Moosburg SC4 „Matrixproduktivitäten“ von ca. 0,000008 bis 0,016  $\text{l}/(\text{s}^*\text{bar})$  für eine 1 m lange Bohrlochstrecke im Bereich der tafelförmigen Dolomite. Bezogen auf die 236 m Mächtigkeit der dolomitischen Einheiten ergibt sich somit ein maximaler Produktivitätsindex von 3,8  $\text{l}/(\text{s}^*\text{bar})$ , dem eine Gesamtproduktivität der Bohrung von 5,4  $\text{l}/(\text{s}^*\text{bar})$  gegenübersteht. Wesentliche Zuflüsse in einer vergleichbaren Geothermiebohrung im Malmaquifer müssten dementsprechend aus tektonisch beanspruchten, geklüfteten und verkarsteten Bereichen erfolgen.

## Abstract

The Moosburg SC4 well was drilled in 1990 and reached the final vertical depth at 1585.0 m. Purbeck (134 m) and Malm (453 m) were completely cored. The thick-bedded dolomite of the Malm  $\delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\zeta$  1 and  $\zeta$  2 (236 m thick) is composed of an alternation of medium to coarse crystalline and intercalated very fine to fine crystalline dolomite forming a “sandwich-construction” with predominantly horizontal migration potential for fluids and vertical permeability barriers.

The facies (31 thin sections) is described from the base of the Malm to the Lowermost Cretaceous. The thick-bedded dolomites of the Malm  $\delta$  to  $\zeta$  2 are compared to outcrops in the Northern and Southern Franconian Alb.

The size and morphology of the varying dolomite types as well as the total porosity (18 samples) and permeability (Hassler cell; 36 plugs) were analyzed.

The thickness of the different usable units with varying petrophysical characteristics is about 106 m (Malm  $\delta$ – $\epsilon$ ), 37 m (Malm  $\zeta$  1), and 61 m (Malm  $\zeta$  2). Porosities vary between  $\ll 1\%$  and 17.1 %. Permeability is created by intercrystalline pores between dolomite crystals (matrix permeability) and varies between 0.03–62.7 mD.

The size, morphology and interlocking of dolomite crystals actually determine the permeability. Fine, medium to coarse crystalline hypidiomorphic to idiomorphic dolomite of the Malm  $\delta/\epsilon$  exhibit permeabilities of up to 48.0 mD and 62.7 mD. Units with higher amounts of non-carbonate (clay; higher gamma log) are predominantly composed of xenomorphic to hypidiomorphic dolomite crystals  $< 100\text{ }\mu\text{m}$  in size and reveal permeabilities between 0.03–0.26 mD.

Very porous zones (up to 17.1 %) in the Malm  $\zeta$  1 consist of idiomorphic crystals (20–70  $\mu\text{m}$ ) forming a loose, open crystal texture (permeability 6.5 mD and 46.2 mD).

Under reservoir conditions ( $T = 77\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\text{TDS} = 650\text{ mg/l}$ ) a matrix productivity of 0.000008–0.016  $\text{l}/(\text{s}^*\text{bar})$  is calculated for a 1 m thick interval in the well-bedded dolomite zone of the Moosburg SC4 well, based on analysed permeabilities (0.03–62.7 mD). A maximum matrix productivity index of 3.8  $\text{l}/(\text{s}^*\text{bar})$  can be calculated for the entire 236 m thick dolomitic unit. The productivity index of 5.4  $\text{l}/(\text{s}^*\text{bar})$  obtained from pumping test analyses in the Moosburg SC 4 well shows the significant influence of tectonic fractured and karstified zones on the flow rate of a geothermal well in the Malm aquifer.

## 摘要

Moosburg SC4 井钻于1990年,垂直钻深总计1585.20 m, Purbeck 组 (134 m) 及 Malm 组 (453 m) 被钻穿并全程取芯。Malm 组  $\delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\zeta$  1 及  $\zeta$  2 段 (共236 m) 厚层中-粗晶白云岩互层, 夹细粉晶白云岩形成“三明治结构”, 存在垂向不渗透隔, 绝大部分流体仅能做水平向迁移。

本文对 Malm 组底部至白垩系最底部 (共31 张薄片) 进行沉积相描述, 并将 Malm 组  $\delta$ – $\zeta$  2 段厚层白云岩与 Northern Franconia Alb 及 Southern Franconia Alb 露头相互对比。分析不同类型白云岩的大小, 形态, 孔隙度 (18 块样品) 及渗透率 (哈斯勒渗透率测试仪, 36 块样品)。

依据不同的岩石学物理特征可将研究层位厚度划分为3段: 106 m (Malm 组  $\delta$ – $\epsilon$  段)、37 m (Malm 组  $\zeta$  1 段) 及 61 m (Malm 组  $\zeta$  2 段)。孔隙度为远小于 1%–17.1 % 大小不等。渗透率由白云石晶体之间的晶间孔隙提供 (基质渗透率), 为 0.03–62.7 mD 不等。

白云石晶体的大小, 形态及咬合关系影响渗透率的大小。Malm 组  $\delta$  及  $\epsilon$  段的半自形-自形细、中及粗晶白云石晶体渗透率可达 62.7 mD。非碳酸盐岩 (如粘土, 由伽玛测井曲线可判断) 含量更高的层段主要由它形-半自形白云石晶体 (小于 100  $\mu\text{m}$ ), 渗透率为 0.03–0.26 mD。Malm 组  $\zeta$  1 段孔隙非常发育, 孔隙度可达 17.1 %, 由 20–70  $\mu\text{m}$  自形白云石晶体组成疏松开放的晶体结构, 样品渗透率为 6.5 mD 及 46.2 mD。

在  $T$  (温度) = 77  $^\circ\text{C}$ ,  $\text{TDS}$  (可溶解固体总量) = 650  $\text{mg/l}$  的油藏条件下, 基于测试渗透率 (0.03–62.7 mD), Moosburg SC4 井层理发育的白云岩层段中 1 m 厚地层可计算得基质产量指数为 0.000008–0.016  $\text{l}/(\text{s}^*\text{bar})$ 。由全部 236 m 厚白云岩单元可计算得基质产量指数为 3.8  $\text{l}/(\text{s}^*\text{bar})$ 。Moosburg SC4 井抽水测试分析可得产量指数为 5.4  $\text{l}/(\text{s}^*\text{bar})$ , 显示在 Malm 组含水层中构造裂缝及岩溶区域对地热井流速有显著影响。