



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

Schlussbericht 31.10.2014

---

# **Geologie und bohrlochgeophysikalisches Logging der Geothermiebohrung Schlattin- gen SLA-2 (Rohdaten)**

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Geothermie  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Kofinanzierung:**

Hansjörg Grob Gemüse- und Landbau, 8255 Schlattingen

**Auftragnehmer:**

Hansjörg Grob Gemüse- und Landbau  
8255 Schlattingen  
[www.grob-gemuese.ch](http://www.grob-gemuese.ch)

vertreten durch:

Nagra, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle  
Bernd Frieg, [frieg@nagra.ch](mailto:frieg@nagra.ch)  
Hardstrasse 73  
CH-5430 Wettingen  
[www.nagra.ch](http://www.nagra.ch)

**Autoren:**

H.R. Bläsi, M. Hertrich, H. Madritsch, H.P. Weber, P. Kuhn (alle Nagra)

<b>BFE-Bereichsleiter:</b>	Gunter Siddiqi
<b>BFE-Programmleiter:</b>	Rudolf Minder
<b>BFE-Vertragsnummer:</b>	500'821-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

# **NPB 13-12**

## **Geologie und bohrlochgeophysikalisches Logging der Geothermiebohrung Schlattingen SLA-2 (Rohdaten)**

Januar 2014

H.R. Bläsi, M. Hertrich, H. Madritsch,  
H.P. Weber, P. Kuhn

### Keywords:

Schlattingen, SLA-2, SLA-2a, SLA-2b, Stratigraphie,  
Lithostratigraphie, Geologie, Opalinuston, Muschelkalk,  
Logging, Compositelog, Rohdaten

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis.....	III
Figurenverzeichnis .....	III
Beilagenverzeichnis .....	III
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Geologie .....</b>	<b>5</b>
2.1 Stratigraphie der Bohrung Schlattingen SLA-2: Bohrst SLA-2a.....	5
2.1.1 Tertiär (x – 492 m).....	8
2.1.1.1 Untere Süsswassermolasse (142 – 490 m, 348 m along hole).....	9
2.1.1.2 Bohnerz-Formation (490 – 492 m, 2 m along hole) .....	9
2.1.2 Malm (492 – 770 m, 278 m along hole) .....	9
2.1.2.1 Plattenkalk und Quaderkalk/Massenkalk (Bankkalke und Felsenkalke/Massenkalk, 492 – 645 m, 153 m along hole).....	9
2.1.2.2 Mittlere Malmmergel (Schwarzbach-Fm., 645 – 680 m, 35 m along hole) .....	10
2.1.2.3 Wohlgeschichtete Kalke (Villigen-Fm. pp., 680 – 727 m, 47 m along hole).....	10
2.1.2.4 Hornbuck-Schichten (Villigen-Fm. p.p., 727 – 741 m, 14 m along hole).....	10
2.1.2.5 Effinger Schichten (741-764 m, 23 m along hole) .....	10
2.1.2.6 Birnenstorfer Schichten inkl. Glaukonit-Sandmergel (764 – 770 m, 6 m along hole) .....	10
2.1.3 Dogger (770 – 996 m, 226 m along hole).....	11
2.1.3.1 Wutach- und Variansmergel-Formation (770 – 781 m, 11 m along hole).....	11
2.1.3.2 Parkinsoni-Württembergica-Schichten (781 – 804 m, 23 m along hole) .....	11
2.1.3.3 Humphriesoolith-Formation (804 – 816 m, 12 m along hole).....	11
2.1.3.4 Wedelsandstein-Formation (816 – 846 m, 30 m along hole) .....	11
2.1.3.5 Opalinuston (846 – 996 m, 150 m along hole) .....	12
2.1.4 Lias (Staffelegg-Formation, 996 – 1078 m, 82 m along hole).....	12
2.1.4.1 Jurensismergel (Gross Wolf-Member, 996 – 1007 m, 11 m along hole) .....	12
2.1.4.2 Posidonienschiefer (Rietheim-Member, 1007 – 1017 m, 10 m along hole).....	13
2.1.4.3 Numismalis-Amaltheen-Schichten (Breitenmatt- bis Rickenbach-Member, 1017 – 1028 m, 11 m along hole).....	13
2.1.4.4 Obtusus-Schichten (Frick- bis Grünschholz-Member, 1028 – 1046 m, 18 m along hole) .....	13
2.1.4.5 Arietenkalk (Beggingen-Member, 1046 – 1052 m, 6 m along hole).....	13
2.1.4.6 Psiloceras-Schichten (Schambelen-Member, 1052 – 1078 m, 26 m along hole).....	13
2.1.5 Keuper (1078 – 1298 m, 220 m along hole).....	14

2.1.5.1	Knollenmergel (1078-1097 m, 19 m along hole) .....	14
2.1.5.2	Stubensandstein-Formation (1097 – 1142 m, 45 m along hole).....	14
2.1.5.3	Bunte Mergel (1142 – 1157 m, 13 m along hole).....	14
2.1.5.4	Gansinger Dolomit (1157 – 1162 m, 5 m along hole).....	15
2.1.5.5	Schilfsandstein-Formation (1162 – 1180 m, 18 m along hole) .....	15
2.1.5.6	Gipskeuper (1180 – 1298 m, 118 m along hole) .....	15
2.2	Stratigraphie der Bohrung Schlattingen SLA-2: Bohrst SLA-2b .....	16
2.2.1	Malm (670 – 770 m, 100 m along hole) .....	17
2.2.2	Dogger (770 – 986 m, 216 m along hole).....	17
2.2.3	Lias (Staffelegg-Formation, 986 – 1053 m, 67 m along hole).....	17
2.2.4	Keuper (1053 – 1232 m, 179 m along hole).....	18
2.2.5	Oberer Muschelkalk (1232 – 1980 m inkl. Lettenkohle 1818 – 1867 m, 748 m along hole).....	18
2.2.5.1	Trigonodus-Dolomit (1232 – 1818 m, 586 m along hole).....	19
2.2.5.2	Lettenkohle (1818 – 1867 m, 49 m along hole).....	19
2.2.5.3	Trigonodus-Dolomit (1867 – 1980 m, 113 m along hole).....	19
2.3	Tektonik und Strukturgeologie .....	19
<b>3</b>	<b>Geophysikalische Untersuchungen</b> .....	<b>23</b>
3.1	Einleitung.....	23
3.2	Auftragnehmer .....	23
3.3	Eingesetzte Messverfahren .....	23
3.3.1	Petrophysikalisches Logging .....	23
3.3.2	Strukturlogging .....	24
3.3.3	Bohrtechnisches Logging .....	25
3.4	Ausgeführtes Messprogramm.....	26
3.5	Bearbeitung und Auswertung der bohrlochgeophysikalischen Messungen .....	27
3.5.1	Compositelogs .....	27
3.5.2	Bestimmung der Kompressions- und Scherwellengeschwindigkeit.....	27
3.5.3	Bestimmung der Güte der Zementation (Cement-Bond Log, CBL).....	28
<b>4</b>	<b>Referenzverzeichnis</b> .....	<b>29</b>
<b>Anhang A: Aktivitätenjournal</b> .....		<b>A-1</b>

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	SLA-2a: Stratigraphische Einheiten mit ihren Tiefen und Mächtigkeiten. ....	5
Tab. 2:	Geothermiebohrungen Schlattingen SLA-1 und SLA-2 (Bohräste SLA-2a und SLA-2b): Formationstiefen, Mächtigkeiten und Bohrlängen. ....	7
Tab. 3:	SLA-2b: Stratigraphische Einheiten mit ihren Tiefen und Mächtigkeiten. ....	16

## Figurenverzeichnis

Fig. 1:	Lageplan der Geothermiebohrungen Schlattingen SLA-2 und SLA-1.....	1
Fig. 2:	Lithostratigraphie der Bohrung Schlattingen SLA-1 mit Bohrkernabschnitten. ....	3
Fig. 3:	Lithostratigraphie der Geothermiebohrung Schlattingen SLA-2 (Zusammenfassung der Bohräste SLA-2a und ab 680 m Tiefe entlang Bohrloch SLA-2b). ....	8
Fig. 4:	Karte der Tiefenkonturen Top Trigonodus-Dolomit mit Lage der Geothermiebohrungen Schlattingen SLA-1, SLA-2a und SLA2-b. ....	20
Fig. 5:	Geologischer Vertikalschnitt mit Bohrlochverlauf des Bohrasts SLA-2a der abgelenkten Geothermiebohrung. ....	21
Fig. 6:	Geologisches 3D-Blockmodell mit Bohrlochverlauf der Geothermiebohrungen Schlattingen SLA-1 und SLA-2 (Bohräste SLA-2a und SLA-2b). ....	22

## Beilagenverzeichnis

Beilage 1:	Lithostratigraphische Profile von SLA-1 und SLA-2 mit den Bohrästen SLA-2a und SLA-2b
Beilage 2:	Compositelog, Messserie 1, open-hole 140 – 496 m
Beilage 3:	Compositelog, Messserie 2, open-hole, 1050 – 2013 m, Compact Well Shuttle
Beilage 4:	Cement-Bond Logs



# 1 Einleitung

Im Anschluss an die erfolgreiche erste Geothermiebohrung (SLA-1) der Firma Grob Gemüse und Landbau, Schlattigen wurde im Spätwinter/Frühling 2013 eine zweite Tiefbohrung (SLA-2) abgeteuft (Fig. 1). Im Gegensatz zur ersten wurde die zweite Bohrung unter Berücksichtigung der Auswertung von Reflexionsseismik (Interoil 2012), der lokalen tektonischen Situation sowie den strukturgeologischen Erkenntnissen aus der Bohrung SLA-1 (vgl. Albert et al. 2012, Madritsch & Vietor 2013) als Schrägbohrung in östlicher Richtung gegen den Rhein zu konzipiert. Der erste Abschnitt bis in die oberen Malmkalke sollte noch vertikal gebohrt werden, dann abgelenkt und im Zielhorizont, dem Oberen Muschelkalk, horizontal verlaufen.

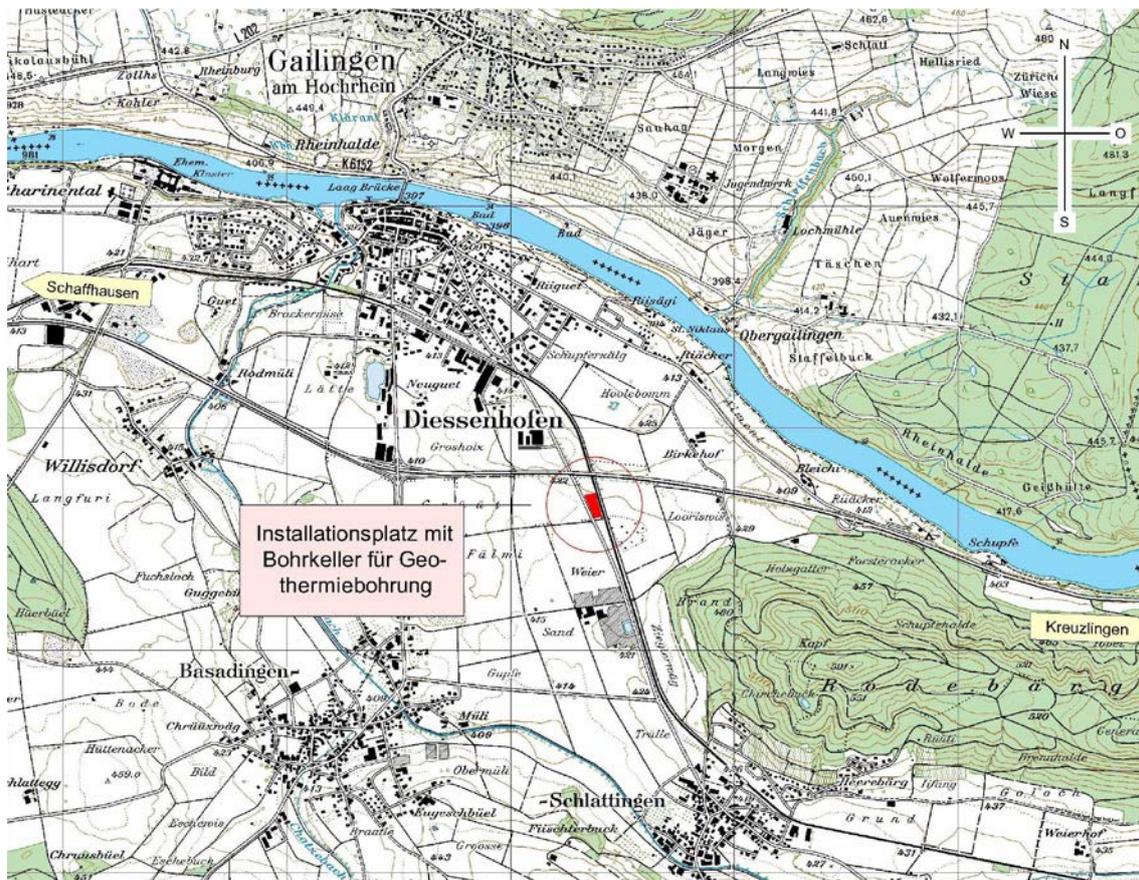


Fig. 1: Lageplan der Geothermiebohrungen Schlattigen SLA-2 und SLA-1.

Koordinaten der Geothermiebohrung Schlattigen SLA-2 (Ansatzpunkt):

Hochwert: 281'645.59 m N

Rechtswert: 699'370.52 m E

Kote (GOK): 416.60 m ü.M.

Die Geothermiebohrung Schlattingen SLA-2 befindet sich in der südöstlichen Fortsetzung des Randens, ca. 10 km von den nächsten Malm-Aufschlüssen bei Schaffhausen und ca. 10 km östlich der Sondierbohrung Benken. Die Erdölbohrung Herdern-1 wurde 12 km südöstlich von Schlattingen abgeteuft.

Insgesamt wurden zwei Bohrstöße gebohrt: der erste (SLA-2a) erreichte eine Länge von 1298 m, der zweite Pfad (SA-2b) wurde – da die Bohrung aufstand und nicht fortgeführt werden konnte (vgl. Anhang A) – aus dem rückzementierten Bohrloch in den Malmkalken neu angesetzt. Er endete bei einer Gesamtlänge von 2013 m im Trigonodus-Dolomit.

Beide Bohrstöße wurden ausschliesslich gemeisselt:

- Bohrst SLA-2a: Cuttings 142 – 1298 m entlang Bohrloch (Februar – Anfang März 2013)
- Bohrst SLA-2b: Cuttings 680 – 2013 m entlang Bohrloch (April 2013)

Anhang A enthält das Aktivitätenjournal (Borehole History) der zweiten Geothermiebohrung von Schlattingen (SLA-2a und SLA-2b). Dort sind alle Tätigkeiten im Bohrloch mit Datum und Hinweis auf den entsprechenden Tagesrapport dokumentiert.

Ein Teil der Cuttings wurde für unmittelbare operative Entscheide auf der Bohrstelle untersucht. Später wurden alle am Institut für Geologie der Universität Bern mittels Binokular analysiert.

Ohne die gekernten Abschnitte der Bohrung SLA-1 (725.0 – 989.0 m: unterster Malm – Lias und 1116.0 – 1184.7 m: Trigonodus-Dolomit – Dolomit der Anhydritgruppe; vgl. Fig. 2), wo zudem die geophysikalischen Logs direkt mit verschiedenen Leitbänken korreliert werden konnten, wäre die Gliederung von SLA-2a und SLA-2b manchmal schwierig gewesen.

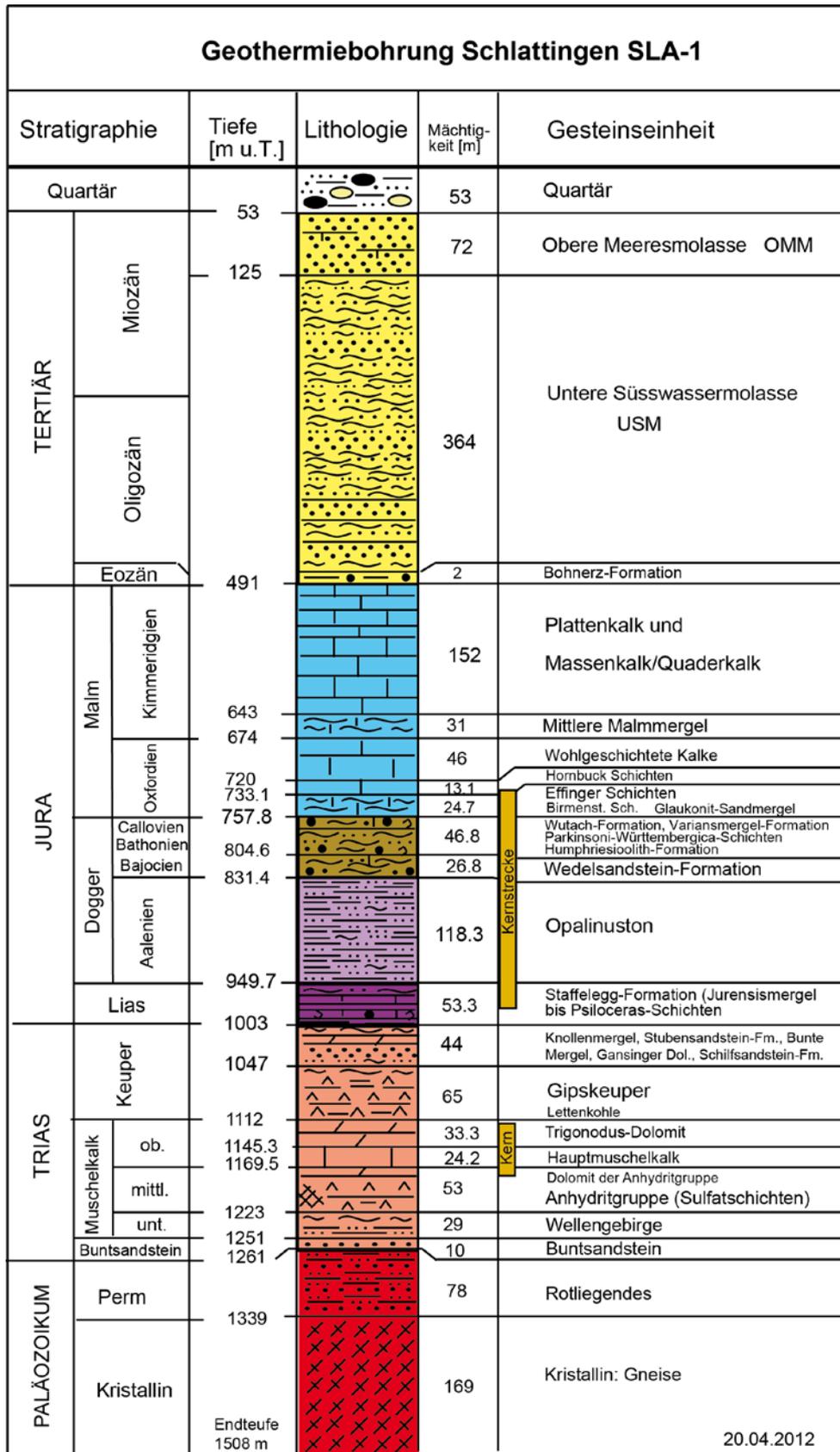


Fig. 2: Lithostratigraphie der Bohrung Schlattingen SLA-1 mit Bohrkernabschnitten.



## 2 Geologie

### 2.1 Stratigraphie der Bohrung Schlattigen SLA-2: Bohrst SLA-2a

Von der zweiten Bohrung SLA-2 wurden im ersten Bohrst SLA-2a Cuttings ab einer Teufe von 142 m aufbereitet. Die Bohrstrecke konnte in die in Tab. 1 aufgeführten stratigraphischen Einheiten gegliedert werden.

Tab. 1: SLA-2a: Stratigraphische Einheiten mit ihren Tiefen und Mächtigkeiten.

MD	TVD	Stratigraphische Einheit
x – 490 m		Untere Süßwassermolasse
490 – 492 m	490 – 492 m (2 m)	Bohnerz-Formation (Siderolithikum)
492 – 770 m	492 – 763 m (271 m)	Malm
492 – 645 m	492 – 644 m (152 m)	Plattenkalk, Massenkalk/Quaderkalk
645 – 680 m	644 – 678 m (34 m)	Mittlere Malmmergel
680 – 727 m	678 – 723 m (45 m)	Wohlgeschichtete Kalke
727 – 741 m	723 – 736 m (13 m)	Hornbuck-Schichten
741 – 764 m	736 – 758 m (22 m)	Effinger Schichten
764 – 770 m	758 – 763 m (5 m)	Birmenstorfer Sch. u. Glaukonit-Sandmgl.
770 – 996 m	763 – 963 m (200 m)	Dogger
770 – 781 m	763 – 774 m (11 m)	Wutach- und Variansmergel-Formation
781 – 804 m	774 – 795 m (21 m)	Parkinsoni-Württembergica-Schichten
804 – 816 m	795 – 807 m (12 m)	Humphriesioolith-Formation
816 – 846 m	807 – 835 m (28 m)	Wedelsandstein-Formation
846 – 996 m	835 – 963 m (128 m)	Opalinuston
996 – 1078 m	963 – 1021 m (58 m)	Lias
996 – 1007 m	963 – 971 m (8 m)	Jurensismergel
1007 – 1017 m	971 – 979 m (8 m)	Posidonienschiefer
1017 – 1028 m	979 – 986 m (7 m)	Numismalis-Amaltheen-Schichten
1028 – 1046 m	986 – 999 m (13 m)	Obtusius-Schichten
1046 – 1052 m	999 – 1003 m (4 m)	Arietenkalk
1052 – 1078 m	1003 – 1021 m (18 m)	Psiloceras-Schichten
1078 – 1298 m	1021 – 1130 m (> 110 m)	Keuper
1078 – 1097 m	1021 – 1033 m (12 m)	Knollenmergel
1097 – 1142 m	1033 – 1057 m (24 m)	Stubensandstein-Formation
1142 – 1157 m	1057 – 1064 m (7 m)	Bunte Mergel
1157 – 1162 m	1064 – 1067 m (3 m)	Gansinger Dolomit
1162 – 1180 m	1067 – 1075 m (8 m)	Schilfsandstein-Formation
1180 – 1298 m	1075 – 1130 m (55 m)	Gipskeuper

**MD:** Measured Depth along hole, Teufe along hole: entspricht Teufe und Bezeichnung der Cuttings

**TVD:** True Vertical Depth: auf die Vertikale umgerechnete Tiefe

Die lithologischen und stratigraphischen Logs der Geothermiebohrungen Schlattingen SLA-1 und SLA-2 (Bohräste SLA-2a und SLA-2b) sind in Beilage 1 abgebildet. Dargestellt wurden die Schichten ab 700 m Tiefe. Oberhalb stimmen Schichten und Tiefen mit denjenigen von SLA-1 (Albert et al. 2012) überein. Zudem sind alle Tiefen, Formationsober- und -untergrenzen in Tab. 2 aufgelistet. Ein lithostratigraphisches Übersichtsprofil der Geothermiebohrung SLA-1 enthält Fig. 2, ein solches von SLA-2 (beide Bohräste zusammengefasst, Daten ab 680 m von SLA-2b) ist in Fig. 3 abgebildet.

In der folgenden stratigraphischen Beschreibung werden einzig **MD**, d.h. die gemessenen Teufen entlang des Bohrlochs, verwendet. Diese Werte entsprechen den Cuttingproben.

Die Grenzen der Einheiten basieren auf den geophysikalischen Bohrloch-Logs, insbesondere dem Gammaray-Log. Die Cuttings der beiden Bohräste SLA-2a und SLA-2b liefern ziemlich häufig, da sie zu stark mit Nachfall verunreinigt sind, keine verlässlichen Teufen / Tops der Formationen.

Die Formationen werden im Folgenden nicht im Detail behandelt. Eine ausführlichere Beschreibung der stratigraphischen Einheiten ist im Bericht zu SLA-1 enthalten (Albert et al. 2012).

Tab. 2: Geothermiebohrungen Schlattingen SLA-1 und SLA-2 (Bohräste SLA-2a und SLA-2b): Formationstiefen, Mächtigkeiten und Bohrlängen.

MD: Measured Depth along hole, TVD: True Vertical Depth (vgl. Tab. 1), ET: Endtiefe.

SLA-1		SLA-1		SLA-2a		SLA-2a		SLA-2a		SLA-2b		SLA-2b			
von	bis	Mächtigkeit	TVD [m]	von	bis	Mächtigkeit	TVD [m]	von	bis	Mächtigkeit	MD [m]	von	bis		Mächtigkeit
125	- 488.0	364.0	488.9	125.0	- 488.9	363.9		490.0	- 492.0	2.0					Untere Süßwassermolasse
489	- 491.0	2.0	490.9	489.9	- 490.9	2.0		492.0	- 492.0	2.0					Siderolithikum/Bohrerz-Formation
491.0	- 757.8	266.8	757.7	490.9	- 757.7	266.8		492.0	- 763.3	271.3					Malm
491.0	- 643.0	152.0	642.9	490.9	- 642.9	152.0		492.0	- 643.7	151.7					Plattenkalk, Massenkalk/Quaderkalk
643.0	- 674.0	31.0	673.9	642.9	- 673.9	31.0		643.7	- 677.7	34.1					Mittlere Malmmergel
674.0	- 720.0	46.0	719.9	673.9	- 719.9	46.0		677.7	- 722.7	44.9		680	- 728	48	Wohlgeschichtete Kalke
720.0	- 733.1	13.1	733.0	719.9	- 733.0	13.1		722.7	- 735.9	13.2		728	- 742	14	Hornbuck-Schichten
733.1	- 751.9	18.8	751.8	733.0	- 751.8	18.8		735.9	- 757.6	21.7		742	- 764	22	Efinger-Schichten
751.9	- 757.8	5.9	757.7	751.8	- 757.7	5.9		757.6	- 763.3	5.7		764	- 770	6	Birmenst. Sch. u. Glaukonit-Sandngl.
757.8	- 949.7	191.9	949.5	757.7	- 949.5	191.8		763.3	- 963.0	199.7		770	- 986	216	Dogger
757.8	- 768.0	10.2	767.9	757.7	- 767.9	10.2		763.3	- 773.7	10.4		770	- 781	11	Wuach- und Variansmergel-Fm.
768.0	- 791.9	23.9	791.8	767.9	- 791.8	23.9		773.7	- 795.3	21.6		781	- 803	22	Parkinsoni-Württembergische-Sch.
791.9	- 804.6	12.7	804.5	791.8	- 804.5	12.7		795.3	- 806.5	11.3		803	- 815	12	Humphriesoolith-Formation
804.6	- 831.4	26.8	831.3	804.5	- 831.3	26.8		806.5	- 834.5	27.9		815	- 844	29	Wedelsandstein-Formation
831.4	- 949.7	118.3	949.5	831.3	- 949.5	118.3		834.5	- 963.0	128.5		844	- 986	142	Opalinuston
949.7	- 1003.0	53.3	1002.8	949.5	- 1002.8	53.3		963.0	- 1020.9	57.9		986	- 1053	67	Las
949.7	- 953.2	3.5	953.0	949.5	- 953.0	3.5		963.0	- 971.2	8.2		986	- 995	9	Jurensismergel
953.2	- 962.3	9.1	962.1	953.0	- 962.1	9.1		971.2	- 978.5	7.3		995	- 1003	8	Posidonienschiefer
962.3	- 969.1	6.8	968.9	962.1	- 968.9	6.8		978.5	- 986.4	7.9		1003	- 1011	8	Numismalis-Amaltheen-Schichten
969.1	- 981.7	12.6	981.5	968.9	- 981.5	12.6		986.4	- 993.2	12.8		1011	- 1027	16	Obtusus-Schichten
981.7	- 986.5	4.8	986.3	981.5	- 986.3	4.8		993.2	- 1003.4	4.2		1027	- 1033	6	Arietenkalk
986.5	- 1003.0	16.5	1002.8	986.3	- 1002.8	16.5		1003.4	- 1020.9	17.5		1033	- 1053	20	Psiloceras-Schichten
1003.0	- 1112.0	109.0	1111.6	1002.8	- 1111.6	108.9		1020.9	- 1130.4	> 110		1053	- 1232	179	Keuper
1003.0	- 1014.0	11.0	1013.8	1002.8	- 1013.8	11.0		1020.9	- 1032.7	11.8		1053	- 1067	14	Knollenmergel
1014.0	- 1030.0	16.0	1029.8	1013.8	- 1029.8	16.0		1032.7	- 1057.0	24.3		1067	- 1091	24	Subensandstein-Formation
1030.0	- 1038.0	8.0	1037.7	1029.8	- 1037.7	8.0		1057.0	- 1064.2	7.3		1091	- 1102	11	Bunte Mergel
1038.0	- 1040.0	2.0	1039.7	1037.7	- 1039.7	2.0		1064.2	- 1066.7	2.4		1102	- 1106	4	Gansinger Dolomit
1040.0	- 1047.0	7.0	1046.7	1039.7	- 1046.7	7.0		1066.7	- 1075.3	8.7		1106	- 1118	12	Schiffsandstein-Formation
1047.0	- 1112.0	65.0	1111.6	1046.7	- 1111.6	64.9		1075.3	- 1130.4			1118	- 1225	107	Gipskeuper
1108.0	- 1112.0	4.0	1111.6	1107.6	- 1111.6	4.0						1225	- 1232	7	Lettenkohle
1112.0	- 1169.5	57.5	1169.1	1111.6	- 1169.1	57.4						1232	- 2013	781	Oberer Muschelkalk
1112.0	- 1145.3	33.3	1144.9	1111.6	- 1144.9	33.3						1232	- 1818	586	Trigonodus-Dolomit
												1818	- 1867	49	(Lettenkohle)
												1867	- 2013	1164.2	(Trigonodus-Dolomit)
1145.3	- 1169.5	24.2	1169.1	1144.9	- 1169.1	24.2								1173.9	Hauptmuschelkalk

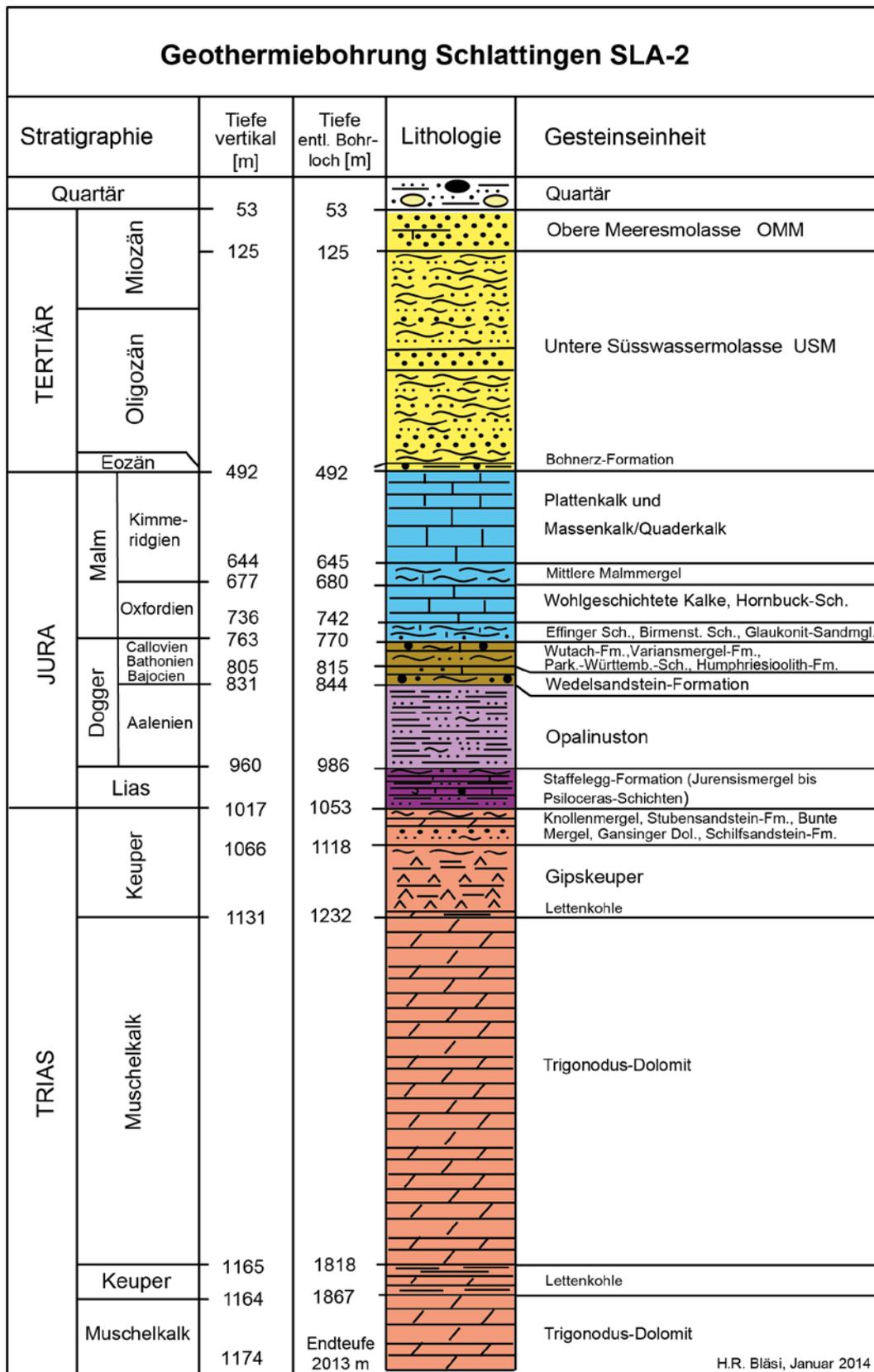


Fig. 3: Lithostratigraphie der Geothermiebohrung Schlattingen SLA-2 (Zusammenfassung der Bohrstufe SLA-2a und ab 680 m Tiefe entlang Bohrloch SLA-2b).

### **2.1.1 Tertiär (x – 492 m)**

In der Bohrung SLA-1 wurden zuoberst 53 m mächtige quartäre Schotter, dann 72 m mächtige Obere Meeresmolasse sowie Untere Süswassermolasse erbohrt. Die Obergrenze der Unteren Süswassermolasse liegt dort bei 125 m.

#### **2.1.1.1 Untere Süswassermolasse (x – 490 m)**

Der Abschnitt der Unteren Süswassermolasse wird wie üblich von bunten, roten, ockerfarbenen oder grünlichen, gefleckten Mergeln dominiert. Zudem können grünlichbeige, siltige Tonsteine und tonige Siltsteine sowie graue bis bräunliche, oft mässig zementierte, Feinsandsteine gefunden werden. Aufgrund des Gammaray-Logs dürften bis ca. 10 m mächtige Sandsteinhorizonte ausgebildet sein.

#### **2.1.1.2 Bohnerz-Formation (490 – 492 m, 2 m along hole)**

Die Bohnerz-Formation zeigt sich in den geophysikalischen Logs ca. von 490 – 492 m sowie wenige Meter darunter wohl noch in einem Karstschlot. Ihre charakteristischen Lithologien – rote bis ockerfarbene Bolustone und rostrote Bohnerzkörner – sind in den Cuttingproben 500 m und 510 m enthalten. Ihre effektive Mächtigkeit beträgt in SLA-1 und SLA-2a jeweils 2 m.

### **2.1.2 Malm (492 – 770 m, 278 m along hole)**

Der Malm des Randens umfasst eine rund 250 m mächtige Folge von gut geschichteten Kalksteinen, massigen Kalksteinen und zwei gering mächtigen mergeligen Einheiten (Hofmann 1981, Hofmann et al. 2000). In SLA-1 umfasst der Malm eine 266.8 m mächtige Kalkstein- und Mergelabfolge, in SLA-2a beträgt die effektive Mächtigkeit ca. 271 m.

Zusammen mit den in der Region bis anhin üblichen Bezeichnungen der Malm-Einheiten werden im Folgenden auch neuere, im Schwäbischen Jura begründete Einheiten angefügt.

#### **2.1.2.1 Plattenkalk und Quaderkalk/Massenkalk (Bankkalke und Felsenkalke/Massenkalk, 492 – 645 m, 153 m along hole)**

Der oberste, 153 m messende Malmabschnitt besteht einerseits aus hellbeigen, mikritischen und grauen, tonigen Kalksteinen, andererseits aus weissen, kreidigen, z.T. dolomitischen oder zuckerkörnigen Kalksteinen. Beide enthalten Schwammknöllchen, und gehören demnach zur schwäbischen Schwammfazies des Massenkalks. Anhand der Cuttings können die beiden Einheiten Plattenkalk und Quaderkalk/Massenkalk nicht getrennt werden. Quaderkalk/Massenkalk beinhalten lateral verzahnte, gut geschichtete mikritische Kalksteine und massige Schwammkalke.

In den Bohrungen SLA-1 und SLA-2a beträgt die Mächtigkeit von Plattenkalk und Quaderkalk/Massenkalk zusammen jeweils 152 m.

### **2.1.2.2 Mittlere Malmmergel (Schwarzbach-Fm., 645 – 680 m, 35 m along hole)**

Die Mittleren Malmmergel zeichnen sich einerseits durch ihren Tonanteil in den geophysikalischen Logs ab. Andererseits wechseln die Cuttings ihre Farbe von beige zu grau und die Kalksteine werden von tonigen Kalksteinen und Kalkmergeln abgelöst. Ihre effektive Mächtigkeit beträgt in SLA-1 31 m und in SLA-2a 34 m (Beilage 1 und Tab. 1).

### **2.1.2.3 Wohlgeschichtete Kalke (Villigen-Fm. pp., 680 – 727 m, 47 m along hole)**

Die Wohlgeschichteten Kalke sind eine dünn gebankte Formation aus 10 – 60 cm mächtigen mikritischen Kalkschichten mit dünnen eingeschalteten Kalkmergeln (Hofmann 1981). In der Bohrung SLA-1 erreichen sie eine Mächtigkeit von 46 m und in SLA-2a 45 m. Die Wechselfolge aus Kalkbänken und dünnen tonigeren Zwischenlagen führt bei den geophysikalischen Logs zu einem charakteristischen Abbild, das sich beispielsweise vom Massenkalk klar unterscheidet. Die Cuttings bestehen aus graubeigen und beige mikritischen Kalksteinen.

### **2.1.2.4 Hornbuck-Schichten (Villigen-Fm. p.p., 727 – 741 m, 14 m along hole)**

Die Hornbuck-Schichten oder Lochen-Schichten (Hofmann 1981) sind schwammführende Kalksteine zwischen den Wohlgeschichteten Kalken und den Effinger Schichten. Typisch sind auch schwarz verfärbte, unregelmässige, korrodierte Hartgünde ausgebildet. In SLA-1 und SLA-2a beträgt die Mächtigkeit jeweils 13 m. Da dieser Abschnitt stark mit Nachfall versetzt war, konnten keine spezifischen Cuttings dieser Einheit identifiziert werden.

### **2.1.2.5 Effinger Schichten (741 – 764 m, 23 m along hole)**

Die Effinger Schichten sind dunkelgraue Kalkmergel mit einzelnen Kalkbänken. Gegenüber ihrem zentralen Verbreitungsgebiet im Aargauer und Solothurner Jura sind sie im Randengebiet nur 35 – 40 m mächtig (Hofmann 1981). In der Bohrung Benken waren sie nur 13.7 m (Nagra 2001), in SLA-1 18.8 m und in SLA-2a ca. 22 m mächtig. Sie können in den geophysikalischen Logs anhand des durchschnittlich höheren Tonmineralgehalts von den Hornbuck-Schichten getrennt werden, weisen jedoch keine eindeutige Obergrenze auf. Die Untergrenze wird durch den Vergleich mit der Kernstrecke von SLA-1 gegeben. Die Cuttings zeigen dunkelgraue, siltige Kalkmergel und siltige, tonige Kalksteine.

### **2.1.2.6 Birnenstorfer Schichten inkl. Glaukonit-Sandmergel (764 – 770 m, 6 m along hole)**

Die Birnenstorfer Schichten bestehen in ihrer charakteristischen Ausbildung im Aargauer Jura aus dezimeterdicken Kalkbänken mit Mergelfugen (Gygi 1969, Jordan et al. 2011). Sie führen meist flache, bis handgrosse, heute kalkige Schwämme (ehemals Kieselschwämme). An der Basis ist häufig ein glaukonitreicher Mergel vorhanden. Gegen den Rand zu verlieren sich die Kalkbänke, an ihre Stelle tritt ein geringmächtiger Mergel mit Schwammknöllchen (Mumienkalk und Mumienmergel, Gygi 1977). Jedoch wurden in der Kernbohrung SLA-1 typische schwammführende Kalkbänke der Birnenstorfer Schichten durchbohrt. Ihre effektive Mächtigkeit beträgt in SLA-1 5.9 m und in SLA-2a ca. 6 m. Die Position der Birnenstorfer Schichten in SLA-2a wurde anhand der geophysikalischen Logs bestimmt. Die charakteristischen Lithologien – graue schwammführende Kalksteine – wurden in den Proben 772 m und 774 m sowie glaukonitreiche, sandige Mergel mit Eisenoolithen des obersten Doggers zusammen in 776 m gefunden.

### **2.1.3 Dogger (770 – 996 m, 226 m along hole)**

Der Dogger besteht aus einer Serie von siltigen bis feinsandigen Mergeln und Tonsteinen mit eisenoolithischen Kalksteinen und Mergeln sowie sandigen Kalksteinen und biodetritischen Kalksteinen. Seine Mächtigkeit beträgt in SLA-1 191.8 m und in SLA-2a ca. 200 m.

#### **2.1.3.1 Wutach- und Variansmergel-Formation (770 – 781 m, 11 m along hole)**

Im Gegensatz zum Bericht SLA-1 (Albert et al. 2012) werden neu anstelle der stratigraphischen Einheiten Anceps-Athleta- und Macrocephalus-Schichten sowie Varians-Schichten die Wutach- und Variansmergel-Formation verwendet (Bläsi et al. 2013). Sie können bei SLA-2a weder mittels geophysikalischer Logs noch anhand der Cuttings sicher voneinander getrennt werden. Ihre Mächtigkeit beträgt in SLA-1 10.2 m und in SLA-2a ca. 10 m. Die Cuttings enthalten einzelne limonitische Eisenooide, bräunliche eisenoolithische Kalksteine, schwarze eisenoolithische Mergel und dunkelgraue, sandige Mergel.

#### **2.1.3.2 Parkinsoni-Württembergica-Schichten (781 – 804 m, 23 m along hole)**

Parkinsoni- und Württembergica-Schichten sind beides monotone Folgen von siltigen bis feinsandigen Tonmergeln, die sofern der eisenoolithische Parkinsoni-Oolith ausgebildet bzw. gefunden wird, getrennt werden können. In den geophysikalischen Logs von Schlattingen-2 erscheinen sie zusammen als einheitliche tonreiche Serie, die gegen unten mässig tonreicher wird. In SLA-1 sind die beiden Einheiten zusammen 23.9 m mächtig, in SLA-2a messen sie effektiv ca. 22 m (Beilage 1 und Tab. 1).

#### **2.1.3.3 Humphriesioolith-Formation (804 – 816 m, 12 m along hole)**

Zur Humphriesioolith-Formation werden die Subfurcaten-Schichten (oben), die Blagdeni-Schichten und die Humphriesi-Schichten (unten) zusammengefasst (Bläsi et al. 2013). Bei SLA-1 wurden diese Schichten noch getrennt beschrieben. Die Humphriesioolith-Formation weist oben und unten eisenoolithische Kalksteine, bzw. eisenoolithische Knollen und Mergel auf. Zudem sind sandige Mergel und Kalklagen mit reichlich Biodetritus, Austern und Muscheln ausgebildet. Muschelbruchstücke, eisenoolithische Gesteine und sandige Mergel sind in den Cuttings zu finden. In SLA-1 ist die Formation 12.7 m mächtig, in SLA-2a ca. 11 m. Ihre Obergrenze ist in den geophysikalischen Logs kaum, dagegen ist die Untergrenze deutlicher erkennbar.

#### **2.1.3.4 Wedelsandstein-Formation (816 – 846 m, 30 m along hole)**

Die Wedelsandstein-Formation besteht aus dunkelgrauen, siltigen und feinsandigen glimmerführenden Mergeln mit sandigen Kalkbänken, die unregelmässig in die Mergel eingeschaltet sind. Die Wechsellagerung von sandigen Kalkbänken und Mergeln ist im Gammaray-Log deutlich abgebildet. In SLA-1 ist die Formation 26.8 m mächtig, in SLA-2a ca. 28 m. Die Obergrenze wird durch den Kontakt zum eisenoolithischen Horizont an der Basis der hangenden Humphriesioolith-Formation bestimmt, was jedoch in den geophysikalischen Logs von SLA-1, SLA-2a und SLA-2b nicht markant hervortritt. Die Untergrenze der Wedelsandstein-Formation bildet die Basis des dünnen Eisenooliths (Sowerbyi-Oolith). Sie ist im Log der Bohrung SLA-1 klar, jedoch wenig deutlich bei SLA-2a und SLA-2b abgebildet.

### **2.1.3.5 Opalinuston (846 – 996 m, 150 m along hole)**

Im Liegenden der Wedelsandstein-Formation folgt in Schlattingen direkt der Opalinuston. Vielerorts ist in dieser Position die Murchisonae-Oolith-Formation, bzw. weiter im Westen der unterste Teil der Passwang-Formation eingeschaltet. In Schlattingen jedoch wurde während dieser Zeitspanne noch Opalinuston abgelagert (Bläsi et al. 2013). Die Obergrenze wird durch den hangenden Eisenoolith der Wedelsandstein-Formation gegeben. Die Untergrenze liegt beim Kontakt der Kalklagen bzw. Kalkknollen der Jurensismergel. Beide Grenzen sind in den geophysikalischen Logs eindeutig identifizierbar, ausgenommen bei SLA-1, wo die Logs im untersten Opalinuston infolge starker Bohrlochausbrüche "verzerrt" sind.

Der Opalinuston besteht wie üblich aus dunkelgrauen, glimmerhaltigen, siltigen Tonsteinen, die in einzelnen Abschnitten hellgraue, kalkige Silt- und Feinsandsteinlagen und -linsen oder auch bräunliche Sideritknollen enthalten. Aufgrund der An- bzw. der Abwesenheit von Sandlagen kann der Opalinuston in gekernten Bohrungen in 4 oder 5 Fazien unterteilt werden, in SLA-1 waren es deren vier. Weder die geophysikalischen Logs noch die Cuttings, da die gesamte Opalinuston-Bohrstrecke mit sehr viel Nachfall der härteren kalkigen Sandsteinlagen belastet ist, lassen eine Gliederung des Opalinustons von SLA-2a und SLA-2b zu.

Die Mächtigkeit des Opalinustons in der Bohrung SLA-1 beträgt 118.3 m. Die aus der Schrägbohrung SLA-2a errechnete Mächtigkeit beträgt ca. 129 m (vgl. Fig. 1). Bei einer ungefähren Horizontalabstand von knapp 200 m zu SLA-1 kann die Mächtigkeitszunahme von ca. 12 m kaum sedimentär sein, sondern ist höchstwahrscheinlich tektonischer Natur (vgl. Kap 2.3).

### **2.1.4 Lias (Staffelegg-Formation, 996 – 1078 m, 82 m along hole)**

Der Lias besteht mehrheitlich aus tonigen Abschnitten und darin eingelagerte biodetritische Kalksteinen, laminierte Kalksteinen, phosphoritische Hartgründe und eisenoolithische Horizonte. Im Folgenden werden auch die von Reisdorf et al. (2011) definierten Einheiten angefügt. Die Mächtigkeit des Lias beträgt in der Sondierbohrung Benken 40.26 m (Nagra 2001), was der in dieser Region zu erwartenden normalen Mächtigkeit entspricht.

Ebenso wie im Opalinuston ist die Mächtigkeit des Lias gegenüber dem regionalen Umfeld erhöht, was auch für diesen Abschnitt den Verdacht auf eine tektonisch gestörte Schichtabfolge nahelegt (vgl. Kap. 2.3). In SLA-1 war sie 53.3 m. In SLA-2a beträgt die aus der Schrägbohrung errechnete, effektive Mächtigkeit ca. 58 m (vgl. Fig. 1). Erhöht ist sie v.a. in den Jurensismergeln und den Psiloceras-Schichten.

#### **2.1.4.1 Jurensismergel (Gross Wolf-Member, 996 – 1007 m, 11 m along hole)**

Die Jurensismergel bestehen aus einer Wechsellagerung von knolligen Kalkschichten und Mergeln, die häufig zahllose Belemniten enthalten. Durch ihren Kalkgehalt heben sie sich im Gammaray-Log sowohl vom Opalinuston als auch von den Posidonienschiefern ab. Ihre Mächtigkeit beträgt in der Sondierbohrung Benken 6.09 m (Nagra 2001), in SLA-1 3.5 m und in SLA-2a und SLA-2b ca. 8 m. In den Cuttings fallen die hellgrauen Kalksteine vor dem Hintergrund der dunkelgrauen Opalinustone ebenso wie die vielen Bruchstücke von Belemniten auf.

#### **2.1.4.2 Posidonienschiefer (Rietheim-Member, 1007 – 1017 m, 10 m along hole)**

Die Posidonienschiefer setzen sich aus schwarzen, bräunlich schimmernden, bituminösen Tonmergeln, Tonsteinen und grauen, laminierten Kalkbänken – den Stinkkalkbänken – zusammen. In der Sondierbohrung Benken messen sie 9.45 m (Nagra 2001), in SLA-1 9.1 m und in SLA-2a ca. 7 m. Folglich fehlen in der Bohrung SLA2a (und auch SLA-2b) einzelne Schichten im Vergleich zu SLA-1. Aufgrund der geophysikalischen Logs zeigt sich jedoch, dass dort sowohl kalkige Tonsteine, Tonmergel und Stinkkalkbänke vorhanden sind, obschon gerade letztere in den Cuttings nicht gefunden werden konnten.

#### **2.1.4.3 Numismalis-Amaltheen-Schichten (Breitenmatt- bis Rickenbach-Member, 1017 – 1028 m, 11 m along hole)**

Die Numismalis-Amaltheen-Schichten bestehen aus dunkelgrauen Tonmergeln mit geringmächtigen Kalkbänken sowie Lagen voller Belemniten. Durch die Kalkbänke und die Belemniten kann die Einheit in den geophysikalischen Logs klar abgegrenzt werden. Jedoch weisen die liegenden tonigen Obtusus-Schichten zuoberst auch eine Kalkbank auf, die Obliqua-Schicht, sodass die Untergrenze innerhalb von kalkigen Schichten liegt. Die Mächtigkeit der Numismalis-Amaltheen-Schichten beträgt in Benken 3.14 m (Nagra 2001), in SLA-1 6.8 m und in SLA-2a ca. 8 m.

#### **2.1.4.4 Obtusus-Schichten (Frick- bis Grünschholz-Member, 1028 – 1046 m, 18 m along hole)**

Die Obtusus-Schichten bestehen aus einer monotonen Abfolge von dunkelgrauen siltigen Tonsteinen bis Tonmergeln, die dementsprechend in den geophysikalischen Logs als eine Einheit, allerdings mit der geringmächtigen, knolligen, Phosphoritkrusten haltigen Obliqua-Schicht abgebildet sind. In der Bohrung Benken beträgt ihre Mächtigkeit 13.33 m (Nagra 2001), in SLA-1 12.6 m und in SLA-2a ca. 13 m.

#### **2.1.4.5 Arietenkalk (Beggingen-Member, 1046 – 1052 m, 6 m along hole)**

Der Arietenkalk bildet zwischen den beiden tonigen Einheiten der Obtusus- und der Psiloceras-Schichten ein hartes, kompetentes Schichtpaket. Allerdings sind die biotritischen Kalkbänke im Gammaray-Log nicht nur durch geringe Ausschläge wiedergegeben, sondern die oberste, eisenoolithische, Pyrit- und Gryphäen-reiche Bank zeichnet sich als markanter Peak ab. Die Cuttings enthalten Bruchstücke der dickschaligen Gryphäen und bräunliche, spätige, biotritische Kalksteine. Die Mächtigkeit beträgt in Benken 3.59 m, in SLA-1 4.8 m und in SLA-2a ca. 4 m.

#### **2.1.4.6 Psiloceras-Schichten (Schambelen-Member, 1052 – 1078 m, 26 m along hole)**

An der Basis des Lias folgen die Psiloceras-Schichten aus dunkelgrauen bis schwarzen, siltigen Tonsteinen mit einzelnen, dünnen Feinsandsteinlinsen und -laminae. In den geophysikalischen Logs sind sie als einheitliche tonige Serie mit einer Kalkbank in der oberen Hälfte abgebildet. Die Psiloceras-Schichten bilden in der Bohrung Benken eine 4.66 m mächtige Abfolge, in SLA-1 eine ausserordentlich mächtige von 16.5 m und in SLA-2a eine solche von ca. 18 m. Die Cuttings bestehen aus dunkelgrauen, flachen Splittern siltiger Tonsteine sowie kalkiger Feinsandsteine.

### **2.1.5 Keuper (1078 – 1298 m, > 220 m along hole)**

Die Bohrstrecke durch den Keuper verlief zunehmend flacher, so dass die einzelnen Formationen in zunehmend längeren Strecken gequert wurden. Markanteste Formation ist die Stubensandstein-Formation mit je einem mächtigen Dolomit- und Grobsandstein-Abschnitt. Die effektive Mächtigkeit beträgt in SLA-1 109.0 m und mindestens 110 m in SLA-2a.

#### **2.1.5.1 Knollenmergel (1078 – 1097 m, 19 m along hole)**

Die Knollenmergel bestehen aus rötlichen und hellgrünen dolomitischen Mergeln mit einzelnen, beigen dolomitreichen Knollen und Lagen.

Die Grenzen der Einheit sind sowohl bei den Cuttings als auch in den geophysikalischen Logs so eindeutig wie kaum andere: An der Obergrenze wechselt Farbe und Lithologie von schwarz zu grünlich und hellrot sowie von siltigen Tonsteinen zu dolomitischen Mergeln. Die Untergrenze wird von den beigen, porösen zuckerkörnigen Dolomiten der Stubensandstein-Formation bestimmt. Die Mächtigkeit der Knollenmergel beträgt in Benken 16.22 m, 11.0 m in SLA-1 und ca. 12 m in SLA-2a.

#### **2.1.5.2 Stubensandstein-Formation (1097 – 1142 m, 45 m along hole)**

Die Stubensandstein-Formation besteht in ihrer mächtigsten Ausbildung im Schwäbischen Jura aus vier Sandsteinserien, die jeweils oben Krustenkarbonat-Schichten enthalten und zusammen bis 140 m mächtig sein können (Geyer et al. 2011). Im Klettgau und Randen reduziert sich die Formation auf den örtlich auskeilenden Stubensandsteindolomit, der höchstens 3 m mächtig ist, aus knolligen und oft sandigen Dolomitsteinen besteht, in die örtlich eine Stubensandsteinbank eingelagert ist (Geyer et al. 2011). In der Bohrung Benken ist die 11.48 m mächtige Stubensandstein-Formation aus einem 7.36 m mächtigen Dolomit (oben) und einem 4.12 m mächtigen Sandstein (Nagra 2001), in SLA-1 aus je einem 8 m mächtigen Dolomit und Sandstein zusammengesetzt. In SLA-2a erreichen der Dolomit-Abschnitt ca. 11 m und der Sandstein ca. 13 m.

In den geophysikalischen Logs bildet die Stubensandstein-Formation die Markereinheit schlechthin. Keine andere ist besser abtrennbar. Ebenso prägnant sind die Cuttings mit glitzernen, bräunlichen, porösen zuckerkörnigen Dolomiten und glasklaren, grobkörnigen Quarzsandsteinen sowie bunten dolomitischen Mergeln.

#### **2.1.5.3 Bunte Mergel (1142 – 1157 m, 15 m along hole)**

Zwischen den beiden harten Einheiten, den hangenden Sandsteinen und der liegenden Anhydrit/Dolomitbank des Gansinger Dolomits ist ein geringmächtiger toniger Abschnitt, derjenige der Bunten Mergel, eingeschaltet. Er besteht aus roten, selten grünlichen, dolomitischen Tonsteinen und Tonmergeln. Er ist infolge des deutlichen Lithologiewechsels auch in den geophysikalischen Logs ohne weiteres zu identifizieren. Die Bunten Mergel sind in der Bohrung Benken 7.5 m, in SLA-1 8.0 m und in SLA-2a ca. 7 m mächtig.

#### **2.1.5.4 Gansinger Dolomit (1157 – 1162 m, 5 m along hole)**

Der Gansinger Dolomit ist im Baselbiet und Aargauer Jura als 1 – 4 m mächtiger Dolomit mit mariner Fauna und laminiertes Dolomit ausgebildet (Wildi 1976). Gegen Osten zu treten mehr und mehr Evaporite auf und in der Bohrung Benken ist er als weisse, knollige oder massige Anhydritbank mit Dolomitlaminae entwickelt. Seine Mächtigkeit beträgt dort 1.6 m und jeweils 2 m in SLA-1 und in SLA-2a. In den Cuttings finden sich weisse, feinkristalline Anhydrit-splitter.

#### **2.1.5.5 Schilfsandstein-Formation (1162 – 1180 m, 18 m along hole)**

Die Schilfsandstein-Formation besteht aus pelitischen Sedimenten – dunkelrote, grünliche, dunkelgraue, siltige Tonsteine – und oft bunten, tonigen Silt- und Feinsandsteinen. Letztere sind entweder als Rinnen in die feinkörnigen Sedimente der Schwemmebene eingeschnitten oder als Überflutungsschichten abgelagert. Ihre Mächtigkeit beträgt in der Bohrung Benken 6.08 m, in SLA-1 7.0 m und in SLA-2a ca. 9 m. Die Obergrenze ist in den geophysikalischen Logs durch den Wechsel zu den Tonsteinen der Schilfsandstein-Formation relativ eindeutig. Hingegen tritt die Untergrenze weniger klar hervor. In den Cuttings gibt sich die Schilfsandstein-Formation als bunt gesprenkelte und gestreifte Silt- und Feinsandsteine zu erkennen.

#### **2.1.5.6 Gipskeuper (1180 – 1298 m, 118 m along hole)**

Der Gipskeuper ist aus dunkelgrauen, schwarzen, grünlichen und dunkelroten Tonsteinen und dolomitischen Mergeln sowie weissem, selten rosa Anhydrit in Knollen, Lagen, feinknolligen Bänken ("chickenwire"-Anhydrit) und massigen Bänken zusammengesetzt. In der Bohrung Benken konnte er, 71.5 m mächtig, in vier Untereinheiten gegliedert werden (Nagra 2001). In SLA-1 erreicht er eine Mächtigkeit von 64.9 m, in SLA-2a bis zur Endteufe ca. 55 m. Die Grenze zur hangenden Schilfsandstein-Formation verläuft in einem tonigen Abschnitt, sodass sie in den geophysikalischen Logs nicht eindeutig zu erkennen ist. Aufgrund dieser Logs ist bei der Endteufe die Formationsuntergrenze beinahe erreicht. Die Cuttings enthalten rote und dunkelgraue Tonsteine, weissen und rosa Anhydrit, "chickenwire"-Anhydrit mit schwarzen Tonflasern und graue körnige, dolomitische Mergel.

## 2.2 Stratigraphie der Bohrung Schlattingen SLA-2: Bohrast SLA-2b

Vom zweiten Bohrast der Geothermiebohrung Schlattingen SLA-2 liegen ab einer Teufe von 680 m Cuttings vor, was die in Tab. 3 dargestellte Gliederung ergibt. Ein lithostratigraphisches Übersichtsprofil der Bohrung SLA-2 enthält Fig. 3.

Tab. 3: SLA-2b: Stratigraphische Einheiten mit ihren Tiefen und Mächtigkeiten.

MD	TVD	Stratigraphische Einheit
		<i>Malm</i>
680 – 728 m	677 – 723 m (46 m)	Wohlgeschichtete Kalke
728 – 742 m	723 – 736 m (13 m)	Hornbuck-Schichten
742 – 764 m	736 – 757 m (21 m)	Effinger Schichten
764 – 770 m	757 – 763 m (6 m)	Birmenstorfer Sch. u. Glaukonit-Sandmgl.
770 – 986 m	763 – 960 m (197 m)	<i>Dogger</i>
770 – 781 m	763 – 773 m (10 m)	Wutach- und Variansmergel-Formation
781 – 803 m	773 – 794 m (21 m)	Parkinsoni-Württembergica-Schichten
803 – 815 m	794 – 805 m (11 m)	Humphriesiolith-Formation
815 – 844 m	805 – 831 m (27 m)	Wedelsandstein-Formation
844 – 986 m	831 – 960 m (129 m)	Opalinuston
986 – 1053 m	960 – 1017 m (57 m)	<i>Lias</i>
986 – 995 m	960 – 968 m (8 m)	Jurensismergel
995 – 1003 m	968 – 975 m (7 m)	Posidonienschiefer
1003 – 1011 m	975 – 982 m (7 m)	Numismalis-Amaltheen-Schichten
1011 – 1027 m	982 – 995 m (13 m)	Obtusius-Schichten
1027 – 1033 m	995 – 1000 m (5 m)	Arietenkalk
1033 – 1053 m	1000 – 1017 m (17 m)	Psiloceras-Schichten
1053 – 1232 m	1017 – 1131 m (114 m)	<i>Keuper</i>
1053 – 1067 m	1017 – 1028 m (11 m)	Knollenmergel
1067 – 1091 m	1028 – 1046 m (18 m)	Stubensandstein-Formation
1091 – 1102 m	1046 – 1054 m (8 m)	Bunte Mergel
1102 – 1106 m	1054 – 1057 m (3 m)	Gansinger Dolomit
1106 – 1118 m	1057 – 1066 m (9 m)	Schilfsandstein-Formation
1118 – 1225 m	1066 – 1128 m (62 m)	Gipskeuper
1225 – 1232 m	1128 – 1131 m (3 m)	Lettenkohle
1232 – 2013 m	1131 – 1174 m (43 m)	<i>Oberer Muschelkalk</i>
1232 – 1818 m	1131 – 1165 m (34 m)	Trigonodus-Dolomit
1818 – 1867 m	1165 – 1164 m	(Lettenkohle)
1867 – 2013 m	1164 – 1174 m	(Trigonodus-Dolomit)

**MD:** Measured Depth along hole, Teufe along hole: entspricht Teufe und Bezeichnung der Cuttings

**TVD:** True Vertical Depth: auf die Vertikale umgerechnete Tiefe

Da der Bohrst SLA-2b sehr nah von SLA-2a verläuft, sind kaum Änderungen in Mächtigkeit und lithologischer Ausbildung der einzelnen Formationen zu erwarten, ausser beispielsweise ein synsedimentärer Bruch würde genau dazwischen liegen. So sind weder in den Cuttings noch in den geophysikalischen Logs bedeutende Wechsel feststellbar. Einzig Mächtigkeitsunterschiede sind bei wenigen Einheiten zu verzeichnen.

Die in beiden Bohrsten SLA-2a und SLA-2b durchbohrten Formationen werden im Folgenden nicht ein weiteres Mal im Einzelnen beschrieben (vgl. Kap. 2.1), sondern zusammengefasst.

### **2.2.1 Malm (680 – 770 m, 90 m along hole)**

Die beiden Bohrsten von SLA-2a und SLA-2b folgten im Malm einem beinahe identischen Bohrfad, sodass die Tiefen der Formationsgrenzen kaum voneinander abweichen (Tab. 1 und 3). Die Grenzen basieren auf den geophysikalischen Logs.

In der Bohrstrecke von 680 bis 770 m wurden die vier Einheiten Wohlgeschichtete Kalke, Hornbuck-Schichten, Effinger Schichten und Birnenstorfer Schichten inklusive Glaukonit-Sandmergel durchfahren. Erwähnenswert ist, dass genau gleich wie in SLA-2a der Farbwechsel von beige zu vollständig grauen Schichten zwischen 730 und 740 m (MD), d.h. in der unteren Hälfte der Hornbuck-Schichten, erfolgte.

### **2.2.2 Dogger (770 – 986 m, 216 m along hole)**

Ebenso wie beim Malm folgten die beiden Bohrsten SLA-2a und SLA-2b einem nahezu identischen Bohrfad bis ungefähr Mitte Opalinuston. Von dort an verläuft der Bohrst SLA-2b steiler bis zum Gipskeuper, woraus für die Formationen kürzere Bohrstrecken resultierten (Tab. 1 – 3).

Die drei Einheiten Wutach- und Variansmergel-Formation, Parkinsoni-Württembergica-Schichten und Humphriesoolith-Formation sind in SLA-2b etwa gleich mächtig wie in SLA-2a und betragen zusammen 42 m. In SLA-1 beträgt ihre Mächtigkeit 46.8 m. Die Wedelsandstein-Formation ist in SLA-2b ca. 1 m weniger mächtig als in SLA-2a. Jedoch beträgt die Mächtigkeit des Opalinustons in beiden abgelenkten Bohrungen ca. 10 m mehr (128 m gegenüber 118 m) als in SLA-1.

Die Cuttings beinhalten die üblichen Lithologien des Doggers: dunkelgraue siltige bis feinsandige Tonmergel und siltige, kalkige Tonsteine, ferner eisenoolithische Mergel und Kalksteine sowie feinsandige Kalksteine. Die untersten Proben des Opalinustons führen zudem lose, aus Calcitadern heraus gebrochene, Calcitkristalle. Möglicherweise ist dies ein Hinweis auf eine stärkere tektonische Beanspruchung des Gesteins (vgl. Kap. 2.3).

### **2.2.3 Lias (Staffelegg-Formation, 986 – 1053 m, 67 m along hole)**

Die Lias-Bohrstrecke von SLA-2b ist infolge des steileren Bohrstes um 15 m weniger lang als bei SLA-2a. Die effektive Mächtigkeit (57 m) beträgt ca. einen Meter weniger als in SLA-2a, jedoch ca. 4 m mehr als in SLA-1.

Lithologisch kann der Lias von SLA-2b infolge der schlechten Qualität der Cuttings, die v.a. aus Opalinuston-Nachfall bestehen, nicht unterteilt werden. Einzig aus den geophysikalischen Logs kann die Abfolge rekonstruiert werden. Zumal von der Kernstrecke von SLA-1 her die Zuordnung der einzelnen Schichtpakete zu den spezifischen Peaks bekannt ist. Deshalb sind beispielsweise in SLA-2b auch die Posidonienschiefer mit Stinkkalkbänken vorhanden, obschon in den Cuttings bis jetzt kein Splitter davon zu finden ist.

Die im Vergleich mit SLA-1 grössere Mächtigkeit des Lias von SLA-2b besteht v.a. in der obersten Einheit, den Jurensismergeln.

#### **2.2.4 Keuper (1053 – 1232 m, 179 m along hole)**

Der Bohrfad von SLA-2b wird im Keuper zusehends flacher, fällt jedoch bis zum Gipskeuper immer noch steiler ein als derjenige von SLA-2a. Deshalb sind die Bohrstrecken durch die einzelnen Formationen in SLA-2b teilweise erheblich kürzer, in der Stubensandstein-Formation beinahe nur halb so lang (Tab. 2).

**Stubensandstein-Formation:** Beim Vergleich der Mächtigkeiten fällt auf, dass die Stubensandstein-Formation von SLA-2b mit 18 m um 6 m gering mächtiger ist als in SLA-2a. Obschon die Horizontalabstand der beiden Bohrstellen SLA-2a und SLA-2b in diesem Niveau nur etwa 50 m beträgt, kann der Unterschied sedimentär bedingt sein. Aus den geophysikalischen Logs geht hervor, dass in SLA-2a der Sandsteinabschnitt in der unteren Hälfte der Stubensandstein-Formation mehr Sandsteinbänke aufweist als in SLA-2b. Bei solchen alluvialen und fluviatilen Sedimenten, wie der Stubensandstein-Formation, können durchaus kleinräumige sedimentäre Wechsel ausgebildet sein.

Bei den anderen Einheiten des Keupers bestehen keine Mächtigkeitsunterschiede.

**Gipskeuper:** Mit SLA-2b wurde der Gipskeuper vollständig durchbohrt. Er weist eine, zu den 64.9 m von SLA-1 vergleichbare Mächtigkeit von 62 m auf. Zusätzliche zu den bei SLA-2a beschriebenen Lithologien konnten in den Cuttings nicht gefunden werden.

**Lettenkohle:** Die Lettenkohle kann aufgrund der Korrelation des Gammaray-Logs von SLA-2b mit demjenigen von SLA-1 abgetrennt werden. Die Cuttings enthalten schwarze sandige Tonsteine und bräunliche bis graue Dolomite.

#### **2.2.5 Oberer Muschelkalk (1232 – 2013 m inkl. Lettenkohle 1818 – 1867 m, 781 m along hole)**

Ab dem Erreichen des Oberen Muschelkalks wurde der Bohrst SLA-2b flach geneigt und danach mehr oder weniger horizontal geführt. Dadurch verblieb der Bohrfad im Trigonodus-Dolomit, abgesehen von einem kurzen Abstecher in die Lettenkohle.

Der Obere Muschelkalk umfasst die beiden Formationen Trigonodus-Dolomit und Hauptmuschelkalk. Die Bohrung SLA-2b verlief jedoch einzig im oberen Trigonodus-Dolomit, unterer Trigonodus-Dolomit und Hauptmuschelkalk wurden nicht erreicht.

### **2.2.5.1 Trigonodus-Dolomit (1232 – 1818 m, 586 m along hole)**

Der Trigonodus-Dolomit besteht definitionsgemäss aus den vollständig dolomitisierten Schichten des Oberen Muschelkalks (Merki 1961). In der Bohrung SLA-1 beträgt seine Mächtigkeit 33.3 m und in der Bohrung Benken 37.12 m (Nagra 2001). Die Obergrenze des Trigonodus-Dolomits wurde mittels der geophysikalischen Logs festgelegt.

Die Cuttings enthalten zuoberst bräunlichbeige, zuckerkörnige, poröse Dolomite mit idiomorph ausgebildeten Dolomitkristallen, dann kreidigweisse Dolomite, die teilweise graue Tonschlieren enthalten. Die Cuttingproben 1320 – 1330 m bestehen ausschliesslich aus roten und grünen Keupermergeln. Unterhalb 1330 m enthalten die Cuttings stets ein Gemisch aus Splittern von Trigonodus-Dolomit mit mehr oder weniger grünen und roten Keupermergeln.

### **2.2.5.2 Lettenkohle (1818 – 1867 m, 49 m along hole)**

Die Position der Lettenkohle geht aus den geophysikalischen Logs hervor. In den Cuttings konnten zudem Splitter dichter grauer Dolomite und schwarzer Tonsteine gefunden werden.

### **2.2.5.3 Trigonodus-Dolomit (1867 – 2013 m, 146 m along hole)**

Nach dem kurzen Abstecher in die Lettenkohle verläuft die Bohrstrecke von SLA-2b bis zum Bohrende bei 2013 m wieder in den Dolomiten des Trigonodus-Dolomits. Nach wie vor fallen sowohl bräunlich-beige, poröse, zuckerkörnige Dolomite als auch dunkelrote Keupermergel an.

## **2.3 Tektonik und Strukturgeologie**

Die Planung und Auslegung der abgelenkten Bohrungen SLA-2a und SLA-2b erfolgte anhand der Auswertung von 2D-Seismikdaten und dem daraus abgeleiteten geologisch/tektonischen 3D-Modell (vgl. InterOil 2012), der lokalen tektonischen Situation sowie den Erkenntnissen aus der Geothermiebohrung SLA-1 (Albert et al. 2012, Madritsch & Vietor 2013).

Hinsichtlich der grossräumigeren tektonischen Situation um Schlattingen ergaben die abgelenkten Bohrungen Schlattingen SLA-2a und SLA-2b nur wenige Neuerkenntnisse. Das im Wesentlichen auf seismischen Daten basierende geologische Ausgangsmodell (InterOil 2012) musste nur innerhalb der angegebenen Ungewissheiten (-26 m für die Basis Tertiär, +36 m für den Top Muschelkalk) angepasst werden. Diese Anpassungen (meist < 10 m) erfolgten laufend während des Bohrvortriebs. Fig. 4 zeigt die Lage der Geothermiebohrungen in Schlattingen auf einer Karte der Tiefenkonturen Top Trigonodus-Dolomit.

Nicht erwartungsgemäss waren die deutlichen Mächtigkeitsschwankungen von Opalinuston und Lias, die zwischen der Bohrung SLA-1 und den abgelenkten Bohrungen anhand der stratigraphischen Auswertung der Cuttingproben festgestellt wurde (vgl. Kap. 2.1.3.5 und 2.1.4 sowie Fig. 1). Die Mächtigkeitsschwankungen von ca. 12 m bzw. 5 m sind auf die sehr kurze horizontale Distanz von ca. 100 m sedimentologisch nur schwer erklärbar und daher wahrscheinlich tektonischer Natur. Unter Berücksichtigung der lokalen tektonischen Situation (vgl. z.B. Madritsch & Vietor 2013) erscheint es am plausibelsten, dass die Mächtigkeitszunahme der erwähnten Formationen in den abgelenkten Bohrungen SLA-2a und SLA-2b auf die schrägschleifende Durchfahrung einer ca. NNW-SSE bis NW-SE streichenden Abschiebung (Top NE) zurückzuführen ist (vgl. geologischer Vertikalschnitt in Fig. 5). Eine solche Störung verlief ungefähr parallel zur nahegelegenen Randen-Störung. Vage Hinweise auf eine tektonische Struktur über diesen Abschnitt der geplanten Bohrung ergaben sich bereits aus der Auswertung der um Schlattingen erhobenen 2D-Seismikdaten (vgl. InterOil 2012). Das Einfallen der nunmehr vermuteten Störung wäre aber entgegengesetzt zur damaligen Seismikinterpretation.

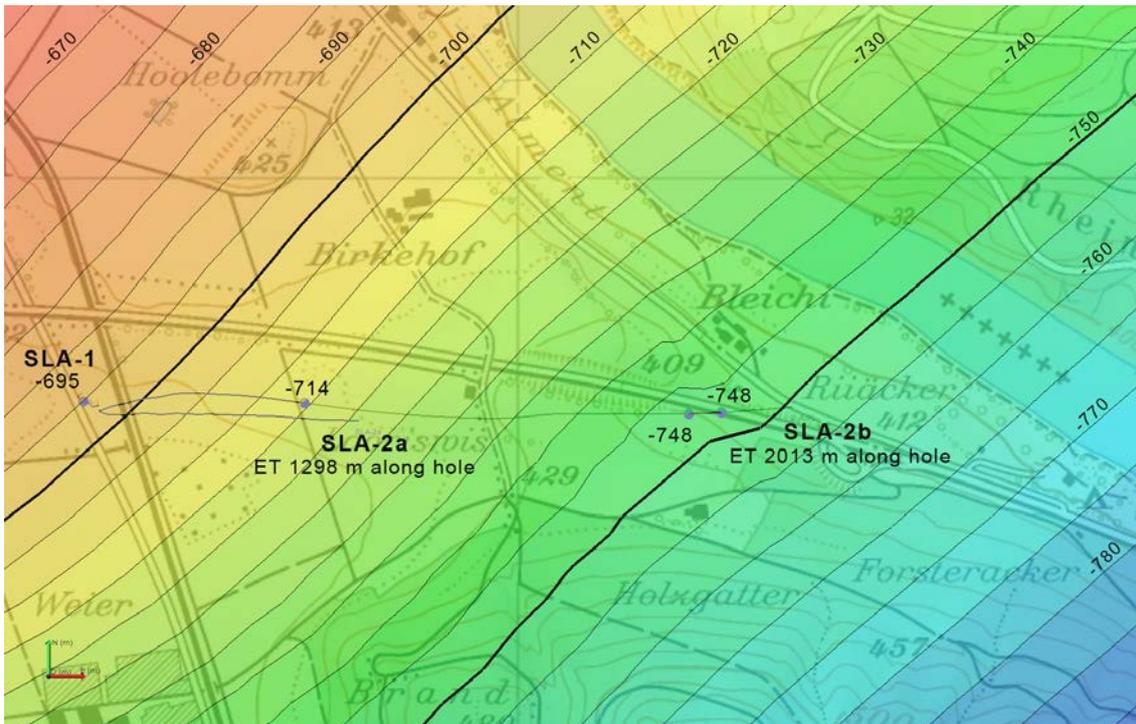


Fig. 4: Karte der Tiefenkonturen Top Trigonodus-Dolomit mit Lage der Geothermiebohrungen Schlattingen SLA-1, SLA-2a und SLA2-b.  
5 m Konturintervall, Teufenangaben in m ü.M.

Fig. 6 zeigt den Verlauf der Bohrungen SLA-1, SLA-2a und SLA2b im regionalen 3D-Blockmodell.

Im Gegensatz zur Geothermiebohrung SLA-1 wurden aus den abgelenkten Bohrungen Schlattingen SLA-2a und SLA-2b keine Bohrkerns gezogen. Cuttingproben liefern für eine tektonische / strukturgeologische Charakterisierung der erbohrten Gesteinsabfolge mit wenigen Ausnahmen (vgl. Kap. 2.2.2) nur wenig Informationen. Stattdessen muss sich diese Charakterisierung in erster Linie auf die Auswertung der geophysikalischen Strukturlogs stützen (vgl. Kap. 3.3.2 und die entsprechenden Anhänge). Eine erste Durchsicht der in diesem Bericht dokumentierten geophysikalischen Bohrlochmessungsrohdaten, insbesondere der CMI-Aufnahmen über die horizontale Bohrstrecke im Bereich des Zielaquifers liefert bereits deutliche und zahlreiche Hinweise auf die Lokation von tektonischen Trennflächen, wie sie bereits aus der Bohrung SLA-1 angetroffen (Adern, Haarrisse, Störungen, Klüfte vgl. Albert et al. 2012) und für die neuen, abgelenkten Bohrungen auch prognostiziert wurden (vgl. Madritsch & Vietor 2013). Eine vollständige strukturgeologische Auswertung der geophysikalischen Bohrlochmessungen war zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch nicht abgeschlossen. Es ist aber davon auszugehen, dass die vorliegenden Daten detaillierte Informationen zur Orientierung und Frequenz kleinräumiger Strukturen ergeben werden.

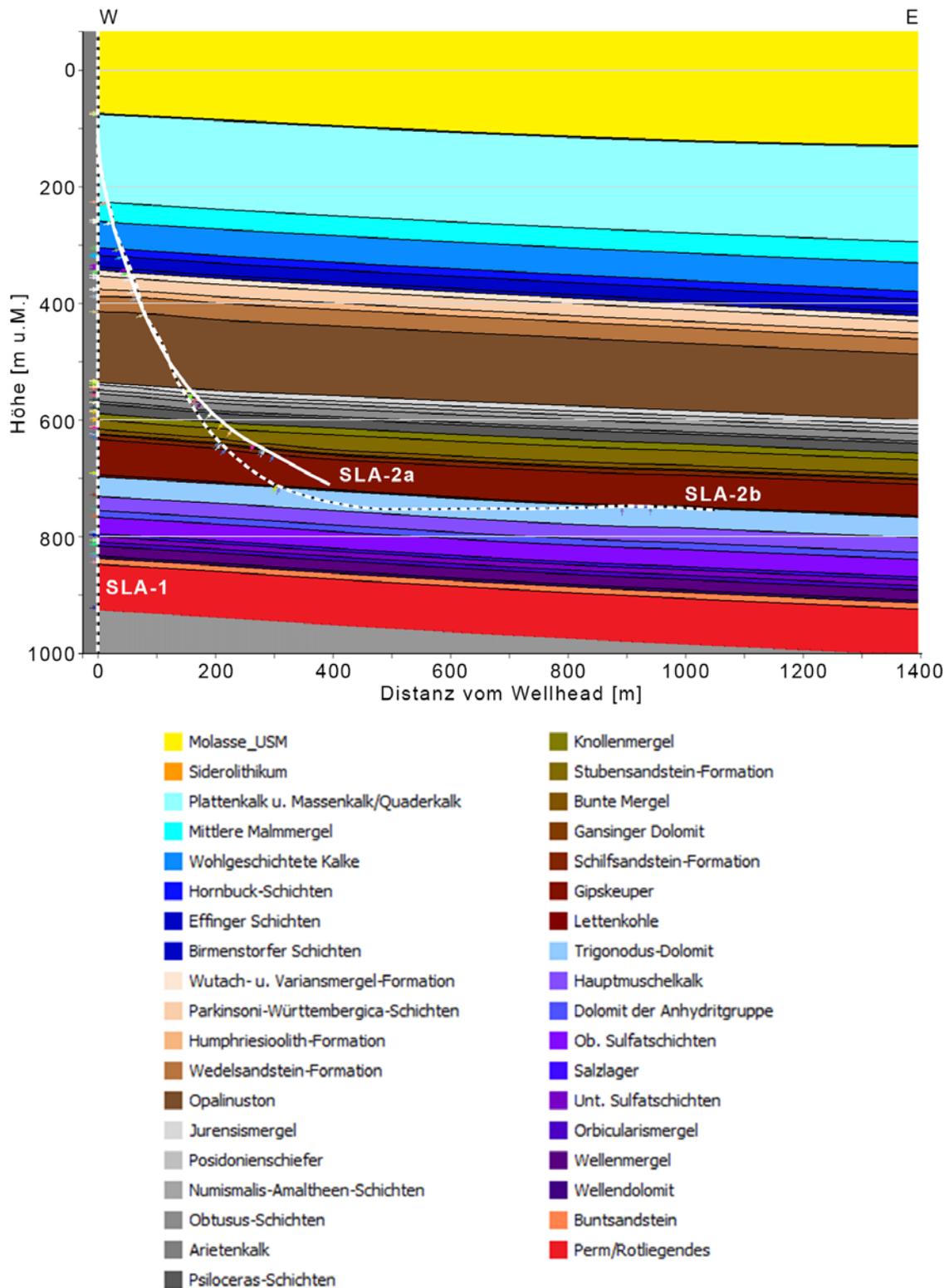


Fig. 5: Geologischer Vertikalschnitt mit Bohrlochverlauf des Bohrtrasts SLA-2a der abgelenkten Geothermiebohrung.

Mit projiziertem Bohrlochverlauf SLA-1 und SLA-2b.

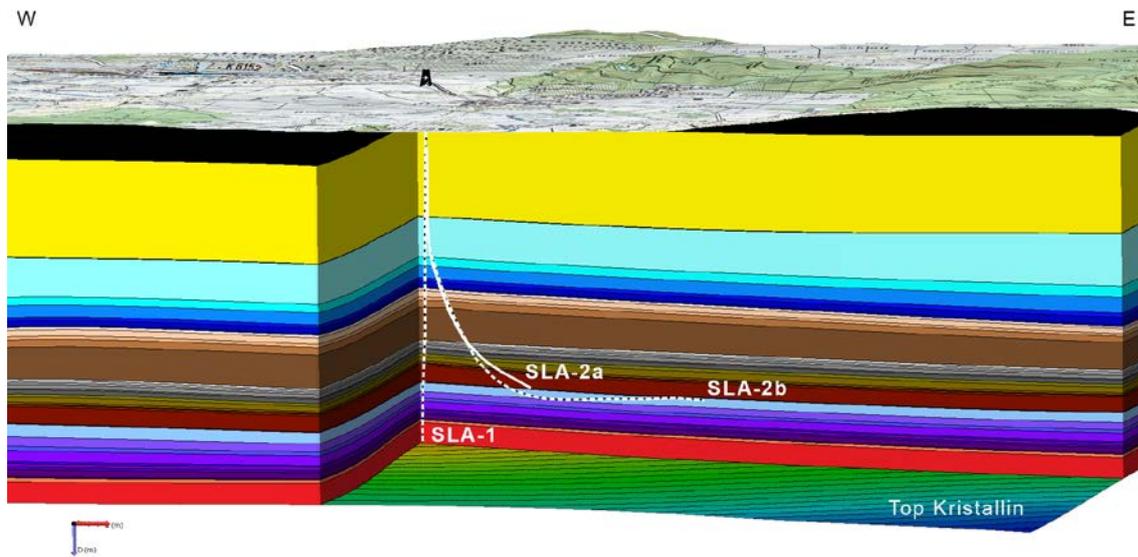


Fig. 6: Geologisches 3D-Blockmodell mit Bohrlochverlauf der Geothermiebohrungen Schlattingen SLA-1 und SLA-2 (Bohräste SLA-2a und SLA-2b).  
3D-Ansicht von SSE, Legende siehe Fig. 5.

## **3 Geophysikalische Untersuchungen**

### **3.1 Einleitung**

Die geplanten und bisher durchgeführten bohrlochgeophysikalischen Messungen dienen folgenden Zielen:

- Bestimmung der petrophysikalischen Parameter (Petrophysikalisches Logging)
- Erfassung der Strukturen (Strukturlogging)
- Erfassung bohrtechnischer Zusatzdaten – Kaliber und Orientierung sowie der Güte der Zementation im verrohrten Bohrloch (Bohrtechnisches Logging)

Der vorliegende Bericht gibt eine Übersicht über die gewonnenen Informationen und Daten und bildet die Arbeitsgrundlage für eine erste Datensynthese. Er enthält eine Kurzbeschreibung der ausgeführten Arbeiten sowie Kommentare zur Datenqualität, sofern diese für die weitere Datensynthese bzw. Interpretation von Bedeutung sein können.

Sämtliche bohrlochgeophysikalischen Messdaten wurden einer Qualitätskontrolle unterzogen, sofern notwendig korrigiert und zu Darstellungszwecken aufbereitet.

### **3.2 Auftragnehmer**

Mit den bohrlochgeophysikalischen Messungen waren die folgenden Firmen beauftragt:

- BLM GmbH, Poing bei München (D): Wireline-Messungen im vertikalen Abschnitt des Bohrlochs
- Weatherford Energy Services GmbH: Compact Well-Shuttle Messungen im stark geneigten und horizontalen Abschnitt des Bohrlochs
- Das Datenprocessing wurde von BLM GmbH durchgeführt.

### **3.3 Eingesetzte Messverfahren**

Werden geophysikalische Messgeräte (Sonden) ins Bohrloch abgesenkt, wieder heraufgezogen und dabei kontinuierlich Messdaten registriert, so spricht man von geophysikalischen Bohrlochmessungen oder vom Logging.

Im Folgenden werden die eingesetzten Messungen aufgelistet und kurz beschrieben.

#### **3.3.1 Petrophysikalisches Logging**

Ziel des petrophysikalischen Loggings ist die Beschaffung von gesteinsphysikalischen Parametern der durchteuften Formationen. Mit diesen Parametern können wichtige Formationsgrößen, wie elastische Parameter, elektrische Leitfähigkeit, natürliche Gammastrahlung u.a. bestimmt werden. Diese Größen charakterisieren die Formation in physikalisch-technischem Sinne, ganz analog zur petrographischen Beschreibung durch die Kernanalyse.

### **Gammastrahlungs-Log (GR)**

Die Gammastrahlungssonde misst die natürliche Gammastrahlung (Gamma-ray-Messungen) des Gesteins. Sie ist in Sedimentgesteinen ein Mass für den Tongehalt.

Bei den einzelnen Einfahrten wird meistens ein GR zum Teufenvergleich zwischen den unterschiedlichen Messungen mitgeführt.

### **Widerstandslogs (FEL, DIL, DLL)**

Zur Messung des elektrischen Widerstands wurden zwei Verfahren eingesetzt:

- **Fokussiertes Elektrolog (FEL):** Beim FEL wird der Messstrom zum horizontalen Eintritt in das Gebirge gezwungen. Durch die Bündelung des Stroms werden ein hohes vertikales Auflösungsvermögen und eine grosse Untersuchungstiefe (bessere Annäherung des Messwerts an den wahren Schichtwiderstand) erreicht.
- **Micro Array Induction Tool (MAI):** Bei induktiven Verfahren werden durch Sendespulen hochfrequente Wechselfelder erzeugt und von Empfangsspulen aufgezeichnet. Die induzierten Sekundärfelder sind ein Mass für die Leitfähigkeit des Gebirges. Durch die Anordnung von mehreren Sende- und Empfangsspulen (Array) können die Felder fokussiert werden. Damit kann der Bohrlocheinfluss minimiert und unterschiedliche Eindringtiefen ins Gebirge erreicht werden. Der Einsatz des MAI ist bei leitfähiger Spülung nur eingeschränkt möglich.

Der elektrische Formationswiderstand wird unter anderem von der Salinität der Porenwässer, der Porosität und dem Tongehalt bestimmt.

### **Neutron-Neutron-Log**

Beim Neutron-Log wird mit natürlichen, thermischen Neutronen das Gestein bestrahlt. Aus der sekundären thermischen Neutron-Rückstrahlung von abgebremsten Neutronen wird der Wasserstoffgehalt der Formation bestimmt. Nach einer lithologischen Korrektur für den Tongehalt kann daraus die Formationsporosität ermittelt werden.

### **Soniclog**

Mit einem Soniclog werden im fluidgefüllten Bohrloch mit elastischen Wellen die elastischen Eigenschaften des Gebirges untersucht. Das verwendete Messsystem besteht aus einem Ultraschallsender und zwei -empfängern (FWS, BLM) bzw. zwei Ultraschallsendern und zwei -Empfängern (CSS, Weatherford). Aus den registrierten Wellenzügen können die Laufzeiten bzw. Geschwindigkeiten der einzelnen Wellentypen (Kompressions- und Scherwelle) ermittelt werden.

#### **3.3.2 Strukturlogging**

Ziel des Strukturloggings ist die Erfassung und Orientierung der geologischen Strukturen – wie Schichtgrenzen, Störungen, Klüfte etc. – an der Bohrlochwand.

### **Akustischer Televiwer (ABF, ABI)**

Ein Televiwer (Akustisches Bohrlochfernsehen ABF bzw. Acoustic Borehole Imager ABI) ist ein hochauflösendes Strukturloggingtool. Der Strahl eines rotierenden Ultraschallsenders tastet die Bohrlochwand ab. Aufgezeichnet werden die Laufzeit und die Amplitude des Ultraschallsignals.

Zusätzlich zum eigentlichen Televiwer enthält die Sonde auch eine Einheit, welche den Bohrlochverlauf abbildet. Nach einer Bildverarbeitung erhält man damit ein gegen N orientiertes 360°-Bild der Bohrlochwand. Die Geometrieinheit wird aber auch für das bohrtechnische Logging benötigt, um den Verlauf der Bohrung bestimmen zu können.

### **Compact Micro-Imager (CMI)**

Das CMI nutzt insgesamt 176 punktförmige Elektroden, angeordnet auf acht Pads, die an die Bohrlochwand angepresst werden. Auf diese Weise wird der elektrische Widerstand der Formation hochauflösend abgetastet. Das resultierende abgewinkelte Bild liefert Informationen über die Schichtung der Formation sowie Störungen und Ausbrüche in der Bohrlochwand.

### **3.3.3 Bohrtechnisches Logging**

Ziel des bohrtechnischen Loggings ist die Beschaffung von Basisdaten für die Planung und Überprüfung bohrtechnischer Arbeiten. Dazu gehören z.B. die Bestimmung der Geometrie sowie des Durchmessers (Kaliber) der Bohrung. Die Orientierung der Bohrung wird im Rahmen des Strukturloggings mit gemessen.

#### **Kaliberlog (CAL-4, CMI-Kaliber)**

Beim Kaliberlog wird der Bohrlochdurchmesser durch mechanisches Abtasten der Bohrlochwand gemessen. Unregelmässigkeiten sind v.a. durch Ausbrüche bedingt. Das Kaliberlog wird ferner zur Korrektur der anderen Bohrlochmessungen benötigt. Bei den verwendeten Sonden wird der Durchmesser an 4 Messarmen registriert.

Beim CMI werden die acht Arme, welche die Pads an die Bohrlochwand anpressen, als Kaliber verwendet.

#### **Cement Bond Log (CBL)**

Das CBL ist ein Sonictool (s. auch oben), das je Messtiefe ein Ultraschallsignal aussendet und die reflektierte Energie registriert. Damit liefert es ein Abbild der gedämpften Schwingung der Verrohrung sowie spätere Einsätze. Die Dämpfung der Schwingung der Verrohrung ist ein Mass der Güte der Zementation am Kontakt Verrohrung/Zement, die späteren Einsätze können Informationen über die Güte des Kontakts Zement/Formation liefern.

#### **Casing Collar Locator (CCL)**

Das CCL wird im verrohrten Bereich eingesetzt, um Rohrmuffen zu lokalisieren. Ein magnetischer Sensor registriert Permeabilitätsänderungen beim Überfahren der Verschraubungsstellen.

### 3.4 Ausgeführtes Messprogramm

#### Messserie 1, 21. – 22.02.2013

cased hole 13 3/8"            0 – 140m  
open hole                      140 – 496 m

Im Rahmen der ersten Messserie wurde sowohl die offene Messstrecke im 12 1/4"-Bohrloch (140 – 496 m) gemessen sowie die Güte der 13 3/8"-Zementation bestimmt.

Mit dem ABF konnten keine Signale aufgezeichnet werden, wahrscheinlich aufgrund der viskosen Spülung.

#### Messfahrt:

#### Messintervall:

1)	4-Arm Kaliber	140 – 496 m	
2)	Sonic/GR	140 – 496 m	
3)	CBL/GR	0 – 140 m	
4)	GR/FEL	140 – 497 m	
5)	Televiwer/GR	497 m	keine Ergebnisse
6)	Sal/Temp	0 – 497 m	

#### Messserie 2, 11.03.2013

cased hole 9 5/8"            140 – 500 m  
open hole                      500 – 506 m

Ziel der Messung war die Untersuchung des Bohrlochzustands (Endteufe 1302 m) nach Havarie. Die Einfahrt der Kalibersonde war nur ~ 6 m ins offene Bohrloch möglich (500 – 506 m), danach wurde der Messeinsatz abgebrochen. Es wurden keine verwertbaren Daten im offenen Bohrloch aufgenommen.

Die Messung der Güte der 9 5/8"-Zementation konnte durchgeführt werden.

#### Messfahrt:

#### Messintervall:

1)	4-Arm Kaliber	500 – 506 m	keine Ergebnisse
2)	CBL/GR	0 – 500 m	

#### Messserie 3, 26. – 30.04.2013

cased hole 7"                 500 – 1054 m  
open hole                      1054 – 2013 m

Die dritte Messserie wurde mit dem Weatherford Compact Well Shuttle durchgeführt. Im ursprünglichen Messprogramm waren zwei Einfahrten vorgesehen. Der erste Versuch, den Toolstring mit dem Bohrgestänge auf Endteufe zu bringen, war jedoch erfolglos und musste bei

1308 m abgebrochen werden. Für einen zweiten Versuch konnte nur noch eine Einfahrt durchgeführt werden, die Zusammenstellung der Tools wurde den Anforderungen entsprechend angepasst. Bei der Messung mit dem Compact Well Shuttle werden mehrere Tools in einer Einfahrt als Toolstring gefahren.

Das MAI-Tool wird zwingend mit dem CMI gefahren, zum Aus-/Einfahren der Kaliberarme ausserhalb der Tool-Garage. Die Daten wurden von Weatherford zur Verfügung gestellt, sind jedoch zur Untersuchung der Formationswiderstände nur stark eingeschränkt verwendbar, aufgrund der hochleitfähigen Spülung.

Die Tools messen kontinuierlich während der gesamten Ausfahrt zu Tage. Für die Messungen im verrohrten Abschnitt musste daher keine gesonderte Einfahrt durchgeführt werden. Die Daten des Sonic-Tools (CSS) konnten als CBL ausgewertet werden.

<b>Messfahrt:</b>	<b>Messintervall:</b>
1) Compact MicroImager	1054 – 2013 m open hole
Sonic / CBL	0 – 1054 m cased hole
Neutron-Neutron	
Gammaray	
Array-Induction*	
Temperatur	

### **3.5 Bearbeitung und Auswertung der bohrlochgeophysikalischen Messungen**

Die bohrlochgeophysikalischen Daten wurden digital aufgezeichnet und zum Teil als Feld-schriebe für eine erste Auswertung bereits auf der Bohrung ausgedruckt.

#### **3.5.1 Compositelogs**

Die Compositelogs (Beilage 2 und 3) beinhalten Gesamtdarstellungen der editierten gemessenen Daten aller Messserien und dienen als Basis für die weiteren Interpretationen bzw. Analysen der bohrlochgeophysikalischen Informationen. Die Teufen zwischen den einzelnen Messungen stimmen bis auf wenige Dezimeter überein.

#### **3.5.2 Bestimmung der Kompressions- und Scherwellengeschwindigkeit**

Aus den registrierten Wellenzügen des Soniclogs wurde die Kompressionswellen-geschwindigkeit automatisch im Feld bestimmt. Diese weist noch eine Anzahl Artefakte der automatischen Detektionsroutine auf. Die Wellenzüge wurden in einem gesonderten Arbeitsschritt korreliert (Geschwindigkeitsanalyse) und die Laufzeiten der Kompressionswelle und Scherwelle bestimmt. Die ausgewerteten P- und S-Wellengeschwindigkeiten sind in den Composite-Logs in Beilage 2 und 3 bereits enthalten.

### **3.5.3 Bestimmung der Güte der Zementation (Cement-Bond Log, CBL)**

Die Cement-Bond Logs zur Bestimmung der Güte der Zementationen der 13 3/8"-, 9 5/8"- und 7"-Verrohrungen sind in Beilage 4 zusammengefasst. Für die 13 3/8"- und 9 5/8"-Abschnitte wurde eine detaillierte Analyse der Zementbindung durchgeführt, für den Abschnitt der 7"-Verrohrung wurde die 3"-Amplitude des Sonic-Tools als Indikator für die Zementbindung herangezogen. Für eine 7"-Verrohrung entspricht ein Wert von 58 mV "Free-Pipe", also einer fehlenden Zementbindung.

## 4 Referenzverzeichnis

- Albert, W., Bläsi, H.R., Madritsch, H., Vogt, T. & Weber, H.P. (2012): Geologie, Stratigraphie, Strukturgeologie, bohrlochgeophysikalisches Logging und Wasserproben der Geothermiebohrung Schlattingen SLA-1 (Rohdaten). Nagra Project Report NPB 12-16. Nagra, Wettingen.
- Bläsi, H.R., Deplazes, G., Schnellmann, M. & Traber, D. (2013): Sedimentologie und Stratigraphie des 'Braunen Doggers' und seiner westlichen Äquivalente. Nagra Arbeitsbericht NAB 12-91. Nagra, Wettingen.
- Geyer, M., Nitsch, E. & Simon, T. (2011): Geologie von Baden-Württemberg. 5. Aufl. Schweizerbart, Stuttgart, 627 pp.
- Gygi, R.A. (1969): Zur Stratigraphie der Oxford-Stufe (oberes Jura-System) der Nordschweiz und des süddeutschen Grenzgebietes. Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, Neue Folge 136 Lfg. Kümmerly & Frey, Bern.
- Gygi, R.A. (1977): Revision der Ammonitengattung *Gregoryceras* (Aspidoceratidae) aus dem Oxfordian (Oberer Jura) der Nordschweiz und von Süddeutschland. Taxonomie, Phylogenie, Stratigraphie. *Eclogae geol. Helv.* 70/2, 435-542.
- Interoil (2012): 2D-Seismik und Bohrvorschläge für eine 2. Geothermie-Bohrung in Schlattingen (TG). Unpubl. Nagra Project Report. Nagra Wettingen.
- Jordan, P., Graf, H.R., Eberhard, M., Jost, J., Kälin, D. & Bitterli-Dreher, P. (2011): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1089 Aarau (Atlasblatt 135), Erläuterungen. Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Wabern (Bern).
- Hofmann, F. (1981): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1031 Neunkirch (Atlasblatt 74), Erläuterungen. Schweizerische Geologische Kommission.
- Hofmann, F., Schlatter, R. & Weh, M. (2000): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1011 Beggingen (Atlasblatt 97), Erläuterungen. Bundesamt für Landestopografie, swisstopo, Wabern (Bern).
- Madritsch, H. & Vietor T. (2013): Geothermiebohrung Schlattingen-2: Bohrplanung – Trennflächencharakteristik und Spannungssituation mit Diskussion der Bohrfadvarianten. Unpubl. Nagra Project Report. Nagra Wettingen.
- Merki, P. (1961): Der Obere Muschelkalk im östlichen Schweizer Jura. *Eclogae geol. Helv.* 54, 137-219.
- Nagra (2001): Sondierbohrung Benken – Untersuchungsbericht. Nagra Technischer Bericht NTB 00-01. Nagra, Wettingen.
- Reisdorf, A.G., Wetzel, A., Schlatter, R. & Jordan, P. (2011): The Staffelegg Formation: a new stratigraphic scheme for the Early Jurassic of northern Switzerland. *Swiss J. Geosci.* 104, 97-146.
- Wildi, W. (1976): Die Molluskenfauna des Gansinger Dolomites (Trias, Karnian, Mittlerer Keuper) im aargauischen Tafeljura (Nordschweiz). *Eclogae geol. Helv.* 69/3, 671-684.



## **Anhang A: Aktivitätenjournal**



<b>Datum</b>	<b>Zeit</b>	<b>Chronologie der Aktivitäten</b>
13.02.2013	06:00 – 06:00	Vorbereitungsarbeiten: Bohren mouse-hole, Umbau der Spülpumpen auf 6" Liner Installation der Entsorgungsmulden für Cuttings, DC-s und DP-s auf der Rampe und ausgemessen etc.
14.02.2013	06:00 – 17:30 17:30 – 06:00	Vorbereitungsarbeiten Bohren mit 17 ½" RM von 0 m bis 61 m
15.02.2013	06:00 – 17:00 17:00 – 18:00 18:00 – 21:15 21:15 – 22:15 22:15 – 01:45 01:45 – 06:00	Bohren mit 17 ½" RM von 61 m bis 141 m Bohrloch auszirkuliert Check Trip Bohrloch auszirkuliert Check Trip Bohrloch auszirkuliert
16.02.2013	06:00 – 08:30 08:30 – 11:00 11:00 – 16:00 16:00 – 17:00 17:00 – 18:00 18:00 – 06:00	Ausbau Gestänge und 17 ½" RM Vorbereitungsarbeiten für Einbau 13 ⅜" Casing Einbau 13 ⅜" Casing von 0 m bis 139.6 m Aufbau und Installation Einrichtung für Zementation Zementation 13 ⅜" Casing, Zement zu Tage, Stopfenanschlag 83 bar, Rücklauffest o.k. WOC (Zementerhärtung)
17.02.2013	06:00 – 18:00 18:00 – 06:00	WOC (Zementerhärtung) Aufnehmen 114 Stück 4 ½" DP (Drill Pipes) und im Mast abstellen
18.02.2013	06:00 – 12:00 12:00 – 16:40 16:40 – 24:00 24:00 – 06:00	Aufnehmen 164 Stück 4 ½" DP (Drill Pipes) und im Mast abstellen Aufnehmen 12 ¼" Rotary Bohrgarnitur (BHA) von Weatherford Zement aufbohren Bohren mit 12 ¼" Meisselgarnitur von 141 m bis 196 m
19.02.2013	06:00 – 23:00 23:00 – 23:30 23:30 – 03:50 03:50 – 06:00	Bohren mit 12 ¼" Meisselgarnitur von 196 m bis 310 m Bohrloch auszirkuliert Check Trip bis 139 m Bohren mit 12 ¼" Meisselgarnitur von 310 m bis 329 m
20.02.2013	06:00 – 06:00	Bohren mit 12 ¼" Meisselgarnitur von 329 m bis 495 m
21.02.2013	06:00 – 07:40 07:40 – 08:10 08:10 – 15:05 15:05 – 15:30 15:30 – 20:00 20:00 – 06:00	Bohren mit 12 ¼" Meisselgarnitur von 495 m bis 500 m Bohrloch auszirkuliert Check Trip Bohrloch auszirkuliert Ausbau 4 ½" Gestänge und 12 ¼" Rotary Meisselgarnitur Geophysikalische Bohrlochmessungen
22.02.2013	06:00 – 07:30 07:30 – 15:15 15:15 – 16:20 16:20 – 22:00 22:00 – 23:00 23:00 – 00:30 00:30 – 02:30 02:30 – 06:00	Geophysikalische Bohrlochmessungen Check Trip von 0 m bis 500 m Vorbereitungsarbeiten Einbau 9 ⅝" Casing (Aufbau Weatherford Verschraubungsservice) Einbau 9 ⅝" Casing (40#, L-80) bis 497.5 m Abbau Weatherford Verschraubungsservice Zirkulieren, Aufbau Einrichtung Schlumberger für Zementationsservice Zementation 9 ⅝" Casing, Zement zu Tage, Stopfenanschlag, (Dichte Zement am Kopf: 1.68) WOC (Zementerhärtungsphase)
23.02.2013	06:00 – 14:30 14:30 – 06:00	WOC (Zementerhärtungsphase) Installation Grundflansch und Montage BOP (Blow Out Preventer)

<b>Datum</b>	<b>Zeit</b>	<b>Chronologie der Aktivitäten</b>
24.02.2013	06:00 – 19:00 19:00 – 20:00 20:00 – 03:30 03:30 – 06:00	Installation Grundflansch und Montage BOP (Blow Out Preventer) Funktionstest BOP o.k., BOP und 4" Druckleitung mit 150 bar 20 min beaufschlagt, o.k. Rotary Bohrlochgarnitur (BHA) aufgenommen und Einbau bis 483.7 m (Zementplug) Stopfen und Zement aufgebohrt bis 492 m
25.02.2013	06:00 – 07:00 07:00 – 12:00 12:00 – 12:20 12:20 – 13:00 13:00 – 24:00 24:00 – 06:00	Stopfen und Zement aufgebohrt bis 500 m Bohren mit 8 ½" BHA von 500 m bis 510 m Bohrloch auszirkuliert Ausbau Gestänge bis 450 m Bohrloch auszirkuliert und Spülung ausgetauscht Ausbau Gestänge bis 80 m
26.02.2013	06:00 – 08:00 08:00 – 15:10 15:10 – 20:00 20:00 – 06:00	Ausbau Gestänge bis zu Tage Bohrgarnitur (BHA) Weatherford aufgenommen und getestet Einbau BHA (RSS+DHM) und Gestänge bis 510 m, RSS (Richtbohrgarnitur) programmiert 8 ½" motorisiertes Richtbohren (RSS) von 510 m bis 594 m
27.02.2013	06:00 – 23:40 23:40 – 00:40 00:40 – 05:00 05:00 – 06:00	8 ½" motorisiertes Richtbohren (RSS) von 594 m bis 800 m Bohrloch auszirkuliert Ausbau Gestänge bis 343 m Aufnehmen und Einbau von 24 Stück 4 ½" DP (Drill Pipes)
28.03.2013	06:00 – 08:30 08:30 – 05:25 05:25 – 06:00	Einbau 4 ½" DP (Drill Pipes) bis 800 m 8 ½" motorisiertes Richtbohren (RSS) von 800 m bis 1113 m Bohrloch auszirkuliert
01.03.2013	06:00 – 06:25 06:25 – 22:30 22:30 – 06:00	Bohrloch auszirkuliert Check Trip, Ausbau bis 950 m mit 27 t Überlast, 1.5 m³ Nachfall, ca. 2 m³ wurden auszirkuliert. Ausbau Gestänge von 950 m bis 758 m mit Backreaming, Ausbau bis 510 m, Einbau bis 994 m, Aufstand, nach kurzer Zirkulation Einbau bis 1041 m, Nachrotieren und Bohrloch auszirkuliert bis 1113 m, HV-Pille mischen und einzirkulieren 8 ½" motorisiertes Richtbohren (RSS) von 1113 m bis 1163 m
02.03.2013	06:00 - 18:48 18:48 – 21:00 21:00 – 06:00	8 ½" motorisiertes Richtbohren (RSS) von 1163 m bis 1298 m, plötzlicher Gewichtsabfall von 42 t auf 25 t und Druckverlust während Bohren, Bohrstrang gebrochen (18:40 Uhr) Ausbau Reststrang zu Tage, Schlagschere (Jar) ist gebrochen, unterer Teil (2.35 m) mit Rest der BHA im Bohrloch verblieben Wartezeit auf Fangwerkzeug
03.03.2013	06:00 – 06:00	Einbau mit Overshot und erster Fangversuch auf Kopf Fisch bei ca. 592 m, Restgestänge im Loch mit Overshot verbunden, beim Ziehen Fisch wieder verloren, 2. Fangversuch zum Verbinden des Fisches fehlgeschlagen, Ausbau Gestänge und Overshot bis zu Tage (Spiral Grapple und Spiral Grapple Control beschädigt, Austausch und Reparatur Guide Shoe), Wiedereinbau Overshot, 3. Fangversuch erfolgreich, Fisch verbunden, Ausbau spülend und mit Überlast (40 – 50 t) ausgebaut bis 1160 m, Strang während Ausbau immer wieder fest.
04.03.2013	06:00 – 06:00	Spülend und mit Überlast (ca. 50 – 70 t) ausgebaut bis 1129 m, Strang während Ausbau immer wieder fest, Top Fisch bei 420 m, Bohrloch auszirkuliert, Wartezeit

<b>Datum</b>	<b>Zeit</b>	<b>Chronologie der Aktivitäten</b>
05.03.2013	06:00 – 06:00	Strang bei 1129 m fest, Versuche Overshot vom Fisch zu lösen ohne Erfolg, Warten auf Ersatz-Overshot, dabei ständig zirkuliert und Strang bewegt
06.03.2013	06:00 – 06:00	Zirkulieren und Strang bewegt, Strang durch links drehen abgeschraubt und vom Overshot gelöst, Ausbau der abgeschraubten 4 ½" Drill Pipes, Fisch mit Overshot im Loch, Top Fisch bei 420 m, Einbau Fishinggarnitur (Jar, DC-s, Shock sub) und Fisch wieder verbunden, Strang schlagend (nach unten) und zirkulierend mit Schlagschere bearbeitet
07.03.2013	06:00 – 18:30 18:30 – 00:00 00:00 – 06:00	Fangarbeiten, schlagend (nach unten und oben) und zirkulierend, Strang konnte nicht freigezogen werden, Entscheid gefällt, den Strang links herum zu entschrauben, Strang auf Teufe von ca. 1168 m abgeschraubt Ausbau Strang und Fanggarnitur bis zu Tage Einbau Fishinggarnitur bis 850 m, Top Fisch bei 1072 m, Länge Fisch: 61.2 m
08.03.2013	06:00 – 09:00 09:00 – 10:30 10:30 – 06:00	Einbau Strang mit Fanggarnitur von von 850 m bis 1072 m Strang auf Teufe wieder mit dem im Bohrloch stehenden Reststrang verbunden (4 ½" IF) Strang mit Schlagschere bearbeitet und zirkuliert, HV Pille einzirkuliert
09.03.2013	06:00 – 06:00	Schlagend und zirkulierend versucht, Strang frei zu ziehen, drei HV Pillen angesetzt (2 × 6m <sup>3</sup> , 1 × 8 m <sup>3</sup> ) einzirkuliert
10.03.2013	06:00 – 10:45 10:45 – 11:20 11:20 – 13:30 13:30 – 06:00	Schlagend und zirkulierend versucht Strang frei zu ziehen, HV Pillen einzirkuliert Strang nach unten gerutscht, dann drehend frei geworden Zirkulieren und HV Pille (8 m <sup>3</sup> ) verpumpt Ausbau Strang mit Backreaming drehend und spülend bis 843 m, sehr viel Nachfall, Ringraumblockade und erhöhte Drehmomente
11.03.2013	06:00 – 16:00 16:00 – 20:45 20:45 – 03:40 03:40 – 06:00	Ausbau mit Backreaming drehend und spülend von 843 m bis ca. 650 m, danach Ausbau zu Tage und Ablegen BHA Weatherford Geophysikalische Bohrlochmessungen DC und HWDP überprüft Fahrseil überprüft
12.03.2013	06:00 – 15:00 15:00 – 17:15 17:15 – 19:04 19:04 – 21:00 21:00 – 01:20 01:20 – 02:30 02:30 – 04:00 04:00 – 06:00	Wartezeit Einbau mit Rotary BHA (Räumgarnitur) bis 500 m Spülung konditioniert und einzirkuliert Fortsetzung Einbau Rotary BHA (Räumgarnitur) von 500 m bis 730 m Spülung konditioniert und einzirkuliert, Spülgewicht erhöht Fortsetzung Einbau Rotary BHA (Räumgarnitur) bis 850 m, weiterer Einbau ohne Nachrotieren nicht möglich Bohrloch auszirkuliert Ausbau Räumgarnitur bis 600 m
13.03.2013	06:00 – 08:00 08:00 – 12:15 12:15 – 16:05 16:05 – 05:30 05:30 – 06:00	Ausbau Räumgarnitur bis zu Tage Zusammenstellung Räumgarnitur mit MWD Einbau Räumgarnitur mit MWD bis 848 m Nachrotieren von 848 m bis 1002 m Zirkulieren und Spülung konditionieren
14.03.2013	06:00 – 11:30 11:30 – 06:00	Ausbau Räumgarnitur mit MWD bis 497 m (Check Trip) Reparatur an Bohranlage (an Top Drive Antriebsmotor ist Lagerung Lüfter defekt)

<b>Datum</b>	<b>Zeit</b>	<b>Chronologie der Aktivitäten</b>
15.03.2013	06:00 – 10:00 10:00 – 11:45 11:45 – 17:00 17:00 – 06:00	Reparatur an Bohranlage Einbau Räumgarnitur mit MWD von 497 m bis 756 m Nachräumen von 756 m bis 998 Nachfall auszirkuliert und Spülung konditioniert
16.03.2013	06:00 – 06:00	Nachrotieren und Bohren mit DHM und MWD (gerichtet) von 1002 m bis 1100 m
17.03.2013	06:00 – 15:30 15:30 – 16:00 16:00 – 20:00 20:00 – 24:00 24:00 – 02:00 02:00 – 05:35 05:35 – 06:00	Richt-Bohren mit DHM und MWD von 1100 m bis 1130 m Zirkulieren Ausbau mit Backreaming bis Basis Malm Ausbau bis zu Tage Service an Topdrive und Kontrolle Fahrseil Aufnahmen RSS und Testen BHA Einbau BHA bis 88 m
18.03.2013	06:00 – 10:20 10:20 – 12:15  12:15 – 18:45 18:45 – 06:00	Einbau BHA von 88 m bis 916 m, Aufstand Einbau BHA drehend und spülend bis 955 m, Bohrloch kann nicht tiefer befahren werden Entscheid das Bohrloch bis in den Rohrschuh (497.6 m) zurück zu zementieren Ausbau BHA zu Tage Einbau 4 ½" DP bis 955 m für Rückzementation
19.03.2013	06:00 – 07:30 07:30 – 12:50  12:50 – 14:10 14:10 – 06:00	Zirkulieren, Vorbereitung Zementation Zementation in 2 Schritte,: 1.Schritt: von 955 m 17 m³ Zement 1.76 kg/l, Ausbau bis 831 m, zirkulieren, ca. 6.5 m³ Zement zu Tage gepumpt 2. Schritt: von 831 m 16 m³ Zement, 1.8 kg/l, Ausbau bis 452 m, zirkulieren, ca. 5.5 m³ Zement zu Tage gepumpt, abgespült Ausbau Gestänge bis zu Tage WOC (Zementerhärtungsphase)
20.03.2013	06:00 – 06:00	WOC (Zementerhärtungsphase)
21.03.2013 bis 02.04.2013		Fortführung der Zementerhärtungsphase 22. März 2013: Beschluss die Arbeiten bis nach Ostern einzustellen, Sicherung des Bohrplatzes ab 23. März 2013: Stillstandszeit aufgrund der ungeklärten vertraglichen Situation und der ausstehenden Schadensregulierung in Zusammenhang mit dem Bruch der Schlagschere vom 2. März 2013 2. April 2013: Beschluss die Bohrarbeiten ab dem 3. April wie geplant aktiv weiterzuführen
03.04.2013	06:00 – 09:00 09:00 – 11:20 11:20 – 15:30 15:30 – 16:30 16:30 – 18:15 18:15 – 06:00	Bohranlage nach Unterbruch der Arbeiten über Ostern wieder in Betrieb genommen Einbau BHA bis 460 m (Top Zement) Zementaufbohren von 460 m bis 505 m Zirkulieren Ausbau BHA bis zu Tage Aufnahmen RSS + DHM und Einbau bis 463 m
04.04.2013	06:00 – 07:00 07:00 – 06:00	Einbau RSS + DHM bis 505 m 8 ½" RSS + DHM (motorisiertes Richtbohren) von 505 m bis 680 m (neues Bohrloch)

<b>Datum</b>	<b>Zeit</b>	<b>Chronologie der Aktivitäten</b>
05.04.2011	06:00 – 23:00 23:00 – 05:45 05:45 – 06:00	8 ½" RSS + DHM (motorisiertes Richtbohren) von 680 m bis 805 m Check Trip bis 358 m, 32 Stück Drill Pipes aufgenommen 8 ½" RSS + DHM (motorisiertes Richtbohren) von 805 m bis 807 m
06.04.2013	06:00 – 06:00	8 ½" RSS + DHM (motorisiertes Richtbohren) von 807 m bis 1054 m
07.04.2013	06:00 – 11:10 11:10 – 12:10 12:10 – 22:00  22:00 – 06:00	8 ½" RSS + DHM (motorisiertes Richtbohren) von 1054 m bis 1115 m Zirkulieren Check Trip bis 500 m, während Check Trip wurde in einer Tiefe von ca. 790 m der Ringraum verstopft, ca. 0.5 m³ Nachfall (vorwiegend Opalinuston) auszirkuliert. Beim Wiedereinbau wurde ab ca. 15 m über Sohle zirkuliert und die letzten 7 m bis zur Sohle nachgebohrt 8 ½" RSS + DHM (motorisiertes Richtbohren) von 1115 m bis 1190 m
08.04.2013	06:00 – 22:30  22:30 – 24:00 24:00 – 06:00	8 ½" RSS + DHM (motorisiertes Richtbohren) von 1190 m bis 1316 m, die Re-Drill Teufe (1302 m MD) wurde um 20:46 Uhr erreicht Zirkulieren Check Trip bis 1090 m, Backreaming ab ca. 1280 m bis 1230 m mit 15 t Überlast und erhöhten Drehmomenten, ab 1116 m erhöhter Ringraumdruck, Zirkulationsverlust, BHA war kurzzeitig fest, ca. 1 m³ Nachfall auszirkuliert, Backreaming bis 1090 m
09.04.2013	06:00 – 09:15 09:15 – 11:00 11:00 – 11:20  11:20 – 11:55 11:55 – 13:45 13:45 – 06:00	Backreaming bis 750 m Einbau bis 1080 m Nachräumen von 1080 m – 1117 m (Intervall, in welchem beim Ausbau Probleme auftraten) Einbau bis 1316 m Zirkulieren Ausbau mit Backreaming bis 750 m, Ausbau bis zu Tage
10.04.2013	06:00 – 11:30 11:30 – 17:00 17:00 – 20:30 20:30 – 21:00 21:00 – 21:50  21:50 – 00:50 00:50 – 03:35 03:35 – 04:15 04:15 – 05:20 05:20 – 06:00	Vorbereitungsarbeiten für Einbau 7" Casing Einbau 7" Casing bis 856 m Aufnehmen Linerhanger-Packer LHP) Schwierigkeiten beim Einbau im Opalinuston Einbau Linerhanger-Packer (LHP) mit 4 ½" DP bis 1060 m, Casing steht auf, kann nicht weiter eingebaut werden Weitere Einbauversuche ohne Erfolg Diverse Besprechungen über weiteres Vorgehen Liner-Hanger-Packer (LHP) gesetzt Vorbereitungsarbeiten für Zementation 7" Casing Start Zementation
11.04.2013	06:00 – 07:30 07:30 – 08:30 08:30 – 09:30 09:30 – 06:00	Fortsetzung Zementation Liner abgesetzt Ausbau Setzgerät für Linerhanger-Packer WOC (Zementerhärtungsphase)
12.04.2013	06:00 – 06:00	WOC (Zementerhärtungsphase), 3 ½" DP abgeladen und ausgemessen, 8 ½" Richtbohrgarnitur aufgeladen, 6 ⅛" BHA-RSS abgeladen. 5" Liner abgeladen, 1. Spülungstank gereinigt, Start 3 ½" DP aufnehmen
13.04.2013	06:00 – 17:00  17:00 – 03:40 03:40 – 06:00	84 Stück 3 ½" DP aufnehmen, 4 ¾" DC aufgemessen, TD Saver Sub getauscht Einbau BHA mit 6 ⅛" Rollenmeissel (RM) bis 1005 m Gummistopfen aufbohren
14.04.2013	06:00 – 06:00	Zement, Collars und Plugs aufgebohrt von 1005 m bis 1026 m

<b>Datum</b>	<b>Zeit</b>	<b>Chronologie der Aktivitäten</b>
15.04.2013	06:00 – 10:00 10:00 – 10:45 10:45 – 12:10 12:10 – 13:15 13:15 – 14:25 14:25 – 20:00 20:00 – 01:00 01:00 – 06:00	Zement, Collars und Plugs aufgebohrt von 1026 m bis 1054 m Zirkulieren Umbau Topdrive für 3 ½" DP Einbau bis Sohle 1315.3 m (ohne Probleme) Zirkulieren Ausbau BHA zu Tage Aufnehmen und Programmieren BHA Einbau bis 1315.5 m (zwischen 1100 m und 1120 m zirkulierend)
16.04.2013	06:00 – 06:30 06:30 – 06:00	RSS richten 6 ⅞" Bohren mit RSS + DHM von 1316 bis 1453 m
17.04.2013	06:00 – 06:00	6 ⅞" Bohren mit RSS + DHM von 1453 m bis 1595 m
18.04.2013	06:00 – 16:15 16:15 – 17:00 17:00 – 00:00 00:00 – 02:30 02:30 – 04:30 04:30 – 06:30	6 ⅞" Bohren mit RSS + DHM von 1595 m bis 1657 m Zirkulieren Ausbau mit Backreaming bis Rohrschuh Ausbau bis 620 m, 3 ½" Drill Pipes (DP) aufgenommen Einbau bis 1100 m Nachrotieren von 1100 m bis 1120 m
19.04.2013	06:00 – 14:00  14:00 – 16:05 16:05 – 16:25 16:25 – 16:45 16:45 – 22:30  22:30 – 23:30 23:30 – 06:00	Schwierigkeiten beim Einbau, DC-s ausbauen und 8 Züge DP aufgenommen, nachrotiert bis 1207 m Trocken eingebaut bis 1625 m Zirkulieren Einbau bis Sohle 1657 m 6 ⅞" Bohren mit RSS + DHM von 1657 m bis 1692 m, keine Kommunikation mit RSS mehr Zirkulieren Ausbauen BHA (RSS+DHM)
20.04.2013	06:00 – 13:45 13:45 – 18:00 18:00 – 19:00 19:00 – 04:00 04:00 – 04:45 04:45 – 05:15 05:15 – 06:00	Ausbau BHA (RSS + DHM) zu Tage RSS ausgetauscht, Service am Topdrive RSS neu programmiert Einbau BHA (RSS + DHM) bis 1580 m Zirkulierend eingebaut bis Sohle Richtung eingestellt am RSS 6 ⅞" Bohren mit RSS + DHM von 1692 m bis 1695 m
21.04.2013	06:00 – 06:00	6 ⅞" Bohren mit RSS + DHM von 1695 m bis 1820 m (MD 1800 m um 00:25 Uhr erreicht)
22.04.2013	06:00 – 23:15 23:15 – 00:45 00:45 – 06:00	6 ⅞" Bohren mit RSS + DHM von 1820 m bis 1906 m Zirkulieren Check Trip mit Ausbau bis 1540 m
23.04.2013	06:00 – 12:55 12:55 – 13:15 13:15 – 20:30 20:30 – 06:00	Check Trip mit Ausbau bis 1054 m Wartungsarbeiten am Topdrive Einbau RSS + DHM bis Sohle unter mehrmaliger Zirkulation 6 ⅞" Bohren mit RSS + DHM von 1906 m bis 1957 m
24.04.2013	06:00 – 12:00  12:00 – 13:00 13:00 – 24:00 24:00 – 02:00 02:00 – 06:00	6 ⅞" Bohren mit RSS + DHM von 1957 m bis 1985 m, Spülungsverlust ca. 4.5 m³ in 30 min, Weiterbohren mit diesen Spülungsverlusten nicht möglich Zirkulieren mit niedriger Rate Ausbau BHA bis zu Tage BHA abgelegt Vorbereitungsarbeiten für geophysikalisches Logging, Wartezeit

<b>Datum</b>	<b>Zeit</b>	<b>Chronologie der Aktivitäten</b>
25.04.2013	06:00 – 06:00	Während Wartezeit 67 m <sup>3</sup> Spülung mit KCO <sub>3</sub> angemischt
26.04.2013	06:00 – 12:30 12:30 – 03:15  03:15 – 05:15 05:15 – 06:00	Vorbereitungsarbeiten Bohrloch-Logging (mit Shuttle-Tool) Aufnehmen BHA, Testen, Einbauen BHA bis 1100 m (Aufstand), von 1100 m bis 1103 m mit Zirkulation und drehend, Einbau drehend bis 1126 m, Einbau von 1126 bis 1279 m, Einbau drehend und mit Zirkulation bis 1308 m, totale Spülungsverluste, Aufstand wegen Nachfall Ausbau BHA bis 1106 m drehend und mit Zirkulation Ausbau bis 981 m (Tages-Spülungsverluste ca. 70 m <sup>3</sup> )
27.04.2013	06:00 – 12:40 12:40 – 17:15 17:15 – 18:15 18:15 – 20:45 20:45 – 06:00	Ausbau BHA zu Tage und Ablegen Logging-Tool Einbau BHA mit 6 1/8" Bohrgarnitur DHM bis 1060 m Zirkulieren (650 l/min), Verlust 4600 l/Std. 42 m <sup>3</sup> neue Spülung angesetzt Einbau BHA von 1060 m bis 1500 m (bei 1101 m und 1215 m aufgestanden, Stellen drehend und spülend passiert). Ab 1300 m nachrotiert und mit 650 l/min zirkuliert, Spülungsverluste ca. 4000 l/Std., Tagesverlust ca. 40 m <sup>3</sup>
28.04.2013	06:00 – 11:55 11:55 – 16:10 16:10 – 16:30 16:30 – 16:45 16:45 – 18:20 18:20 – 20:00  20:00 – 02:30 02:30 – 06:00	Einbau BHA von 1500 m bis 1985 m Bohren 6 1/8" (DHM) bis 2013 m Zirkulieren (650 l/min), Spülungsverlust 4600 l/Std. Verlustpille einzirkuliert Ausbau BHA bis 1685 m (drehend und mit Zirkulation) Zirkulieren (650 l/min), Spülungsverlust 4600 l/min, HV Pille wurde einzirkuliert Ausbau BHA bis zu Tage (drehend und zirkulierend) Vorbereitungsarbeiten für Bohrlochmessungen/geophysikalisches Logging
29.04.2013	06:00 – 07:30  07:30 – 12:00 12:00 – 22:45 22:45 – 23:20 23:20 – 24:00 24:00 – 06:00	Vorbereitungsarbeiten für Bohrlochmessungen/geophysikalisches Logging Aufnehmen BHA mit Logging-Tools (Shuttle-Tool von Weatherford) Einbau BHA und Logging Tool bis 2013 m Zirkulieren, Spülungsverlust 3500 l/Std. Strang ca. 40 m hochgezogen und Sonden ausgefahren Geophysikalisches Logging mit Shuttle-Tool von Weatherford
30.04.2013	06:00 – 14:00 14:00 – 22:15 22:15 – 00:15 00:15 – 06:00	Geophysikalisches Logging mit Shuttle-Tool von Weatherford Check-Trip mit Einbau BHA bis 2013 m Zirkulation, Spülungsverlust 4000 l/Std. Ausbau BHA und Logging Tool bis 1000 m
01.05.2013	06:00 – 07:45 07:45 – 09:00 09:00 – 00:30  00:30 – 06:00	Ausbau BHA und Logging zu Tage Vorbereitungsarbeiten für Einbau 5" Verrohrung Einbau 5" Verrohrung mit ECP, Linerhanger und Zementstufe bis 2006 m Periodische Zirkulation, Auffüllen Ringraum mit 3300 l, 30 min Zirkulation, Verlust 5.7 m <sup>3</sup>

<b>Datum</b>	<b>Zeit</b>	<b>Chronologie der Aktivitäten</b>
02.05.2013	06:00 – 07:00 07:00 – 08:00 08:00 – 09:00 09:00 – 10:20 10:20 – 12:10 12:10 – 17:30  17:30 – 20:15 20:15 – 06:00	Auffüllen Ringraum mit 3300 l, 30 min Zirkulation: Verlust 3.1 m <sup>3</sup> Wartezeit Auffüllen Ringraum mit 3300 l, 30 min Zirkulation: Verlust 5.1 m <sup>3</sup> Vorbereitung Zementation Aufbau Zementation, Drucktest mit 250 bar o.k. Setzen External Casing Packer (ECP), Spülungsspiegel im Ringraum bleibt constant, Versuch die Zementstufe zu öffnen ohne Erfolg (zu hoher Druckverlust infolge undichtem Ventil). In Absprache mit der Aufsichtsbehörde (AFU TG) wurde entschieden, auf die Zementation der 5" Verrohrung im Bereich zwischen 979 m bis 1318 m zu verzichten. LH-Top Packer gesetzt. Ausbau 4 ¾" DC und 3 ½" DP zu Tage Ablegen 4 ¾" DC und 3 ½" DP
03.05.2013	06:00 – 09:00 09:00 – 14:00 14:00 – 18:00 18:00 – 20:30 20:30 – 21:00 21:00 – 23:30 23:30 – 23:40 23:40 – 06:00	Abschluss Ablegen 4 ¾" DC und 3 ½" DP 2 ⅞" Tubing und 2 ⅞" DP abgeladen und aufgemessen 2 ⅞" DP aufnehmen Einbau 2 ⅞" DP bis Zementstufe Stage Tool wurde ordnungsgemäss geschlossen Aufbohren Stage Tool Einbau bis Landing Collar Aufbohren Landing Collar
04.05.2013	06:00 – 07:15 07:15 – 07:30 07:30 – 09:00 09:00 – 18:30 18:30 – 23:30 23:30 – 00:40 00:40 – 02:08 02:08 – 06:00	Aufbohren Landing Collar Einbau bis 1450 m Spülung gegen Frischwasser ausgetauscht BHA ausgebaut bis zu Tage Aufbau Testeinrichtung Einbau 2 ⅞" Tubing (EU) bis 345 m (für Airlifttest) Aufbau Airliftkopf Kurzpumpversuch mittels Airlift
05.05.2013	06:00 – 21:00  21:00 – 22:15 22:15 – 00:30 00:30 – 01:10 01:10 – 06:00	Abschluss Kurzpumpversuch (Airlift), Förderrate ca. 4 – 6 l/sec, Temperatur ca. 38.5 °C Abbau Airliftkopf Ausbau 2 ⅞" Airliftstrang bis zu Tage 7" Packer aufgenommen Einbau 7" Packer mit 4 ½" DP-Säurestrang
06.05.2013	06:00 – 11:30 11:30 – 12:00 12:00 – 16:30 16:30 – 18:30  18:30 – 06:00	Fortsetzung Einbau Packer mit 4 ½" DP Säurestrang 7" Packer gesetzt in 942 m Tiefe Vorbereitungsarbeiten für Säuerung 1. Säurestimulation nach Plan. Vorpumpmenge 20 % HCl, Nachpumpmenge ca. 17 % HCl Bohrloch eingeschlossen, Wartezeit (Abreagieren der Säure nach Säuerung)
07.05.2013	06:00 – 14:00 14:00 – 17:00  17:00 – 06:00	Wartezeit (Abreagieren der Säure nach Säuerung) 2. Säurestimulation nach Plan: Vorpumpmenge ca. 17 – 18 % HCl, Bohrloch eingeschlossen Wartezeit (Abreagieren der Säure nach Säuerung)
08.05.2013	06:00 – 06:00	Wartezeit (Abreagieren der Säure nach Säuerung)

<b>Datum</b>	<b>Zeit</b>	<b>Chronologie der Aktivitäten</b>
09.05.2013	06:00 – 17:00 17:00 – 00:45 00:45 – 04:30 04:30 – 06:00	Wartezeit, Bohrloch um 10:45 Uhr geöffnet, artesischer Auslauf ca. 3.3 l/sec 7" Packer gelöst und Säurestrang ausgebaut Reaktionsgase zu Tage gestiegen, BOP geschlossen, Abführen Gase durch Choke-line Einbau 2 7/8" Airliftstrang bis 300 m
10.05.2013	06:00 – 08:00 08:00 – 06:00	Einbau 2 7/8" Airliftstrang bis 345 m, Montage Airliftkopf Start Kurzpumpversuch mittels Airlift
11.05.2013	06:00 – 06:00	Kurzpumpversuch mittels Airlift (Absenkung Wasserspiegel ca. 150 bis 200 m)
12.05.2013	06:00 – 24:00 24:00 – 04:00 04:00 – 06:00	Abschluss Kurzpumpversuch mittels Airlift Ausbau 2 7/8" Airliftstrang, Ablegen Tubinge Vorbereitungsarbeiten für Schneiden 7" Verrohrung (Casing)
13.05.2011	06:00 – 12:00 12:00 – 14:25 14:25 – 15:45 15:45 – 20:30 20:30 – 24:00 24:00 – 01:15 01:15 – 02:10 02:10 – 04:20 04:20 – 06:00	Vorbereitungsarbeiten für Schneiden 7" Verrohrung (Casing) Einbau Casing-Cutter bis Teufe 437 m, Casing geschnitten Ausbau Casing-Cutter zu Tage Einbau Gestänge mit Speer, Fangversuch ohne Erfolg Speer gelöst und Ausbau zu Tage Einbau Gestänge mit Casing-Cutter bis Teufe 205 m, Casing geschnitten Ausbau Gestänge und Casing Cutter zu Tage Einbau Gestänge mit Speer, Fangversuch ohne Erfolg Ausbau Gestänge mit Speer zu Tage, Speer gebrochen, 1/3 davon im Bohrloch geblieben
14.05.2013	06:00 – 06:00	Wartezeit auf Teile von Weatherford
15.05.2013	06:00 – 15:00 15:00 – 17:00 17:00 – 20:00 20:00 – 01:30 01:30 – 03:10 03:10 – 03:35 03:35 – 05:00 05:00 – 06:00	Wartezeit auf Teile von Weatherford Magnet Run, keine Metallteile des Speers zu Tage gefördert Taper Mill Run bis 447 m, Bohrloch ist befahrbar Run mit Casing-Cutter zur Schnittstelle 205 m, Kontrolle o.k. Bridge Plug Run, Setztiefe Bridge Plug (BP) Unterkante 201.85 m Zirkulation, Drucktest mit 25 bar (10 min) o.k. Ausbau Gestänge zu Tage Einbau Gestänge mit Speer bis 60 m
16.05.2013	06:00 – 07:00 07:00 – 08:30 08:30 – 09:40 09:40 – 13:55 13:55 – 15:30 15:30 – 18:40 18:40 – 06:00	Einbau Gestänge mit Speer bis 192 m Fangversuch ohne Erfolg Ausbau Gestänge und Spear bis zu Tage Einbau Gestänge und Spear, weiterer Fangversuch mit 60 – 110 t Überlast ohne Erfolg Ausbau zu Tage, PBR wurde zu Tage gebracht Mill aufnehmen und Einbau bis 194 m Liner Hanger Packer (LHP) gefräst von 194.0 m bis 194.9 m
17.05.2013	06:00 – 09:30 09:30 – 12:00 12:00 – 14:00 14:00 – 15:10 15:10 – 17:10 17:10 – 21:00 21:00 – 06:00	Fortsetzung Fräsen Liner Hanger Packer (LHP) von 194.9 m bis 195.12 m Ausbau Gestänge und Taper-Mill Einbau Taper Mill bis 198 m ohne Widerstand Ausbau zu Tage Einbau Gestänge mit Fanggarnitur (Speer) Fangversuch ohne Erfolg, Speer lässt sich nicht mehr lösen Wartezeit

<b>Datum</b>	<b>Zeit</b>	<b>Chronologie der Aktivitäten</b>
18.05.2013	06:00 – 06:00	Ziehversuche mit periodischer Unterstützung der Schlagschere (Jar)
19.05.2013	06:00 – 06:00	Ziehversuche mit periodischer Unterstützung der Schlagschere (Jar)
20.05.2013	06:00 – 06:00	Ziehversuche mit periodischer Unterstützung der Schlagschere (Jar)
21.05.2013	06:00 – 06:00	Wartezeit auf zusätzliches Equipment von Weatherford
22.05.2013	06:00 – 08:30 08:30 – 10:10  10:10 – 12:40 12:40 – 14:00 14:00 – 17:50 17:50 – 18:30 18:30 – 06:00	Wartezeit auf zusätzliches Equipment von Weatherford Back-off und Ausbau zu Tage, Speer mit 3 ½" IF Box im Bohrloch verblieben Wartezeit auf Fangwerkzeug Einbau Gestänge mit 3 ½" IF PIN bis 72 m Wartezeit auf Fangwerkzeug Einbau Gestänge mit 3 ½" IF PIN bis Top Speer, mit Fisch verbunden Versuche den Speer zu lösen durch Schlagen mit Schlagschere (Jar) nach unten und oben
23.05.2013	06:00 – 03:00  03:00 – 04:00 04:00 – 06:00	Versuche den Speer zu lösen durch Schlagen mit Schlagschere (Jar) nach unten und oben, Back-off vom Speer, Speer nach unten gerutscht bis auf den Bridge Plug, Verbindung mit Speer wieder hergestellt und langsam drehend nach oben ausgebaut Ausbau Gestänge und Fisch zu Tage, Speer und Liner Hanger mit Casing bis Schnittstelle bei 205 m zu Tage gefördert BHA abgelegt
24.05.2013	06:00 – 12:00 12:00 – 13:00 13:00 – 14:00 14:00 – 17:45 17:45 – 20:00 20:00 – 23:30 23:30 – 06:00	Einbau Gestänge mit Taper Mill bis 205 m Casing Schnittstelle bearbeitet Ausbau Gestänge und Taper Mill zu Tage Einbau Gestänge mit Fangwerkzeug (Speer) Fangversuch erfolgreich, Ausbau Gestänge und Speer zu Tage BHA und 7" Casing abgelegt Vorbereitung für Einbau Annulus-Packer
25.05.2013	06:00 – 12:00 12:00 – 14:40  14:40 – 16:00 16:00 – 18:00 18:00 – 21:00  21:00 – 22:00 22:00 – 23:00 23:00 – 01:30  01:30 – 06:00	Wartezeit auf Equipment Einbau Gestänge und Cutter bis 499 m, 7" Casing geschnitten auf Teufe 499 m Ausbau Gestänge und Cutter zu Tage Einbau Gestänge mit Fangwerkzeug (Speer) Fangen geschnittenes 7" Casing, Ausbau Gestänge, Speer und geschnittenes 7" Casing-Stück zu Tage BHA und geschnittenes 7" Casing-Stück abgelegt Aufnehmen 7" – 9 ⅝" Annulus Packer Einbau Gestänge und Annulus Packer, Setzen Annulus Packer (Top Packer auf Teufe 447 m) Ausbau und Ablegen DP und DC
26.05.2013	ab 06:00	Abbau Bohranlage und Demobilisationsarbeiten, Abtransport Bohranlage und Geräte