



# Baden-Württemberg

REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG

ABTEILUNG UMWELT

## **Machbarkeitsstudie für ein Hot Dry Rock-Wärme- und Stromnutzungskonzept Bad Urach**

**Förderkennzeichen: 0327615A**

### **Teil: Hydrogeologie**

**Ingrid Stober**

Das Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9 Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) hat im Rahmen der Machbarkeitsstudie für ein Hot Dry Rock (HDR) Wärme- und Stromnutzungskonzept mit der Stadt Bad Urach eine Forschungsvereinbarung geschlossen. Diese Machbarkeitsstudie wurde vom BMU und der EnBW gefördert. Im Teil II Hydrogeologie dieser Vereinbarung sollen vom Regierungspräsidium Freiburg (RPF), Abteilung Umwelt, die hydraulischen Tests, die seit den Jahren 1978 im kristallinen Grundgebirge der beiden Forschungsbohrungen Urach 3 und Urach 4 durchgeführt wurden, zusammengetragen, ausgewertet und validiert werden.

Viele Versuche liegen bereits in ausgewerteter Form vor. Daneben gibt es einige Versuche aus den 70er Jahren und viele Versuche aus den Jahren 2002 bis 2004, bei denen die Messdaten noch nicht aufbereitet und ausgewertet wurden.

Die weitaus meisten Versuche stammen aus der Bohrung Urach 3 aus Tiefen über 3200 m. Im Rahmen des Projektes wurde an einer mathematischen Beziehung zwischen Injektionsrate und Durchlässigkeit in diesem Teufenbereich gearbeitet und an der Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf den höheren Bereich im Kristallin, der ggf. für eine spätere Stimulation vorgesehen ist und der von der Fa. HYDRO-DATA im Rahmen dieses Projektes modelliert wird.

Die von Herrn Dr. Hann, Geologisches Institut Universität Tübingen, vorgenommenen Aufnahmen der Bohrungen Urach 3 und 4 wurden benutzt, um daraus auf potentiell stärker Wasser führende Zonen zu schließen. Die Bohrungen Urach 3 und Urach 4 wurden dafür „hydraulisch ausgewertet“. Es wurde versucht, die beiden Ergebnisse zu korrelieren.

## Inhalt

1. Aufbereitung hydraulischer Daten
2. Auswertung der hydraulischen Tests im Kristallin der Bohrung Urach 3
  - 2.1 Drill-Stem-Test zwischen 1759,58 m und 1779,90 m Tiefe am 23.01.1978
  - 2.2 Pumpversuch aus 1808,5 m bis 2802,0 m Tiefe in der Zeit 06.-07.04.1978
  - 2.3 Drill-Stem-Test zwischen 3294,91 m und 3301,5 m Tiefe am 11.05.1978
  - 2.4 Zuflusstest im offenen Bohrloch 27.-29.05.1978
  - 2.5 Pumpversuch (25.-28.06.1978) aus der Perforation bei 1784 - 1764 m Tiefe
  - 2.6 Injektionstest Urach 3 am 25.06.02
  - 2.7 Injektion und Stimulation, Versuche im Zeitraum 21. – 30.08.2002
  - 2.8 Injektionsversuch Urach 3 in der Zeit 12.-20.09.02
  - 2.9 Fördertest Urach 3 (07.01.-27.06.03)
  - 2.10 Langzeitinjektionsversuch in der Bohrung Urach 3 (18.07.-01.08.03)
  - 2.11 Injektionsversuch (01.-22.08.2003)
  - 2.12 Auslaufversuch 22.-24.08.2003 Urach 3
  - 2.13 Auslaufversuch 24.-27.08.2003 Urach 3
  - 2.14 Injektionsversuch vom 08.-16.04.2004 in die Bohrung Urach 3
3. Interpretation und Wertung der hydraulischen Tests in der Bohrung Urach 3
4. Durchlässigkeiten im höheren kristallinen Grundgebirge der Bohrungen Urach 3 und Urach 4
  - 4.1 Bohrung Urach 4
  - 4.2 Bohrung Urach 3
5. Potenziell stärker Wasser führende Zonen und hydraulisch dichtere Bereiche auf der Basis der geologischen Aufnahmen
6. Wasserproben aus der Bohrung Urach 3
7. Dank
8. Literatur

## **1. Aufbereitung hydraulischer Daten**

Die Daten der 70er Jahre lagen ausschließlich in analoger Form vor. Von den meisten Versuchen gibt es nur wenige Informationen, so dass die Auswertungen häufig nur qualitative Hinweise erbrachten.

Im Hinblick auf die Aufgabenstellung mussten u.a. Versuche aus den Jahren 2002-2004 aufwändig aufbereitet und rekonstruiert werden, da die Daten beispielsweise in 3 verschiedenen Formaten vorlagen. Alle Daten wurden daher zunächst aufwändig konvertiert und in Excel-Dateien abgelegt.

Auch waren Versuchsteile mit gleichen, ähnlichen und z.T. unterschiedlichen Inhalten mehrfach in verschiedenen Dateien abgelegt. Die einzelnen bruchstückhaften Messdatenaufzeichnungen mussten daher zunächst identifiziert und zusammengesetzt werden.

Ein weiteres Problem bestand darin, dass häufig bis zu drei verschiedene Temperaturen, Drucke und Raten aufgezeichnet wurden, die vor einer Weiterverarbeitung zunächst identifiziert werden mussten. Manche Parameter mussten addiert werden, andere waren für die Auswertung irrelevant.

Da die einzelnen Messdaten bei den oft mehrere Tage oder Wochen dauernden Versuchen in der Regel sekundlich erfasst wurden, war für das Handling der Daten eine Ausdünnung der Messdaten unumgebar.

Von der Bohrung Urach 4 liegen dem RPF nur sehr wenige hydraulische Messdaten vor.

Dem RPF wurden am 05.03. und 06.06.09 weitere, noch auszuwertende Versuche übergeben.

## **2. Auswertung der hydraulischen Tests im Kristallin der Bohrung Urach 3**

Sämtliche dem RPF bekannten hydraulischen Tests wurden mit Auswertergebnis in Tabelle 1 zusammengestellt. Bei den hydraulischen Versuchen handelt es sich um Drill-Stem-Tests, Leak-Off-Tests, Frac-Versuche, Auffüllversuche, Slugtests,

Injektionsversuche, Stimulationsversuche, gedrosselte Auslaufversuche und um Fördertests. Die Versuche wurden bei unterschiedlicher Druckbeaufschlagung durchgeführt. In Tabelle 1 sind diese Angaben sowie jeweils die Tiefenbereiche, in denen die verschiedenen Tests durchgeführt wurden, eingetragen. Die Tabelle ist chronologisch aufgebaut. Viele Ergebnisse entstammen Berichten und Publikationen, die in der Literaturliste (Abschnitt 8) aufgeführt sind. Nachstehend werden die erstmals neu ausgewerteten Versuche kurz beschrieben.

## **2.1 Drill-Stem-Test zwischen 1759,58 m und 1779,90 m Tiefe am 23.01.1978**

Während des Abteufens der Bohrung Urach 3 traten ab 1764 m Tiefe zum Teil erhebliche Spülungsverluste auf. Besonders hohe Spülungsverluste erfolgten im Teufenabschnitt 1764,6 – 1777,0 m. Als daher die Bohrung die Tiefe 1810,0 m erreichte, wurde in das damalige Open-Hole (1080 m - 1810 m Tiefe) ein Doppelpacker eingebracht, mit dem der Gebirgsabschnitt zwischen 1759,58 m und 1779,90 m durch einen Drill-Stem-Test (DST) hydraulisch getestet wurde. Nach Durchführung des DST wurde die Bohrung wegen der z.T. hohen Spülungsverluste auch im unteren Bereich mehrfach zementiert und wieder aufgebohrt, bevor ein 9<sup>5/8</sup>"-Liner eingebracht und die Bohrung weiter vertieft werden konnte.

Der DST wurde am 23.01.1978 durchgeführt und bestand aus zwei Fließ- und zwei Schließzeiten. Die beiden Fließzeiten dauerten 15 min und 33 min; die Schließzeiten 30 min und 33 min. Der Gesamtzufluss betrug 8950 l. Für die Auswertung der einzelnen hydraulischen Testphasen wurde der Gesamtzufluss anteilmäßig zur Dauer der Fließzeiten aufgesplittet. Die 2. Fließzeit war nicht auswertbar.

Aus der 1. Fließzeit konnte eine relativ hohe Transmissivität von  $T = 2,65 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  für den 20,32 m mächtigen Testbereich abgeleitet werden (Abb. 1). Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die Auswertungen der beiden Schließzeiten, aus denen ebenfalls hohe Transmissivitäten von  $T = 1,14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  und  $T = 7,47 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  für den Testbereich ermittelt wurden. Für den Testbereich kann somit eine mittlere Transmissivität von  $T = 3,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  veranschlagt werden, bzw. für den Gebirgsabschnitt 1759,58 - 1779,90 m Tiefe eine daraus abgeleitete mittlere Durchlässigkeit von  $T/H = 1,85 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ .