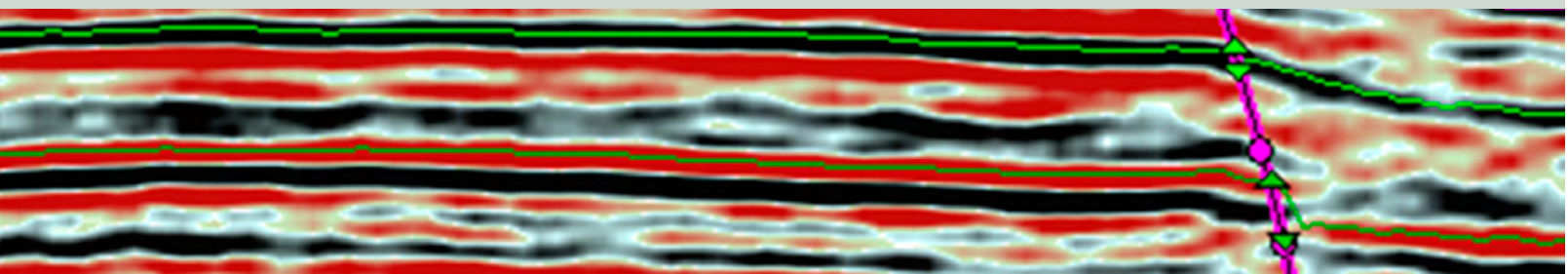




Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN
Ispettorato federale della sicurezza nucleare IFSN
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI



Beurteilung der von der Nagra geplanten Untersuchungen zum Wirtgestein 'Brauner Dogger'

Expertenberichte

im Hinblick auf Etappe 2 des Sachplans geologische Tiefenlager

Dr. Peter Bitterli-Dreher

Dr. Reto Burkhalter
swisstopo



Expertenberichte zum vorgeschlagenen Wirtgestein 'Brauner Dogger' und den von der Nagra geplanten Untersuchungen im Hinblick auf Etappe 2 des Sachplans geologische Tiefenlager

Experten:

Dr. Peter Bitterli-Dreher

Dr. Reto Burkhalter (swisstopo)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	iii
1 Vorwort des ENSI	1
1.1 Ausgangslage	1
1.2 Beurteilung	1
1.3 Fazit	4
1.4 Referenzen	6
2 Expertenbericht Dr. Peter Bitterli-Dreher	7
2.1 Einleitung	8
2.2 Regionale geologische Situation	8
2.2.1 Paläogeographische Situation Mitteleuropa	8
2.2.2 Paläogeographische Situation im Untersuchungsgebiet Nordschweiz	10
2.3 Lithologische Abfolge der Dogger-Formationen	12
2.3.1 Lithologie der Kalk/Sandkalk-Abfolgen	12
2.3.2 Sissach- und Hauenstein-Member in der Bohrung Riniken	17
2.3.3 Zusammenstellung der Aufschlüsse der Kalk/Sandkalk-Abfolge	18
2.3.3.1 Südlich des Untersuchungsgebietes: Aufschlüsse an der Lägeren	18
2.3.3.2 N und NE Untersuchungsgebiet: Surbtal-Acheberg-Berchenwald-Bohl	19
2.3.4 Tonreiche Abfolgen des 'Braunen Doggers'	20
2.3.5 Die oolithischen Kalke der Hauptrogenstein-Formation	22
2.3.6 Eisenoolith- und Kalk-Abfolgen im Dach des 'Braunen Doggers'	23
2.3.6.1 Der Spatkalk des Aargauer Tafeljuras	23
2.3.6.2 Die spätigen Kalke des Callovian	27
2.4 Zur Wasserführung der Kalk/Sandkalk-Abfolgen	29
2.5 Bemerkungen zu den weiteren Arbeiten der Etappe 2	32
2.6 Literaturverzeichnis	34
3 Expertenbericht Dr. Reto Burkhalter	37
3.1 Aufgabenstellung	38
3.2 Der 'Braune Dogger' (BD)	38
3.3 Kenntnisstand der Nagra über den BD	38
3.3.1 Fazies und Geometrie von Sandkalkkörpern und Eisenoolithhorizonten (PG-11)	39
3.3.2 Eisenoolithkörper (PG-33, PG-11)	39

3.4	Kommentare zu den von der Nagra für Etappe 2 SGT vorgeschlagenen Arbeiten am BD	39
3.4.1	Fernerkundung von herauswitternden Sandkalkkörpern	39
3.4.2	Untersuchungen zu Geometrie und Strukturen der Wirtgesteine	39
3.4.3	Lithologien der Passwang-Fm. und des Opalinus-Tons als Proxies für Lithologien des BD	40
3.4.4	Weitere Bohrungen	40
3.4.5	Reprozessierung von seismischen Daten	40
3.5	Zukünftige Arbeiten am BD	40
3.5.1	Biostratigraphie	40
3.5.2	Umfassende Faziesanalyse, Ablagerungsmodell	41
3.5.3	Analyse der Diagenesegeschichte	41
3.6	Weitere Bemerkungen	42
3.6.1	Regionale Stratigraphie	42
3.6.2	Stratigraphische und fachsprachliche Nomenklatur	43
3.6.3	Details	44
3.6.4	Varia	44
3.7	Zitierte Literatur	45

Zusammenfassung

Der 'Braune Dogger' wurde von der Nagra als Wirtgestein für ein Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle vorgeschlagen. In den Standortgebieten Zürich Nord-Ost und Nördlich Lägeren liegt der 'Braune Dogger' in einer sicherheitstechnisch günstigen Tiefe.

Bestätigt durch die Gutachten und Stellungnahmen zum Vorschlag der geologischen Standortgebiete in Etappe 1 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT), hat die Nagra in NTB 10-01 erläutert, welche Untersuchungen für Etappe 2 SGT ihrerseits noch geplant sind. Im Rahmen seiner Beurteilung des NTB 10-01 hat das ENSI zwei Expertenberichte zum 'Braunen Dogger' in Auftrag gegeben, die in diesem Bericht gemeinsam publiziert werden (Bericht P. Bitterli: Kap. 2, Bericht R. Burkhalter: Kap. 3). Darin ist festgehalten, dass der 'Braune Dogger' im Unterschied zum unterliegenden Opalinuston heterogener aufgebaut ist und für die Abschätzung seiner Langzeitwirkung als geologische Barriere zusätzliche Daten und Modelle zur Verteilung der im 'Braunen Dogger' vorkommenden Kalksandsteine (z.B. des Wedelsandsteins) und deren hydraulischer Wirkung benötigt werden. Eine Abschätzung der vorkommenden Kalksandsteinlagen benötigt ein verfeinertes Faziesmodell und dessen Entwicklung über Raum und Zeit sowie ein verfeinertes stratigraphisches Modell, das neben der Litho- auch die Biostratigraphie berücksichtigen sollte.

Das ENSI hat die Beurteilung seiner Experten in seine Stellungnahme (ENSI 33/115) aufgenommen und dazu elf Forderungen zu ergänzenden Untersuchungen des 'Braunen Doggers' und deren Integration in die provisorischen Sicherheitsanalysen von Etappe 2 SGT formuliert.

1 Vorwort des ENSI

1.1 Ausgangslage

In Etappe 1 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) hat die Nagra den 'Braunen Dogger' als mögliches Wirtgestein für ein Lager mit schwach- und mittelaktiven Abfällen vorgeschlagen (NTB 08-03). Der 'Braune Dogger' kommt als potenzielles Wirtgestein in den Standortgebieten Nördlich Lägeren und Zürich Nord-Ost (ehem. Zürcher Weinland) in sicherheits- und bautechnisch geeigneter Tiefe vor. Wirtgestein und Standortgebiete sind für Etappe 1 SGT seitens ENSI, KNE und swisstopo sicherheitstechnisch beurteilt und als geeignet bewertet worden (ENSI 33/067, ENSI 33/070, KNE 2010).

In NTB 10-01 hat die Nagra im Hinblick auf Etappe 2 SGT dargestellt, welche Untersuchungen sie bezüglich 'Braunem Dogger' seit Beginn von Etappe 1 SGT durchgeführt hat, gerade durchführt und noch für Etappe 2 SGT durchführen wird, um für dieses Gestein wirtgesteins- und standortgebietsspezifische Daten und Parameter für die provisorischen Sicherheitsanalysen zu erhalten. Das ENSI hat diese Aussagen in einer Stellungnahme bewertet. Bezüglich 'Braunem Dogger' wurden dafür zwei externe Experten (Dr. Reto Burkhalter, swisstopo, und Dr. P. Bitterli, ehem. HSK) konsultiert. Die Beurteilungen dieser Berichte sind in die Stellungnahme des ENSI (ENSI 33/115) eingeflossen.

1.2 Beurteilung

In Etappe 1 SGT hat sich die Nagra bei der Beurteilung des 'Braunen Doggers' dort auf die Daten zum Opalinuston abgestützt, wo dieser Ansatz einer konservativen Betrachtung entspricht (z.B. bzgl. der Gasdurchlässigkeit). Im Unterschied zum unterliegenden Opalinuston weist der 'Braune Dogger' in seiner vertikalen Abfolge deutliche lithostratigraphische Heterogenitäten auf und die lithofaziellen Muster variieren lateral typischerweise im km-Bereich (vgl. Fig. 5.2.2 in ENSI 33/070). Ohne nahegelegene Bohrungen oder Oberflächenaufschlüsse sind spezifische Aussagen zur Detailstratigraphie an einer bestimmten Lokalität oder über den gesamten Bereich eines geologischen Tiefenlagers nur beschränkt möglich und müssen sich daher auf die anderswo an der Oberfläche vorhandenen Muster und die daraus abgeleiteten Faziesräume und -entwicklungen abstützen. Dabei spielt das Verständnis der marinen Ablagerungsbedingungen und deren zeitliche Entwicklung eine entscheidende Rolle. Ein gutes Verständnis kann die Prognostizierbarkeit der nicht oder gering tonhaltigen Lagen merklich erhöhen. Dazu wird von den Experten vorgeschlagen, neben der Lithostratigraphie auch die Biostratigraphie (z.B. auf der Basis von Palynomorphen) zu beachten, da diese helfen kann, isolierte Kalksandsteinlagen zeitlich zuzuordnen.

Die eingeschalteten Sandsteinkalke stellen zwar Zwischenlagen von untergeordneter Mächtigkeit dar und sind generell nicht als Wasserleiter bekannt. Der Datensatz zur Bandbreite der hydraulischen Durchlässigkeit der Tongesteine oder Sandsteinkalke des 'Braunen Doggers' ist heute noch beschränkt und stützt sich auf wenige Bohrungen ab (Benken, Weiach, Herdern). Hier wird erwartet, dass die Resultate aus der Geothermiebohrung in Schlattigen wertvolle zusätzliche Daten liefern werden. Bezüglich diverser Parameter sollen gemäss Ausführungen in NTB 10-01 aber auch die regional vorhandenen Aufschlüsse von 'Braunem Dogger' aufgenommen werden.

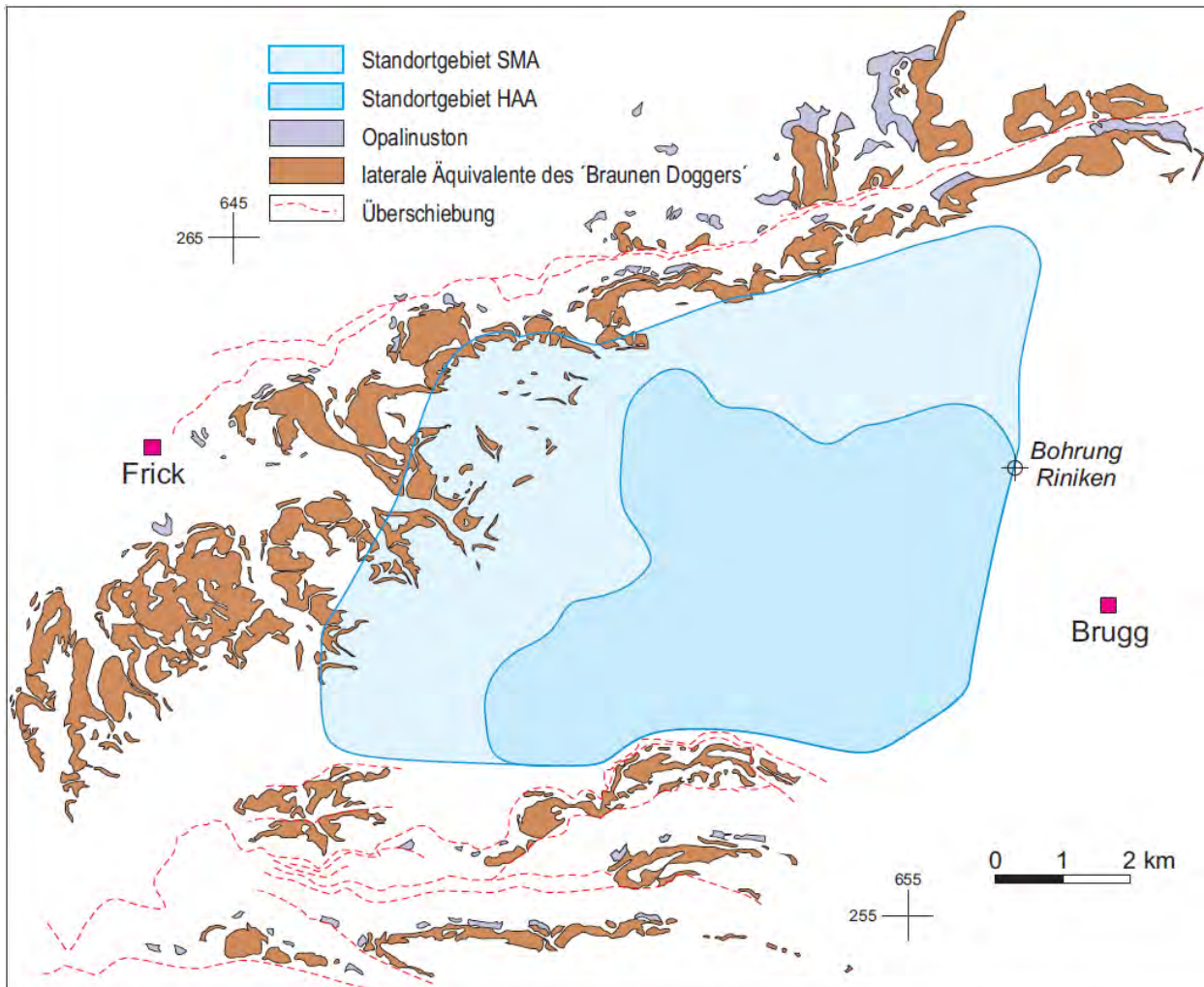


Abb. 1.1: Kartierte Vorkommen von Opalinuston und lateralen Äquivalenten des 'Braunen Doggers' in der Umgebung des Standortgebietes Jura Ost (ehem. Bözberg). Die hier eingezeichneten Vorkommen mit 'Braunem Dogger' (bzw. lateralen Äquivalenten) entsprechen nicht dem seitens Nagra als Wirtgestein definierten Abschnitt des 'Braunen Doggers', der nur östlich einer Linie Burghorn-Siglistorf so bezeichnet wird (vgl. Definition der Nagra in NTB 08-04, Fig. 4.3-11), sondern umfassen hier auch die mehrheitlich oolitischen Abschnitte der Klingnau-Formation und des Haupttrogensteins, die für dieses Standortgebiet keine Rahmengesteinsfunktion haben. Dennoch kann anhand dieser Vorkommen der Wechsel der vertikalen Abfolge innerhalb des 'Braunen Doggers' in E-W-Richtung studiert werden. Die Lage der Vorkommen und Überschiebungsbahnen wurden aus den geologischen Kartenblättern Frick/Laufenburg (Diebold et al. 2006) und Zurzach (Matousek et al. 2000) übernommen. Am Rande des Standortgebietes liegt die Bohrung Riniken, in der die mesozoische Stratigraphie vollständig erbohrt wurde.

In den Abb. 1.1 und 1.2 ist dargestellt, welche Oberflächenaufschlüsse dabei in Frage kommen. In der Umgebung des Standortgebietes Zürich Nord-Ost gibt es (mit Ausnahme der Bohrung Benken) keine Aufschlüsse von Opalinuston und 'Braunem Dogger' (die nächsten Aufschlüsse finden sich westlich des Standortgebietes Südranden (vgl. Abb. 1.2) sowie im Randen (z.B. Tongrube Siblingen). Aufgrund des generellen Einfallens der Schichten gegen SW nehmen die Aufschlüsse im Tafeljura nach Norden und Westen zu und erreichen im Westen des Standortgebietes Jura Ost (ehem. Bözberg) die Oberfläche (Abb. 1.1).

Die vorhandenen Oberflächenaufschlüsse lassen vermuten, dass der von der Nagra in NTB 08-04 dargestellte Fazieswechsel im oberen Abschnitt des 'Braunen Doggers' mit guter Schärfe auskartierbar sein sollte, sich jedoch nur mit grosser Unsicherheit bis zum Westrand des Standortgebiets Nördlich Lägeren verfolgen lässt. Dort sind die nächstgelegenen Aufschlüsse (an der Lägeren, am Acheberg und Bohl) bereits einige Kilometer vom Standortgebiet entfernt.

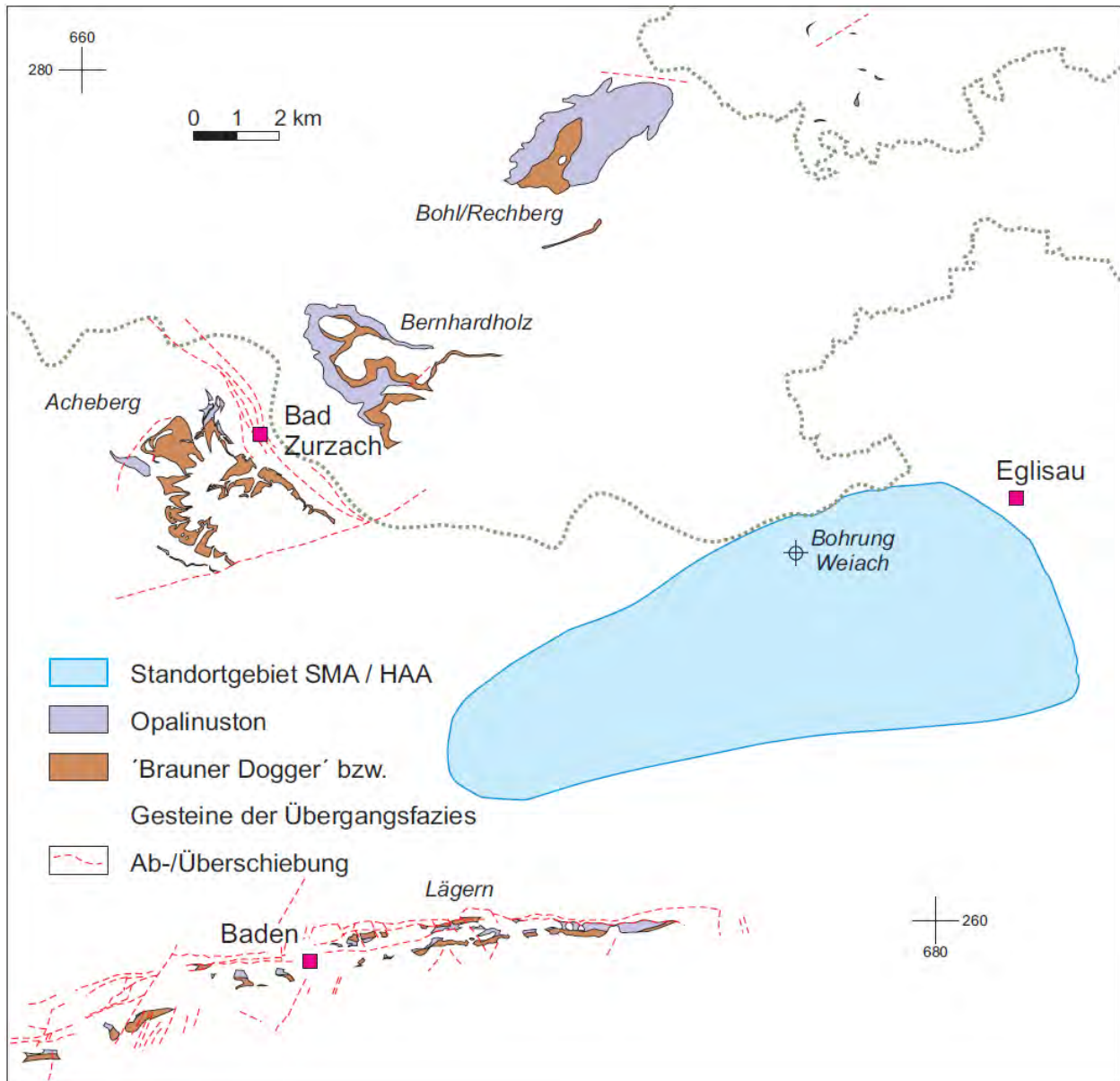


Abb. 1.2: Kartierte Vorkommen von Opalinuston und 'Braunem Dogger' (bzw. Gesteinen der lateral davon vorkommenden Übergangsfazies gemäss Definition in NTB 08-04, Fig. 4.3-11) in der Umgebung des Standortgebietes Nördlich Lägeren. Die Lage der Vorkommen und tektonischen Linien wurden aus den geologischen Kartenblättern Neunkirch (Hofmann 1981), Baden (Graf et al. 2006) und Zurzach (Matousek et al. 2000) sowie aus der Geologischen Karte des Kantons Zürich (Hantke und Mitarbeiter, 1967) und der Geologischen Karte der zentralen Nordschweiz (Isler et al. 1984) übernommen. Innerhalb des Standortgebietes liegt die Bohrung Weiach, in der die mesozoische Stratigraphie vollständig erbohrt wurde.

1.3 Fazit

Als Ergebnis der beiden Expertenbeurteilungen und der «eigenen Bewertung der Aussagen der Nagra hat das ENSI zum 'Braunen Dogger' die folgenden elf Forderungen formuliert:

Forderung 1

Das ENSI fordert von der Nagra für Etappe 2 SGT ein regional ausgerichtetes Untersuchungsprogramm zum '**Braunen Dogger**', das neben der Lithostratigraphie auch die Biostratigraphie untersucht und sich neben bestehenden Bohrungen auch auf die im süddeutschen und Nordschweizer Raum vorhandenen Aufschlüsse abstützt. Früher entwickelte Faziesverteilungskarten sind zu überarbeiten und aufzudatieren, um daraus für die Konzeptualisierung des 'Braunen Doggers' umfassendere Unterlagen zu erhalten.

Forderung 2

Die für den '**Braunen Dogger**' in NTB 10-01 verwendeten Analogien und Vergleiche zur Beschreibung der sicherheitsrelevanten Parameter Porosität, Sorptions- und Diffusionskoeffizienten sind für Etappe 2 SGT durch Parameterwerte zu ersetzen, die auf wirtgesteinsspezifische Messwerte abstützen.

Forderung 6

Für den sicherheitstechnischen Vergleich in Etappe 2 SGT trägt der '**Braune Dogger**' auch als Rahmengestein in geringeren Tiefen zur Barrierenwirkung bei. Die Nagra hat den Einfluss der Dekompaktion auch für die Rahmengesteine zu berücksichtigen.

Forderung 7

Im Sinne der stufengerechten Vertiefung der Kenntnisse hat die Nagra für Etappe 2 SGT wirtgesteinsspezifische Konzepte zum Gastransport in den Wirtgesteinen '**Brauner Dogger**', Effinger Schichten und Mergelformationen des Helvetikums vorzulegen und zu zeigen, wie das «engineered gas transport system» durch wirtgesteinsspezifische Prozesse beeinflusst wird.

Forderung 8

Die Nagra hat aufgrund der bis zur Etappe 2 noch erfolgenden Untersuchungen zu prüfen und darzulegen, inwiefern eine unterschiedliche Konzeptualisierung des '**Braunen Doggers**' für den westlichen und östlichen Teil des Standortgebietes Nördlich Lägeren erfolgen muss.

Forderung 13

Das ENSI fordert für den sicherheitstechnischen Vergleich in Etappe 2 SGT, dass die ergänzenden Untersuchungen der Nagra (u.a. Aufschlusskartierungen, Laboranalysen, Bohrkernuntersuchungen) für die Wirtgesteine '**Brauner Dogger**' und die Effinger Schichten eine genauere Beschreibung der sedimentären Architekturelemente (Korrelation, Verzahnung, laterale Faziesänderungen, Ausbildung von Klüften) erlauben.

Forderung 16

Die Nagra hat für Etappe 2 SGT abzuklären, ob die sandig-kalkigen Einschaltungen in der **We-
delsandstein-Formation** im Standortgebiet Südranden als grossräumig durchziehende laterale
Exfiltrationspfade einzustufen sind.

Forderung 21

Das ENSI fordert für Etappe 2 SGT, dass hydraulische Bedeutung und laterale Kontinuität kal-
kiger und eisenoolithischer Einschaltungen innerhalb der Tongesteinsabfolge '**Brauner Dog-
ger**' im Standortgebiet Nördlich Lägeren soweit geklärt sind, dass eine standortspezifische
Konzeptualisierung möglich ist. Um einschätzen zu können, ob mit den Lagerebenen diesen
Einschaltungen ausgewichen werden kann, ist auch die Evaluation der vertikalen Frequenz der
Kalkeinschaltungen notwendig.

Forderung 27

Für die provisorischen Sicherheitsanalysen hat die Nagra die Bandbreiten für die mineralogi-
schen Parameter in den tonigen Abfolgen und sandg/kalkigen Architekturelementen von Effin-
ger Schichten und '**Braunem Dogger**' aus den vorhandenen Daten separat abzuleiten und
nachvollziehbar zu dokumentieren.

Forderung 32

Für die provisorischen Sicherheitsanalysen hat die Nagra die Bandbreiten für die Porosität in
den tonigen Abfolgen und sandg/kalkigen Architekturelementen von Effinger Schichten und
'**Braunem Dogger**' aus den vorhandenen Daten separat abzuleiten und nachvollziehbar zu
dokumentieren.

Forderung 40

Für die Wirtgesteine '**Brauner Dogger**' und Effinger Schichten fordert das ENSI, dass die Re-
sultate der ergänzenden Untersuchungen in den Modellkonzeptualisierungen für die Ausbrei-
tungsberechnungen berücksichtigt werden.

1.4 Referenzen

- Graf H.R., Bitterli-Dreher, P., Burger H., Bitterli T., Diebold P., Naef H. (2006): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25 000, Blatt 1070 Baden. Bundesamt für Landestopographie, Wabern.
- Diebold P., Bitterli-Brunner, P., Naef H. (2006): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25 000, Blatt 1059/1049 Frick/Laufenburg. Bundesamt für Landestopographie, Wabern.
- ENSI 33/067: Beurteilung der Sammelprofile und der hergeleiteten Wirtgesteine sowie der Grundlagen für die Herleitung von Standortgebieten im Sachplan geologische Tiefenlager. Expertenbericht von swisstopo zuhanden des ENSI, Februar 2010.
- ENSI 33/070: Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag geologischer Standortgebiete, Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 1. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2010.
- ENSI 33/115: Stellungnahme zu NTB 10-01 «Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorische Sicherheitsanalyse in Etappe 2, SGT». Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2011.
- Hantke R. und Mitarbeiter (1967): Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete 1:50 000. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 112/2.
- Hofmann F. (1981): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25 000, Blatt 1013 Neunkirch. Bundesamt für Landestopographie, Wabern.
- Isler A., Pasquier F., Huber M. (1984): Geologische Karte der zentralen Nordschweiz 1 :100 00, mit angrenzenden Gebieten von Baden-Württemberg. Geologische Spezialkarte Nr. 121, Nagra und Schweizerische Geologische Kommission.
- KNE (2010): Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 1: Stellungnahme der KNE zur Sicherheit und bautechnischen Machbarkeit der vorgeschlagenen Standortgebiete. Kommission Nukleare Entsorgung, 23. Februar 2010.
- Matousek F., Wanner, M., Baumann A., Graf H.R., Nüesch R., Bitterli T. (2000): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25 000, Blatt 1050 Zurzach. Bundesamt für Landestopographie, Wabern.
- NTB 08-03: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager - Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2008.
- NTB 08-04: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager - Geologische Grundlagen (Textband und Beilagenband). Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2008.
- NTB 10-01: Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorische Sicherheitsanalyse in Etappe 2, SGT – Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2010.

2 Expertenbericht Dr. Peter Bitterli-Dreher

Kommentare zum 'Braunen Dogger' im Rahmen des Berichtes «Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2».

Bericht zuhanden des ENSI, Brugg.



Titelbild: Doggerlandschaft an der Lägeren SE Ehrendingen. Rechts die markante Gelände-rippe des Bollhölzli, eine Kalk/Sandkalkabfolge des Sissach-Members (Passwang-Formation). Die Sandkalke liegen mit einer Überschiebungsfläche auf einer dünnen Schuppe aus Malmkalken und Mergeln. Im Bild ganz rechts, praktisch unsichtbar, verläuft unter Mergeln des Effingen-Members die Hauptüberschiebung der nach Norden überkippten Falte der Lägeren auf die Tertiär-Gesteine der Molasse. Die Wiesenlandschaft links im Bild wird von Opalinuston unterlagert, die hier normal stratigraphisch gelagert auf den Sandkalken ruhen, aber im überfahrenen Nordschenkel der Falte mit den Sandkalken verkehrt liegen.

Endingen 31. Mai 2011

2.1 Einleitung

Zum Erreichen der Ziele von Etappe 2 des Sachplanverfahrens muss der Kenntnisstand betreffend die geologischen Verhältnisse an den Standorten die Durchführung von provisorischen Sicherheitsanalysen erlauben. In Etappe 2 sollen dazu soweit erforderlich zusätzliche Untersuchungen zur Ergänzung der Datensätze durchgeführt werden. In diesem Arbeitsbericht werden die geologischen Daten zum Wirtgestein 'Brauner Dogger' unter die Lupe genommen. Zusätzlich wird auch auf einige Aspekte der geologischen Entwicklung zur Zeit des Doggers eingegangen. Abschliessend werden einige Punkte aufgeführt, die mit weiteren Untersuchungen in Etappe 2 abgeklärt werden sollten. Grundlage dieser Ausführungen sind die Angaben in den technischen Berichten NTB 08-04 und NTB 10-01 sowie NAB 06-26 der Nagra und weitere einschlägige geologische Literatur.

2.2 Regionale geologische Situation

Zur Zeit des Doggers ist das Gebiet der Nordschweiz Teil eines ausgedehnten Schelfmeeres am Nordrand des Tethys-Ozeans. Grössere Inseln gliederten das Schelfmeer in verschiedene Teilbecken (Abb. 2.1). Im Nagra-Bericht NTB 08-04 wird die paläogeographische Situation zur Zeit des frühen Aalenian (Opalinuston) dargestellt. Karten der paläogeographischen Situation zu späteren Zeitpunkten werden nicht aufgeführt.

2.2.1 Paläogeographische Situation Mitteleuropa

Eine regionale Übersicht zur paläogeographischen Situation gibt Ziegler (1988). Die plattentektonische Situation zur Zeit des Doggers war geprägt vom Einsetzen des Rifting im Nordatlantik. Es bildete sich eine Meeresstrasse, die den mitteleuropäischen Schelf mit dem Nordmeer verband (Protoatlantik). Der weite Schelf war in zahlreiche Inseln und Meeresbecken gegliedert. Das Gebiet der Nordschweiz lag am Südrand des schwäbischen Beckens, mit dem böhmischen Festland im Osten und der Burgunder-Karbonatplattform im Westen. Vom böhmischen Festland erstreckte sich ein Rest der Vindelizischen Halbinsel gegen SW (Abb. 2.1).

Die Becken im Gebiet Mitteleuropas sind NW-SE gerichtet, was sich auch in den aus Sedimentstrukturen ermittelten Strömungsmustern widerspiegelt, die für die Zeit des Doggers meist einen Sedimenttransport aus NW belegen. Die detaillierten paläogeographischen Karten aus Ziegler (1990) zeigen eine ausgeprägte NW-SE Ausrichtung der tektonischen und sedimentären Strukturen (Abb. 2.1 und 2.2). Diese Strukturen stossen im SE auf den SW-NE gerichteten Schelf des penninischen Ozeans, das Untersuchungsgebiet liegt knapp N der Grenze der beiden tektonischen Domänen und war wohl noch stark vom zunehmend überfluteten vindelizischen Rücken aus der Lias-Zeit bestimmt, der nun eine seichte Meeresschwelle bildete.

Die Zeit des Doggers ist im Untersuchungsgebiet vom Aufbau und Zerfall der Burgunder Plattform im Westen geprägt. Der Plattformrand erstreckte sich zur Zeit des mittleren Doggers weit ins Untersuchungsgebiet, denn in der Bohrung Riniken sind die Oolith-Ablagerungen der Plattform (Unterer Hauptrogenstein) gut entwickelt. Zur Zeit des Oberen Hauptrogensteins erreichten die oolithischen Plattform-Ablagerungen lediglich noch das zentrale Gebiet des Aargauer Tafeljuras (Linie Säkingen-Olten). An der Wende Callovian-Oxfordian wird die Plattform zunehmend überflutet und vor dem Vormarsch der Spätjura-Korallenriffe im Oxfordian wird das Sedimentationsmilieu im Untersuchungsgebiet tiefer (Renggeri- und Sornetan-Member).

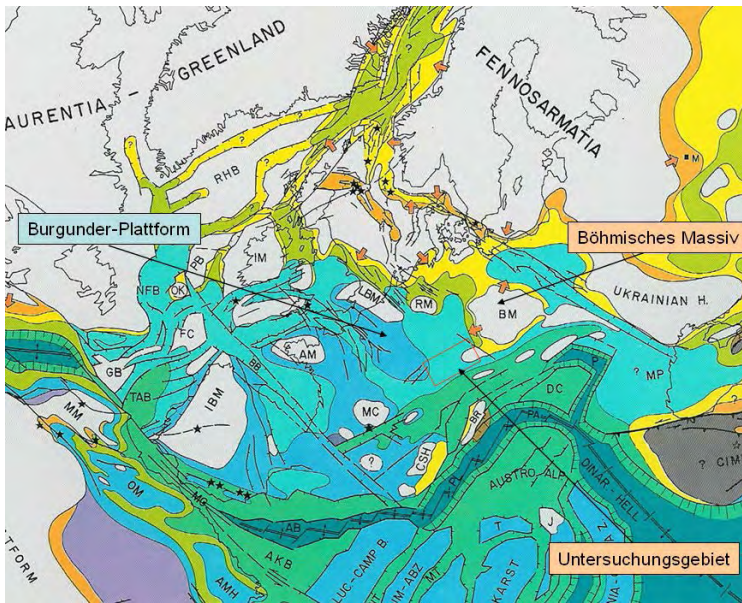


Abb. 2.1: Plattentektonische Situation im Bajocian- Bathonian. Beginn des «Spreading» im Nordatlantik, Meeresstrasse zum Nordmeer. Im Süden offener Schelf zum Tethys-Ozean. Grosse tektonische Strukturen streichen bevorzugt NW-SE und SW-NE. Aus: Ziegler, 1988.

Weiss und grau: Festländer, hellgrün: seichtmarin, hauptsächlich Mergel; hellblau: seichtmarin, Karbonate und Klastika; blau: seichtmarine Karbonate (Plattformen); türkis: tiefermarine Klastika und Karbonate; dunkelblau: ozeanische Kruste.

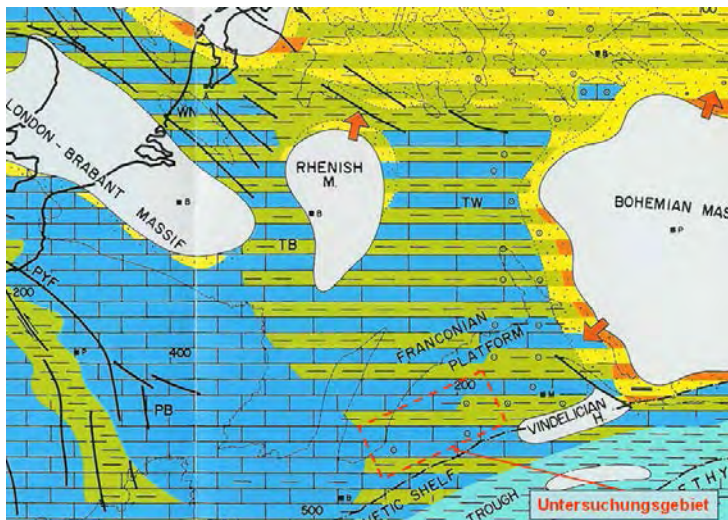


Abb. 2.2a: Paläogeographische Situation zur Zeit des **Bajocian-Bathonian**. Die Burgunder-Plattform im Westen stösst an das schwäbische Becken («Franconian Plattform»). Die grossen Strukturen streichen vorwiegend NW-SE. Aus Ziegler, 1990.



Abb. 2.2b: Paläogeographische Situation zur Zeit des **Callovian-Oxfordian**. Die Callovian-Transgression führt zur Überflutung der Burgunder-Plattform, ein weit ausgedehntes Schelfmeer bildet nun den Ablagerungsraum Mitteleuropas. Aus Ziegler, 1990.

2.2.2 Paläogeographische Situation im Untersuchungsgebiet Nordschweiz

In der Literatur finden sich nur wenige paläogeographische Detailrekonstruktionen für den Zeitraum Bajocian-Bathonian. Die meisten Darstellungen betreffen das frühe Aalenian (Opalinuston), so auch die Darstellung im NTB 08-04. Eine Rekonstruktion in Wagner (1960) zeigt die Mächtigkeiten des Dogger- β im schwäbischen Becken (Abb. 2.3). Die dargestellten Mächtigkeiten entsprechen im Gebiet der Nordschweiz grob den Beobachtungen. Die Darstellung geht davon aus, dass das Vindelizische Festland sich zu diesem Zeitpunkt noch immer weit gegen SW erstreckt hat (die Darstellung von Wagner, 1960, erfolgte noch ohne die Erkenntnisse der modernen Plattentektonik). Abb. 2.3 zeigt aber, dass die Mächtigkeiten des Dogger- β die Richtung der Vindelizischen Schwelle nachzeichnen. Man sollte darum im Gebiet Nördlich Lägeren nicht davon ausgehen, dass die Verhältnisse im Wutach-Tal für das ganze Gebiet repräsentativ sind. Die Faziesgürtel scheinen hier eher parallel zur Vindelizischen Schwelle zu verlaufen.

Franz und Nitsch (2009) präsentieren eine Mächtigkeitskarte des gesamten Mittleren Juras in Baden-Württemberg (Abb. 2.4). Die Darstellung ist schwer lesbar, da lediglich die Umrisse des Bundeslandes eine geographische Orientierung geben. Es wird aufgrund der Mächtigkeitsverteilung eine «Mittelschwäbische Senke» postuliert, in der die Achdorf-Formation zur Ablagerung kommt. Es handelt sich um sandarme Tonsteine mit Kalksteinbänken. Die Senke zieht gemäss Abb. 2.4 N-S streichend in die Nordschweiz, wo die Gesteinsserien in den Bohrungen Weiach und Benken diesem Bild noch einigermaßen entsprechen. Der Interpretationsspielraum der Auswertung ist allerdings erheblich, denn im zentralen Gebiet wurde der Dogger erodiert. Die Isopachen weisen aber im SE ebenfalls auf die Vindelizische Schwelle.

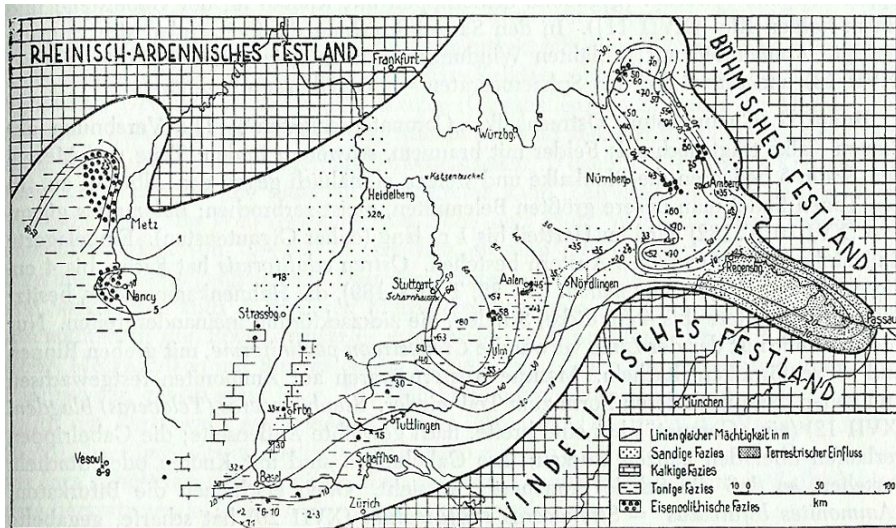


Abb. 2.3: Paläogeographie zur Zeit des Dogger- β und Mächtigkeit der Dogger- β -Ablagerungen. Aus Wagner, 1960.

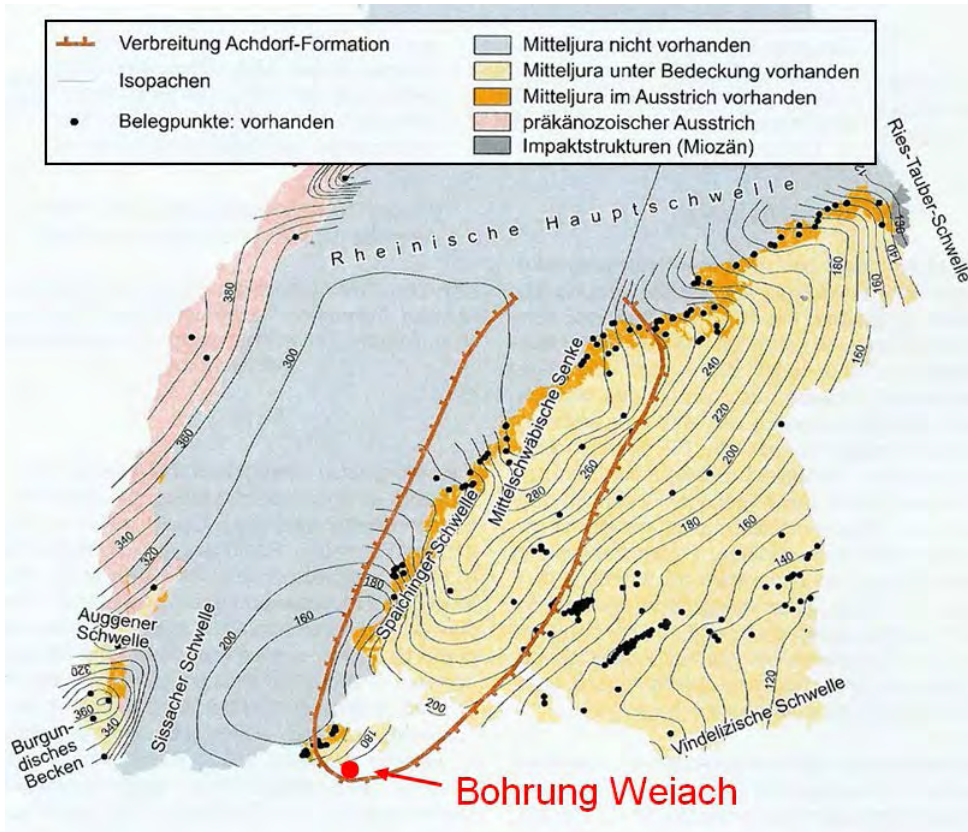


Abb. 2.4: Mächtigkeiten des Mitteljuras (aus Franz und Nitsch 2009). Die Bohrung Weiach liegt am Südrand der postulierten Senke, das Gebiet Nördlich Lägeren im Übergangsbereich zur Vindelizischen Schwelle.

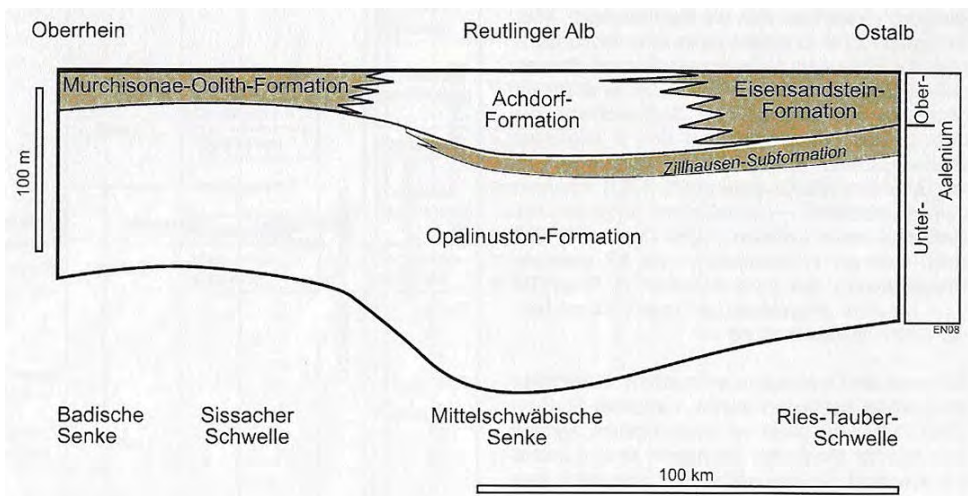


Abb. 2.5: W-E-Profil durch den Mitteljura der Mittelschwäbischen Senke (Achdorf-Formation). Aus Franz und Nitsch 2009.

Die Aufschlüsse im Klettgau, die den Abschluss des «Albtraufs» (oranger Bereich in Abb. 2.4) in Baden-Württemberg markieren, haben allerdings bereits mächtige Kalk/Sandkalk-Abfolgen, wie die Aufschlüsse am Bohl bei Rechberg und am Berchenwald/Bernhardholz bei Dangstetten zeigen (Genser 1966, Gassmann 1987). Am Süden der Senke werden somit die tonigen Ablagerungen der Achdorf-Formation von Kalken und Sandkalken abgelöst (Abb. 2.5). Nachfolgend werden einige Beispiele dieser Kalk/Sandkalk-Abfolgen näher vorgestellt.

Für das Arbeitsprogramm Etappe 2 der Nagra ist anzuregen, dass die paläogeographischen Grundlagen eingehender zusammengestellt werden. Man könnte dazu den Bericht «Stratigraphie Nordostschweiz» (Nagra 2001) überarbeiten und aufdatieren.

2.3 Lithologische Abfolge der Dogger-Formationen

Die Doggerabfolge umfasst mehrere Formationen resp. Member, die von Kalken oder Sandkal-ken gebildet werden. Diese spröden Karbonatgesteine sind aufgrund von primärer oder sekun-därer Porosität potenzielle Aquifere. Grössere Mächtigkeiten erreichen die Kalke/Sandkalke der untersten Passwang-Formation (Sissach-Schichten) und die im westlichen Gebiet mächtigen Kalkabfolgen des Haupttrogensteins. Im Dach des Doggers liegen die Spatkalke der Haupttro-genstein-Formation, die in einem N-S-streichenden Gebiet den Ostrand der Burgunder-Plattform nachzeichnen. In Abb. 2.6 ist der West-Ost-Verlauf der Lithofazies des mesozoischen Schichtstapels dargestellt.

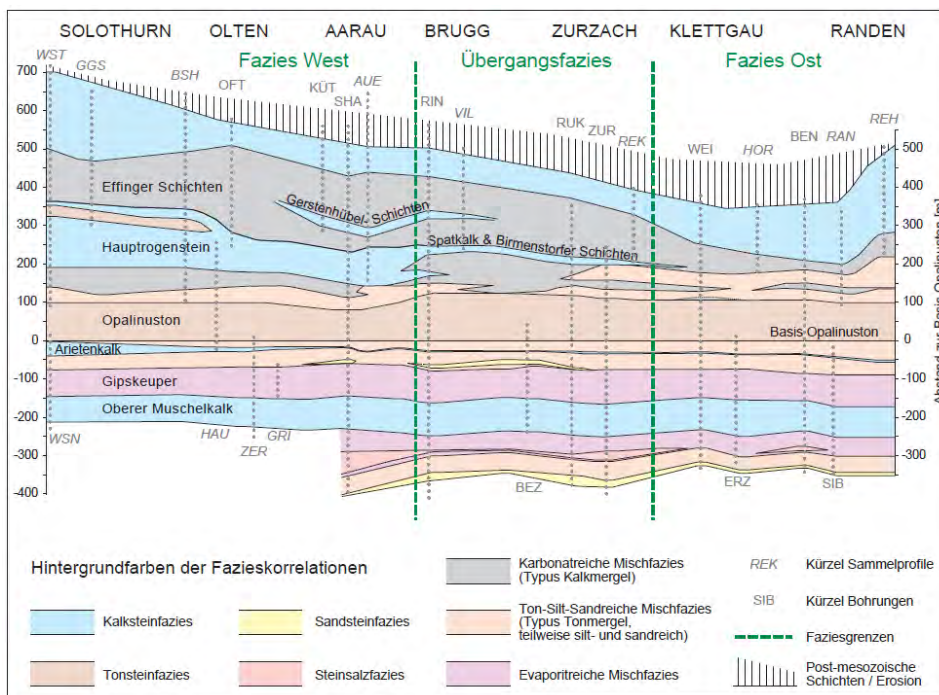


Abb. 2.6: Lithofaziesprofil der mesozoischen Gesteinsabfolge zwischen Jura und Randen. Die Sandsteinfazies in der Bohrung Riniken müsste mächtiger dargestellt werden und dürfte mit dem Vorkommen in der Bohrung Schafisheim zusammenhängen (siehe Kap. 2.3.2). Aus Nagra NTB 08-04.

2.3.1 Lithologie der Kalk/Sandkalk-Abfolgen

Für das Projekt spielen die spröden Kalk/Sandkalk-Abfolgen an der Basis des 'Braunen Doggers' eine wichtige Rolle. Es gibt Anhaltspunkte, dass diese Formation weit ins Untersuchungsgebiet Nördlich Lägeren hinein ziehen könnten. Die neueren Nagra-Berichte geben bislang nur wenig Detailinformation zu diesen Abfolgen. Eingehender wird die Problematik im Bericht «Stratigraphie Nordostschweiz» (Nagra 2001) abgehandelt. Nachfolgend wird ein knapper Überblick über diese Gesteinsabfolgen im Gebiet der Nordschweiz und im Klettgau gegeben und insbesondere auch auf bestehende Aufschlüsse hingewiesen.

In weiten Teilen des Gebietes Nördlich Lägeren könnten Kalk/Sandkalk-Abfolgen die Basis des Wirtgesteins 'Brauner Dogger' bilden. Diese stark geklüfteten Kalk/Sandkalk-Abfolgen sind zumindest in oberflächennaher Lage als Aquifere ausgebildet. In NTB 10-01 werden diese Gesteine allerdings nicht detaillierter charakterisiert. Lithologische Angaben finden sich vor allem in Form von Faziesprofilen im Bericht NTB 08-04 (Beilagen 5.2-1 und 5.2-2), diese geben aber nur beschränkt eine Vorstellung vom räumlichen Aufbau der Gesteinskörper.

Einen detaillierteren Überblick über die Mächtigkeiten der Gesteinskörper des Braunen Jura geben die Angaben und Profilkompilationen im NAB 06-26, aus dem die oben erwähnten Faziesprofile stammen. In den Profilen sind die einzelnen Farben schlecht unterscheidbar, sie müssen darum sorgfältig auseinander gehalten werden. Die lithologische Einstufung der Gesteinsabfolgen ist teilweise widersprüchlich, da der Bericht auf einer Literaturstudie beruht. So ist beispielsweise die Unterscheidung in Sandkalke und Kalke von den verschiedenen Bearbeitern nicht einheitlich erfolgt, was bei der gegenwärtigen Fragestellung insofern vernachlässigbar ist, als beide Gesteine eine vergleichbare Klüftung aufweisen. Abb. 2.7a und 2.7b zeigen den Gesteinscharakter in grösseren Aufschlüssen. Es handelt sich um harte, zähe Gesteine, sedimentologisch Pack- und Grainstones, teilweise mit einem grossen Anteil an Echinodermen-Detritus, was den spätigen Charakter einzelner Lagen verursacht. Im Gebiet nördlich der Lägeren treten auch «eisenschüssige» Spatkalke auf, wie sie Burkhalter (1996) als «Fazies 5» beschreibt.



Abb. 2.7a: Kalk/Sandkalk-Abfolge am Südwestabhang des Achebergs, N Klingnau. Die 17.5 m mächtigen Kalke und Sandkalke sind intensiv geklüftet. (Aufnahme Januar 2011, CH-Koord.: 661'500/271'030)



Abb. 2.7b: Kalk und Sandkalk am Blitzberg, E Klingnau. Die härteren Kalkbänke werden durch dünne, sandige Mergellagen getrennt. Die Klüftung ist intensiv. (Aufnahme Januar 2011, CH-Koord.: 661'780/270'400)

Die Angaben der Kompilation in NAB 06-26 stammen häufig aus Bohrungen, die zu speziellen Zwecken abgeteuft wurden und deren geologische Aufnahme wohl oft nur summarisch erfolgte. Ein Beispiel ist die Bohrung Ruckfeld-1, in der das Sissach-Member als siltig-tonige Abfolge beschrieben wird (NTB 08-04, Beilage 6). Nur 1.5 km entfernt stehen aber im **Surbtal** mindestens 10 m kompakte Kalke/Sandkalke an (Abb. 2.8a und 2.8b).

Die Nagra erwähnt, dass Feldaufnahmen der Gesteinsserien in Etappe 2 durchgeführt werden. Das ENSI sollte dabei anregen, dass einige gut aufgeschlossene Profile durchgehend beprobt werden, damit die lithologische Variabilität erfasst wird. Weiter ist eine sorgfältige sedimentologische Profilaufnahme für die Interpretation des räumlichen Aufbaus der Sandkalkzüge grundlegend.

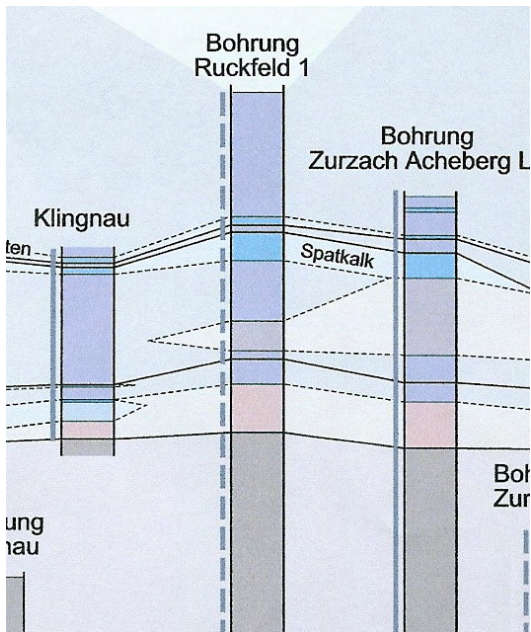


Abb. 2.8a: Sissach-Member in der Bohrung Ruckfeld-1. Es werden über dem Opalinuston gut 20 m siltig-sandige Mergel dargestellt. Da die Entfernung zu den Kalk/Sandkalk-Aufschlüssen im Surbtal nur 1.5 km beträgt, ist fraglich, ob die mächtige Kalk/Sandkalk-Abfolge auf diese Distanz gänzlich auskeilt. Gemäss den Angaben im NAB 06-26 sind die lithologischen Daten der Bohrungen Ruckfeld und Zurzach-Acheberg «lithostratigraphisch nicht belastbar».

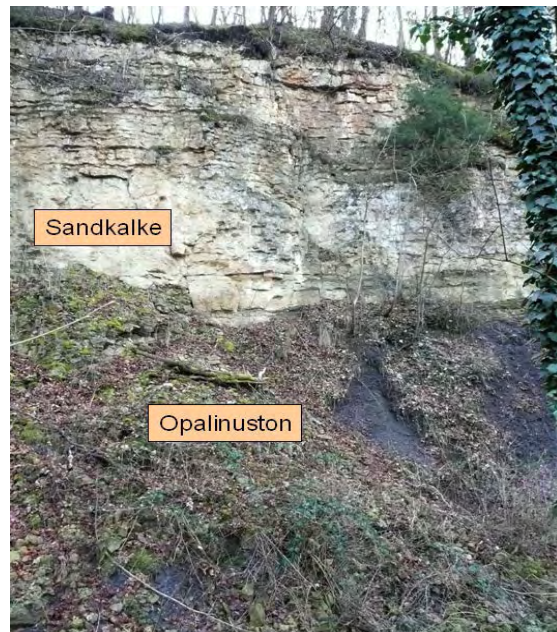


Abb. 2.8b: Übergang Opalinuston-Sissach-Member. Die Kalk/Sandkalk-Abfolge ist hier mindestens 10 m mächtig, die Obergrenze ist erosiv abgeschnitten. Untersuchungen solcher Aufschlüsse könnten, wo erforderlich, die Angaben der Bohrungen ergänzen. Ufer der Surb SE Döttingen, ca. 200 m E von Punkt 337 m. (Aufnahme 2008, CH-Koord.: 662'600/268'380)

Die laterale Ausdehnung der Sandkalke kann erheblich sein. Der oben gezeigte Sandkalkzug bei **Klingnau** (Abb. 2.7a und 2.7b) zieht nach Süden weiter und ist im **Surbtal**, knapp 3 km südlich noch immer mindestens 10 m mächtig. Gegen N zieht die Sandkalk-Abfolge ins Gebiet **Berchenwald/Bernhardholz** (W Dangstetten), wo sie bis 12 m mächtig ansteht. Die Distanz zum Profil Klingnau beträgt rund 5 km. Aufschlüsse im Tälchen S **Rietheim** zeigen, dass die Sandkalke auch im Bereich zwischen diesen grösseren Aufschlüssen mindestens 10 m mächtig sind (Abb. 2.9a und 2.9b). Es handelt sich somit um ausgedehnte Gesteinskörper, die möglicherweise auch ins Untersuchungsgebiet Nördlich Lägeren hinein ziehen.

Im Tälchen S **Rietheim** bildet die Kalk/Sandkalk-Abfolge eine deutliche Geländerippe. Die Aufschlüsse im Gelände N der Lokalität Cholgrueben sind bescheiden, etwas bessere sind weiter südlich in der Bachschlucht zu erwarten (zur Zeit der Begehung durch gefällte Bäume nicht zugänglich). Die Mächtigkeit der Abfolge beträgt etwa 10 – 12 m.



Abb. 2.9a: Geländerippe im Tälchen S Rietheim. Die harte Kalk/Sandkalk-Abfolge ist etwa 10 – 12 m mächtig. (Aufnahme Februar 2011, CH-Koord.: 662'850/271'550)



Abb. 2.9b: Detailaufnahme mit dm-mächtigen Sandkalk-Bänken. (CH-Koord.: 662'850/271'550)

Das Sissach-Member (und ev. das Waldenburg-Member) kann auch am Lägeren-Nordhang bis gegen das Gebiet **Altlägeren** verfolgt werden. Senftleben (1923) beobachtete eine untere Sandkalk-Abfolge von rund 5 m Mächtigkeit und, getrennt durch 6 – 9 m sandige, feinglimmerige Mergel mit Sandkalkbänken, eine obere Abfolge von rund 10 m Mächtigkeit. Die Kalk/Sandkalk sind sowohl im Südschenkel (z.B. Rütönen, S Steinhof, Lägerenweid), als auch in der Überschiebungsmasse des überfahrenen Nordschenkels (Bollhölzli, Rieden) vorhanden (Abb. 2.10a und 2.10b).



Abb. 2.10a: Kalke (teilweise spätig) des Sissach-Members. Lokalität Rütönen, SW der «Gipsgrube» (S Ehrendingen). Der Aufschluss gehört zum Südschenkel der Lägeren. Das Gestein ist in diesem Aufschluss sehr kompakt und bildet dicke Bänke. (Aufnahme 2007, CH-Koord.: 668'780-668'900/259'480)



Abb. 2.10b: Kalk/Sandkalk-Abfolge in Bachschlucht N Hof Lägerenweid. Die Gesteine gehören vermutlich zum überschobenen Nordschenkel und sind gefaltet. Die Abfolge dürfte mehr als 10 m mächtig sein. (Aufnahme Januar 2011, CH-Koord.: 671'600/259'730)

Am Südhang des **Bernhardholz NE Kadelburg** sind die Ludwigien-Schichten in grossen Aufschlüssen zugänglich (Abb. 2.11a und 2.11b). Es handelt sich hier um eine rund 12 m mächtige Abfolge von Kalken/Sandkalken. Stellenweise tritt auch der Übergang zum Opalinuston im Liegenden zu Tage. Die Abfolge ist stark zerklüftet. Gassmann (1967) beschreibt Schrägschichtung, diese ist allerdings im Aufschluss nur schwach angedeutet. Nach Schalch (1897) gehören die obersten Lagen zu den Sowerbyi-Sauzei-Schichten und sind oolithisch, dies konnte allerdings bei der Begehung nicht bestätigt werden.

Bei der Begehung zeigten die Wände stellenweise starke Eisbildungen, die auf Wasseraustritte zurück zu führen sind. Die Überlagerung durch die tonig-mergeligen Lagen der hangenden Schichten ist allerdings nur wenige Meter bis Dekameter mächtig.



Abb. 2.11a: Südabbruch der Kalke/Sandkalke (Ludwigien-Schichten) des Bernhardholz (NE Kadelburg, BRD). Gut sichtbar sind gebankte, teilweise etwas spätere Lagen im oberen Teil der Wand. (Aufnahme Februar 2011, CH-Koord.: 665'730/273'700)



Abb. 2.11b: Detailaufnahme der Sandkalke im tieferen Teil des Aufschlusses am Bernhardholz. Diese Lagen sind unruhig gebankt und zeigen häufig dünne Mergelfugen. (Aufnahme Februar 2011, CH-Koord.: 665'730/273'700)

Die Anhöhe des **Bohl SE Wutöschingen** ist eine mit wenigen Grad nach S einfallende Platte aus Kalken/Sandkalken des Unteren Doggers. Bausch und Schober (1997) schätzen die Mächtigkeit der Ludwigien-Schichten auf 12 – 15 m, es handelt sich um Sandkalke und feinkörnige Echinodermenbrekzien. Gegenwärtig sind in natürlichen Anrissen am NE-Abhang des Bohls noch rund 6 – 8 m der Sandkalke aufgeschlossen (Begehung im Februar 2011). Wie die Abb. 2.12a und 2.12b zeigen, sind die Gesteine stark aufgelockert. Der Abhang ist sehr stark verrutscht und teilweise gleiten grössere Pakete der Sandkalke auf den liegenden Opalinustonen ab. Die Aufschlüsse eignen sich kaum für detaillierte Gesteinsstudien.



Abb. 2.12a (links) und 2.12b (rechts): Kalke und Sandkalke am NE-Abhang des Bohls, N Rechberg (Klettgau, BRD). Das nahe der Oberfläche anstehende Gestein ist stark aufgelockert. Im Gestein sind knollenartige Einschaltungen mit Muschelschalen und Ammoniten zu beobachten. Der Kontakt zum Liegenden ist heute nicht mehr aufgeschlossen, zudem rutschen grosse Sandkalkpakete auf den Tonen ab. (Aufnahmen Februar 2011. Deutsche Rechts-/Hochwerte: 54°320/77°850).

2.3.2 Sissach- und Hauenstein-Member in der Bohrung Riniken

In der Bohrung Riniken wurden lediglich 3.87 m Murchisonae-Concava-Schichten ausgeschieden. Diese Mächtigkeit passt nicht in das regionale Bild. Auf Abb. 2.13a ist ein Ausschnitt des Geo-Logs der Bohrung dargestellt. Darauf erkennt man einerseits die eisenoolithische Basis des Sissach-Members und darüber ein tonreiches Intervall von 3 – 4 m Mächtigkeit. Über dieser tonigen Lage folgen aber gut 10 m einer, gemäss Log, kalkreichen Fazies (hoher Widerstandswert, niedriger Gammawert). Es ist darum naheliegend, in Anlehnung an die benachbarten Aufschlüsse, z.B. Bohrungen Deponie Villigen-Unterboden, wo rund 13 m Kalke und Kalkmergel beschrieben wurden (Schneider und Matousek 1990), in der Bohrung Riniken ebenfalls von Kalken oder Sandkalken auszugehen. Dies bestätigt die Cutting-Beschreibung, die in diesem Intervall sandige Kalke erwähnt (Matter et al. 1987, S. 36). Man müsste demnach in der Bohrung Riniken von rund 10 m mächtigen, vorwiegend kalkigen Sissach-Schichten ausgehen, was auch zur Isopachenkarte in Burkhalter et al. (1997) gut passen würde (Abb 2.13b).

Die Zuweisung der Abfolge zu den Sowerbyi-Sauzei-Schichten in Riniken beruhte auf Angaben in Brändlin (1911) und war vor allem auch paläontologischer Natur. Lithologisch dürfte in Riniken eine vergleichbare Abfolge wie in den Aufschlüssen der Umgebung vorliegen. Insbesondere wurden in den Bohrungen Deponie Villigen-Unterboden an der Basis der Kalk-Abfolge eisenoolithische Lagen beschrieben, die mit den Eisenoolithen der Bohrung Riniken korrelieren. Es liegt somit im Gebiet des Unteren Aaretals und dem östlich anschliessenden Tafeljura eine weit verbreitete Kalk/Sandkalk-Bildung vor. Es bleibt anzumerken, dass die Eisenoolithen in verschiedenen Horizonten auftreten. An der Lägeren liegen sie im Dach der Kalk-Abfolge (Murchisonae-Concava-Schichten, Senftleben 1923, Bitterli et al. 2007).

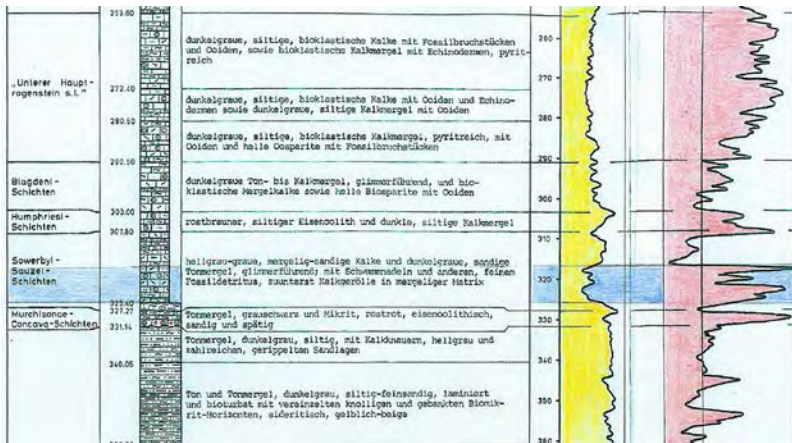


Abb. 2.13a: Litho-Log der Bohrung Riniken für den unteren 'Braunen Dogger', kombiniert mit Gamma-Log (Gelb) und Widerstands-Log (Rot). Die rund 11 m mächtige Abfolge über dem «Murchisonae-Eisenoolith» wurde nicht gekernt. Widerstands-Log und Gamma-Log weisen aber auf teilweise hohe Karbonatgehalte in diesem Abschnitt (blau markiert). Es liegt nahe, hier Sandkalk-Bänke mit eingeschalteten Mergellagen anzunehmen (ca. Tiefe 316 – 326 m, Matter et al. 1987).

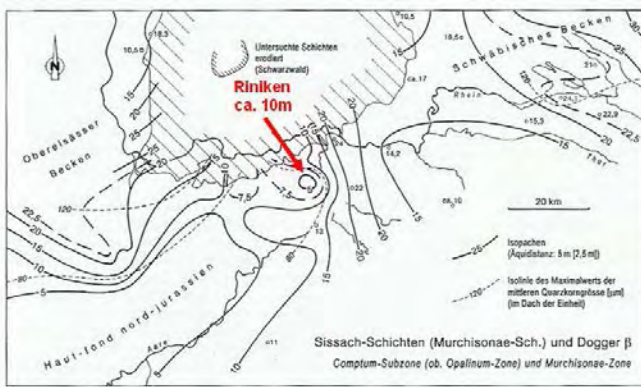


Abb. 2.13b: Isopachenkarte von Dogger-β, Sissach-Schichten (Burkhalter et al. 1997). Die Interpretation der Mächtigkeit in der Bohrung Riniken gemäss Matter et al. (1987) verursacht eine ungewöhnliche lokale Mächtigkeitsreduktion, die schwer zu interpretieren ist. Wird die 10 m mächtige Sandkalklage dem Sissach-Member zugeordnet, ergibt sich ein plausiblerer Verlauf der Isopachen.

2.3.3 Zusammenstellung der Aufschlüsse der Kalk/Sandkalk-Abfolge

2.3.3.1 Südlich des Untersuchungsgebietes: Aufschlüsse an der Lägeren

Der Zusammenschub der Lägeren beträgt etwa 1.5 – 2.5 km, diese Distanz lag somit ursprünglich zwischen den Vorkommen im Südschenkel und im Nordkeil.

Nordhang (Südschenkel)	Nordkeil (überfahrener Nordschenkel)
Bachrunse S Gipsgrueben (N von Punkt 699), Profil Sissach-Member bis Effingen-Member. Weitere Aufschlüsse im Sissach-Member längs des Wegs. CH-Koord.: 669'000/259'400-259'480 (Bachbett) CH-Koord.: 668'780-668'900/259'480 (Weg)	Bollhölzli S Oberehrendingen (Front Überschiebung). Keine grösseren Aufschlüsse. CH-Koord.: 668'610/259'850 (kleiner Steinbruch)

Nordhang (Südschenkel)	Nordkeil (überfahrener Nordschenkel)
Bachbett S Schürwiesen, Sissach-Member bis Klingnau-Member. Bestes Profil am Lägeren-Nordhang. CH-Koord.: 669'300/259'400-259'500	Lokalität Rieden (unterhalb Parkplatz Schiessstand), Sissach-Member mit Concavum-Eisenoolith. Die Rippe zieht weiter gegen E. CH-Koord.: 668'830/259'920 (P Schiessstand) CH-Koord.: 669'150/260'000 (im Wald oberhalb Feldweg)
Waldstrasse SSW Steinhof, Sissach-Member mit Übergang zum Hauenstein-Member (Murchisonae-Concava-Eisenoolith). Auch Aufschlüsse in den Kalcken des Sissach-Members. CH-Koord.: 669'650/259'600	Bachbett S P 760 m Lägerweid (unterhalb Hof). Die Abfolge gehört vermutlich zum überfahrenen Nordschenkel. CH-Koord.: 671'600/259'730

Die Sandkalk-Abfolge des Sissach Members lässt sich am Lägeren-Nordhang bis gegen Lütisgrund verfolgen. Die harten Sandkalke bilden stellenweise eine ausgeprägte Felsrippe. Es handelt sich um eine rund 10 m mächtige kompakte Sandkalk-Abfolge und einige dünnere, in sandige Mergel eingebettete Sandkalk-Lagen. Da die Sandkalke sowohl im Südschenkel, als auch an der nördlichen Front in ähnlicher Ausbildung auftreten, muss mit einer erheblichen Ausdehnung dieses Fazieselements sowohl in W-E- als auch in N-S-Erstreckung gerechnet werden.

2.3.3.2 N und NE Untersuchungsgebiet: Surbtal-Acheberg-Berchenwald-Bohl

Surbtal (NNW Tegerfelden)	Acheberg (Südhang N Klingnau)	Lokalität Cholgrueben (S Rietheim)
S Hang des Surbufers. Übergang Opalinuston-Sandkalk des Sissach-Members. Die Sandkalk-Abfolge ist oben erosiv gekappt, umfasst aber mindestens 10 m. CH-Koord.: 662'600/268'380	SW Hang des Achebergs, ca. 17.5 m Sandkalk des Sissach-Members. Grossflächige Aufschlüsse. Kleinere Aufschlüsse im Rebberg von Döttingen. CH-Koord.: 661'500/271'030	Taleinschnitt S Rietheim. Markante Geländerrippe mit zahlreichen kleinen Anrissen im Taleinschnitt. Mächtigkeit der Kalke/Sandkalke etwa 10 – 12 m. CH-Koord.: 662'850/271'550

Bernhardholz (NE Kadelburg)	Bohl (W Rechberg)
Bernhardholz (N Dangstetten): ca. 12 m Sandkalke. Grossflächig aufgeschlossen. Teilweise auch Übergang in den liegenden Opalinuston. CH-Koord.: 665'730/273'700	12 – 15 m spätige Sandkalke (Bausch und Schober 1997). Gegenwärtig sind noch rund 8 m der Abfolge der Beobachtung zugänglich. Deutsche Rechts-/Hochwerte.: 54'320/77'850

In Abb. 2.14 sind die vermuteten Mächtigkeiten der Kalk/Sandkalk-Abfolgen in der Umgebung des Gebiets Nördlich Lägeren auf einer geologischen Karte dargestellt.

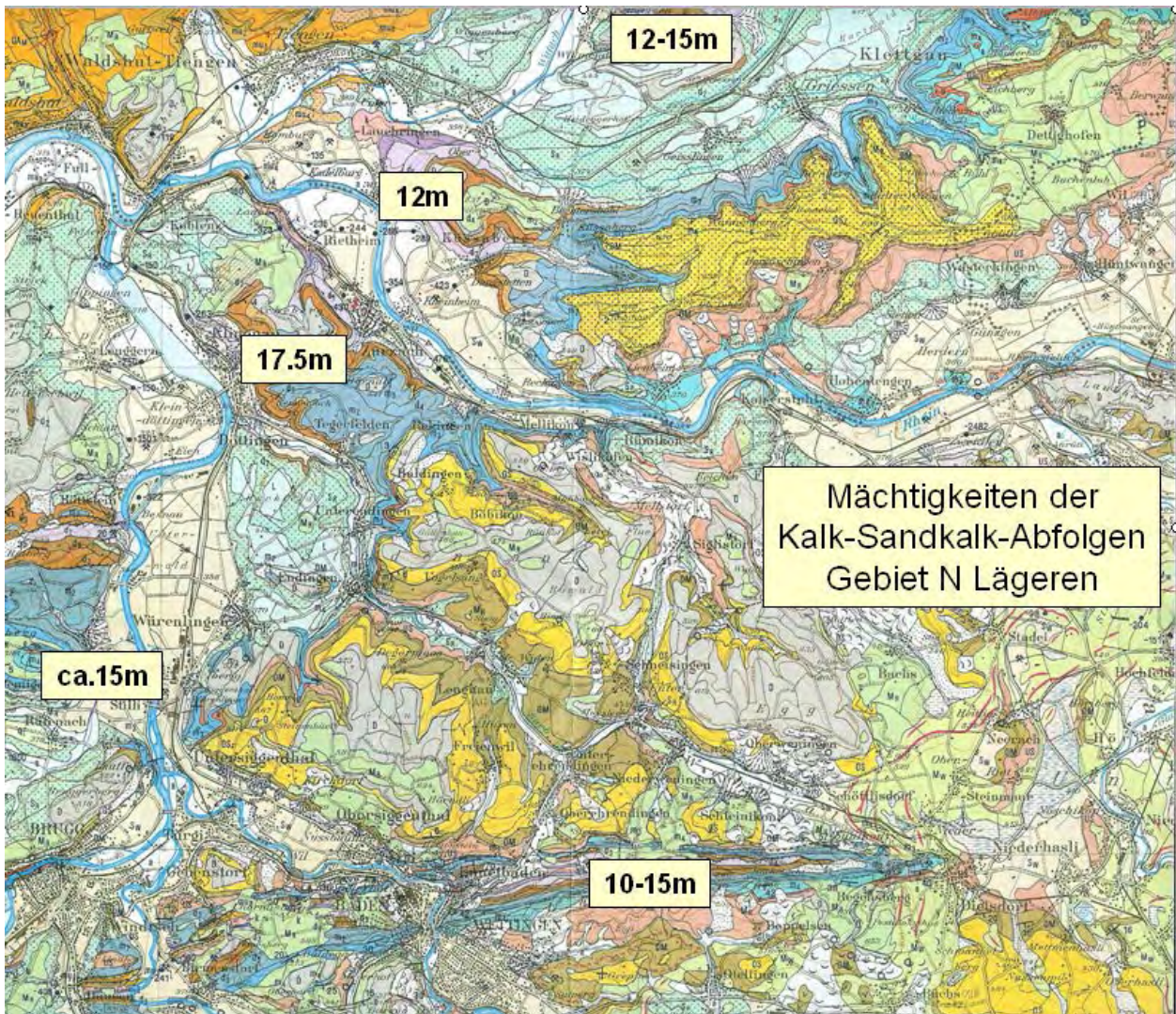


Abb. 2.14: Mächtigkeit der Sandkalk-Abfolgen in der Umgebung des Standortgebietes Nördlich Lägeren. Hintergrund: Geologische Karte der Nordschweiz 1:100 000.

2.3.4 Tonreiche Abfolgen des 'Braunen Doggers'

Der Bericht Nagra (2001) enthält als Beilage 18 eine paläogeographische Karte der Formationen Murchisonae-Concava-Schichten-Dogger β . Es wird ein Becken mit tieferem Ablagemilieu postuliert, das NNW-SSE streicht (Abb. 2.15a und Abb. 2.15b). Im diesem Gebiet hielt die Sedimentation des Opalinustons länger an und Sandkalke fehlen. Die Bohrung Benken liegt ebenso in diesen Faziesraum wie die gut aufgeschlossenen Dogger-Abfolgen des Wutachtals. Für das Untersuchungsgebiet Nördlich Lägeren hingegen könnte dies bedeuten, dass im ganzen Gebiet im Dogger β mit Kalk/Sandkalk-Abfolgen gerechnet werden muss.

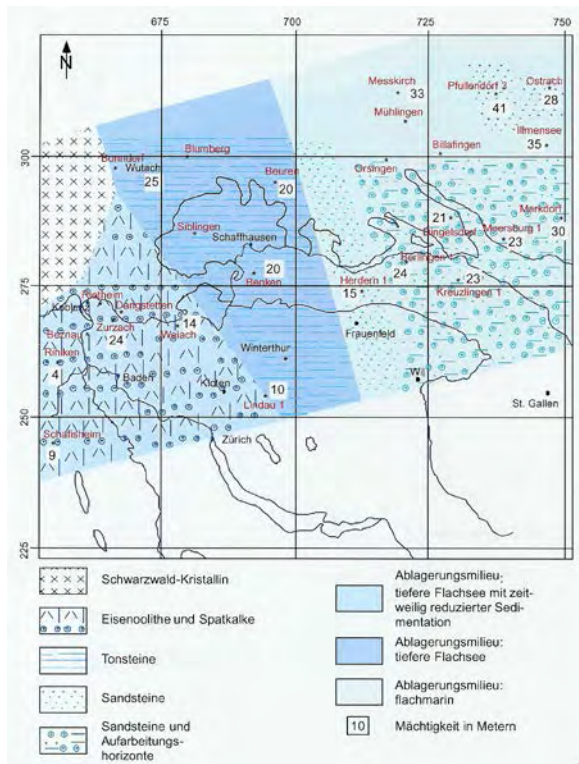


Abb. 2.15a: Paläogeographische Karte des Intervalls Murchisonae-Concava-Schichten-Dogger β, mit NNW-SSE-streichendem Becken mit tieferem Ablagerungsmilieu, d.h. tonig-mergeliger Sedimentation (Beilage 18, Nagra 2001).

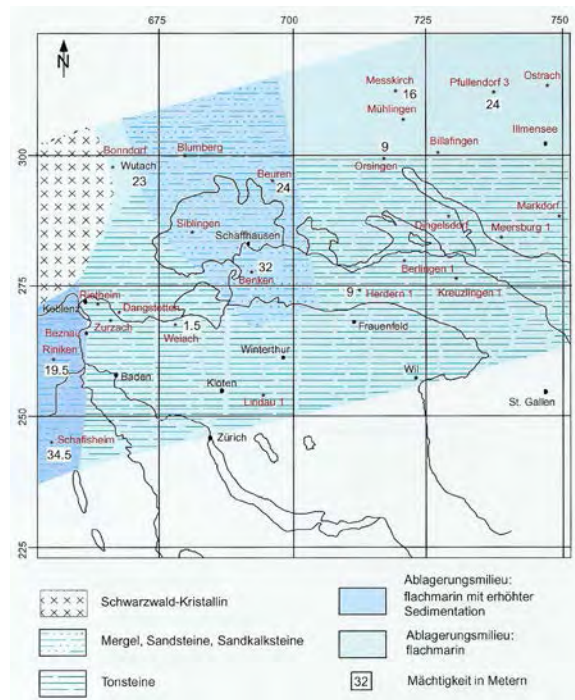


Abb. 2.15b: Paläogeographische Karte zur Zeit der Ablagerung des Wedelsandsteins. Das Dogger β-Becken ist geschrumpft und es kommen nun neben Mergeln auch Kalksandsteine (Wedelsandstein) zur Ablagerung (Beilage 20, Nagra 2001).

Im späteren Verlauf der Sedimentation wird die Beckenzone mit sandigen Ablagerungen aufgefüllt, während weiter gegen Westen tonreiche Ablagerungen sedimentiert werden (Parkinsoni-Schichten oder Klingnau-Formation). Dieser Wechsel der Ablagerungsmilieus dürfte auf Änderungen des Meeresspiegels zurückzuführen sein. Aber die Verhältnisse sind sehr komplex und mit dem gegenwärtigen Datenstand kaum detailliert darstellbar.

Der tonreiche mittlere Dogger zeigt laterale Fazieswechsel. Er ist im Gebiet Zürich Nord-Ost mächtiger ausgebildet als im westlich und östlich anschließenden Gebiet (Abb. 2.16), was auf den Wedelsandstein und die Subfurcaten-Schichten zurückzuführen ist. Vor allem der Wedelsandstein keilt gegen Westen aus, an seine Stelle tritt eine stark reduzierte Serie aus geringmächtigen eisenoolithischen und tonigen Lagen (Sowerbyi-Sauzei-Schichten). Demgegenüber sind die mergeligen Schichten der Klingnau-Formation (Parkinsoni- und Württembergica-Schichten) im westlichen Bereich mächtiger.

Gegen das Aaretal schalten sich zunehmend Schüttungen gröberer Materials von der westlich anschließenden Hochzone der Burgunder-Plattform (Hauptrogenstein-Formation) ein. Doch bleibt auch hier der ton- und mergelreiche Charakter der Gesteinsabfolgen erhalten. Für einen von Trümpy (1959) diskutierten östlichen Ausläufer der Oolith-Plattform gibt es keine Hinweise, die paläogeographische Interpretation in Wetzel und Gonzales (1996, Fig. 1) gibt die Verhältnisse am besten wieder.

Allerdings ist der Faziesübergang von der Plattform ins Becken im Detail recht komplex und Ooidschüttungen ins Becken erreichen das Gebiet des Tafeljuras östlich der Aare. Es handelt sich bei den entsprechenden Gesteinen aber immer um Mergelkalke oder kalkige Mergel; mächtige Kalkbank-Abfolgen treten nicht mehr auf.

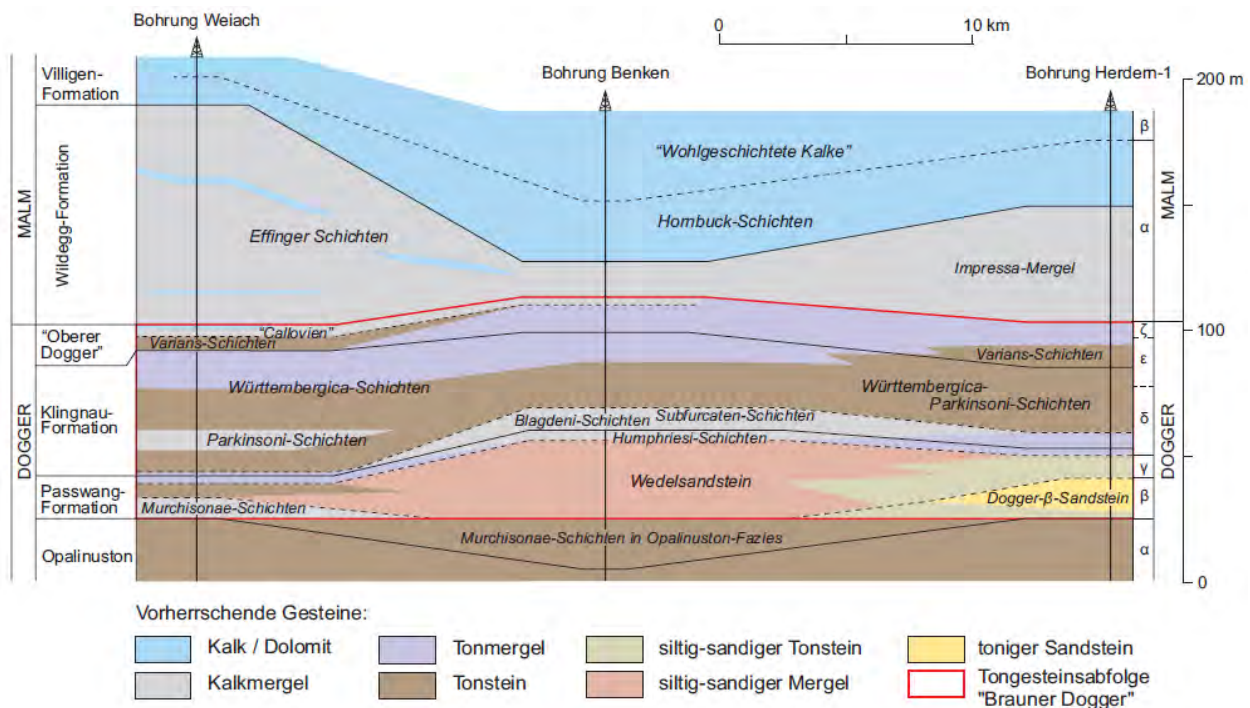


Abb. 2.16: Stratigraphische und lithologische Verhältnisse in den Untersuchungsgebieten Nördlich Lägeren und Zürich Nord-Ost (aus NTB 08-04).

2.3.5 Die oolithischen Kalke der Hauptrogenstein-Formation

Gegen Westen treten zunehmend mächtige Kalk-Formationen als Bildungen der Burgunder-Plattform auf. Im Gebiet Bözberg gehen diese Plattform-Ablagerungen in die Becken-Ablagerungen des östlichen Gebietes über. Die Plattform-Ablagerungen progradierten im Verlauf der Zeit zweimal über die Beckenablagerungen, dabei ist der Vorstoss zur Zeit der Unteren Oolithischen Serien weiter nach Osten erfolgt. Diese Ablagerungen sind in der Bohrung Riniken 36.90 m mächtig. Zur Zeit der Ablagerung der Oberen Oolithischen Serie erreicht die Ostgrenze der oolithischen Kalk-Abfolge etwa die Linie Säckingen-Olten.

Das Gebiet Bözberg liegt grösstenteils im Bereich des Fazieswechsels von der raurachischen zur argovischen Fazies (Abb. 2.17). Es ist unter diesen Umständen recht schwierig, Befunde aus Bohrungen und Aufschlüssen zu korrelieren. Man sollte darum, als Vorbereitung von Bohrungen in späteren Etappen, geeignete Aufschlüsse im Gebiet erfassen und die Gesteinsabfolgen so detailliert wie möglich kartieren. Die Kalke der Hauptrogenstein-Formation wurden bislang in der Bohrung Riniken und in Schafisheim durchbohrt und hydraulisch getestet. Es liegt darum dazu bereits ein Datensatz vor.

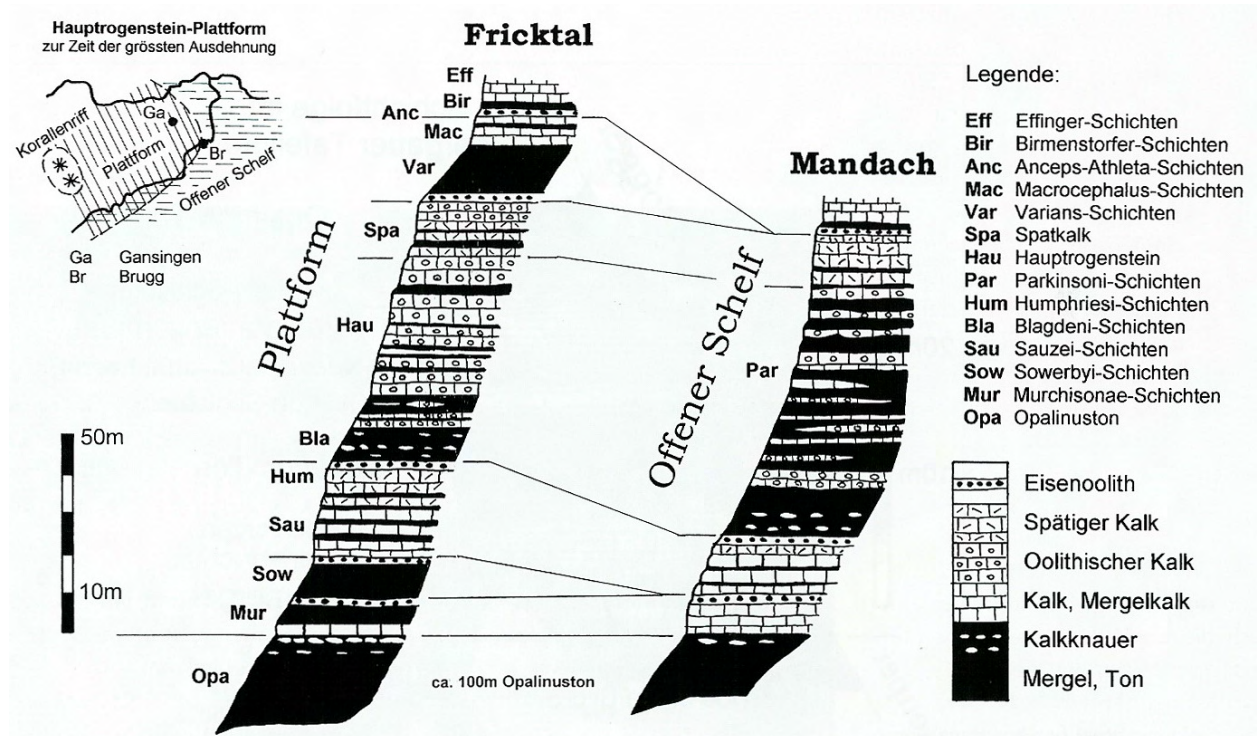


Abb. 2.17: Schematische Darstellung des Faziesübergangs im Gebiet Bözberg. Die kompakten Kalk-Abfolgen der Hauptrogenstein-Formation lösen sich gegen Osten in einzelne Bänke auf. Demgegenüber gewinnen die Kalk/Sandkalk-Abfolgen an der Basis und im Dach des Dogger-Intervalls an Bedeutung (Bitterli 2001).

2.3.6 Eisenoolith- und Kalk-Abfolgen im Dach des 'Braunen Doggers'

Im Dach der Abfolge des 'Braunen Doggers' treten stellenweise grössere Vorkommen aus Kal-ken auf. Einerseits der Spatkalk des Bathonian, der den Übergang der Hauptrogenstein-Formation, deren östlichen Abschluss er bildet, in die Klingnau-Formation darstellt. Anderer-seits im Gebiet Bözberg möglicherweise der sogenannte Kornbergsandstein, ein feinspätig-sandiges Gestein, das früher am Kornberg bei Herznach ausgebeutet wurde.

2.3.6.1 Der Spatkalk des Aargauer Tafeljuras

Am Ostrand der Burgunder-Plattform progradierten im frühen Bathonian grobkörnige, bioklasti-sche Ablagerungen über die Ablagerungen des schwäbischen Epikontinentalmeeres, sie wer-den als Spatkalk (Spathkalke, Moesch 1867) bezeichnet. Es handelt sich meist um Echinoder-menkalke, die mit mergeligen Beckensedimenten wechsellagern. Schmassmann (1945) hat diese Ablagerungen eingehend beschrieben und gibt eine Profilsérie des Faziesübergangs von der Plattform ins Becken (Abb. 2.18).

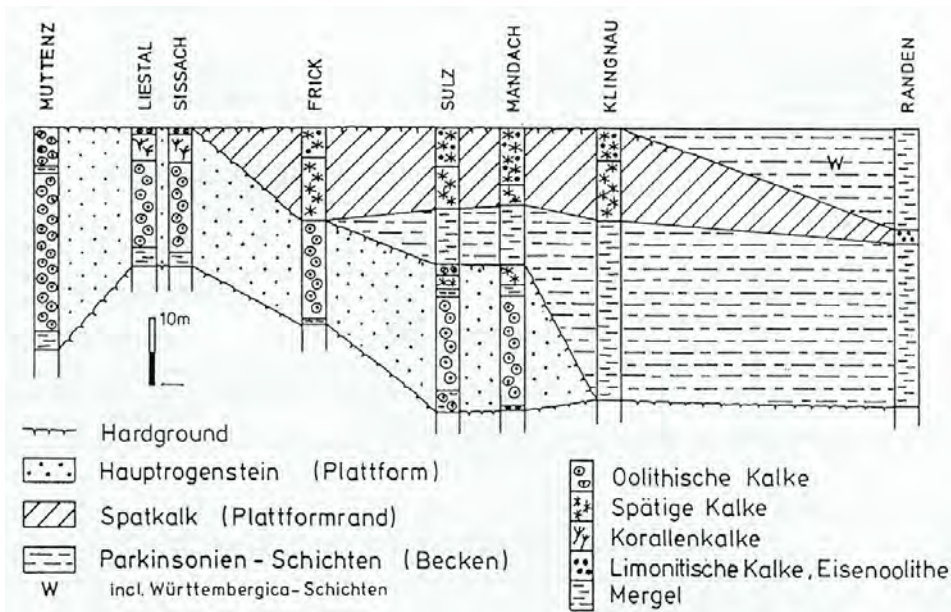


Abb. 2.18: Lithologisches West-Ost-Profil der Abfolge des mittleren Doggers (Bitterli 1977, nach Schmassmann 1945). Der Spatkalk bildet einen während einer regressiven Sedimentationsphase über das tiefere Becken vorstossenden Schüttungskörper aus biogenen Kalksandsteinen. Die Mächtigkeit nimmt gegen E ab.

Beim Spatkalk-Member der Hauptrogenstein-Formation (Abb. 2.18) handelt es sich um spätige (bioklastische) Kalke, die im oberen Teil limonitische Komponenten (grapestones oder Bahamite) enthalten. Da bereits an der Westlagers kein eigentlicher Spatkalk mehr vorkommt (lediglich einige Mergelkalkbänke mit einem hohen Gehalt an Echinodermendetritus sind vorhanden), ist anzunehmen, dass das Member gegen Osten rasch auskeilt. Auch in der Bohrung Weiach wurde lediglich eine rund 3 m mächtige Lage spätiger Mergelkalke beobachtet.

Im Bericht NTB 10-01 wird auf S. 90 angegeben, dass der Spatkalk in der Bohrung Riniken 3 m mächtig sei. Dies ist nicht richtig; in der Bohrung wurde der Spatkalk mit 18 m Mächtigkeit beschrieben. Dieser Wert passt gut zu den Mächtigkeiten im Gebiet des Unteren Aaretals, z.B. 16.50 m an der Mandacher Egg (Bitterli et al. 2007).

Wetzel und Gonzales (1996) geben eine Isopachenkarte des Spatkalk-Ablagerungszyklus, die das Gebiet Bözberg überdeckt und östlich bis ans Untersuchungsgebiet Nördlich Lägeren heranreicht (Abb. 2.19). Es ist unklar, auf welchen Daten die Darstellung der östlichen Vorkommen im Gebiet der Lägeren beruht, jedenfalls müssten hier auch Bohrungen eingeflossen sein. Im Gebiet östlich der Aare sind die Angaben lithologisch nicht verwertbar, da die Mächtigkeit des dritten «Shallowing Upward»-Sedimentationszyklus des mittleren Doggers dargestellt ist, der wechselnde Anteile an mergeligen Gesteinen umfasst. Auffällig ist allerdings das SW-NE-Streichen der Isopachen im östlichen Gebiet.

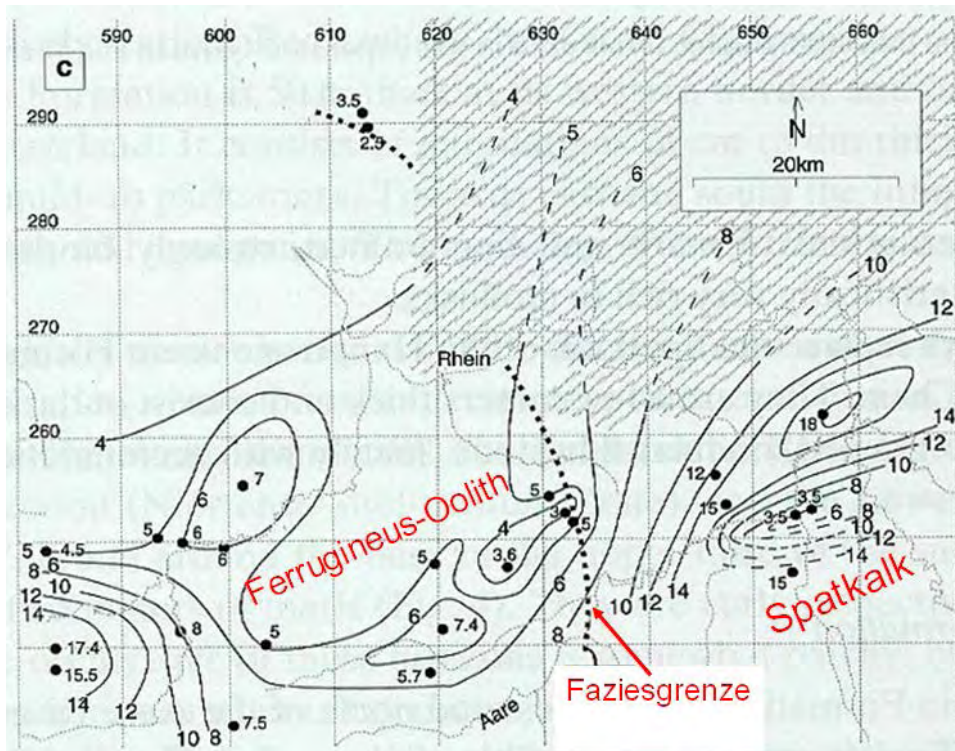


Abb. 2.19: Isopachenkarte des obersten «Shallowing-upward-Zyklus» des mittleren Doggers. Dargestellt ist die Mächtigkeit der späten Fazies und der liegenden mergeligen Teile des Zyklus. Die Darstellung ist nicht palinspastisch ausgeglättet, die Isopachen würden dadurch im südlichen Teil der Figur auseinander gezogen. Aus Wetzel und Gonzalez (1996).

In Aufschlüssen zeigt sich der Spatkalk meist als Wechsellagerung von späten Kalkbänken mit mergeligen Lagen. Bei der Mandacher Egg ist allerdings eine kompakte Kalk-Serie von 16.50 m aufgeschlossen (9.35 m mächtige späte, eisenschüssige Kalkarenite über 7.35 m mächtigen mergeligen Kalkareniten; CH-Koord.: 656'650/265'870). Dies passt gut zur Bohrung Riniken, wo ca. 18 m Spatkalk ausgeschieden wurden (Geophysik). Auf der anderen Talseite (Blitzberg bei Klingnau) gibt Schmassmann (1945) 14.15 m Spatkalk an (Abb. 2.18). Die Spatkalkbänke werden hier durch cm-mächtige Mergellagen getrennt. Weiter östlich, an der Lägeren, sind nur noch wenige späte Mergelkalkbänke entwickelt (Bitterli et al. 2007) und auch aus der Bohrung Weiach wurden lediglich etwa 3 m späte Mergelkalke beschrieben. Das Ausklingen des Spatkalks gegen Osten zeigen auch die Aufschlüsse an der Neuberghalde östlich Zurzach (Abb. 2.20a und 2.20b).

Die Mächtigkeit des Spatkalkes gegen Westen (Gebiet Bözberg) ist starken Schwankungen unterworfen. Nach Diebold et al. (2006) erreicht sie im Gebiet N Hornussen mit 22 m den grössten Wert. Diebold et al. (2006) nehmen an, dass das Depotzentrum der Karbonatsande über dem Rand des Permokarbondrogens lag, was auch für die Mandacher Egg zutreffen würde.

Das Gebiet grösster Mächtigkeit der Kalke würde damit am nördlichen Rand des Standortgebietes Bözberg entlang streichen. Die Spatkalke sind allerdings schwierig zu fassen, da sich Mächtigkeit und Fazies lateral auf kurze Distanzen stark ändern können (Abb. 2.21a und 2.21b). Auch in den Bohrungen Unterboden (Deponieprojekt) ändert die Mächtigkeit auf etwa 800 m Distanz von 7 m auf bis zu 12 m. Da das Spatkalk-Member gegen das Liegende zunehmend Mergellagen enthält, ist die Abgrenzung zur liegenden Klingnau-Formation fließend.



Abb. 2.20a (links) und 2.20b (rechts): Massige Spatkalk-Bänke bei der Lokation «am Chuewägli», ESE Zurzach (CH-Koord.:665'200/269'730). Kompakte, teilweise schräggeschichtete Bänke, Mächtigkeit 3 – 4 m. Die knauerigen Lagen im oberen Teil dürften bereits zu den Varians-Schichten gehören. In einem Aufschluss ca. 400 m NW (CH-Koord.: 664'920/270'00) zeigt sich im Top des Doggers eine massive eisenoolithische Bank von gut 1 m Mächtigkeit, die von Mergeln und knauerigen Mergelkalk-Bänken unterlagert wird. Ein Teil dieser teilweise späti- gen Kalkmergel und Mergel gehört vermutlich zu den Varians-Schichten, die härteren Bänke entsprechen dem Spatkalk, sie sind aber geringer mächtig als im westlichen Aufschluss. Darüber folgen Birnenstorfer-Schichten.

Da sich die vorliegenden Isopachenkarten auf chronostratigraphische Abfolgen beziehen, sollten Isopachenkarten der Kalkbank-Abfolgen erstellt werden. Diese haben vor allem für das Gebiet Bözberg eine gewisse Bedeutung, da dort, wo der Hauptrogenstein vermergelt ist, diese Kalke den hangenden Aquifer darstellen könnten. Die Bedeutung des Spatkalks für die eigentlichen Untersuchungsgebiete ist aber eher gering.

Aufgrund der bekannten Aufschlüsse ist im Gebiet Nördlich Lägeren nicht mit mächtigen Spatkalk-Bildungen zu rechnen. Für eine Felduntersuchung bieten sich die Aufschlüsse Mandacher Egg, Blitzberg/Probstberg (E Klingnau, Abb. 2.21a) und Berchenwald bei Dangstetten (BRD) an.



Abb. 2.21a: Spatkalk der Westseite des Biltzbergs bei Klingnau: Gut gebankter Spatkalk im mittleren Teil des rund 14 m mächtigen Members. (Aufnahme Februar 2011, CH-Koord.: 662'040/270'200)



Abb. 2.21b: Spatkalk der Lokalität Senneloch E Döttingen. Die Kalkbänke wechseln mit Mergellagen ab. Über der kompakten Bank oben liegen die Knauer-Mergel der Varians-Schichten. (Aufnahme Februar 2011, CH-Koord.: 662'550/269'140)

2.3.6.2 Die spätigen Kalke des Callovian

Aufgrund der Lage über den Aquiferen der Haupttrogenstein-Formation (Untere und Obere oolithische Serie, Spatkalk-Member) ist die Bedeutung dieser Kalk-Abfolge für das Projekt 'Brauner Dogger' gering. Sie wird hier lediglich der Vollständigkeit halber kurz vorgestellt.

Im Callovian wurden im Gebiet des zentralen Juras mächtige Vorkommen spätiger Kalkarenite gebildet (Dalle nacrée). Gegen Osten geht die Dalle nacrée in wesentlich feinkörnigere Kalkarenite über. Das östlichste Vorkommen mit Zentrum im Gebiet des Kornbergs bei Herznach erreicht im zentralen Teil nach Diebold et al. (2006) eine Mächtigkeit von 4 m. Allerdings gibt Moesch (1867) in einem Profil, das er in den in Betrieb stehenden Steinbrüchen aufgenommen hat, 9 m «sandigkörnigen Kalkstein» und 3 m «Thonkalke» an. Es handelt sich bei dem früher als «Kornbergsandstein» bezeichneten Gestein (Moesch 1867) um eine sehr feinkörnige Echinodermenbrekzie. Die Kalke sind in einem aufgelassenen Steinbruch auf dem Kornberg noch heute aufgeschlossen (Abb. 2.22).



Abb. 2.22: Aufgelassener Steinbruch auf dem Kornberg (Lokalität Hinter Raibach). Es handelt sich um mächtige, sehr kompakt anstehende Bänke. Hangendes und Liegendes sind heute nicht mehr sichtbar. (Aufnahme 2007, CH-Koord.: 643'800/258'550)

Auf Grund neuer Aufschlüsse kann der in Bitterli (1977) dargestellte, orange eingezeichnete Verlauf des «Kornbergsandsteins» (Abb. 2.23) als grössere SW-NE-verlaufende Schwelle relativiert werden. In einem temporären Aufschluss bei Bözen (Abb. 2.24) wurde lediglich noch eine rund 1 m mächtige Bank beobachtet, die dem «Kornbergsandstein» entspricht.

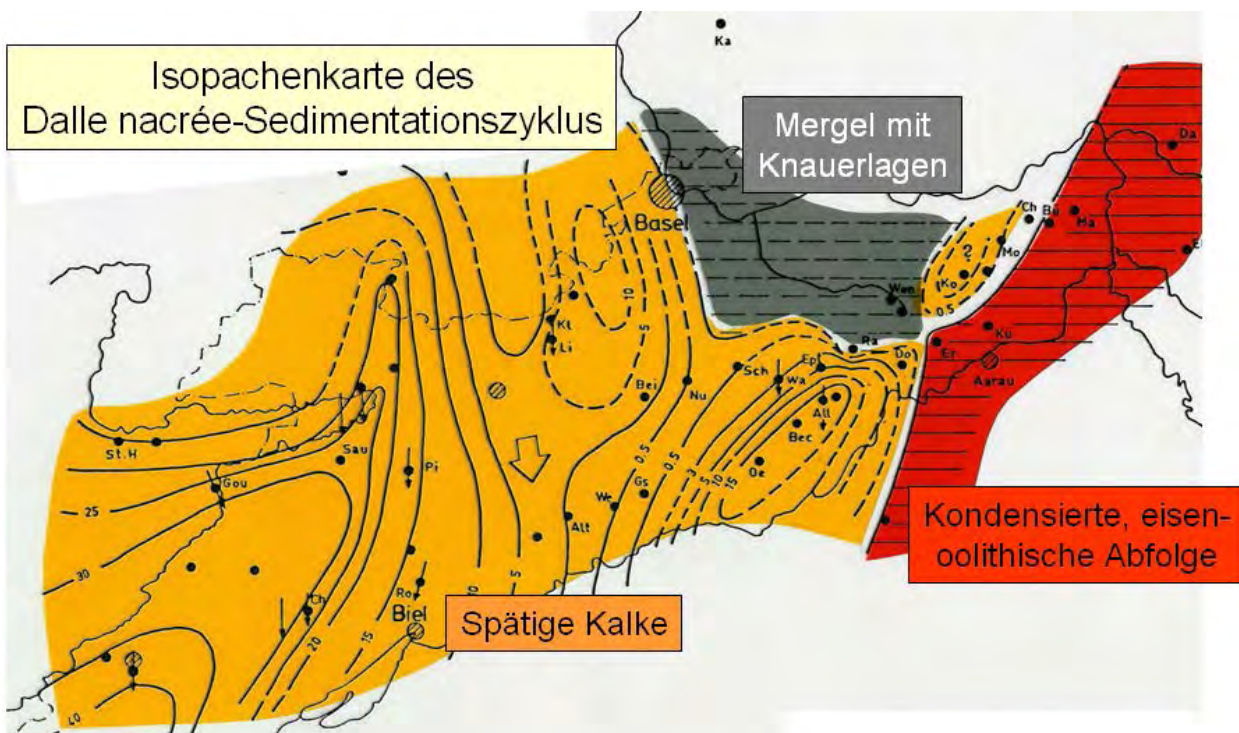


Abb. 2.23: Isopachen-Karte der Spatkalk-Abfolgen im Dach des Dalle nacrée-Sedimentationszyklus (Bitterli 1977). Orange: Verbreitungsgebiet der bioklastischen Kalke (Dalle nacrée, Äquivalente der Dalle nacrée und «Kornbergsandstein»). Grau: Mergel oder Mergel mit Knauern, keine Kalke «Macrocephalus-Schichten»). Rot: Schwellenzone mit reduzierter Sedimentation (geringmächtige Eisenoolithe).

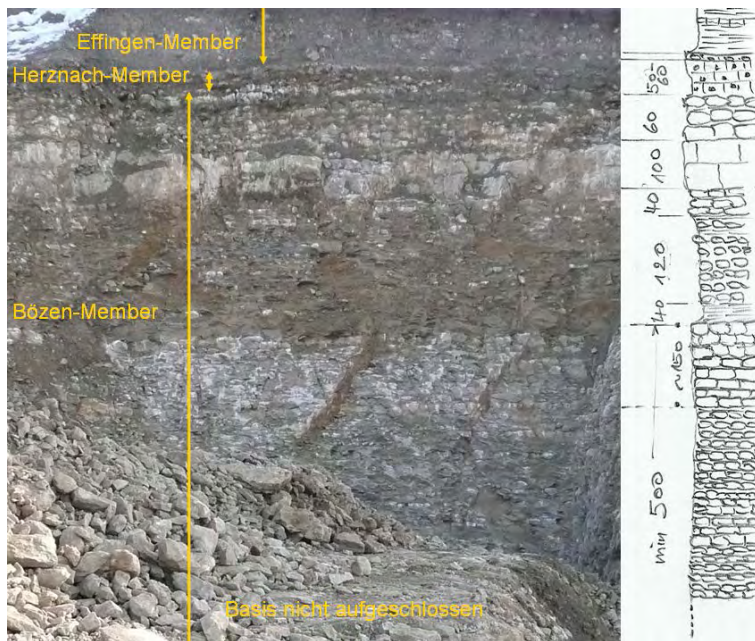


Abb. 2.24: Temporärer Aufschluss der «Macrocephalus-Schichten» an der Kirchhalde, Bözen. Die 1 m-mächtige Kalkbank im oberen Teil der Wand entspricht dem «Kornbergsandstein» weiter südwestlich. Über der Bank liegen bereits ca. 1 m Macrocephalus-Schichten i.e.S., weiter das Herznach-Member und Birnenstorfer-Schichten. Unter der Bank sandige Mergel mit Knauern und unten knauerige Kalke der Macrocephalus-Schichten. Aufgeschlossene Mächtigkeit gut 9 m. (Aufnahme November 2008, CH-Koord.: 648'900/260'900)

2.4 Zur Wasserführung der Kalk/Sandkalk-Abfolgen

Im NTB 10-01 werden die für Etappe 2 geplanten Arbeiten vorgestellt. Es ist vorgesehen, die hydrogeologischen Datensätze und die hydrogeologische Modelle zu ergänzen. Weiter sollen die geotechnisch-hydrogeologischen Verhältnisse und Fragen der Erdöl- und Gasmigration vertieft bearbeitet werden. Die Datensätze werden mit allfällig neuen Messdaten ergänzt und wo nötig auf die Standortgebiete ausgedehnt. Die Ausführungen in NTB 10-01 bleiben aber sehr summarisch und können darum nicht detailliert kommentiert werden. Das ENSI muss sich deshalb zu den detaillierten Arbeitsprogrammen der Nagra äussern.

Es ist einleitend festzuhalten, dass für den 'Braunen Dogger' bis anhin nur wenig hydrogeologische Daten aus tiefen Bohrungen zur Verfügung stehen. So wurde in den Kalk/Sandkalk-Abfolgen bis anhin nur in den Bohrungen Riniken und Schafisheim mit einem Übersichtstest je ein Wert erhoben. Zur Hydrogeologie der Kalk/Sandkalk-Abfolgen können zusätzliche Beobachtungen an der Erdoberfläche gemacht werden. Diese sind aber nur eingeschränkt auf die Tiefenaquifere, die hier zur Diskussion stehen, übertragbar.

Die intensive Klüftung der Kalke bewirkt eine gewisse Durchlässigkeit dieser Gesteins-Abfolgen. Am südlichen Abhang des Achebergs konnten im Januar 2011 nach einer eher niederschlagsreichen Periode zahlreiche Wasseraustritte unterhalb der Felswand des Sissach-Members beobachtet werden (Abb. 2.25). Sie stammen möglicherweise auch aus einer 50 – 60 cm mächtigen Kalkbank, die ca. 5 m unterhalb der Steilwand im liegenden Mergel stellenweise beobachtet werden kann. Da am Abhang ein ausgedehntes Kalksinter-Vorkommen ansteht, kann von einer anhaltenden Wasserschüttung ausgegangen werden. Auf den Kalken/Sandkalken des Sissach-Members liegen tonig-mergelige Formationen des 'Braunen Doggers', die die Sandkalke gegen das meteorische Wasser abschirmen, so dass eine direkte Infiltration in die Sandkalke unwahrscheinlich ist. Die gesamte Mächtigkeit der Klingnau-Formation steht allerdings nur im westlichen Bereich der Aufschlüsse an.

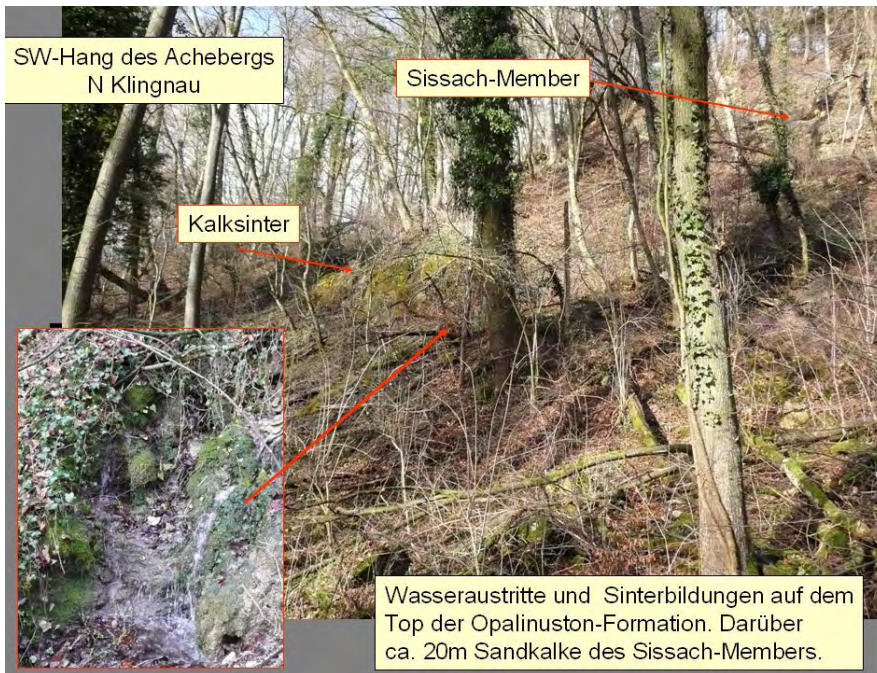


Abb. 2.25: Grosse Sinterterrassen (Bildmitte, grüne Moosteppe) unterhalb der Wand der Kalk/Sandkalk-Abfolgen bei Klingnau. Das Wasser fliesst aus dem Festgestein in den Hangschutt bevor es in kleinen Wasseraustritten zutage tritt. Der liegende Opalinuston wirkt als Grundwasserstauer. Die Abfolge ist mit tonig-mergligen Formationen des mittleren Doggers bedeckt. (Aufnahme Januar 2011, CH-Koord.: 661'500/271'030)

Im Aufschluss Bernhardholz konnten bei der Begehung zahlreiche Stellen mit grossen Eisbildungen beobachtet werden (Abb. 2.26). Diese Eisbildungen im untersten Teil der Wand, können auf Wasseraustritte zurückgeführt werden. Auch am tieferen Hangfuss beobachtet man kleinere Wasseraustritte auf dem anstehenden Opalinuston. Das Wasser tritt aus dem Hangschutt und damit wohl etwas unterhalb der Grenzfläche Sandkalk-Ton aus. Die Basis der Kalke kann nicht sicher ausgemacht werden, da auch unterhalb der kompakten Kalk/Sandkalk-Abfolge dicke Kalkbänke auftreten.



Abb. 2.26: Eisbildungen bei Wasseraustritten aus den Kalken/Sandkalken im Aufschluss Bernhardholz bei Kadelburg. Die Eisbildungen beschränken sich auf den unteren Teil der Wand. Das austretende Wasser versickert im Hangschutt und tritt tiefer am Hang in kleinen Quellen aus. Die Sandkalkbänke werden von mergeligen Formationen des mittleren Doggers überlagert. (Aufnahme Januar 2011, CH-Koord.: 665'730/273'700)

Über die Wasserführung der Spatkalke im Dach des 'Braunen Doggers' liegen nur wenige Beobachtungen vor. Da die Gesteine meist im obersten Bereich der Tafelberge auftreten, ist hier nicht mit bedeutenden Wasseraustritten zu rechnen (Abb. 2.27).



Abb. 2.27: Spatkalke mit Schrägschichtung am SW Abhang des Achebergs. Die Kalke liegen auf der tonigen Klingnau-Formation. An Hang zeigen sich keine Wasseraustritte. Einige hundert Meter weiter ist im Taleinschnitt zum Acheberg ein Wasseraustritt (Brunnen) zu beobachten. (Aufnahme Januar 2011, CH-Koord.: 662'380/270'520)

Die Oberflächenbeobachtungen stehen im Kontrast zu den Beobachtungen in den Nagra-Bohrungen. Die hydraulischen Tests in den Bohrungen ergaben für die Kalk/Sandkalk-Abfolgen extrem geringe Durchlässigkeiten (Nagra 2000, HSK 2005):

Bohrung Riniken				
<i>Intervall</i>	<i>Testintervall</i>	<i>Sandkalk-Mächtigkeit</i>	<i>Transmissivität</i> (m ² s ⁻¹)	<i>Durchlässigkeit</i> (m s ⁻¹)
313.41 – 337.28 m Murchisonae-Concava-Schichten	23.87 m	8-10 m	1×10 ⁻¹²	5×10 ⁻¹⁴
217.11 – 250.89 m Spatkalk	33.78 m	18 m	3×10 ⁻¹¹	1×10 ⁻¹²

Bohrung Schafisheim				
961.37 – 987.70 m Sowerbyi-Sauzei-Schichten	26.33 m	Sandkalk-Bänke und Mergel im gesamten Intervall	3×10 ⁻¹⁴ - 3×10 ⁻¹³	1×10 ⁻¹⁵ - 1×10 ⁻¹⁴
989.30 – 1017.00 m Murchisonae-Concava-Schichten und Opalinuston	27.86 m	Sandkalk-Bänke und Mergel im gesamten Intervall	3×10 ⁻¹² - 1×10 ⁻¹¹	1×10 ⁻¹³ - 5×10 ⁻¹³

Die hydraulischen Tests in den Bohrungen ergeben Werte, die sich nur wenig von denjenigen des Opalinustons unterscheiden. Im Vergleich zum Bild, das die Kalk/Sandkalk-Abfolgen an der Erdoberfläche zeigen, ist dies schwer zu vermitteln.

Die Tests erfolgten damals unter Bedingungen, die heute kaum nachvollziehbar sind. Die Gesteinsabfolgen standen im damaligen Untersuchungsprogramm, das auf das kristalline Grundgebirge ausgerichtet war, nicht im Vordergrund. Die Nagra sollte in Etappe 2 ein Konzept erarbeiten, wie im Zusammenhang mit dem Wirtgestein 'Brauner Dogger' mit diesen älteren hydraulischen Daten umgegangen wird.

Im Technischen Bericht NTB 08-04 (Tabelle 4.4-1, S. 259) werden für das potenzielle Wirtgestein 'Brauner Dogger' die hydraulischen Daten der Bohrungen Herdern-1 und Benken herangezogen. Insbesondere für die «sandreichen» Lagen waren die Tests in Herdern-1 massgebend, da diese Gesteine in Benken nicht auftreten.

Die hydraulischen Testresultate aus Benken/Herdern sind für das Gebiet Zürich Nord-Ost relevant. Ob sie auch für das Gebiet Nördlich Lägeren gelten, hängt davon ab, ob die gleichen Kalk/Sandkalk-Abfolgen im Gebiet auftreten und ob deren hydraulische Eigenschaften mit denen der Dogger- β -Sandsteine in Herdern-1 vergleichbar sind.

Bohrung Benken (Auswahl)				
<i>Intervall</i>	<i>Testintervall</i>	<i>Getestete Formationen</i>	<i>Transmissivität m² s⁻¹</i>	<i>Durchlässigkeit m s⁻¹</i>
496.27 – 547.57 m	51.30 m	Subfurcaten-Oolith bis Murchisonae-Concava- Schichten (Wedelsandstein)	5×10^{-11} - 3×10^{-10}	9.7×10^{-13} - 5.8×10^{-12}
548.77 – 564.50 m	15.73 m	Murchisonae-Concava- Schichten bis Opalinuston	2×10^{-12} - 1×10^{-11}	1.3×10^{-13} - 3.2×10^{-12}

Bohrung Herdern-1				
1706.5 – 1723.0 m	16.50 m	wasserführende Schicht 8 m	4×10^{-11} - 4×10^{-9}	5×10^{-12} - 1×10^{-10}

2.5 Bemerkungen zu den weiteren Arbeiten der Etappe 2

Seite 47: Im Bericht wird vermerkt, dass die Informationen zur lithologisch-faziellen Ausbildung des 'Braunen Doggers' auf den drei Tiefbohrungen Weiach, Benken und Herdern-1 beruhen (vgl. Abb. 2.16). Dies ist insofern unbefriedigend, als die Faziesgebiete quer durch das Gebiet Nördlich Lägeren streichen, die Bohrung Weiach aber weit im Norden des Gebietes liegt. Die lithologisch-faziellen Untersuchungen sollten hier auf aufgeschlossene Abfolgen ausgedehnt werden, damit auch die in der Bohrung Weiach nicht vertretenen Kalk/Sandkalk-Abfolgen charakterisiert werden können. Warum sich die Untersuchungen auf Aufschlüsse in Süddeutschland beschränken sollen, ist nicht einleuchtend. Die Aufschlüsse im Gebiet Acheberg (Klingnau) sind gleichwertig mit denjenigen im Gebiet Bernhardholz (Kadelburg).

Seite 50: Das Gebiet Bözberg liegt grösstenteils im Bereich des Fazieswechsels von der raurachischen zur argovischen Fazies (Abb. 2.17). Es ist unter diesen Umständen recht schwierig, Befunde aus Bohrungen und Aufschlüssen zu korrelieren. Es wäre darum von Vorteil, wenn geeignete Aufschlüsse im Gebiet genauer aufgenommen und die Gesteinsabfolgen charakterisiert würden. Durch den Ausbiss der Formationen des 'Braunen Doggers' gegen Norden und in den tieferen Taleinschnitten könnten so die faziellen Änderungen im Umfeld des Gebietes Bözberg präziser charakterisiert werden.

Seite 53: In NTB 10-01 auf Tabelle 4.2-1 werden gebietsbegrenzende Störungszonen als relevante Parameter bezeichnet. Diese werden mit seismischen Aufnahmen ermittelt. Für die räumliche Interpretation könnten auch strukturelle Beobachtungen in den tertiären Formationen Informationen liefern (Einfallen, Antiklinal- und Synklinal-Achsen etc.). Zwar sind solche Informationen bereits früher eingeflossen, aber entsprechende systematische Feldaufnahmen wurden bislang nicht ausgeführt.

Seite 56: Der Kenntnisstand betreffend gebietsbegrenzender geologischer Elemente wird als ausreichend dargestellt. Fraglich ist jedoch, ob nicht mehr Information über die Bedeutung der Kalk/Sandkalk-Abfolgen an der Basis des 'Braunen Doggers' einfließen müsste. Gebiete mit mehr als 10 m mächtigen Kalk/Sandkalk-Körpern an der Basis des Wirtgesteins sind nur charakterisierbar, wenn gute Kenntnisse über die Wasserführung dieser Gesteinskörper vorliegen. Dies ist, wie bereits ausgeführt, gegenwärtig nicht der Fall.

Seite 57: Die theoretischen Überlegungen zur Störungsdichte sind nicht überzeugend. Sie gehen von den Störungsfrequenzen der geologischen Karten aus, die jedoch nicht die maximale Zahl der Störungen wiedergeben. Da die Felsformationen in der Nordschweiz grossflächig mit Quartärablagerungen bedeckt sind, beschränken sich die Beobachtungen auf Teilgebiete, die aber möglicherweise extreme Verhältnisse darstellen. Ein weiterer Teil der tektonischen Strukturen wurde bereits durch jungtertiäre Ablagerungen maskiert.

Seite 66: Die Argumentation im zweiten Absatz geht davon aus, dass es vorteilhaft sei, bei den Datensätzen betreffend Gesteinsformationen auch Daten aus der näheren Umgebung des Standortgebietes in die Sicherheitsanalysen einzubeziehen. Die Gesamtheit der Daten sei für die Erfassung der Bandbreiten und der Referenzwerte repräsentativer. Diese Argumentation stösst aber an Grenzen, wenn die faziellen Änderungen gross sind oder nur Teilgebiete betreffen. Zudem besteht die Gefahr, dass wegen aufwendiger Datenerhebungen auf regional abgestützte Werte ausgewichen wird, die bereits vorliegen.

Seite 71: In Tabelle 4.3-2 des NTB 10-01 werden beim 'Braunen Dogger' die Durchlässigkeiten der Sandkalk-Abfolgen diskutiert. Für den Referenzfall wird angenommen, dass die Sandkalk-Abfolgen keine grossräumig wirksame hydraulische Durchlässigkeit haben. Diese Annahme ist nicht ausreichend belegt. Eine entsprechende Gesteinsabfolge wurde lediglich in der Bohrung Riniken getestet. Gemäss NTB 02-03 wurde der Test auf ein grösseres Intervall von rund 50 m Mächtigkeit angesetzt. Er ist darum für die Sandkalkabfolge nur bedingt repräsentativ. Da mir die entsprechenden Detail-Berichte nicht vorliegen, kann ich die Angaben zum Testverlauf nicht nachprüfen. Zumindest scheint klar, dass die Aussagen zur hydraulischen Durchlässigkeit der Sandkalk-Abfolgen schlecht belegt sind.

Seite 90: Wie bereits oben erwähnt, wird die Mächtigkeit des Spatkalks in der Bohrung Riniken nicht korrekt angegeben.

Er wurde in der Bohrung 18 m mächtig angetroffen und nicht 3 m wie angegeben. Die Durchlässigkeit wird mit $<10^{-12} \text{ m s}^{-1}$ (siehe Kap. 2.4) angegeben. Die Berichte zu den Testbedingungen liegen mir aber nicht vor.

Seiten 191-204: Arbeiten für SGT Etappe 2

In diesem Absatz wird grundsätzlich ein umfangreiches, aber wenig detailliertes Programm zur Abrundung des Datensatzes präsentiert. Die Angaben sind sehr summarisch und darum schlecht diskutierbar. Dass beispielsweise Explorationskonzepte ausgearbeitet werden, ist ohne Zweifel sinnvoll, doch fehlen präzisere Angaben zum Vorgehen. Wird ein Standardkonzept vorgegeben, oder ist man noch für neue Konzepte offen? Würde beispielsweise, wenn wie im Bericht angerissen die Sandkalk-Abfolgen hydraulisch praktisch dicht sind, auch ein Konzept verfolgt, das die Stollen in den möglicherweise standfesteren Sandkalken vorsieht? Es bleibt alles recht unverbindlich, das Programm ist zwar auf den ersten Blick recht eindrucksvoll, aber die Qualität der Untersuchungen hängt zuletzt stark von der Ausführung im Detail ab. Es ist darum die Frage zu stellen, ob das ENSI mit diesen Unterlagen wirklich die Lücken des Untersuchungsprogramms erkennen kann. Es wäre darum aus der Sicht der Behörde eher zielführend, wenn zu den einzelnen Untersuchungsprogrammen gezielt Stellung genommen würde.

Die angekündigte aufwendige Reprozessierung der Seismik-Linien ist grundsätzlich sinnvoll. Die Resultate der älteren Linien werden dabei sicher verbessert. Es ist jedoch offen, inwieweit neben den geologischen Strukturen (Störungen, Lagerungsverhältnisse) auch die lateralen Fazieswechsel besser erkannt werden können. Die Reprozessierung der Seismik-Linien ist nicht trivial und sollte von ausgewiesenen Experten beurteilt werden.

Die Anbindung an Fremdbohrungen aus Gründen der Bewilligungssituation (z.B. Oftringen, Schlattingen) bringt zwar neue Erkenntnisse, ist aber aus dem Blickwinkel der Standorterkundungen nicht optimal, da die Daten nicht an dem aus Sicht der Standortabklärung idealen Ort erhoben werden. So wird beispielsweise eine Geothermiebohrung nach anderen geologischen Anforderungen angesetzt als eine Bohrung zur Abklärung der Verhältnisse der Gesteinsformationen in der Standortumgebung. Die Bohrung Schlattingen/TG, die zurzeit abgeteuft wird, liegt verhältnismässig nahe bei der Bohrung Benken. Es ist darum kaum zu erwarten, dass sie einen erheblichen Erkenntnisgewinn bringen wird. Zudem ist das Standortgebiet Zürich Nord-Ost in geologischer Hinsicht bereits jetzt am besten exploriert. Eine Bohrung südwestlich von Weiach hätte aus wissenschaftlicher Sicht grössere Bedeutung für die Erkundung des Wirtgesteins 'Brauner Dogger' wäre aber aus Gründen der Bewilligungen nur mit untragbaren Verzögerungen möglich. Es wäre darum zu wünschen, dass für die nächste Etappe der Untersuchungen in dieser Hinsicht optimale Bedingungen für die Wahl der Bohrstandorte geschaffen werden.

2.6 Literaturverzeichnis

- Bausch W., Schober T. (1997): Erläuterungen zum Blatt 8316/8416 Klettgau/Hohentengen am Hochrhein. 1. Auflage. Geologische Karte von Baden-Württ. 1:25 000: 287S; Freiburg i. Br.
- Bitterli P. H. (1977): Sedimentologie und Paläogeographie des oberen Doggers im zentralen und nördlichen Schweizer Jura (Mit einem Beitrag zum Problem der Eisenoolithbildung). Diss. Univ. Basel, 132 S, 32 Tafeln.
- Bitterli P. (2001): Geologie des Gebietes von Gansingen, Teil 3. Dorfchronik Gansingen 2001.

- Bitterli-Dreher P., Graf H.R., Naef H., Diebold P., Matousek F., Burger H., Pauly-Gaby T. (2007): Blatt 1070 Baden.- Geol. Atlas Schweiz 1: 25 000, *Erläut. 120*, Swisstopo, Wabern.
- Brändlin E. (1911): Zur Geologie des nördlichen Aargauer Tafeljura zwischen Aare und Fricktal. *Verh. Natf. Ges. Basel* 22, 57-148.
- Burkhalter R. M. (1996): Die Passwang-Alloformation (unteres Aalenien bis unteres Bajocien) im zentralen und nördlichen Schweizer Jura. – *Eclogae geol. Helv.* 89/3, 875-934.
- Burkhalter R.M, Bläsi H-R., Feist-Burckhardt S. (1997): Der «Dogger β » (oberes Aalenien) in den Bohrungen Herdern-1, Berligen-1 und Kreuzlingen-1 (Nordostschweiz) und seine Beziehung zu den gleichaltrigen Schichten im Nordjura. *Eclogae geol. Helv.* 90, 269- 291.
- Diebold P., Bitterli-Brunner P., Naef H.(2006): Blatt 1069/1049 Frick-Laufenburg – Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, *Erläut. 110*,Swisstopo, Wabern.
- Franz M., Nitsch E. (2009): Zur lithostratigraphischen Gliederung des Aalenium in Baden-Württemberg. *LRGB-Informationen* 22, S. 123-146, Freiburg i. Br.
- Gassmann G. (1987): Litho- und Biostratigraphie des Doggers im Berchenwald bei Dangstetten, Klettgau, Südwestdeutschland. Diplomarbeit, Freiburg i. Br.
- Genser H. (1966): Schichtfolge und Stratigraphie des Doggers in den drei Faziesbereichen der Umrandung des Südschwarzwaldes. *Oberrhein. Geol. Abh.*, 15, 1-60.
- HSK (2005): Gutachten zum Entsorgungsnachweis der Nagra für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle (Projekt Opalinuston. Würenlingen, August 2005.
- Matter A., Peters T., Isenschmid C., Bläsi H.-R., Ziegler H.-J. (1987): Sondierbohrung Riniken, Geologie. – *Nagra Techn. Ber. NTB 86-02* (auch: *Geol. Ber. Landeshydrol. u.-geol.* 5).
- Moesch C. (1867): Geologische Beschreibung der Umgebung von Brugg mit Karte und Profilen. In Commission bei S. Höhr, Zürich.
- Moesch C. (1867): Geologische Beschreibung des Aargauer-Jura und der nördlichen Gebiete des Kantons Zürich. – *Beitr. Geol. Karte Schweiz* 4.
- NAB 06-26: Stratigraphie, Mächtigkeit und Lithofazies der mesozoischen Formationen in der Nordschweiz. Eine Kompilation von Bohrungen, Übersichts- und Aufschlussprofilen (Autor: H. Naef). *Nagra Arbeitsbericht*, Wettingen, 2008.
- Nagra (2000): Hydrogeologie des Gebietes Lägern – Zürcher Weinland, Nagra unpubl. Interner Bericht, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen.
- Nagra (2001): Stratigraphie Nordostschweiz, Nagra unpubl. Interner Bericht, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen.
- NTB 08-04: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager. Geologische Grundlagen, 2 Bände (Textband und Beilagenband). *Nagra Technischer Bericht*, Wettingen, 2008.
- NTB 10-01: Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorische Sicherheitsanalyse in Etappe 2, SGT – Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2010.
- Schalch F. (1897): Der braune Jura (Dogger) des Donau-Rheinzeuges nach seiner Gliederung und Fossilführung. *Mitt. Grossh. Bad. Geol. Landesanst. III. Bd.*, 3. Heft.

- Schmassmann H. (1945): Stratigraphie des mittleren Doggers der Nordschweiz. Tätigkeitsber. Natf. Ges. Basel, 19.
- Schneider J.F., Matousek F. (1990): Geologische Standortabklärungen für eine Deponie in Villigen (Gebiet «Unterboden»). Baudepartement Kanton Aargau, Abteilung Umweltschutz.
- Senftleben G. (1923): Beiträge zur geologischen Erkenntnis der Westlägern und ihrer Umgebung. Diss. Univ. Zürich.
- Trümpy R. (1959): Hypothesen über die Ausbildung von Trias. Lias und Dogger im Untergrund des schweizerischen Molassebeckens. *Eclogae geol. Helv.* 52/2, 435-448.
- Wagner G. (1960): Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte. Mit besonderer Berücksichtigung Süddeutschlands. 3. Auflage. Verlag der Hohenlohe'schen Buchhandlung. F. Rau, Öhringen.
- Wetzel A., Gonzales R. (1996): Stratigraphy and palaeogeography of the Hauptrogenstein and Klingnau Formations (middle Bajocian to late Bathonian), northern Switzerland. *Eclogae geol. Helv.* 89/1, 695-720.
- Ziegler P.A. (1988): Evolution of the Arctic-North-Atlantic and the Western Tethys. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 43, 198p. and 30 plates.
- Ziegler P.A. (1990): Geological Atlas of Western and Central Europe. 2nd edition, Shell, The Hague.

3 Expertenbericht Dr. Reto Burkhalter



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Verteidigung,
Bevölkerungsschutz und Sport VBS

armasuisse
Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Der 'Braune Dogger'

Beurteilung des Kenntnisstandes und der geplanten weiteren Untersuchungen der Nagra zuhanden des ENSI, gestützt auf NTB 10-01

14. Februar 2011

Dr. Reto Burkhalter
Landesgeologie
Bundesamt für Landestopografie swisstopo
Seftigenstrasse 264, Postfach
CH-3084 Wabern
Tel. +41 31 963 21 11
Fax +41 31 963 24 59
info@swisstopo.ch
www.swisstopo.ch

3.1 Aufgabenstellung

Anhand des Technischen Berichtes NTB 10-01 der Nagra «Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in Etappe 2 SGT; Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen» vom Oktober 2010 war im Auftrag des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorates ENSI abzuklären,

- ob die Angaben der Nagra zum «Braunen Dogger» (BD) korrekt und vollständig sind,
- ob die von der Nagra vorgeschlagenen Arbeiten am BD für Etappe 2 zielführend sind,
- ob allenfalls wichtige Aspekte nicht abgedeckt werden,
- was zukünftige Arbeiten am BD beinhalten sollen.

3.2 Der 'Braune Dogger' (BD)

Der 'Braune Dogger' ist eine informelle lithostratigraphische Einheit (vgl. Remane et al. 2005) im Rang einer Gruppe. Er fasst die stratigraphischen Einheiten zwischen dem Dach des Opalinus-Tons und der Basis der Wildegge-Formation bzw. der Impressamergel-Formation im Gebiet zwischen einer Linie Burghorn – Siglistorf und dem Westrand des Hegau-Bodensee-Grabens (NTB 08-04, Fig. 4.3-11) zusammen.

Der BD besteht im Wesentlichen aus silt- und sandreichem Tonmergel mit Einschaltungen von sandreichem Kalkmergel bis Kalk, so genanntem Sandkalk (Naef 2008). Volumenmässig untergeordnet aber weitflächig verbreitet treten Eisenoolithhorizonte auf. Die Kenntnisse über Ausbildung, Mächtigkeit und laterale Ausdehnung der Sandkalkkörper im BD sind aufgrund der geringen Aufschlussdichte lückenhaft. Hinsichtlich Ausbildung, Geometrie und Genese der Sandkalkkörper und Eisenoolithhorizonte kann die faziell eng mit dem BD verwandte Passwang-Formation (Burkhalter 1996, Wetzler und Gonzalez 1996) herangezogen werden, mindestens für den altersäquivalenten unteren Teil des BD (Murchisonae- bis Blagdeni-Schichten).

3.3 Kenntnisstand der Nagra über den BD

Die Kenntnisse der Nagra über den BD beruhen auf einer umfassenden Literaturstudie, Bohrungen, Aufschlussuntersuchungen und Seismik. Betreffend Literaturstudien sowie geophysikalische, mineralogische und hydrogeologische Untersuchungen an den Bohrungen (Bohrloch und Bohrgut) ist der Kenntnisstand der Nagra gut. Da jedoch grundlegende Untersuchungen an den Bohrungen und Aufschlüssen bisher noch nicht ausgeführt wurden (Kap. 3.3.1, 3.3.2, 3.5), werden die gegenwärtigen Kenntnisse des BD von der Nagra gesamthaft zu optimistisch eingeschätzt¹ (zur Seismik, siehe Kap. 3.4.5.).

¹ Im NTB 10-01, S. 47, wird festgestellt, dass beim BD Unsicherheiten betreffend Mächtigkeit, Ausbildung und lateraler Ausdehnung von sandigen und kalkigen, z.T. auch eisenoolithischen Einschaltungen bestehen «..., wenn auch in sehr beschränktem Masse». Auf S. 88ff. wird geäußert, dass die laterale Kontinuität von sandig-kalkigen Abschnitten «nach heutiger Kenntnis gering» sei. Soweit bekannt, beruht diese Aussage im Wesentlichen auf hydrogeologischen Bohrlochtests (s.a. S. 175). Auf S. 206 (Kap. 9) schätzt die Nagra den Kenntnisstand zusammenfassend wie folgt ein: «Die vorhandenen Unterlagen für die einzelnen Wirtgesteine und Standortgebiete sind zwar von unterschiedlichem Umfang und Tiefgang, reichen aber für alle Wirtgesteine und in allen Standortgebieten aus, um für die Beurteilung der Sicherheit und der technischen Machbarkeit zuverlässig eine abdeckende Konzeptualisierung und Parametrisierung vorzunehmen.»

3.3.1 Fazies und Geometrie von Sandkalkkörpern und Eisenoolithhorizonten (PG-11)

In jeder Bohrung im Verbreitungsgebiet des BD ist zumindest dessen unterer, den Opalinuston direkt überlagernder Teil (östliches laterales Äquivalent der Passwang-Formation) unterschiedlich ausgebildet. Gemessen an der Distanz (im km-Bereich, Burkhalter 1996), über welche in der Passwang-Formation Fazieswechsel und bedeutende Mächtigkeitsänderungen von Sedimentkörpern auftreten, sind die untersuchten Bohrungen und Aufschlüsse deutlich zu weit voneinander entfernt (im 10-km-Bereich), um ein direktes Bild der faziellen und geometrischen Verhältnisse (Ausbildung, Mächtigkeit und laterale Ausdehnung von Sandkalkkörpern und Eisenoolithhorizonten) speziell im unteren Teil des BD zu vermitteln. Ausserdem liegen bisher weder eine biostratigraphische Gliederung des BD in den bestehenden Bohrungen noch ein Faziesmodell vor, mit dessen Hilfe Fazies und Geometrie von Sandkalkkörpern und Eisenoolithhorizonten besser prognostiziert werden können.

3.3.2 Eisenoolithkörper (PG-33, PG-11)

Das Herznacher Eisenerzvorkommen sollte in erster Linie aus sedimentologischen Überlegungen mitberücksichtigt werden, da nicht auszuschliessen ist, dass weiter östlich, im Verbreitungsgebiet des BD, weitere geometrisch vergleichbare Eisenoolithkörper auftreten.

Die stratigraphische Stellung der Lagerstätte entspricht dem obersten Teil des BD. Es handelt sich um zwei linsenförmige Eisenoolithkörper mit einer Gesamtmächtigkeit von rund 5 m. Vom Mächtigkeitsmaximum bei Herznach keilt das Vorkommen nach Osten über eine Distanz von rund 5 km auf praktisch null aus.

3.4 Kommentare zu den von der Nagra für Etappe 2 SGT vorgeschlagenen Arbeiten am BD

3.4.1 Fernerkundung von herauswitternden Sandkalkkörpern

Eine Fernerkundung von herauswitternden kompetenten Sandkalkkörpern im BD mittels DTM-AV (NTB 10-01, S. 196: Kap. 8.3) dürfte nicht den gewünschten Erfolg bringen. Auch wenn sich der Kompetenzkontrast zwischen Sandkalk und umgebendem Tonstein als genügend gross erweisen sollte, so ist doch davon auszugehen, dass die flache Schichtlagerung zusammen mit der wenig akzentuierten Topographie ein deutliches Herauswittern von Härtlingen verhindert und zudem deren Korrelation über grössere Aufschlusslücken hinweg stark erschwert. Ausserdem liegen die Ausbisse des BD zu weit von den Standortgebieten entfernt, als dass sie direkten Aufschluss über die dortigen faziellen und geometrischen Verhältnisse vermitteln würden.

3.4.2 Untersuchungen zu Geometrie und Strukturen der Wirtgesteine

Abklärungen und Untersuchungen zu Geometrie und Strukturen der Wirtgesteine bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches (NTB 10-01, S. 191: Kap. 8.1; S. 192: Kap. 8.2, 1. Bullet-point.; S. 195: Kap. 8.3) sollten in engerer Verbindung mit Abklärungen und Untersuchungen zu deren Eigenschaften durchgeführt werden (vgl. Kap. 3.5).

3.4.3 Lithologien der Passwang-Fm. und des Opalinus-Tons als Proxies für Lithologien des BD

Im NTB 10-01, S. 66, wird die Berücksichtigung des gesamten Datensatzes einer Gesteinsformation für die Charakterisierung ihrer Eigenschaften als sinnvoll erachtet. Dies sollte im Fall der Passwang-Formation und der sandig-kalkigen Fazies des Opalinus-Tons im Mont-Terrilabor als Proxies für Lithologien des unteren Teils des BD durchaus auch formationsübergreifend geschehen (vgl. NTB 10-01, S. 69: PG-6; S. 75: PG-10; S. 79: PG-15; S. 197: 2. Abschnitt).

3.4.4 Weitere Bohrungen

Aus den Ausführungen der Nagra (NTB 10-01, S. 47: Kap. 4.1.2, S. 192, zweitunterster Abschn.; S. 196) geht nicht klar hervor, welche weiteren Bohrungen im BD (neben der Bohrung Schlattingen) geplant sind und ob die relevanten Abschnitte gekernt werden sollen. Wichtig ist, dass die Standorte zukünftiger Bohrungen in erster Linie nach geologischen und nicht bestimmt durch äussere Umstände ausgewählt werden.

Jede weitere Bohrung im BD bringt Erkenntnisse zu seiner Ausbildung und liefert einen Datensatz, mit dessen Hilfe Modellierungen verfeinert werden können. Insofern dienen weitere Bohrungen der Vermehrung der Kenntnisse über den BD und sind deshalb grundsätzlich wünschenswert. Ein abschliessendes detailliertes Bild über Fazies und Geometrie von Sandkalkkörpern und Eisenoolithhorizonten im BD vermögen Bohrungen jedoch nur dann zu vermitteln, wenn sie in geringem seitlichem Abstand voneinander (km-Bereich) abgeteuft werden. Eine Verbesserung der Kenntnisse über die Geometrie der Sedimentkörper sollte in erster Linie mit einer umfassenden Faziesanalyse und einem Depositional Model angestrebt werden (siehe Kap. 3.5).

Da sich mittels bohrlochgeophysikalischer Messungen und Cuttings die Durchgängigkeit von Sandkalkkörpern zwischen verschiedenen Bohrungen nur sehr bedingt prüfen lässt, namentlich im vorliegenden Fall mit potenziell hoher Faziesvariabilität und im Verhältnis dazu (bisher) grossen lateralen Abständen der Bohrungen, sollten bohrlochphysikalische Methoden grundsätzlich nicht alleine bzw. schwergewichtig, sondern als Ergänzung zu grundlegenden stratigraphischen (Litho-, Bio-, Sequenzstratigraphie) und sedimentologischen Abklärungen (Faziesanalyse) an Bohrkernen zum Einsatz kommen.

3.4.5 Reprozessierung von seismischen Daten

Bei dieser Methode stellt sich die Frage, ob Auflösung bzw. seismischer Kontrast genügen, um geringmächtige Sandkalkkörper zu erkennen. Eisenoolithhorizonte dürften kaum erkannt werden.

3.5 Zukünftige Arbeiten am BD

3.5.1 Biostratigraphie

Die erbohrten BD-Abfolgen (und möglichst auch Aufschlüsse) sollen gestützt auf Palynomorphe sowie verwertbare Makrofossilreste biostratigraphisch gegliedert werden. Für den Raum

Nordschweiz – Süddeutschland hat Dr. Susanne Feist-Burkhardt² eine Palynomorphenbiozonierung etabliert und mit Ammonitenbiozonen korreliert (z.B. Burkhalter et al. 1997).

Bisher wurden die erbohrten Abfolgen im Verbreitungsgebiet des BD weitgehend nach lithostratigraphischen Kriterien gegliedert. Ohne Kenntnis der biostratigraphischen Einordnung ist eine stratigraphische Gliederung des BD allein durch lithologische Vergleiche (u.a. Abzählen von Eisenoolithhorizonten) mit vielen Unsicherheiten behaftet.

Der Nachweis einer lückenlosen Sedimentabfolge könnte als Hinweis auf eher ruhige Ablagerungsbedingungen gedeutet werden, Schichtlücken würden dagegen auf eine potenziell heterogenere Faziesverteilung hindeuten.

3.5.2 Umfassende Faziesanalyse, Ablagerungsmodell

Neben der Anwendung der herkömmlichen Methoden der Faziesanalyse soll Folgendes untersucht werden (zur Anwendung siehe Burkhalter 1996, S. 889ff.):

- Horizontale und laterale Entwicklung der Korngrösse des terrigenen Silts bzw. Sandes in Sandkalkkörpern.
- Stellung von Eisenoolithen bezüglich Sandkalk- und Tonsteinintervallen.
- Feststellen von Aufarbeitung bzw. Abschätzen der Aufarbeitungstiefe bei Eisenoolithen.

Gestützt auf eine umfassende Faziesanalyse soll anschliessend die Ablagerungsgeschichte (Depositional History) unter Berücksichtigung von Meeresspiegelschwankungen (sequenzstratigraphischer Ansatz) bzw. differenzieller Subsidenz im Ablagerungsraum rekonstruiert werden.

Im Hinblick auf die laterale Persistenz von Sandkalkkörpern ist u. U. die Antwort auf die Frage von Bedeutung, ob es sich um Akkumulationen des Sandkalks als Sedimentkörper mit positivem Relief handelt – wie im schwäbischen Raum – und/oder ob die Ablagerung – wie im Jura – durch differenzielle Subsidenz (Burkhalter 1996: «structurally controlled») beeinflusst wurde.

Ziel der Faziesanalyse ist ein Ablagerungsmodell (Depositional Model), mit dessen Hilfe Fazies und Geometrie von Sandkalkkörpern und Eisenoolithhorizonten besser prognostiziert werden können.

3.5.3 Analyse der Diagenesegeschichte

Zur Ermittlung von Permeabilitäten in den Sandkalkkörpern (und in untergeordnetem Mass auch der Eisenoolithhorizonte) sollen die Diagenesegeschichte des Sandkalks, dessen Kalkanteil vielfach stark rekristallisiert ist, sowie ggf. auch diejenige der Eisenoolithe analysiert werden.

Die in Kapitel 3.5 vorgeschlagenen zukünftigen Arbeiten am BD sollen als regionale Studie angelegt sein; ihre Durchführung ist somit so zu legen, dass die Resultate in Etappe 2 SGT vorliegen.

² z. Z. am Natural History Museum, London.

3.6 Weitere Bemerkungen

In Kapitel 3.6.1 bis 3.6.3 werden Unstimmigkeiten bei der Beschreibung der regionalen Stratigraphie und der verwendeten Nomenklatur kommentiert. Wenn nicht anders vermerkt, beziehen sich alle Stellenangaben auf NTB 10-01.

3.6.1 Regionale Stratigraphie

S. 21: Tab. 3.1-1; S. 91: 5. Abschn.

Die Abfolge zwischen Opalinus-Ton und Hauptrogenstein heisst Passwang-Formation. Der Klarheit halber sollte nur dieser Name und keine Umschreibung verwendet werden. Die Unteren Acuminata-Schichten sind Teil des Hauptrogensteins (Hauptrogenstein-Formation, Wetzel und Gonzalez 1996).

Ausserdem erfolgt die Beschreibung von stratigraphischen Abschnitten üblicherweise von unten/alt nach oben/jung, also z.B. Opalinus-Ton bis Hauptrogenstein. Kombinationen von stratigraphischen Einheiten sind in jedem Fall in dieser Reihenfolge zu nennen, also Parkinsoni-Württembergica-Schichten (nicht W-P-S) (S. 71: Tab. 4.3-2 [Forts.]).

S. 47: 2. Abschn.; S. 50: 5. Abschn.; S. 65: 2. Abschn.

Die Aussage, wonach der Ostrand des Hauptrogensteins den Westrand des Verbreitungsgebietes des BD bildet, stimmt nicht mit der Aussage in Fig. 4.3-11 in NTB 08-04 überein. Dort ist zwischen dem Ostrand des Hauptrogensteins und einer N–S verlaufenden Grenze etwa durch die Mitte der Lägeren eine Übergangsfazies ausgeschieden. Dies ist für die lateralen Äquivalente von Hauptrogenstein (Klingnau-Formation) und «oberem Dogger» gerechtfertigt. Daraus folgt, dass nur im Ostteil des Standortgebietes Nördlich Lägeren BD s. str. vorhanden ist.

S. 47: 3. Abschn.

Die Mehrheit der Eisenoolithhorizonte in der Passwang-Formation, dem faziell eng verwandten westlichen lateralen Äquivalent des unteren BD, zeichnet sich durch eine hohe laterale Konstanz aus (insbes. Omissionsdiskontinuitäten und Kondensationshorizonte s. str., Burkhalter 1996). In diesem Sinn ist der Begriff «eisenoolithische Einschaltungen» durch Eisenoolithhorizonte zu ersetzen.

Die Ausdehnung von Eisenoolithhorizonten ist nicht direkt an die Ausdehnung von Sandkalkkörpern gekoppelt; Eisenoolithe sollten deshalb auch im BD getrennt von Sandkalkkörpern beschrieben und untersucht werden.

S. 90: 2. Abschn.

«Die in Weiach als Sandmergel ausgebildeten Birnenstorfer Schichten»: Es handelt sich hier um den Glaukonitsandmergel (Schreibweise beachten: S. 89: 3. Abschn.), das laterale Äquivalent der Birnenstorfer Schichten (Birnenstorf-Member der Wildegg-Formation, z.B. Gygi 2000).

S. 90: 3. Abschn.

Hier wird nicht berücksichtigt, dass der untere Teil des BD (bzw. der Übergangsfazies) an der Lägeren, d.h. näher dem Südrand des Standortgebietes als die Bohrung Weiach, deutlich sandig-kalkiger ausgebildet ist als in der Bohrung Weiach.

S. 91: 5. Abschn.

Der Bereich des Fazieswechsels (im Dogger) betrifft den Hauptrogenstein und den «oberen Dogger», nicht aber die Passwang-Formation.

S. A-45: Fig. A3-8; S. A-66: Tab. A3-8 usw.

«Passwang-Formation», «Klingnau-Formation» und «oberer Dogger» sind durch «Brauner Dogger» zu ersetzen. Die genannten Formationen reichen nicht so weit nach Osten. Sie wurden in den entsprechenden Profilen von Naef (2008) nur als Hinweis auf die stratigraphische Korrelation erwähnt.

S. A-45: Legende Fig. A3-8

Die Aussage, der Übergang Opalinus-Ton – Passwang-Formation [gemeint sind Murchisonae-Schichten bzw. BD] könne möglicherweise ähnlich wie im Standortgebiet Zürich Nord-Ost ausgebildet sein, ist eine reine Vermutung.

S. A-49: Tab A3-4; S. A-57: Tab. A3-6

Wie ist die Mächtigkeitsangabe für die Effinger Schichten zu verstehen? Im Südranden hat es Glaukonitsandmergel, keine Birnenstorfer Schichten. Zu Passwang-Formation usw. siehe S. A-45: Fig. A3-8 usw.

S. A-69: Fig. A3-26

Der Faziesübergang vom Hauptrogenstein zur Klingnau-Formation befindet sich am östlichen Rand des Standortgebietes, anders als es die Profildarstellung suggeriert (Diebold et al. 2006, vgl. Profil 03 in Jordan 2007).

Die Charakterisierung der Lithologie der Passwang-Formation und dem unteren Teil des Hauptrogensteins ist unvollständig. Es fehlen Sandkalk und biotritischer Kalk (und dies nicht nur in Form von «Lagen»).

Die Beschreibung der Hydrogeologie der Passwang-Formation in den Profilen der westlichen Standortgebiete (siehe auch S. A-74: Fig. A3-30) deckt sich mit derjenigen des BD in den Profilen der östlichen Standortgebiete. Copy-Paste-Fehler?

3.6.2 Stratigraphische und fachsprachliche Nomenklatur

S. 33: Tab. 3.2; S. 47: Kap. 4.1.2; S. 56: Kap. PB-3 usw.

Der Begriff «Architekturelement» ist interpretativ; sein Gebrauch setzt voraus, dass sowohl Geometrie und interner Aufbau eines Sedimentkörpers als auch die Faziesassoziationen innerhalb des Sedimentkörpers bekannt sind. Da dies erstens noch nicht à fond untersucht wurde und zweitens mit «Architekturelement» in NTB 10-01 meist Lithofazies gemeint ist, sollten anstelle von «Architekturelement» oder «sedimentäres Architekturelement» konsequent die beschreibenden Begriffe (Litho-)Fazies bzw. Sedimentkörper verwendet werden. («Architekturelement» ist nicht synonym mit Fazies bzw. Sedimentkörper.) Dadurch kann auch sichergestellt werden, dass nicht ein zu hoher Kenntnisstand suggeriert wird. [Die Begriffe «lithofazielle Variabilitäten (Architekturelemente)» (S. 56: Kap. PB-3) und «horizontales sedimentäres Architekturelement» (S. 71: Tab. 4.3-2) sind falsch.]

S. 92: unterster Abschn.; S. A-69: Fig. A3-26; S. A-72: Tab. A3-10; S. A-74: Fig. A3-30 usw.

Acuminata-Schichten

S. 175: 4. Abschn.

Der Begriff «horizontale Sandkalkabfolge» ist nicht klar. Eine Abfolge (von Lagen oder Bänken) ist in der Regel vertikal.

S. 201: drittunterster Abschn.

speläologisch

3.6.3 Details

S. 51 usw.

Grafs Beitrag zur Geologischen Karte der Schweiz sollte als Graf (2009), die LGM-Karte als Schlüchter (2009) zitiert werden.

S. A-51: Fig. A3-12; S. A-60: Fig. A3-19

Der BD in der Figurenlegende findet sich nicht in der Figur.

3.6.4 Varia

Bemerkungen zu NTB 10-01, die nicht den BD (und die Effinger Schichten) betreffen.

S. 57: 4. Abschn.

Die Ermittlung der Störungsdichte mithilfe geologischer Karten hängt stark von den Lithologien, den Aufschlussverhältnissen und dem kartierenden Geologen ab. Eine fixe Regel betreffend Kartierung von Störungsdichten besteht (bei der Landesgeologie) nicht.

S. 88: 5. Abschn.; S. 89: 7. Abschn.; S. 90: 5. Abschn.; S. 91: 1. Abschn.

Beim Schilfsandstein (Sandsteinkeuper) handelt es sich um die sandige (potenziell permeable) Füllung von fluviatilen Rinnen; die entsprechenden Überschwemmungsebenensedimente sind feinkörnig und geringdurchlässig. Die räumliche Anordnung der Faziesbereiche ist mit derjenigen in Teilen der USM vergleichbar. Die Aussagekraft von Bohrungen betreffend Permeabilität des Sandsteinkeupers ist somit beschränkt.

S. 99: unterster Abschn. (PG-4, PG-26); S. 100, Kap. PG-30

Wie wird die Bestimmtheit der Annahme («... wird erwartet ...») begründet, eine grössere Vergletscherung im Alpenvorland würde erst gegen Ende des Beobachtungszeitraumes [von 10⁵ Jahren] wieder eintreten? Angesichts der immer noch bestehenden Unsicherheiten betreffend Zeitpunkt und Ausdehnung der spätpleistozänen Gletschervorstösse vor dem LGM (und mehr noch der mittelpleistozänen Vorstösse, Graf 2009, Preusser 2010) scheint dieses Statement und die Aussagen in Kapitel PG-30 gewagt.

S. 100: oberster Abschn., oben (PG-4, PG-26)

Neuere Arbeiten zur glazialen Tiefenerosion (z.B. Dürst Stucki et al. 2010) weisen darauf hin, dass auch in distalen Bereichen eines Vorlandgletschers mit bedeutender Tiefenerosion zu

rechnen ist. Da die Erosionsraten nicht bekannt sind, sollte dem Argument der zeitlich relativ kurzen Eisbedeckung nicht zu viel Gewicht beigemessen werden.

S. 100: oberster Abschn., unten (PG-4, PG-26)

Kann beim Standortgebiet Wellenberg die laterale Gletschererosion vernachlässigt werden? Welche Auswirkungen hätten postglaziale Massenbewegungen in den Talflanken?

3.7 Zitierte Literatur

- Bitterli-Dreher P., Graf H.R., Naef H., Diebold P., Matousek F., Burger H., Pauly-Gaby T. (2007): Blatt 1070 Baden.- Geol. Atlas Schweiz 1: 25 000, *Erläut.* 120. Swisstopo, Wabern.
- Burkhalter R.M. (1996): Die Passwang-Alloformation (unteres Aalénien bis unteres Bajocien) im zentralen und nördlichen Schweizer Jura. *Eclogae geol. Helv.* 89/3, 875–934.
- Burkhalter R.M., Bläsi H.-R., Feist-Burkhardt S. (1997): Der «Dogger β » (oberes Aalénien) in den Bohrungen Herdern-1, Berlingen-1 und Kreuzlingen-1 (Nordostschweiz) und seine Beziehung zu gleichaltrigen Schichten im Nordjura. *Eclogae geol. Helv.* 90/2, 269–291.
- Diebold P., Bitterli-Brunner P., Naef H. (2006): Blatt 1069/1049 Frick-Laufenburg. Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, Erläut 110.
- Dürst Stucki M., Reber R., Schlunegger F. (2010): Subglacial tunnel valleys in the Alpine foreland: an example from Bern, Switzerland. *Swiss J. Geosci.* 103/3, 363–374.
- Graf H.R. (2009): Stratigraphie von Mittel- und Spätpleistozän in der Nordschweiz. *Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.]* 168.
- Gygi R.A. (2000): Integrated stratigraphy of the Oxfordian and Kimmeridgian (Late Jurassic) in northern Switzerland and adjacent southern Germany. *Denkschr. schweiz. Akad. Natwiss.* 104.
- Jordan P. (2007): Sammelprofile der Sedimentgesteine der verschiedenen geologisch-tektonischen Einheiten der Schweiz. Nagra Arbeitsbericht NAB 07-35, Wettingen.
- Naef H. (2008): Stratigraphie, Mächtigkeit und Lithofazies der mesozoischen Formationen in der Nordschweiz. Eine Kompilation von Bohrungen, Übersichts- und Aufschlussprofilen. Nagra Arbeitsbericht NAB 06-26, Wettingen.
- NTB 08-04: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager. Geologische Grundlagen. Textband. Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2008.
- Preusser F. (2010): stratigraphische Gliederung des Eiszeitalters in der Schweiz (Exkursion D am 8. April 2010). – *Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver. [N.F.]* 92, 83–98.
- Remane J., Adatte T., Berger J.-P., Burkhalter R., Dall'Agnolo S., Decrouez D., Fischer H., Funk H., Furrer H., Graf H.R., Gouffon Y., Heckendorn W., Winkler W. (2005): Richtlinien zur stratigraphischen Nomenklatur. *Eclogae geol. Helv.* 98/3, 385–405.
- Schlüchter C. (Kompilation) (2009): Die Schweiz während des letzteiszeitlichen Maximums (LGM), 1:500 000. Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Wabern.
- Wetzel A., Gonzalez R. (1996): Stratigraphy and paleogeography of the Hauptrogenstein and Klingnau Formations (middle Bajocian to late Bathonian), northern Switzerland. *Eclogae geol. Helv.* 89/2, 695–720.

ENSI 33/124

ENSI, CH-5200 Brugg, Industriestrasse 19, Telefon +41 (0)56 460 84 00, Fax +41 (0)56 460 84 99, www.ensi.ch